

1^{re}

Nouveau BAC
Plus de 50 pages
pour préparer le Bac

PROGRAMME 2019

PHYSIQUE CHIMIE

MANUEL COLLABORATIF



Des cours
et des TP
en vidéo

[LLS.fr/PC1Videos](https://lls.fr/PC1Videos)



Un labo de
sciences
interactif

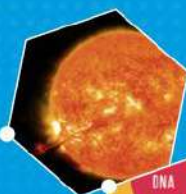
[LLS.fr/LaboDeSciences](https://lls.fr/LaboDeSciences)



lelivrescolaire.fr
Éditeur de manuels scolaires collaboratifs et innovants



H_3CO



DNA



www.lelivrescolaire.fr

manuel numérique
consultable gratuitement

LES 7 GRANDEURS FONDAMENTALES

- Les symboles des grandeurs sont notés en *italique*, les symboles des unités sans italique.
- Les noms des unités sont des noms communs, ils s'écrivent donc toujours en minuscule.

Grandeur		Unité SI	
Nom	Notation littérale usuelle	Nom	Symbole
longueur	L	mètre	m
masse	m	kilogramme	kg
temps	t	seconde	s
intensité du courant électrique	I	ampère	A
température absolue	T	kelvin	K
quantité de matière	n	mole	mol
intensité lumineuse	I_l	candela	cd

LES PRINCIPALES GRANDEURS USUELLES

Grandeur		Unité usuelle	
Nom	Notation littérale usuelle	Relation de définition	Symbole
masse volumique	ρ	$\rho = \frac{m}{V}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
densité	d	$d = \frac{\rho_{\text{liquide}}}{\rho_{\text{eau}}}$	-
vitesse	v	$v = \frac{L}{\Delta t}$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
période	T	-	s
fréquence	f ou ν	$f = \frac{1}{T}$	Hz (hertz)
longueur d'onde	λ	-	m
force	F	-	N (newton)
poids	P	$P = m \cdot g$	N
intensité de la pesanteur	g	-	$\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$
pression	P	$P = \frac{F}{S}$	Pa (pascal)
tension	U	-	V (volt)
résistance	R	$U = R \cdot I$	Ω (ohm)
énergie	E	-	J (joule)
travail d'une force	$W_{\overrightarrow{AB}}(\vec{F})$	$W_{\overrightarrow{AB}}(\vec{F}) = \overrightarrow{AB} \cdot \vec{F}$	J (joule)
puissance	P	$P = \frac{E}{\Delta t}$	W (watt)
masse molaire	M	$M = \frac{m}{n}$	$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$
concentration en masse	γ	$\gamma = \frac{m}{V}$	$\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
concentration en quantité de matière	c	$c = \frac{n}{V}$	$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

CONSTANTES ET GRANDEURS CLASSIQUES

Constante	Valeur	Valeur approchée
vitesse de propagation de la lumière dans le vide	$c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
constante de gravitation	$G = 6,674\,08 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$	$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$
charge élémentaire	$e = 1,602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$	$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
constante d'Avogadro	$N_A = 6,022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
masse du proton	$m_p = 1,672\,622 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$m_p = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
masse du neutron	$m_n = 1,674\,927 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$m_n = 1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
masse de l'électron	$m_e = 9,109\,383\,5 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
année lumière	$1 \text{ a.l.} = 9,460\,730\,473 \times 10^{15} \text{ m}$	$1 \text{ a.l.} = 9,46 \times 10^{15} \text{ m}$
unité astronomique	$1 \text{ ua} = 1,495\,978\,707 \times 10^{11} \text{ m}$	$1 \text{ ua} = 1,50 \times 10^{11} \text{ m}$
constante de Planck	$h = 6,626\,070\,04 \times 10^{-34} \text{ m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$

MULTIPLES ET SOUS-MULTIPLES

Préfixe	femto	pico	nano	micro	milli	centi	deci	-	kilo	méga	giga	téra	péta
Abréviation	f	p	n	μ	m	c	d	-	k	M	G	T	P
Correspondance en puissance de 10	$\times 10^{-15}$	$\times 10^{-12}$	$\times 10^{-9}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-1}$	1	$\times 10^3$	$\times 10^6$	$\times 10^9$	$\times 10^{12}$	$\times 10^{15}$

♦ Pour convertir depuis un multiple ou un sous-multiple à l'unité de base, on remplace le préfixe par la puissance de 10 associée.

Exemple : $E_1 = 2,6 \text{ MJ} = 2,6 \times 10^6 \text{ J}$; $f = 3,37 \times 10^{-2} \text{ THz} = 3,37 \times 10^{-2} \times 10^{12} \text{ Hz} = 3,37 \times 10^{10} \text{ Hz}$;

$U_0 = 3 \text{ kV} = 3 \times 10^3 \times 10^6 \mu\text{V} = 3 \times 10^9 \mu\text{V}$.

LETTRES GRECQUES UTILES EN PHYSIQUE-CHIMIE

Symbole	α	β	γ	Δ	δ	ϵ	θ	λ	μ	ν	π	ρ	Σ	σ	φ	χ	ω
Nom	alpha	bêta	gamma	Delta	delta	epsilon	thêta	lambda	mu	nu	pi	rhô	Sigma	sigma	phi	khi/chi	oméga



lelivrescolaire.fr

Éditeur de manuels scolaires collaboratifs et innovants

PHYSIQUE CHIMIE 1^{re}



PEFC™

10-32-2813

Certifié PEFC

Ce livre est issu
de forêts gérées
durablement et de
sources contrôlées.

pefc-france.org



Sous la coordination de

Lionel Douthe et Baptiste Fray, académie de Lyon

Notre comité scientifique

Pascal Bellanca-Penel, Docteur en histoire des sciences, chercheur associé (Université Claude Bernard, Lyon 1) et professeur au lycée La Martinière Montplaisir (69)

Frédéric Bouquet, Enseignant-chercheur (Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud (91))

Joël Chevrier, Docteur en Physique, Enseignant-chercheur (Université Grenoble Alpes (38)) en délégation au CRI Paris (Université Paris Descartes)

Évelyne Excoffon, IA-IPR, Académie de Grenoble (38)

Éric Freyssingeas, Docteur en Physique, Maître de conférences (ENS de Lyon (69))

Stéphanie Larbaud, Enseignante en classes préparatoires (lycée Champollion (38))

Karen Longa, faisant fonction d'IA-IPR, Académie d'Amiens (60)

Pia Sanchez, Enseignante en classes préparatoires (lycée Assomption-Bellevue (69))



... ont participé à l'écriture de cette collection de *Physique-Chimie* !

Académie d'Aix-Marseille

Sylvain Beaufils, professeur agrégé, lycée Antonin Artaud (13)

Académie d'Amiens

Jérémy Auffret, professeur agrégé, lycée Jules Uhry (60)

Frédérique Chesnais, professeure certifiée, collège Jacques Monod (60)

Olivier Chesnais, professeur agrégé, collège Abel Didelet (60)

Sébastien Ferron, professeur certifié, collège du Servois (60)

Jean-Baptiste Serein, professeur certifié, lycée Jules Uhry (60)

Académie de Bordeaux

Nathalie Lasaga, professeure certifiée, collège Jean Cassaigne (40)

Laure Monsignac, professeure certifiée, lycée St-John Perse (64)

Jessica Vierge, professeure certifiée, lycée Jeanne d'Arc (64)

Académie de Caen

Philippe Comte, professeur certifié, lycée Marie-Immaculée (61)

Académie de Clermont-Ferrand

Nathalie Bernaud, professeure certifiée, lycée Notre-Dame du Château (43)

Élodie Maniouloux, professeure certifiée, lycée Notre Dame du Château (43)

Académie de Créteil

Nelly Arrivé-Bernier, professeure certifiée, lycée Condorcet (94)

Guillaume Danoy, professeur certifié, lycée Jacques Brel (93)

Esther Decante, professeure certifiée, lycée Sonia Delaunay (77)

Vincent Etienne, professeur agrégé, lycée Condorcet (93)

Cyril Gaillard, professeur agrégé, lycée de la Mare Carrée (77)

Mégane Hélye, professeure certifiée, lycée Jean Zay (93)

Mathilde Hursin, professeure agrégée, lycée d'Arsonval (94)

Aymeric Jacob, professeur certifié, lycée André Boulloche (93)

Yoann La Porta, professeur certifié, collège les Blés d'or (77)

Julien Leroux, professeur certifié, collège Arthur Chaussy (77)

Claire Loubière, professeure certifiée, Lycée Émilie Brontë (77)

Émilie Puch, professeure certifiée, lycée Clément Ader (77)

Vincent Rassineux, professeur agrégé, lycée Léonard de Vinci (77)

Julien Roubin, professeur certifié, collège Lucie Aubrac (93)

Mélanie Ségard-Lebeau, professeure certifiée, lycée Bossuet (77)

Académie de Dijon

Claire Abderrahmen, professeure agrégée, lycée Jacques Amyot (89)

Marie de Seroux, professeure agrégée, collège Saint-Sacrement (71)

Stéphane Mogenier, professeur certifié, lycée Catherine et Raymond Janot (89)

François Testa, professeur certifié, lycée Louis Davier (89)

Académie de Grenoble

Pascal Doumon, professeur certifié, collège Stendhal (38)

Académie de La Réunion

Emmanuel Rivière, professeur certifié, collège Les Deux Canons (97)

Académie de Lille

Kévin Le Guilloux, professeur certifié, lycée Edmond Labbé (59)

Sophie Vanderbecq, professeure certifiée, lycée Notre-Dame des Anges (59)

Académie de Limoges

Boris Duniau, professeur certifié, lycée Bernart de Ventadour (19)

Académie de Lyon

Antoine Acker, professeur certifié, lycée Ampère (69)

Juliane Berthiau, professeure certifiée, collège Henri Longchambon (69)

Bruno Etcheverry, professeur agrégé, ENS de Lyon (69)

Jérémy Ferrand, professeur agrégé, ENS de Lyon (69)

François Giraud, professeur certifié, lycée La Mache (69)

Christel Gozzi, Enseignante-chercheuse, CPE Lyon (69)

Emmeline Ho, professeure agrégée, Centrale Lyon (69)

Aude Leray, professeure certifiée, lycée Aux Lazaristes (69)

Mickaël Lespinasse, professeur, CCM Lyon (69)

Denis Marchal, professeur certifié, lycée Jean Perrin (69)

Arnaud Moreton, professeur agrégé, lycée-Frédéric Fays (69)

Académie de Montpellier

Denis Ballini, professeur agrégé

Stéphane Bonnaud, professeur agrégé, lycée François Arago (66)

Thierry Devillière, professeur certifié (30)

Académie de Nancy-Metz

David Berhault, professeur agrégé, EREA François-Richard Joubert (54)

Florence Deneuve, professeure certifiée, lycée Alfred Kastler (55)

Académie de Nantes

Timothé Hecquet, professeur certifié

Aline Mariel, professeure certifiée, collège Immaculée Conception (49)

Raphael Mégrier, professeur certifié, collège Grand Air (44)

Anne Merceron, professeure agrégée, lycée Notre-Dame (49)

Pierre Pecorella, professeur certifié, collège Pierre Norange (44)

Académie de Nice

Anne Mingalon, professeure certifiée, collège Joseph Pagnol (06)

Académie d'Orléans-Tours

Pierre Aranaz, professeur certifié, lycée Durzy (45)

Académie de Paris

Sandrine Ballenghien, professeure certifiée, lycée Jules Ferry (75)

Marie-Camille Coudert, professeure agrégée, lycée Rocroy St-Vincent de Paul (75)

Pauline Dujon, professeure agrégée, lycée Henri Bergson (75)

Erwann Gilles, professeur agrégé, collège Lucie Aubrac (75)

Pascale Kummer, maître de conférences, Sorbonne Université (75)

Nathan Lardier, professeur agrégé (75)

Damien Scimeca, professeur certifié, lycée Ste-Ursule (75)

Isaac Theurkauff, professeur agrégé, lycée Claude Bernard (75)

Coralie Westra, professeure certifiée, collège Beaumarchais (75)

Académie de Poitiers

Charles Marcotte, professeur certifié, lycée Bellevue (17)

Florence Raffin, professeure certifiée, lycée Maurice Genevoix (79)

Académie de Reims

Mohamed Abouda, professeur certifié, collège Saint Joseph (51)

Julien Fossier, professeur agrégé, lycée Marie de Champagne (10)

Bastien Juge, professeur certifié, collège Saint Joseph (10)

Beata Radilla, professeure certifiée, lycée Frédéric Ozanam (51)

Académie de Rennes

Bleuenn Le Bris, professeure certifiée, lycée naval (29)

Académie de Strasbourg

Morgane Devleeschauwer, professeure, lycée Episcopal St-André (68)

Académie de Versailles

Émeline Alvarez, professeure certifiée, lycée Notre-Dame (92)

Éric André, enseignant-chercheur, université Paris-Sud (91)

Julien Demigny, professeur, lycée Notre-Dame Les Oiseaux (78)

Imène Dkhil, professeure, collège Jean Etienne Guettard (91)

Sarah Fiquet, professeure certifiée, lycée Simone de Beauvoir (95)

Marjolaine Gras, professeure certifiée, collège Émile Verhaeren (92)

Aurélien Hibert, professeure certifiée, lycée Ste-Thérèse (78)

Nathalie Leclercq Magois, professeure certifiée, lycée St-Martin de France (95)

Laurence Leloup, professeure certifiée, lycée Notre-Dame (92)

Malika Lounes, professeure, lycée Jeanne d'Arc (92)

Odile Nadal, professeure certifiée, collège Pierre Ronsard (91)

Thomas Nadon, professeur certifié, lycée de la Tourelle (95)

Marine Nicolet, professeure agrégée, lycée Auguste Renoir (92)

Geneviève Ponsonnet, professeure agrégée, lycée Blaise Pascal (91)

Lucy Sauvard, professeure agrégée, lycée La Plaine de Neauphle (78)

Nicolas Vendasi, professeur certifié, lycée St Louis St Clément (91)

Reste du monde

Vincent Aimé, professeur certifié, lycée français international de Tokyo (Japon)

Chloé Balavoine, professeure certifiée, lycée français de Bali (Indonésie)

Anthony Bourgeois, professeur agrégé, lycée français Vincent Van Gogh (La Haye, Pays-Bas)

Céline Brégère, professeure certifiée, lycée français Jean Mermoz de Dakar (Sénégal)

Julien Broilliard, professeur certifié, lycée français de Valparaíso (Chili)

Gilles Burtz, professeur agrégé, lycée Blaise Pascal d'Abidjan (Côte d'Ivoire)

Barbara Burtz-Gille, professeure certifiée, lycée Blaise Pascal (Abidjan, Côte d'Ivoire)

Jocelin Devalette, professeur certifié, lycée français de Tananarive (Madagascar)

Tadjou Do Régé, professeur certifié, CEG Gbédodé Houndjava, Pahou (Bénin)

Sylvain Euillet, professeur certifié, lycée Descartes de Rabat (Maroc)

Myrtille Gardet, professeure agrégée, lycée Claudel d'Ottawa (Canada)

Antoine Martinet, professeur certifié, lycée français Jules Verne (Guatemala-Ville, Guatemala)

Julien Nivière, professeur, lycée français de Berlin (Allemagne)

Jean Saillard, professeur certifié, lycée International de Londres Winston-Churchill (Wembley, Royaume-Uni)

Thomas Serandon, professeur agrégé, lycée français de New York (États-Unis)

Véronique Tourbillon, professeure certifiée, lycée français de Phnom Penh (Cambodge)

1

Constitution et transformations de la matière

Constitution de la matière

1 Composition chimique d'un système p. 14

- > Masse molaire atomique d'un élément.
- > Masse molaire d'une espèce.
- > Volume molaire d'un gaz.

JEU SÉRIEUX Autour d'une prescription médicale p. 29

2 Composition chimique des solutions p. 30

- > Concentration en quantité de matière.
- > Absorbance, spectre d'absorption, couleur d'une espèce en solution, loi de Beer-Lambert.

CLASSIC INVERSE Activité numérique p. 47

3 Évolution d'un système chimique p. 48

- > Évolution des quantités de matière.
- > Tableau d'avancement, avancement final, avancement maximal.
- > Transformations totale et non totale.
- > Mélanges stœchiométriques.

CLASSIC INVERSE Tableau d'avancement en autonomie p. 65

4 Réactions d'oxydoréduction p. 66

- > Transformation modélisée par une réaction d'oxydoréduction: oxydant, réducteur, couple oxydant-réducteur, demi-équation électronique.

HISTOIRE DES SCIENCES Une brève histoire des piles p. 83

5 Détermination d'une quantité de matière par titrage p. 84

- > Titrage avec suivi colorimétrique.
- > Réaction d'oxydoréduction support du titrage.
- > Définition et repérage de l'équivalence.

JEU SÉRIEUX Réaliser un dosage p. 101

Livret BAC (chapitres 1 à 5) p. 102

MÉTHODE

- > Méthodologie p. 383
- > Outils mathématiques p. 385
- > Fiches pratiques p. 390
- > Fiches outils mathématiques **Numérique**

 Retrouver plus de fiches méthode en ligne sur LLS.fr/PC1Methode

Modélisation des transformations

6 De la structure à la polarité d'une entité p. 110

- > Schéma de Lewis d'une molécule, d'un ion, lacune électronique.
- > Géométrie des entités.
- > Polarisation d'une liaison, polarité d'une entité moléculaire.

CLASSIC INVERSE Plan de travail p. 129

7 Interpréter les propriétés d'une espèce chimique p. 130

- > Cohésion dans un solide.
- > Modélisation des interactions entre entités.
- > Solubilité dans un solvant et extraction par un solvant.
- > Miscibilité de deux liquides.
- > Hydrophilie/lipophilie/amphiphilie d'une espèce chimique.

JEU SÉRIEUX Intrusion au laboratoire p. 149

8 Structure des entités organiques p. 150

- > Formules brutes et semi-développées.
- > Squelettes carbonés saturés, groupes caractéristiques et familles de composés.
- > Lien entre le nom et la formule semi-développée.
- > Identification des groupes par spectroscopie infrarouge.

CLASSIC INVERSE Molécules organiques en autonomie p. 169

9 Synthèse d'espèces chimiques organiques p. 170

- > Étapes d'un protocole.
- > Rendement d'une synthèse.

HISTOIRE DES SCIENCES La sérendipité en chimie p. 187

10 Conversions d'énergie au cours d'une combustion p. 188

- > Combustibles organiques usuels.
- > Modélisation d'une combustion par une réaction d'oxydo-réduction.
- > Énergie molaire de réaction ($\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$), pouvoir calorifique ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$), énergie libérée lors d'une combustion (J).
- > Interprétation microscopique des combustions.
- > Combustions et enjeux sociétaux.

JEU SÉRIEUX Accident industriel p. 207

Livret BAC (chapitres 6 à 10) p. 208



2 Mouvement et interactions

11 Modélisation d'interactions fondamentales p. 214

- › Charge électrique, interaction électrostatique, influence électrostatique, loi de Coulomb.
- › Force de gravitation et champ de gravitation.
- › Force électrostatique et champ électrostatique.

CLASSE INVERSEE Les interactions fondamentales p. 233

Livret **BAC** (chapitres 11 à 13) p. 272

12 Description d'un fluide au repos p. 234

- › Échelles de description, interprétation macroscopique (pression, température), modèle comportement des gaz, loi de Mariotte (pression/volume), relation force/pression/surface, loi fondamentale hydrostatique.

AROUND Loi de Mariotte et microcontrôleurs p. 253

13 Mouvement d'un système p. 254

- › Lien entre force appliquée et variation du vecteur vitesse.

PYTHON La variation du vecteur vitesse p. 271

3 L'énergie : conversions et transferts

14 Études énergétiques en électricité p. 278

- › Lien entre intensité d'un courant continu et débit de charges.
- › Modèle d'une source réelle de tension continue.
- › Puissance et énergie, bilan de puissance dans un circuit.
- › Effet joule, cas des dipôles ohmiques.
- › Rendement d'un convertisseur.

CLASSE INVERSEE La notion de puissance électrique p. 295

Livret **BAC** (chapitres 14 à 15) p. 316

15 Études énergétiques en mécanique p. 296

- › Énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel.
- › Travail d'une force, expression dans le cas d'une force constante.
- › Théorème de l'énergie cinétique.
- › Forces conservatives, énergie potentielle.
- › Forces non conservatives: exemple des frottements.
- › Énergie mécanique.
- › Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique.

CLASSE INVERSEE Découvrir l'énergie mécanique p. 315

4 Ondes et signaux

16 Ondes mécaniques p. 320

- › Onde mécanique progressive, grandeurs physiques associées.
- › Célérité d'une onde, retard.
- › Ondes mécaniques périodiques, ondes sinusoïdales.
- › Relation entre période, longueur d'onde et célérité.

PYTHON Traitement des incertitudes p. 339

17 Images et couleurs p. 340

- › Relation de conjugaison d'une lentille mince convergente, grandissement.
- › Image réelle, image virtuelle, image droite, image renversée.
- › Couleur des objets, synthèse additive, synthèse soustractive.
- › Vision des couleurs et trichromie.

CLASSE INVERSEE Plan de travail p. 359

18 Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière p. 360

- › Domaines des ondes électromagnétiques.
- › Relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence.
- › Le photon, énergie d'un photon.
- › Interaction lumière-matière : absorption et émission.
- › Quantification des niveaux d'énergie des atomes.

HISTOIRE DES SCIENCES La nature de la lumière en débat p. 377

Livret **BAC** (chapitres 16 à 18) p. 378

FIN Corrigés p. 398

Index p. 415

Bienvenue dans votre manuel de Physique-Chimie !

En début de thème :



Une ouverture de thème :

- des suggestions d'orientation pour la classe de terminale et dans le supérieur ;
- plusieurs cursus (licence, DUT, etc.) expliqués pour la poursuite d'études scientifiques ;
- le tableau résumant les principales **compétences** traitées dans les chapitres du thème.



Retrouvez dans chaque chapitre :



Une ouverture du chapitre :

- un encadré **Esprit scientifique** ou **Déconstruire les idées fausses** pour s'interroger sur les conceptions initiales ;
- une problématique résolue par les activités et un exercice dédié ;
- des suggestions de ressources pour travailler **en pédagogie innovante** tout ou une partie du chapitre ;
- un **QCM diagnostique numérique** pour tester les prérequis du chapitre ;
- le détail des savoir-faire du chapitre.

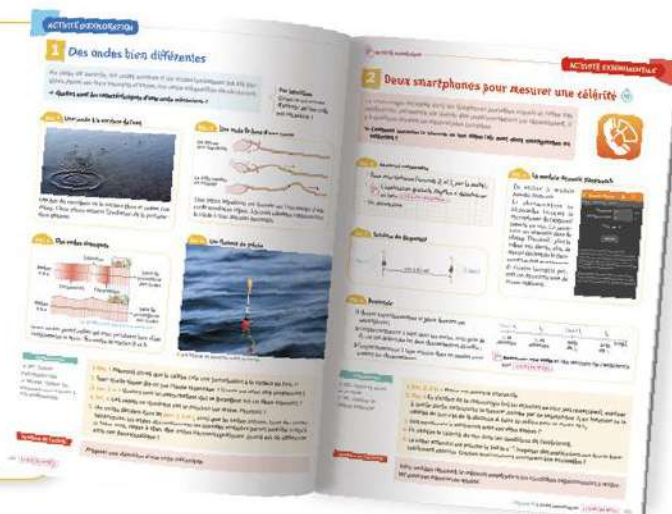
Travailler autrement

ACTIVITÉ D'EXPLORATION

ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Des activités expérimentales et d'exploration :

- un encart **Par intuition** ou **Une opinion ?** accompagne l'introduction de l'activité pour interroger les *a priori* avant la réalisation de l'activité ;
- des propositions d'activité avec des langages de programmation (Python, Arduino) ou le smartphone ;
- des **compétences** explicites en regard du questionnement ;
- une **synthèse** en fin de chaque activité pour faire un bilan des savoirs et des savoir-faire introduits et amorcer la transition vers le cours.



Un cours synthétique et illustré :

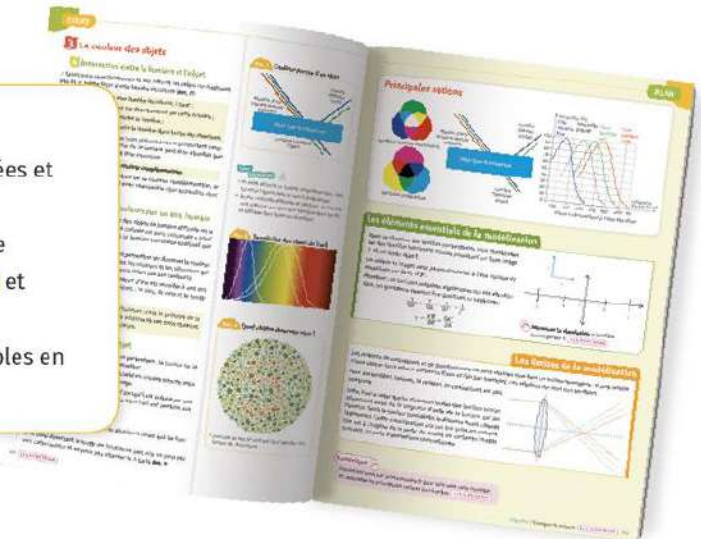
- des encarts avec l'essentiel du cours ;
- des images et des schémas pour expliciter les principales notions ;
- plusieurs rubriques pour faciliter l'acquisition du **vocabulaire**, éviter les **malentendus** fréquents et proposer des **exercices d'applications**.



BILAN

Une page Bilan pour :

- retrouver les principales notions du cours illustrées et résumées pour faciliter leur appropriation ;
- une attention spécifique est portée sur le modèle introduit pour interroger **les éléments essentiels** et **ses limites** ;
- des compléments **numériques** enrichis disponibles en ligne pour faciliter la remédiation.



PYTHON

ARDUINO

JEU SÉRIEUX

CLASSE INVERSÉE

HISTOIRE DES SCIENCES

Travailler autrement

Une page **Travailler autrement** en fin de chapitre :

- des pistes de travail pour aborder le chapitre avec un **jeu sérieux** sur genially, un **TP virtuel interactif**, des modules de **classe inversée** accompagnés de capsules vidéo, de l'**histoire des sciences** ou des TP pour apprendre à utiliser le langage de programmation **Python** et le microcontrôleur **Arduino** ;
- un **LABO D'ALGO** pour coder en ligne sur livelivrescolaire.fr ;
- de nombreuses ressources numériques supplémentaires.

Numérique



Des centaines d'exercices pour s'entraîner !

QCM

Une page QCM après chaque bilan :

- un **QCM formatif** avec un **prolongement numérique** pour faciliter le travail en autonomie grâce à l'autocorrection et à des exercices supplémentaires ;
- en bonus, des questions **jeopardy** pour retrouver la question posée à une réponse donnée et développer l'esprit de déduction.

A

B

C



Pour s'échauffer

Pour commencer

Des exercices pour acquérir les notions essentielles du cours :

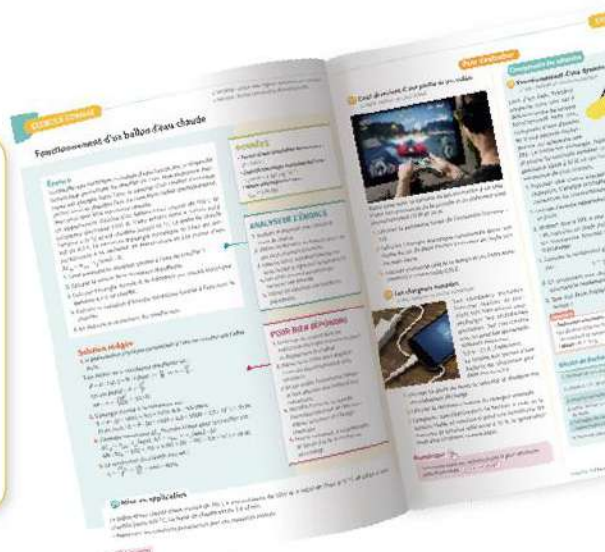
- un **Parcours d'apprentissage** fléchant les exercices corrigés à la fin du manuel et permettant un apprentissage en autonomie centré sur les savoir-faire clés du chapitre ;
- des exercices classés par notions et reprenant les principales parties du cours ;
- des exercices de **DIFFÉRENCIATION** pour approfondir un savoir-faire spécifique avec trois niveaux de difficulté.

EXERCICE CORRIGÉ

Exercice corrigé :

- un exercice type proposé à partir de situations concrètes, avec :
 - l'**analyse de l'énoncé** pour apprendre à décoder les questions ;
 - des **conseils** indiquant les principaux points de vigilance dans la formulation des réponses (présentation du résultat, erreurs courantes, unités, etc.) ;
 - la **solution rédigée** et détaillée ;
- un exercice de mise en application pour réinvestir la méthodologie présentée.

Numérique



Pour s'entraîner

Pour progresser, des exercices pour s'entraîner :

- pour travailler plusieurs notions et différents savoir-faire simultanément ;
- plusieurs exercices spécifiques :
 - un exercice **Comprendre les attendus** avec un barème détaillé pour chaque question ;
 - une **Copie d'élève à commenter** pour identifier et analyser les erreurs les plus fréquemment commises ;
 - en bonus, un QCM complexe pour s'entraîner à un format présent dans différents concours.

- des exercices **Pour aller plus loin** pour approfondir les notions centrales et proposer une ouverture vers les classes supérieures ;
- des **Problèmes à résoudre** pour travailler la démarche de résolution ;
- **Le retour sur la problématique du chapitre** pour clore le chapitre en répondant à la situation problème initiale.

Nouveau **BAC**

Un Livret Bac à la fin de chaque thème :

- un exercice corrigé pour revoir la méthode nécessaire à la résolution d'exercice avec une solution détaillée entièrement rédigée ;
- plusieurs sujets type Bac pour s'entraîner aux épreuves de contrôle continu.

Pour une approche par compétences efficace, ce référentiel propose un nombre restreint de capacités. Deux compétences s'ajoutent aux classiques RAISONNER, ANALYSER, s'APPROPRIER, RÉALISER, VALIDER et COMMUNIQUER : les compétences MODÉLISER et utiliser les MATHÉMATIQUES. Cette proposition de travail par compétences a pour but de :

- ♦ favoriser un travail de fond tout au long de l'année ;
- ♦ proposer un référentiel pragmatique pouvant être mis en place facilement.

INDICATEUR DE MAÎTRISE		ch. 1	ch. 2	ch. 3	ch. 4	ch. 5	ch. 6
		p. 14	p. 30	P. 48	p. 66	p. 84	p. 110
APP	Faire un brouillon comprenant un schéma, données et notions Extraire l'information utile sur supports variés				✓		
APP	Maîtriser le vocabulaire du cours (fiche de vocabulaire)				✓		✓
APP	Formuler une problématique (observable) ou le résultat attendu (hypothèse, etc.)/Identifier le paramètre de travail		✓			✓	
RAI/ANA	Choisir/Élaborer/Justifier un protocole						
RAI/ANA	Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques						
RAI/ANA	Construire un raisonnement, communiquer sur le chemin de résolution/Utiliser des données pertinentes pour répondre à une problématique		✓				
RAI/ANA	Associer les unités de mesure à leurs grandeurs correspondantes/Utiliser une analyse dimensionnelle	✓					
REA	Mettre en œuvre un protocole					✓	
REA	Effectuer des mesures/acquérir des données grâce à des capteurs		✓				
REA	Agir de façon responsable/respecter les règles de sécurité						
RAI/MOD	Modéliser une transformation chimique/physique : écrire l'équation/l'ajuster/décrire l'état initial et l'état final			✓	✓		
RAI/MOD	La quantité de matière	✓		✓		✓	
RAI/MOD	Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie : discerner ressource et énergie/source et transfert/faire une chaîne d'énergie/appliquer le principe de conservation de l'énergie						
RAI/MOD	Respecter les conventions en chimie (et en chimie organique)						✓
RAI/MOD	Faire le bilan de forces						
VAL	Précision et incertitudes/chiffres significatifs/identifier et évaluer les sources d'erreur					✓	
VAL	Traiter/exploiter/modéliser numériquement un ensemble de mesures						
VAL	Évaluer et connaître des ordres de grandeurs	✓					
VAL	Analyser un résultat numérique : valeur/unité/chiffres significatifs/analyse comparative		✓	✓			
COM	Compte rendu écrit avec un vocabulaire scientifique rigoureux					✓	✓
MATH	Utiliser un langage de programmation			✓			
MATH	Calcul littéral (résoudre une équation)	✓					
MATH	Vecteurs, produit scalaire						
MATH	Utiliser des outils mathématiques : valeur absolue/grandeurs algébriques/fonction périodique ou affine						

Thème 1 : Constitution et transformations de la matière

Cette proposition fonctionne sur la mobilisation d'une même capacité dans trois chapitres au moins, avec un focus de quatre capacités maximum par chapitre pour permettre leur mise en œuvre effective. L'approche par compétence s'appuie sur un travail de remédiation. Dans ce but, une fiche méthode disponible en ligne et téléchargeable au format pdf a été élaborée pour chaque capacité mobilisée.

Numérique

Retrouvez toutes les fiches méthode compétences sur

[LLS.fr/PC1Methode](https://lls.fr/PC1Methode).

ch. 7	ch. 8	ch. 9	ch. 10		ch. 11	ch. 12	ch. 13		ch. 14	ch. 15		ch. 16	ch. 17	ch. 18
p. 130	p. 150	p. 170	p. 188		p. 214	p. 234	p. 254		p. 278	p. 296		p. 322	p. 340	p. 360
	✓			Thème 2 : Mouvement et interactions				Thème 3 : L'énergie : conversions et transferts			Thème 4 : Ondes et signaux		✓	
	✓		✓									✓		
												✓		
✓		✓										✓		
✓			✓						✓					
					✓								✓	
										✓				✓
✓		✓				✓								
		✓	✓						✓					
		✓												
	✓	✓				✓	✓			✓		✓		
						✓	✓			✓				
			✓						✓					✓
✓							✓			✓			✓	
					✓					✓		✓		
					✓		✓		✓			✓		

Constitution de la microscopique et

Parcours d'orientation - Études de médecine

Spécialités suggérées en terminale :



+



ou



Maths complémentaires
OU Maths expertes

À la découverte de ce cursus

LE PORTAIL SANTÉ (REPLACE LA PACES À PARTIR DE LA RENTRÉE 2020)

Lieu : Université **Durée de la formation :** entre 3 et 12 ans selon le parcours

Le portail santé a pour objectif de former de futurs étudiants aux métiers de la santé, tout leur en offrant des passerelles vers d'autres formations. Une réforme des études de santé est en cours, elle entrera en vigueur à la rentrée 2020. Les caractéristiques suivantes sont estimées à partir des informations disponibles en avril 2019.

CARACTÉRISTIQUES DE LA FORMATION

- ♦ Taux d'encadrement
- ♦ Spécialisation
- ♦ Professionnalisation
- ♦ Passerelles possibles

FILIÈRES DE LA SANTÉ

- ♦ Kinésithérapie (bac +5) : à découvrir sur [LLS.fr/PC1Kine](https://lls.fr/PC1Kine)
- ♦ Odontologie (bac +6) : à découvrir sur [LLS.fr/PC1Oonto](https://lls.fr/PC1Oonto)
- ♦ Pharmacie (bac +6) : à découvrir sur [LLS.fr/PC1Pharmacie](https://lls.fr/PC1Pharmacie)
- ♦ Médecine (bac +9 et plus) : à découvrir sur [LLS.fr/PC1Medecine](https://lls.fr/PC1Medecine)

matière à l'échelle macroscopique

Compétences



Retrouver les fiches méthode compétences sur lelivrescolaire.fr LLS.fr/PC1Methode.

INDICATEUR DE MAÎTRISE		chap. 1	chap. 2	chap. 3	chap. 4	chap. 5
APP	Faire un brouillon comprenant schéma, données et notions Extraire l'information utile sur supports variés				✓	
APP	Maîtriser le vocabulaire du cours				✓	
APP	Formuler une problématique ou le résultat attendu Identifier le paramètre de travail		✓			✓
RAI/ ANA	Construire un raisonnement, communiquer sur le chemin de résolution Utiliser des données pertinentes pour répondre à une problématique		✓			
RAI/ ANA	Associer les unités de mesure à leurs grandeurs correspondantes Utiliser une analyse dimensionnelle	✓				
REA	Mettre en œuvre un protocole					✓
REA	Effectuer des mesures/acquérir des données grâce à des capteurs		✓			
RAI/ MOD	Modéliser une transformation chimique/physique : écrire l'équation/ l'ajuster/ décrire l'état initial et l'état final			✓	✓	
RAI/ MOD	Utiliser la quantité de matière	✓		✓		✓
VAL	Précision et incertitudes/chiffres significatifs/identifier et évaluer les sources d'erreur					✓
VAL	Évaluer et connaître des ordres de grandeurs	✓				
VAL	Analyser un résultat numérique : valeur/unité/chiffres significatifs/analyse comparative		✓	✓		
COM	Compte rendu écrit avec un vocabulaire scientifique rigoureux					✓
MATH	Utiliser un langage de programmation			✓		
MATH	Calcul littéral (résoudre une équation)	✓				

Composition chimique d'un système

ESPRIT SCIENTIFIQUE



Giovanni Tiepolo, *Le Banquet de Cléopâtre*, v. 1743-1744.

➤ Est-il possible de retrouver des molécules d'eau du verre de Cléopâtre dans un verre d'eau à la cantine du lycée aujourd'hui ?

→ voir l'exercice 37, p. 28

Travailler

autrement

JEU SÉRIEUX

La vitamine D3 permet l'absorption du calcium et du phosphore dans le corps. On la retrouve notamment dans certains produits d'origine animale. Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour aider une patiente présentant une carence en vitamine D3 à résoudre son souci de santé.

LLS.fr/PC1P14

Voir p. 29





Décollage de la fusée Ariane 5 à Kourou en Guyane, le 18 décembre 2004

Pour leur propulsion, les fusées utilisent la combustion du dihydrogène grâce au le dioxygène. Ces réactifs sont stockés sous forme liquide avant la réaction de combustion.

→ **À son décollage, une fusée emporte-t-elle la même quantité de dioxygène que de dihydrogène ?**

→ voir l'exercice 39, p. 28

À revoir pour bien commencer

- › La quantité de matière
- › La masse volumique

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P15

Objectifs du chapitre

- ☐ Calculer la masse molaire d'une entité chimique
- ☐ Calculer une quantité de matière à partir d'une masse d'entité chimique
- ☐ Calculer une quantité de matière à partir d'un volume de gaz
- ☐ Déterminer la composition permettant la description d'un système chimique

1 Les gaz en chimie analytique

Les machines analytiques actuelles utilisent des gaz inertes contenus dans des bouteilles sous pression.

→ Quel lien existe-t-il entre le volume et la quantité de matière d'un gaz ?

Une opinion ?

Y a-t-il la même quantité de gaz dans une bouteille de 20 L de dioxygène et dans une bouteille de 20 L d'hélium ?

Doc. 1 La chimie analytique

La chimie analytique s'intéresse à la caractérisation et la quantification des entités chimiques présentes dans un mélange. Elle est notamment utilisée en recherche et développement, et en contrôle qualité dans l'industrie.

Elle utilise des méthodes et techniques très diverses allant d'une simple mesure d'acidité à une mesure à l'aide d'une spectrométrie en fluorescence X (sous atmosphère d'argon), ou encore d'une chromatographie en phase gazeuse (sous atmosphère d'hélium).



Appareil de chromatographie en phase gazeuse.

Donnée

• Constante d'Avogadro (nombre d'entités par mole) :

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

Numérique

Découvrez la séparation des différents constituants de l'air en vidéo. [LLS.fr/PC1P16](https://lls.fr/PC1P16)

Doc. 2 La distillation des gaz de l'atmosphère

La distillation cryogénique est réalisée sur un gaz liquéfié. En réchauffant progressivement ce gaz et en jouant sur les températures d'ébullition différentes, ses différents composants sont séparés. [...] Elle est utilisée pour la séparation des composants de l'air.

D'après Wikipedia

Les gaz sont ensuite conditionnés dans des bouteilles de différents volumes. Pour la chimie analytique, ce sont généralement des bouteilles de capacité de $2,3 \text{ m}^3$. La capacité d'une bouteille est le volume de gaz contenu à la pression $P = 1,013 \text{ bar}$ et à la température $T = 15^\circ \text{C}$.

Doc. 3 Données caractéristiques de gaz

Gaz	Hélium (He)	Argon (Ar)	Diazote (N_2)
Masse d'une entité (g)	$6,646 \times 10^{-24}$	$6,636 \times 10^{-23}$	$4,652 \times 10^{-23}$

Masse de gaz dans une bouteille de capacité de $2,3 \text{ m}^3$:

- $m(\text{He}) = 0,389 \text{ kg}$;
- $m(\text{Ar}) = 3,888 \text{ kg}$;
- $m(\text{N}_2) = 2,725 \text{ kg}$.

Compétences

- ✓ RAI/ANA : Associer les unités de mesure à leurs grandeurs correspondantes
- ✓ RAI/MOD : La quantité de matière

Synthèse de l'activité

1. Proposer une hypothèse, en réponse à la problématique posée en introduction.
2. **Doc. 3** Déterminer le nombre d'atomes ou de molécules, puis la quantité de matière de chacun de ces gaz dans une bouteille d'une capacité de $2,3 \text{ m}^3$.
3. L'hypothèse proposée est-elle validée ?
4. Le volume molaire V_m est le volume d'une mole de gaz. Déterminer sa valeur dans les conditions $T = 15^\circ \text{C}$ et $P = 1,013 \text{ bar}$.

Donner la relation mathématique liant la quantité de matière de gaz n_{gaz} , le volume de gaz V_{gaz} et le volume molaire V_m .

2 Fabriquer une lampe à lave 90'

La quantité de matière est une donnée essentielle pour le chimiste. Au laboratoire, la mesure de cette grandeur n'est pas directe.

→ **Comment déterminer expérimentalement la quantité de matière d'un solide ou d'un liquide ?**

Par intuition

Quelle grandeur physique mesurable permet d'accéder à la quantité de matière d'un échantillon ?

Doc. 1 La masse molaire

La masse molaire d'une entité chimique est définie par la masse d'une mole de cette entité. On la note $M(\text{espèce})$ ou $M_{\text{espèce}}$, elle a pour unité le $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Pour chaque élément chimique, sa valeur est indiquée dans le tableau périodique des éléments (voir le rabat de fin).

La masse molaire d'une entité polyatomique correspond à la somme des masses molaires de chaque élément chimique qui la compose. Par exemple, pour l'eau, on obtient :

$$M_{\text{eau}} = M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \times M(\text{H}) + 1 \times M(\text{O}) = 2 \times 1,0 + 1 \times 16,0 \text{ soit } M_{\text{eau}} = 18,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}.$$

Doc. 2 Expérience 1 : relation entre n et m

Voici un tableau présentant pour différents volumes considérés les quantités d'huile de colza correspondantes.

V_{huile} (en mL)	10	20	30	40	50
n_{huile} (en mmol)	10,4	20,8	31,2	41,6	52,0
m_{huile} (en g)					

Numérique

Retrouvez la description du principe de la lampe à lave en vidéo. [LLS.fr/PC1P17](https://lls.fr/PC1P17)

Données

- Formule brute du bicarbonate de sodium : NaHCO_3 ;
- Formule brute du composé majoritaire de l'huile de colza : $\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$;
- Masse volumique de l'huile de colza :
 $\rho_{\text{huile colza}} = 0,92 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$;
- Masse molaire du composé majoritaire de l'huile de colza :
 $M_{\text{huile colza}} = 884 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Doc. 3 Expérience 2 : l'éruption colorée

1. Verser 0,143 mol de bicarbonate de sodium au fond d'un verre de 25 cl.
2. Ajouter $9,34 \times 10^{-2}$ mol d'huile de colza.
3. Verser dans un second verre quelques gouttes d'un colorant alimentaire et du vinaigre blanc. Réaliser autant de solutions de vinaigre qu'il y a de colorants alimentaires différents.
4. Verser quelques gouttes de la solution de vinaigre blanc au-dessus de l'huile.
5. Laisser le vinaigre tomber au fond du verre.

Compétences

- ✓ VAL : Précision et incertitudes
- ✓ RÉA : Effectuer des mesures

1. **Doc. 1** Retrouver par calcul la masse molaire du composé majoritaire de l'huile de colza.
2. **Doc. 1** Calculer la masse molaire du bicarbonate de sodium.
3. **Doc. 2** Reproduire et compléter le tableau expérimental.
4. En déduire une relation mathématique associant les trois grandeurs masse m , quantité de matière n et masse molaire M .
5. **Doc. 3** Proposer un protocole scientifique précis, incluant le nom du matériel de laboratoire, de la recette initiale.
6. Après vérification par le professeur, réaliser le protocole expérimental.
7. Proposer une explication au mouvement des gouttes de vinaigre blanc.

Synthèse de l'activité

Quelle relation permet de déterminer une quantité de matière à partir de la masse d'un échantillon ?

1 La masse molaire

A De quoi s'agit-il ?

La masse molaire est la masse d'une mole d'entités chimiques (atomes, ions ou molécules) identiques. Elle est notée M et a pour unité le $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Chaque élément chimique naturel ou artificiel possède une masse molaire moyenne disponible dans le tableau périodique des éléments (voir **doc. 1** et rabat de fin).

Cette valeur est calculée à partir de la masse et de la répartition des isotopes de cet élément.

Exemple : le chlore est présent majoritairement sous deux formes isotopiques ^{35}Cl (75,8 %) et ^{37}Cl (24,2 %) : la masse molaire de l'élément Cl est alors de $35,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. On a ainsi :

$$M_{\text{Cl}} = \frac{75,8}{100} \times 35 + \frac{24,2}{100} \times 37 = 35,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Cette valeur est conforme à celle mentionnée dans le tableau périodique des éléments à retrouver sur le rabat de fin du manuel.

B Comment se calcule-t-elle ?

La masse molaire d'une entité chimique se détermine à partir des différents éléments chimiques qui la composent.

Pour les espèces chimiques monoatomiques, la masse molaire est directement celle de l'élément telle qu'indiquée dans la classification périodique des éléments.

Pour les espèces chimiques moléculaires, la masse molaire est égale à la somme des masses molaires des éléments constituant la molécule coefficientées par le nombre d'apparition de l'élément dans la molécule.

Pour les ions, la masse molaire est la même que celle de l'espèce neutre associée, la masse des électrons gagnés ou perdus étant toujours négligeable devant la masse de l'entité chimique neutre.

- $M(\text{Al}) = 27,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. La masse molaire est celle indiquée dans le tableau périodique.
- La molécule de dioxyde de carbone comporte 1 atome de carbone et 2 atomes d'oxygène :
 $M(\text{CO}_2) = M(\text{C}) + 2M(\text{O}) = 12,0 + 2 \times 16,0 = 44,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- $M(\text{Na}^+) = M(\text{Na}) = 23,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. La masse molaire d'un ion monoatomique est égale à la masse molaire de l'élément.
- $M(\text{SO}_4^{2-}) = M(\text{SO}_4) = M(\text{S}) + 4M(\text{O}) = 32,1 + 4 \times 16,0 = 96,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Remarque : Parfois, les éléments chimiques et entités chimiques peuvent être indiqués en indice et non entre parenthèses après la lettre M .

Numérique

Retrouvez une vidéo détaillant le calcul des masses molaires des espèces chimiques sur lelivrescolaire.fr. LLS.fr/PC1P18

Doc. 1 Le chlore (Cl)

Numéro atomique	→ 17	Cl	← Symbole de l'élément
Masse molaire atomique ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	→ 35,5	Chlore	← Nom

Doc. 2 La constante d'Avogadro

Cette constante correspond au nombre d'entités élémentaires qui se trouvent dans une mole de matière.

$N_A : 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Le nom de cette constante rend hommage au chimiste Amedeo Avogadro (1776-1856) pour ses travaux quantitatifs sur les gaz. Par usage, on appelle aussi cette constante le nombre d'Avogadro.



Doc. 3 Étiquette d'une bouteille d'éthanol

Éthanol, ou *ethyl alcohol*

Formule : $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$

$M = 46,07 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

$T_{\text{eb}} = 79 \text{ °C}$

$\rho = 0,789 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$



H225, P210

Pas de malentendu



- ➔ Attention à la rigueur dans l'écriture : distinguer clairement n et m , ainsi que m et M .
- ➔ Bien différencier la constante d'Avogadro N_A et le nombre d'entités $N(a)$ pour une espèce a .

2 La détermination d'une quantité de matière

➤ La quantité de matière est indispensable au chimiste pour décrire l'état d'un système chimique et expliquer son évolution. Il n'existe pas d'appareil de laboratoire permettant une mesure directe de sa valeur. Il faut donc la calculer à partir d'une autre mesure simple.

A À partir de la masse (tous les états)

➤ La quantité de matière et la masse d'une même entité chimique X sont proportionnelles entre elles, suivant la relation :

$$n(X) = \frac{m(X)}{M(X)} \text{ avec : } \begin{cases} \bullet \text{ la quantité de matière } n(X) \text{ en mol ;} \\ \bullet \text{ la masse } m(X) \text{ en g ;} \\ \bullet \text{ la masse molaire } M(X) \text{ en g}\cdot\text{mol}^{-1}. \end{cases}$$

B À partir du volume (corps pur liquide)

➤ Pour les liquides, dans le cas des corps purs, il peut être plus facile de mesurer un volume. Dans ce cas, on utilise la masse volumique du liquide. La masse d'un liquide est alors le résultat du produit $m(X) = \rho(X) \cdot V(X)$.

➤ En remplaçant dans la formule précédente, on obtient :

$$n(X) = \rho(X) \cdot \frac{V(X)}{M(X)} \text{ avec : } \begin{cases} \bullet \text{ la quantité de matière } n(X) \text{ en mol ;} \\ \bullet \text{ la masse volumique } \rho(X) \text{ en g}\cdot\text{L}^{-1} ; \\ \bullet \text{ le volume de corps pur liquide } V(X) \text{ en L ;} \\ \bullet \text{ la masse molaire } M(X) \text{ en g}\cdot\text{mol}^{-1}. \end{cases}$$

C À partir du volume (corps pur gazeux)

➤ Dans les mêmes conditions de température et de pression, une mole de gaz occupe un volume précis qui ne dépend pas de la nature du gaz considéré. Ce même volume molaire se note V_m et s'exprime en $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$. La relation est alors :

$$n(X) = \frac{V(X)}{V_m} \text{ avec : } \begin{cases} \bullet \text{ la quantité de matière } n(X) \text{ en mol ;} \\ \bullet \text{ le volume de gaz } V(X) \text{ en L ;} \\ \bullet \text{ le volume molaire } V_m \text{ en L}\cdot\text{mol}^{-1}. \end{cases}$$

Application

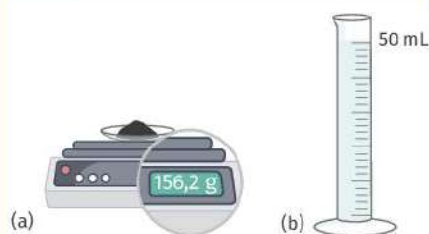
Un système chimique présente, entre autres, l'ensemble des quantités de matière de toutes les espèces chimiques. Donner la composition d'un système chimique de 3,5 g de sel (chlorure de sodium NaCl) et 4,2 g de fer.

Corrigé :

$$n_{\text{sel}} = \frac{m_{\text{sel}}}{M(\text{NaCl})} = \frac{3,5}{58,5} = 6,0 \times 10^{-2} \text{ mol ;}$$

$$n_{\text{fer}} = \frac{m_{\text{fer}}}{M(\text{Fe})} = \frac{4,2}{55,9} = 7,5 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

Doc. 4 Mesure expérimentale



➤ 2,8 mol de fer solide (a) et 2,8 mol d'eau liquide (b).

Éviter les erreurs

- Attention aux unités en chimie : la masse est en g et le volume en L.
- Attention à distinguer P pour pression et ρ pour masse volumique !

Éviter les erreurs

- La masse volumique ρ est une donnée propre à un corps pur et son unité SI est le $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Attention donc à bien identifier son unité avant de l'utiliser pour le calcul d'une quantité de matière de liquide.

Pas de malentendu

- Lorsque la pression ou la température d'un système varie, alors la valeur du volume molaire varie. Par exemple, à la même pression $P = 1,013 \text{ bar}$, le volume molaire vaut $V_m = 22,4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ à $T = 0^\circ\text{C}$ et il vaut $V_m = 24,0 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ à $T = 20^\circ\text{C}$.

Données

- $M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(\text{Fe}) = 55,9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Principales notions

Il est nécessaire d'utiliser une unité qui détermine le nombre de particules pour expliquer la constitution et l'évolution d'un système chimique : **la quantité de matière n (en mol)**.

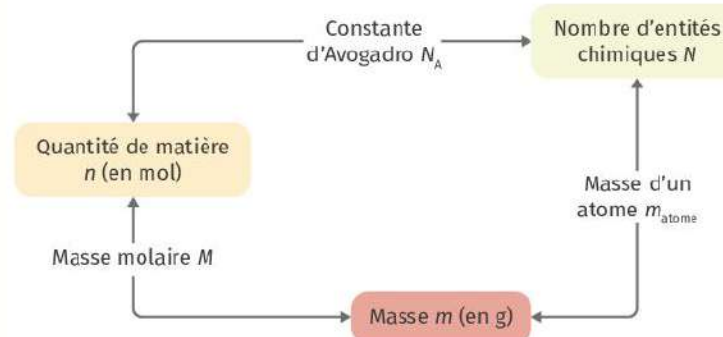
1 mole d'une entité chimique correspond à environ $6,02 \times 10^{23}$ entités chimiques.

La quantité de matière est liée à d'autres grandeurs physico-chimiques :

Pour tous les états	Pour les corps purs liquides	Pour l'état gazeux
$n = \frac{m}{M}$ m : masse de l'échantillon en g M : masse molaire en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$n = \rho \cdot \frac{V}{M}$ ρ : masse volumique en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ V : volume du liquide en L M : masse molaire en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$n = \frac{V}{V_m}$ V : volume du gaz en L V_m : volume molaire en $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$

Les éléments essentiels de la modélisation

Dans toutes les situations



Cas particuliers des volumes

1. Volume des liquides : utilisation de la masse volumique ρ .
2. Volume des gaz : utilisation du volume molaire V_m .

Les limites de la modélisation

- Depuis le 20 mai 2019, la définition de la quantité de matière énoncée par le Bureau international des poids et mesures est désormais la suivante : « La mole, de symbole mol, est l'unité SI de la quantité de matière. Une mole contient exactement $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ entités élémentaires. Ce nombre est la valeur numérique fixée de la constante d'Avogadro, N_A , exprimé dans l'unité mol^{-1} et appelé nombre d'Avogadro. La quantité de matière n d'un système est la mesure du nombre de ses entités élémentaires. »

- La masse et le volume d'un échantillon ne permettent de déterminer la quantité de matière que s'il s'agit d'un corps pur bien identifié par sa masse molaire. Dans le cas d'un mélange dont on ne connaît pas les proportions exactes des constituants, la masse et le volume ne sont plus des données suffisantes pour cette détermination.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour faire une carte mentale et reprendre les principales notions du chapitre ! LLS.fr/PC1P20

1 La masse molaire

	A	B	C
1. Quelle est la bonne relation entre les masses molaires de l'ion calcium Ca^{2+} et de l'atome de calcium Ca ?	$M(\text{Ca}^{2+}) < M(\text{Ca})$.	$M(\text{Ca}^{2+}) = M(\text{Ca})$.	$M(\text{Ca}^{2+}) > M(\text{Ca})$.
2. La valeur de la masse molaire de la molécule de fructose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ se calcule avec la formule :	$M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 6 M(\text{C}) \times 12 M(\text{H}) \times 6 M(\text{O})$.	$M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = M(\text{C}) \times 12,0 + M(\text{H}) \times 1,0 + M(\text{O}) \times 16,0$.	$M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 6 M(\text{C}) + 12 M(\text{H}) + 6 M(\text{O})$.
3. L'unité de la masse molaire est :	g·mol.	g·mol ⁻¹ .	kg·mol.

2 Quantité de matière et masse

1. L'expression permettant le calcul d'une masse à partir de la quantité de matière est :	$M = n \cdot m$.	$m = n \cdot M$.	$m = \frac{M}{n}$.
2. La masse volumique utilisée pour le calcul d'une quantité de matière doit être exprimée en :	kg·m ³ .	kg·L ⁻¹ .	g·L ⁻¹ .
3. La quantité de matière d'un corps pur liquide se calcule à l'aide de l'expression :	$n = \rho \cdot \frac{V}{M}$.	$n = M \cdot \frac{V}{\rho}$.	$n = \rho \cdot \frac{M}{V}$.

3 Quantité de matière d'un gaz

1. À pression atmosphérique, une mole de dioxygène gazeux crée un volume de gaz V_1 à $T_1 = 100^\circ\text{C}$ et V_2 à $T_2 = 25^\circ\text{C}$, tels que :	$V_1 < V_2$.	$V_1 = V_2$.	$V_1 > V_2$.
2. La quantité de matière d'un gaz se calcule à partir de l'expression :	$n = \frac{V_m}{V}$.	$n = \frac{V}{V_m}$.	$n = \frac{V}{V \cdot m}$.
3. La masse molaire du dihydrogène est de $2,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et celle du dioxygène de $32,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. À 20°C et $1,0 \text{ bar}$ de pression, pour une quantité $n = 3,0 \text{ mol}$ les volumes de ces deux gaz vérifient :	$V(\text{O}_2) > V(\text{H}_2)$.	$V(\text{O}_2) < V(\text{H}_2)$.	$V(\text{O}_2) = V(\text{H}_2)$.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P21

Questions Jeopardy

- Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :
 - a. Son unité est $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$.
 - b. Il s'agit de la masse d'une mole d'eau.

☐ Calculer la masse molaire d'une espèce chimique

14

15

16

☐ Calculer une quantité de matière à partir d'une masse

18

19

☐ Calculer une quantité de matière à partir d'un volume de gaz

17

☐ Déterminer la composition permettant la description d'un système chimique

[DIFF]

30

Pour s'échauffer

5 Masse molaire

- Retrouver les masses molaires des métaux précieux platine Pt, argent Ag et or Au.



6 Masse molaire

- Calculer les masses molaires des molécules de diiode I_2 , d'ammoniaque NH_3 et d'acide sulfurique H_2SO_4 .

7 Masse molaire

- Déterminer les masses molaires des cations suivants Cu^{2+} , Ag^+ , Cr^{3+} , Fe^{3+} et NH_4^+ .
- Calculer les masses molaires des anions Cl^- , S^{2-} , NO_3^- et MnO_4^- .

8 Quantité de matière

- Calculer la quantité de matière de 25 g de fer Fe solide.

9 Masse d'un échantillon

- Calculer la masse de 0,052 mol de plomb Pb solide.

10 Quantité de matière

L'éthanol liquide a une masse volumique $\rho = 0,79 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$ et une masse molaire moléculaire $M = 46 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

- Calculer la quantité de matière d'un volume de 15 mL d'éthanol.

11 Quantité de matière

- Calculer la quantité de matière de 40 L de méthane gazeux dans les conditions de $T = 0^\circ\text{C}$ et $P = 1,013 \text{ bar}$.

12 Volume d'un échantillon

- Calculer le volume de $4,7 \times 10^{-2} \text{ mol}$ de CO_2 (g) dans ces conditions de température et pression.

Donnée

• À $P = 1,013 \text{ bar}$ et à $T = 0^\circ\text{C}$, $V_m = 22,4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Pour commencer

Masse molaire

13 Quelques monomères de plastique

✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

Le chlorure de vinyle, de formule brute C_2H_3Cl , est un monomère utilisé pour la fabrication du PVC, servant pour les fenêtres, les tuyaux de canalisation ou les balles de tennis de table.

Le bisphénol A, de formule brute $C_{15}H_{16}O_2$, est un monomère à l'origine de la fabrication de résines époxydes, revêtements intérieurs de certaines boîtes de conserve.

- Déterminer les masses molaires de ces deux molécules.

REMARQUE : Le bisphénol A est un perturbateur endocrinien avéré et son usage dans le conditionnement alimentaire tend à disparaître.

14 Polluants atmosphériques

✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

L'air contient des polluants à diverses teneurs, comme le formaldéhyde CH_2O , l'ozone O_3 et le dioxyde de soufre SO_2 .

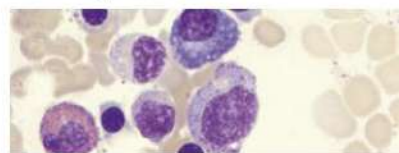
- Déterminer les masses molaires de ces trois gaz.

15 Le plasma sanguin

✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

Les ions K^+ , $H_2PO_4^-$ et HCO_3^- sont présents dans le plasma sanguin.

- Déterminer les masses molaires de ces ions.



Plasma sanguin vu au microscope optique.

Détermination de la quantité de matière

16 Juste un morceau de sucre

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

Un morceau de sucre en forme de cube pèse 3 g. Le sucre est un corps pur : le saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$.

- Calculer la masse molaire du saccharose.
- En déduire la quantité de matière de saccharose dans ce morceau de sucre.

REMARQUE : En chimie, une quantité (de matière) d'entités fait toujours référence à une valeur exprimée en mol. Attention donc au vocabulaire employé !

17 Bonus écologique

✓ VAL : Analyser un résultat numérique : analyse comparative

Pour bénéficier d'un bonus écologique, un véhicule doit émettre moins de $4,55 \times 10^1$ mol de CO_2 aux 100 km. Un véhicule moyen rejette $6,05 \times 10^3$ L de CO_2 aux 100 km.

1. Calculer la quantité de CO_2 émise par ce véhicule.
2. En déduire si ce véhicule bénéficie ou pas du bonus.

Donnée

• Volume molaire : $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

18 Mouvement à quartz

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques



À la fin des années 1960, les premiers mouvements à quartz sont apparus dans les montres. Leur fonctionnement se base sur la vibration d'un cristal de quartz, formé principalement de silice SiO_2 , taillé en diapason. Il contient en moyenne une quantité $n = 3,33 \times 10^{-6}$ mol de silice.

1. Calculer la masse molaire de la silice.
2. Déterminer la masse moyenne d'un cristal de quartz.

Composition d'un système chimique

19 Dureté d'une eau

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

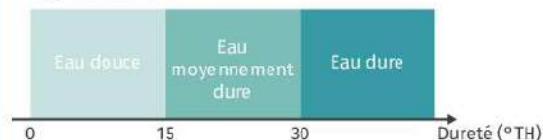
✓ MATH : Calcul littéral (résoudre une équation)

La dureté d'une eau (ou titre hydrotimétrique) est d'autant plus élevée qu'elle est calcaire. Un agriculteur a reçu la composition de son eau de puits et veut connaître la dureté associée. Il est indiqué une masse de 84 mg d'ions Ca^{2+} et 24 mg d'ions Mg^{2+} pour 1 L d'eau.

1. Calculer les quantités de matière en ions calcium et en ions magnésium correspondantes.
2. Calculer la dureté de cette eau.
3. Comment peut-on qualifier cette eau de puits ?

Données

- Pour 1 L d'eau, $1^\circ\text{TH} = 10^{-4}$ mol d'ions Ca^{2+} ou Mg^{2+} .
- La dureté est la somme des deux valeurs en $^\circ\text{TH}$.
- Plage de dureté de l'eau :



Une notion, trois exercices

□ Savoir-faire : Calculer une quantité de matière à partir du volume d'un gaz

Donnée

• À $T = 20^\circ\text{C}$ et $P = 15 \text{ bar}$, $V_m = 1,62 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

20 Le protoxyde d'azote et la cuisine

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

Le protoxyde d'azote, de formule brute N_2O , est un gaz utilisé en cuisine pour les siphons. Il est vendu en cartouche de 0,30 L pour 15 bar de pression à 20°C .

1. Rappeler la formule reliant le volume V , le volume molaire V_m et la quantité de matière n .
2. Calculer la quantité de gaz dans la cartouche.
3. Calculer la masse molaire du protoxyde d'azote.
4. En déduire la masse de gaz dans la cartouche.

21 Le protoxyde d'azote et le tuning

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

Pour augmenter la puissance de leurs moteurs, certains préparateurs américains de *tuning* posent des kits NOS

de protoxyde d'azote N_2O . Une bouteille de ce gaz en contient 37 L à 20°C , sous une pression de 15 bar.



1. Calculer la quantité de gaz.
2. En déduire la masse de gaz dans la bouteille.

22 Le protoxyde d'azote et la chirurgie

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

Le protoxyde d'azote N_2O est un gaz utilisé en mélange comme anesthésiant. Il est stocké en bouteille de 442 L, à une température de 20°C et à une pression de 15 bar.

- Déterminer la masse de gaz dans la bouteille.

DIFFÉRENCIATION

- ✓ RAI/MOD : La quantité de matière
 ✓ VAL : Analyser un résultat numérique : valeur/unité/
 chiffres significatifs/analyse comparative

Étude d'une étiquette de brique de lait

Énoncé

Un étudiant en nutrition souhaite déterminer si le lait contient un plus grand nombre d'ions calcium ou de molécules de lactose. Pour ses calculs, il se base sur le volume d'un verre de lait de 250 mL.

1. Calculer les masses de calcium et de lactose dans un verre de lait.
2. Calculer les masses molaires de l'ion calcium et de la molécule de lactose.
3. En déduire les quantités de ces deux espèces chimiques dans un verre de lait.
4. Comparer et conclure sur l'espèce chimique la plus abondante.

Valeurs nutritionnelles pour 100 mL de lait de vache UHT demi-écrémé

Eau	89,6 g
Glucides	4,82 g
dont lactose	4,77 g
Protéines	3,28 g
Lipides	1,57 g
dont cholestérol	5,87 mg
Calcium	116 mg
Magnésium	12,0 mg
Zinc	0,39 mg

DONNÉE

• Formule brute du lactose : $C_{12}H_{22}O_{11}$

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Identifier les informations nécessaires au calcul de proportionnalité.
2. À partir des formules des molécules ou ions dans l'énoncé, chercher les éléments les valeurs de masses molaires dans la classification périodique.
3. Le mot « déduire » indique que le résultat de la question précédente doit être utilisé pour répondre. Lire attentivement les unités des données : certaines masses sont en g, d'autres en mg.

Solution rédigée

1. La masse de calcium dans un verre de lait est :

$$m(\text{Ca}^{2+}) = 250 \times \frac{116}{100}, \text{ soit } m(\text{Ca}^{2+}) = 290 \text{ mg.}$$

La masse de lactose dans un verre de lait est :

$$m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 250 \times \frac{4,77}{100}, \text{ soit } m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 11,9 \text{ g.}$$

2. La masse molaire de l'ion calcium est identique à celle de l'atome correspondant :

$$M(\text{Ca}^{2+}) = M(\text{Ca}) = 40,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}.$$

La masse molaire du lactose est :

$$\begin{aligned} M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) &= 12M(\text{C}) + 22M(\text{H}) + 11M(\text{O}) \\ &= 12 \times 12,0 + 22 \times 1,0 + 11 \times 16,0 = 342 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \\ \text{soit } M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) &= 342 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}. \end{aligned}$$

3. La quantité d'ions calcium est :

$$n(\text{Ca}^{2+}) = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{M(\text{Ca}^{2+})} = \frac{0,290}{40,1}, \text{ soit } n(\text{Ca}^{2+}) = 7,23 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

La quantité de lactose est :

$$n(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = \frac{m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})}{M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})} = \frac{11,9}{342}$$

$$\text{soit } n(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 3,48 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

4. $\frac{n(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})}{n(\text{Ca}^{2+})} = \frac{3,48 \times 10^{-2}}{7,23 \times 10^{-3}} = 4,81$ donc le lactose est environ 5 fois plus abondant que l'ion calcium dans le lait.

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Poser le calcul de proportionnalité sans oublier l'unité.
2. Ne pas oublier qu'un ion monoatomique a une masse molaire identique à l'atome correspondant.
3. Séparer expression littérale et application numérique. Penser aux chiffres significatifs et à l'unité du résultat.
4. Calculer un rapport lors d'une comparaison permet d'affiner la réponse et de quantifier l'abondance, ici d'une espèce chimique par rapport à une autre.

23 Mise en application

- Réaliser le même exercice avec l'ion magnésium Mg^{2+} et le cholestérol $\text{C}_{27}\text{H}_{46}\text{O}$.

Pour s'entraîner

24 Autour de l'or

- ✓ RAI/ANA : Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques



En 2016, la statue de l'archange du Mont-Saint-Michel a été redorée avec une masse de 128 g d'or. Un bijoutier normand cherche à connaître le nombre d'alliances 18 carats correspondant à cette quantité d'or. Une alliance 18 carats contient une quantité moyenne de matière d'or de : $n_{\text{or}} = 1,83 \times 10^{-2}$ mol.

- Déterminer la masse en or d'une alliance 18 carats.
- Déterminer le nombre d'alliances que l'on peut fabriquer avec la même masse d'or que sur la statue.

Découvrir en vidéo comment l'archange a été redoré par des artisans. [LLS.fr/PC1P25](https://lls.fr/PC1P25).

25 Aspartame et soda

- ✓ REA : Agir de façon responsable : respecter les règles de sécurité

L'aspartame $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_5\text{N}_2$ est un édulcorant, une molécule au goût 200 fois plus sucré que le sucre alimentaire (saccharose). La réglementation impose une dose journalière admissible (DJA) de 40 mg/kg de masse corporelle de l'individu. Un adolescent diabétique de 55 kg en consomme régulièrement dans des sodas qui indiquent une masse de 500 mg pour 1,0 L de boisson.

- Déterminer la quantité de matière d'aspartame contenue dans 1,0 L de soda.
- Quel volume de soda l'adolescent peut-il ingérer quotidiennement sans dépasser la dose d'aspartame conseillée ?

26 QCM comparatif

- ✓ RAI/ANA : Utiliser des observations/des mesures/des documents pour répondre à une problématique

Identifier la bonne réponse pour chaque question.

- Un patient réalise deux analyses de sang : pour 1 L de sang, la première indique 8,5 mg de créatinine $\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_3\text{O}$ et la seconde $4,42 \times 10^{-5}$ mol de créatinine.
 - résultat (analyse 1) < résultat (analyse 2).
 - résultat (analyse 1) = résultat (analyse 2).
 - résultat (analyse 1) > résultat (analyse 2).
- 0,1 mol de gaz 1 et 3,0 L de gaz 2 avec un volume molaire $V_m = 24,0 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$, dans les mêmes conditions.
 - $n(\text{gaz 1}) < n(\text{gaz 2})$.
 - $n(\text{gaz 1}) = n(\text{gaz 2})$.
 - $n(\text{gaz 1}) > n(\text{gaz 2})$.

27 Savon de Marseille

- ✓ VAL : Traiter/exploiter/modéliser numériquement un ensemble de mesures

Le savon de Marseille est vendu en cube de 600 g. On considère, avec les pertes des différentes étapes de fabrication, que 1,0 mol d'huile permet d'obtenir 2,1 mol de savon. Le savon a pour formule brute $\text{C}_{18}\text{H}_{33}\text{O}_2\text{Na}$.

- Calculer la quantité de matière correspondant à une tonne d'huile.
- Déterminer alors la quantité de matière de savon obtenue.
- En déduire la masse totale de savon.
- Déterminer le nombre de cubes de savon.



Donnée

• Masse molaire de l'huile : $M_{\text{huile}} = 884,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Comprendre les attendus

28 Détartrage d'une bouilloire

- ✓ RAI/MOD : La quantité de matière
✓ MATH : Calcul littéral (résoudre une équation)

Les acides réagissent avec le calcaire CaCO_3 en formant du dioxyde de carbone CO_2 . Ils sont utilisés pour détartrer une bouilloire électrique.

La bouilloire est placée sur une balance. Au début de la manipulation, la balance indique une masse totale d'eau et d'acide $m_1 = 496,1 \text{ g}$. Au bout de 30 min, la balance indique une masse $m_2 = 491,3 \text{ g}$. La totalité du calcaire dans la bouilloire a réagi.

- En faisant l'hypothèse que la perte de masse est due uniquement au CO_2 libéré, déterminer la quantité de matière de CO_2 dégagé lors du détartrage.
- En déduire le volume de gaz libéré ($V_m = 24 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$).
- La réaction crée une mole de gaz pour une mole de calcaire éliminé. Déterminer la masse de calcaire présent initialement dans la bouilloire.

Détails du barème

TOTAL/6 pts

- | | |
|---|-----------|
| 1. Écrire la formule littérale, faire l'application numérique de la masse molaire de CO_2 . | 1 pt |
| Écrire la formule littérale, poser le calcul, donner le résultat et l'unité de la quantité de CO_2 . | 1 pt |
| 2. Écrire la formule littérale, poser le calcul, donner le résultat et l'unité du volume de CO_2 . | 1 pt |
| 3. Écrire la similitude des quantités. | 1 pt |
| Écrire complètement les calculs de masse molaire et masse de CaCO_3 . | 1 + 1 pts |

29 La vitamine C

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement, communiquer sur les étapes

La vitamine C, de formule brute $C_6H_8O_6$, est une molécule indispensable à l'organisme, qui intervient notamment dans l'absorption du fer nécessaire à la synthèse des globules rouges. Très présente dans les fruits et légumes, elle doit être consommée à hauteur de $6,25 \times 10^{-4}$ mol par jour selon l'AFSSA (Agence française de sécurité sanitaire des aliments).

Un jus d'orange industriel indique qu'un verre de 20 cL de jus d'orange apporte plus de la moitié de la vitamine C quotidienne.

1. Déterminer la masse de vitamine C à ingérer quotidiennement.
2. Pour couvrir les apports en vitamine C, est-il préférable de consommer un jus d'orange fraîchement pressé ou en brique industrielle ?
3. L'indication du fabricant est-elle juste ?

Données

• Masse en vitamine C pour un verre de 20 cL :

- jus d'orange industriel à base de concentré : 65 mg ;
- jus d'orange maison : 125 mg.

30 Composition d'eau d'une station d'épuration

✓ VAL : Exploiter numériquement des mesures



Les rejets industriels dans les cours d'eau sont réglementés et nécessitent parfois la mise en place d'une station d'épuration des eaux usées.

Une entreprise de traitements de surface l'exploite pour surveiller les rejets en élément chrome, cuivre, nickel, zinc et en ions sulfates SO_4^{2-} . Suite à un incident de vanne, une analyse des eaux usées est réalisée. Pour un litre d'eau traitée, les masses maximales rejetables et les résultats d'analyse sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Résultats d'analyse d'un litre d'eau traitée

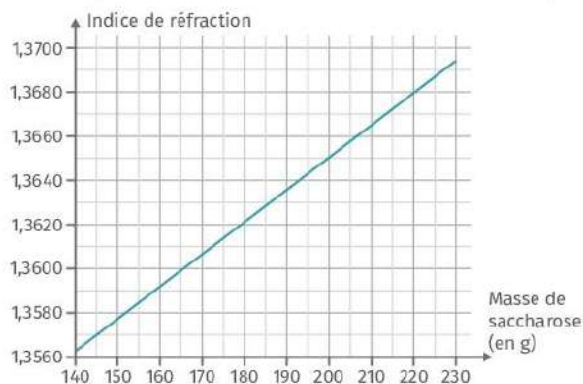
Composé	Cu	Zn	Ni	Cr	SO_4^{2-}
$n_{\text{composé}}$ (en mmol)	0,252	0,107	0,306	0,423	1,31
m_{max} (en mg)	0,10	15,0	15,0	15,0	150

1. Déterminer les masses des différents constituants de l'échantillon d'eau analysée.
2. Cet incident de vanne peut-il avoir des conséquences ?

31 Le début des vendanges

✓ RAI/ANA : Utiliser des mesures pour répondre à une problématique

La maturité du raisin est un élément essentiel pour le début des vendanges et l'obtention d'un vin de qualité. Un des critères est la teneur en sucre du raisin : elle est mesurée à l'aide d'un réfractomètre. La mesure de l'indice de réfraction permet de connaître la masse de sucre dans 1,00 L de jus de raisin. On fait l'hypothèse que le sucre du raisin n'est que du saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$. Un laboratoire de contrôle mesure un indice de réfraction de 1,3645 pour le jus de raisin d'un vigneron. Il est considéré qu'une teneur satisfaisante en sucre est atteinte pour 0,585 mol de saccharose dans 1,00 L de jus.



Évolution de l'indice de réfraction en fonction de la masse de sucre dans 1 L de solution.

1. Déterminer la masse de saccharose lors de ce contrôle.
2. Déterminer la quantité de matière de saccharose correspondante.
3. Le vigneron peut-il commencer les vendanges ?

32 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.

1. La masse d'un litre de vinaigre est

$$m = \rho \cdot V = 1010 \text{ g.}$$

Comme le vinaigre contient 8 % d'acide en masse, on a :

$$m_{\text{acide}} = \frac{8 \times 1010}{100} = 80,8 \text{ g}$$

2. La masse molaire de l'acide acétique vaut :

$$M(C_2H_4O_2) = 12 \times M(C) + 1 \times M(H) + 16 \times M(O)$$

$$M(C_2H_4O_2) = 12 \times 2 + 1 \times 4 + 16 \times 2 = 60 \text{ g mol}^{-1}$$

3. L'expression littérale donnant la

quantité de matière d'acide acétique est

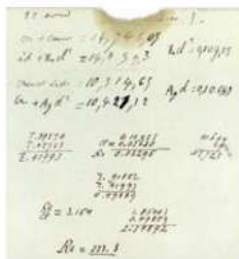
$$n(C_2H_4O_2) = \frac{80,8}{60} \text{ mol}$$

Pour aller plus loin

33 Le radium caractérisé par Marie Curie

✓ VAL : Identifier et évaluer les sources d'erreurs

Pierre et Marie Curie découvrirent en 1898 deux nouveaux éléments : le polonium et le radium. Cette fiche cartonnée datant de 1902 montre comment ils ont réussi à trouver la masse atomique du radium. Le bilan de la transformation chimique étudiée est :



Lors de cette transformation, la disparition d'1 mol de RaCl_2 forme 2 mol de AgCl .

1. Calculer la quantité de matière obtenue de AgCl .
2. En déduire la quantité de matière de RaCl_2 ayant réagi.
3. En déduire la masse molaire atomique du radium Ra .
4. Expliquer la différence entre la valeur trouvée et la valeur actuelle de $M(\text{Ra}) = 226 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Données

• Masses initiales des réactifs de la réaction :

$$m_i(\text{RaCl}_2) = 0,10925 \text{ g}; \quad m_i(\text{AgNO}_3) = 0,12628 \text{ g};$$

• Masses finales des produits de réaction :

$$m_f(\text{AgCl}) = 0,10654 \text{ g}; \quad m_f(\text{Ra}(\text{NO}_3)_2) = 0,12899 \text{ g}.$$

34 Mesure expérimentale du volume molaire

✓ RAI/ANA : Utiliser une analyse dimensionnelle

BAC

La réaction entre un acide et du magnésium Mg forme du dihydrogène H_2 . Pour s'assurer que tout le magnésium ait réagi, on conseille un mélange de 5,0 à 7,0 cm de magnésium en ruban avec 100 mL d'acide chlorhydrique à $0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Il se forme 1 mol de gaz pour 1 mol de magnésium disparu.

1. Proposer un protocole expérimental permettant la mesure du volume de gaz formé.
2. Après validation par le professeur, réaliser le protocole proposé. Relever la valeur du volume de H_2 .
3. À l'aide d'une analyse dimensionnelle, montrer que la quantité d'acide chlorhydrique initiale est de $5,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$.
4. Déterminer la quantité de magnésium maximale introduite.
5. En déduire la composition initiale du système chimique.
6. Calculer la valeur du volume molaire dans les conditions de cette expérience.

Donnée

• Masse linéique du ruban de magnésium : 1,0 g par mètre.

35 Expérience de Lavoisier

✓ RAI/ANA : Associer les unités de mesure à leurs grandeurs correspondantes

Lavoisier met à bouillir 4 onces de mercure Hg pur dans 50 pouces cubiques d'air. Au bout de 12 jours, il récupère 43 pouces cubiques d'air et il se forme un solide rouge de HgO d'une masse de 46 grains. Le gaz récupéré ne permet plus la respiration des animaux.



1. Expliquer la diminution du volume d'air.
2. Calculer la quantité de matière de dioxygène disparu.
3. Sachant que 1 mol de O_2 forme 2 mol de HgO , calculer la masse de HgO formé.
4. Comparer avec le résultat expérimental obtenu par Lavoisier.

Données

• Volume molaire :

$$V_m = 24,0 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1};$$

• 1 pouce cubique = 19,8 mL ;

• 1 once = 30,56 g ;

• 1 grain = 53,3 mg.

36 L'araignée tisserande d'eau

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques



- Si une araignée était capable de créer un fil en alignant les molécules d'eau d'une simple goutte, calculer la longueur du fil obtenu.

Données

• Volume d'une goutte d'eau : $V_{\text{goutte}} = 0,05 \text{ mL}$;

• Taille d'une molécule d'eau : $d_{\text{eau}} = 0,34 \text{ nm}$;

• Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Numérique

Retrouvez plus d'exercices sur [LLS.fr/PC1P27](https://lls.fr/PC1P27).

37 Le verre de Cléopâtre

✓ RAI/ANA : Construire un chemin de résolution



Au cours d'un banquet organisé pour sa rencontre avec l'empereur Marc-Antoine en 41 av. J.-C. à Tarse (situé en Turquie), la reine Cléopâtre a bu une solution vinaigrée dans laquelle elle a, au préalable, dissout une perle d'une valeur marchande considérable dans le but d'impressionner son hôte.

- On considère un volume de boisson de 25 cL dans le verre de Cléopâtre, essentiellement constitué d'eau. Estimer combien de molécules d'eau qui étaient présentes dans ce verre historique se trouvent potentiellement aujourd'hui dans le verre d'un élève à la cantine de son lycée.

Pour résoudre ce problème, on considère que les molécules d'eau du verre de Cléopâtre se sont mélangées uniformément aux autres molécules d'eau de la planète grâce au cycle de l'eau et au brassage incessant des courants marins et qu'elles n'ont pas été transformées chimiquement.

Données

- $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- Volume total des eaux de la planète** : $V_{\text{total}} = 1,4 \times 10^9 \text{ km}^3$;
- Masse volumique de l'eau** : $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$.

38 Anneau unique

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Frodon possède un anneau en électrum, un alliage fait de 2,8 g d'or et de 1,5 g d'argent. Frodon considère que le volume de l'anneau est identique à la somme des volumes d'or et d'argent.



- Quelle est la masse volumique de l'électrum ?

BAC

Données

- Masse molaire de l'or** : $M(\text{Au}) = 197,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- Rayon d'un atome d'or** : $r(\text{Au}) = 135 \text{ pm}$;
- Masse molaire de l'argent** : $M(\text{Ag}) = 107,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- Rayon d'un atome d'argent** : $r(\text{Ag}) = 160 \text{ pm}$;
- Volume d'une sphère de rayon r** : $V = \frac{4}{3} \pi r^3$;
- Constante d'Avogadro** : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$.

Retour sur la problématique du chapitre

39 Décollage de la fusée Ariane 5

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

✓ RAI/ANA : Associer les unités de mesure à leurs grandeurs correspondantes

L'EPC (Étage principal cryogénique) est le premier étage de la fusée Ariane 5. Il s'allume dès le décollage et s'éteint à une altitude d'environ 145 km, pour se décrocher et laisser le deuxième étage réaliser la mission. C'est la réaction entre le carburant LH2 et le comburant LOX qui libère l'énergie : elle nécessite la consommation simultanée de 1 mol de LOX pour 2 mol de LH2.

- La fusée Ariane 5 part-elle avec la même quantité de O_2 et H_2 dans son EPC au décollage ?

Quelques données

L'EPC contient 158,5 tonnes d'ergols, répartis entre le dihydrogène liquide (LH2 - 26 tonnes) et le dioxygène liquide (LOX - 132,5 tonnes). Ces réservoirs sont respectivement d'une capacité de 391 m^3 et 123 m^3 . Ils stockent les ergols refroidis respectivement à -253°C et -183°C .

D'après [Wikipedia.org](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ariane_5).

JEU
SÉRIEUX

Autour d'une prescription médicale

A Des analyses de sang

Des douleurs inexplicables

Daisy Drattay souffre de fatigue musculaire et douleurs osseuses depuis plusieurs jours. Elle se rend chez son médecin Mehdi Calment qui, après l'avoir auscultée, lui prescrit une analyse de sang.

Analyse de sang

Quelques jours plus tard, la biochimiste du laboratoire d'analyses médicales, Sandra Matiset, lui communique les résultats de l'analyse. Ceux-ci indiquent un déficit en vitamine D3.

Vitamine D3

La vitamine D3 (appelée aussi cholécalciférol) intervient dans l'absorption du calcium et du phosphore par les reins. Elle joue un rôle primordial dans la minéralisation du squelette et des articulations.

Les carences en vitamine D3 peuvent entraîner le rachitisme chez l'enfant ou l'ostéomalacie (décalkification osseuse) chez l'adulte.

B Des compléments en vitamine D3

Suppléments en vitamine D3

Le docteur prescrit à Daisy un complément en vitamine D3 à prendre tous les jours pendant deux mois. Daisy est un peu surprise, car il est écrit sur l'ordonnance : Vita-D flacon de 20 mL, prendre 15 nmol de vitamine D3 par jour. La notice de Vita-D indique que chaque goutte contient 10 µg de vitamine D3, soit 200 % des AJR (apport journalier recommandé).



Faire le jeu sérieux sur [LLS.fr/PC1P29](https://lls.fr/PC1P29) !

Alternative naturelle

Daisy préférerait consommer des aliments qui contiennent naturellement de la vitamine D3. Elle lit dans un journal spécialisé que l'huile de foie de morue est un des aliments qui en contient le plus à raison de 250 µg pour 10 cL.



Votre mission :

Déterminer le nombre de gouttes de Vita-D que Daisy devrait prendre par jour, ainsi que le volume d'huile de foie de morue pour respecter la prescription de son médecin. Comparer ces doses aux AJR.

À vous de jouer !

Allez chercher les informations, répondez aux questions, récoltez les indices dans le plateau de jeu en suivant le lien ci-contre.

À la fin de votre mission, vous découvrirez un premier indice qui vous aidera à résoudre l'énigme de cette année.



C Une mission, un métier

Le métier de biochimiste

Le/La biochimiste étudie les processus chimiques et physico-chimiques du vivant. Son travail de recherche trouve de nombreuses applications dans les secteurs de la médecine, de l'environnement et de l'industrie.

D'après Phosphore.com.



Retrouver la fiche métier sur [LLS.fr/PC1Biochimiste](https://lls.fr/PC1Biochimiste).

Composition chimique des solutions

ESPRIT SCIENTIFIQUE



Des stylos ont une encre effaçable par simple friction.

➤ Quelles propriétés physico-chimiques permettent d'expliquer ce phénomène ?

➔ voir l'exercice 32, p. 46



Travailler

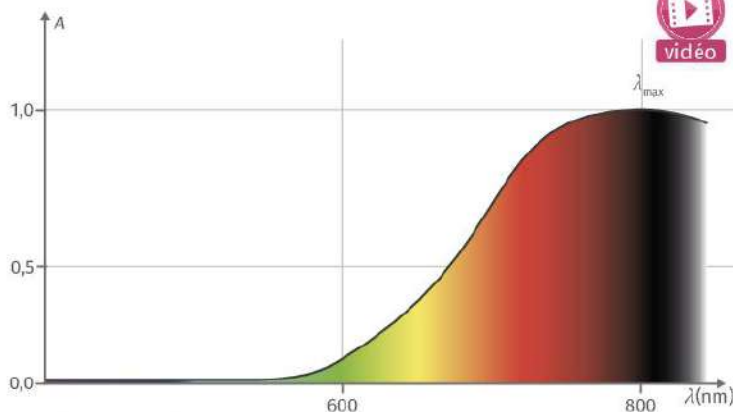
autrement

CLASSE
INVERSI

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour comprendre les couleurs d'une solution et apprendre en vidéo à utiliser son smartphone en spectrophotomètre.

LLS.fr/PC1P30

Voir p. 47



Courbe d'absorbance.



→ En quoi l'étude de la couleur d'une solution peut-elle permettre de déterminer sa composition ?

→ voir l'exercice corrigé, p. 41

À revoir pour bien commencer

- Déterminer une concentration en masse
- Choisir la verrerie d'une dilution
- Déterminer une concentration par étalonnage
- Déterminer une quantité de matière

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P31

Objectifs du chapitre

- ❑ Savoir déterminer la concentration en quantité de matière d'une espèce en solution
- ❑ Savoir prévoir et expliquer la couleur d'une solution à partir de son spectre UV-visible
- ❑ Savoir déterminer expérimentalement la concentration d'une espèce colorée en solution
- ❑ Connaître et savoir exploiter la loi de Beer-Lambert

1 Analyse médicale et système d'unités

Après un stage aux États-Unis, un étudiant revient en France et dès son retour, il prend rendez-vous avec son médecin traitant pour lui partager les résultats d'une analyse de sang faite pendant son séjour. À son grand étonnement, le système d'unités utilisé aux États-Unis n'est pas le même qu'en France.

→ **Comment convertir les résultats d'un système d'unités vers un autre ?**

Par intuition

Les différences de système d'unités entre les États-Unis et la France changent-elles les résultats des analyses ?

Doc. 1 Analyse de sang faite aux États-Unis

EXPLORATION D'UNE ANOMALIE LIPIDIQUE

Cholestérol total (CT)	2,74 g·L ⁻¹
Triglycérides	1,46 g·L ⁻¹
LDL cholestérol	1,89 g·L ⁻¹
HDL cholestérol	0,56 g·L ⁻¹
Rapport LDL/HDL	3,38
Rapport CT/HDL	4,89

Doc. 3 Valeurs de référence en France (V.R)

Cholestérol total (CT)	Inf. à 5,1 mmol·L ⁻¹
Triglycérides	de 0,401 mmol·L ⁻¹ à 1,71 mmol·L ⁻¹
LDL cholestérol	Inf. à 4,9 mmol·L ⁻¹ pour un patient présentant des risques cardiovasculaires faibles
HDL cholestérol	Sup. à 0,9 mmol·L ⁻¹
Rapport LDL/HDL	Inf. à 3,55
Rapport CT/HDL	Inf. à 4,9

Doc. 2 Analyse des résultats et recommandations

Le cholestérol est un lipide insoluble dans le sang. Pour être transporté, il doit se lier à des lipoprotéines : les LDL (*Low Density Lipoproteins*) le transportent vers les cellules et les HDL (*High Density Lipoproteins*) l'amènent des artères vers le foie. Le LDL-cholestérol est qualifié de « mauvais » car en excès, il est responsable de dépôts dans les artères qui peuvent entraîner des accidents cardiovasculaires. Le HDL-cholestérol est le « bon » cholestérol car il évacue l'excès de cholestérol des artères vers le foie.

Les triglycérides sont des lipides stockés dans les tissus gras. Lors de leur transport dans le sang, ils peuvent se déposer sur les artères et être co-responsables d'accidents cardiovasculaires. Lors d'une recherche d'anomalie lipidique, il est important que les taux de triglycérides, de LDL-cholestérol et de HDL-cholestérol soient proches des valeurs de référence. Cependant, les rapports HDL/LDL et cholestérol total/HDL sont aussi de bons indicateurs de potentiels risques pour le patient.



Vocabulaire

- **Concentration en masse** : concentration d'un soluté en solution exprimée en g·L⁻¹ ou dans une unité dérivée.
- **Concentration en quantité de matière** : concentration d'un soluté en solution, exprimée en mol·L⁻¹ ou dans une unité dérivée.

Données

Nom	Masse molaire en g·mol ⁻¹
Cholestérol (C ₂₇ H ₄₆ O)	387
Triglycérides (C ₅₇ H ₁₀₄ O ₆)	884

Compétences

- ✓ RAI/ANA : Associer les unités de mesure aux grandeurs correspondantes
- ✓ VAL : Analyser un résultat numérique

Synthèse de l'activité

- 1. Doc. 1** Déterminer la quantité de cholestérol total et de triglycérides contenue dans 1,00 L de sang et en déduire leur concentration en mol·L⁻¹.
- 2. Doc. 1** Les concentrations du LDL-cholestérol et du HDL-cholestérol de l'analyse réalisée aux États-Unis sont respectivement de $4,87 \times 10^{-3}$ mol·L⁻¹ et de $1,44 \times 10^{-3}$ mol·L⁻¹. Déterminer les masses molaires du LDL-cholestérol et du HDL-cholestérol.
- 3. Doc. 2** Est-il nécessaire de convertir les rapports LDL/HDL et CT/HDL ? Justifier.

L'analyse révèle-t-elle une anomalie lipidique qui nécessiterait un suivi médical ?

2 Le design culinaire 110'

L'utilisation de colorants alimentaires, tels que les anthocyanes dont le code est E163, est courante dans la pratique du *design* culinaire et joue un rôle important dans la perception des aliments.

→ Comment expliquer la couleur d'une solution ?

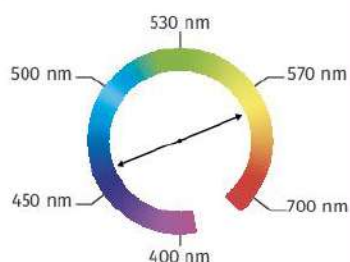
Par intuition

Une solution rouge diffuse-t-elle uniquement de la lumière de cette couleur ?

Doc. 1 La couleur d'une solution

Une solution colorée absorbe certaines couleurs du spectre visible lorsqu'elle est traversée par une lumière blanche. La couleur perçue par l'œil correspond à la synthèse additive des lumières qui ne sont pas absorbées par la solution.

La couleur perçue d'une solution est la couleur complémentaire de celle absorbée. Ces couleurs sont diamétralement opposées sur le cercle chromatique.



Doc. 2 Les anthocyanes du chou rouge



Les anthocyanes sont des pigments responsables de la coloration de la plupart des fruits et légumes. Ces molécules contiennent des chromophores dont la structure varie en fonction du pH, modifiant ainsi la façon dont elles absorbent la lumière visible.

Doc. 3 Matériel mis à disposition

- Solution d'extrait de chou rouge ;
- Solution d'acide chlorhydrique ;
- Solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ;
- Eau distillée ;
- Pipettes en plastique ;
- Tubes à essai avec support ;
- Spectrophotomètre avec cuves ;
- Logiciel tableur-grapheur.

Doc. 4 Préparation des solutions

Tube à essai n°	1	2	3	4	5
Solution de chou rouge (mL)	3	3	3	3	3
Solution aqueuse d'acide chlorhydrique (mL)	4	1	0	0	0
Solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (mL)	0	0	0	1	4
Eau distillée (mL)	3	6	7	6	3

Compétences

- ✓ REA : Effectuer des mesures
- ✓ REA : Mettre en œuvre un protocole

1. Doc. 4 Réaliser les cinq solutions.

2. Doc. 1 Choisir deux solutions et réaliser le spectre d'absorption de chacune en relevant l'absorbance pour des longueurs d'onde allant de 400 à 700 nm avec un pas de 30 nm. Voir la fiche méthode sur l'utilisation du spectrophotomètre. [LLS.fr/PC1FM18](https://lls.fr/PC1FM18)

3. Pour chaque solution, créer à l'aide du tableur-grapheur (ou de Python), le graphique représentant l'évolution de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde λ . En déduire la valeur de longueur d'onde λ_{max} pour laquelle l'absorbance est maximale.

Synthèse de l'activité

Interpréter la couleur des solutions à partir de leurs spectres d'absorption.

3

La composition d'une pièce de 10 centimes

110'

Les pièces de 10, 20 et 50 centimes d'euro sont fabriquées à partir d'un alliage appelé *Nordic gold* et développé en Suède. Lors de leur création, il a été spécifié que les pièces devaient notamment avoir l'aspect de l'or et être difficilement reproductibles. « L'or nordique » a été choisi par l'Union européenne aux dépens d'un alliage à base de nickel car il est principalement constitué de cuivre qui a la propriété unique d'être antibactérien.

→ Quel est le pourcentage massique en cuivre d'une pièce de 10 centimes ?

Par intuition

Comment déterminer la concentration d'une espèce chimique colorée en solution ?

Doc. 1 Traitement chimique de la pièce

Après avoir pesé la pièce, celle-ci est placée sous hotte dans un erlenmeyer de 250 mL. On ajoute de l'acide nitrique concentré, jusqu'à recouvrir entièrement la pièce. Lors de la réaction, les métaux constituant l'alliage sont oxydés en ions métalliques. Le cuivre est transformé en ions cuivre II Cu^{2+} . On transvase le contenu de l'erlenmeyer dans une fiole jaugée de 1 000 mL et on complète jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. La solution obtenue est notée X.



Données

• $M(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = 249,6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; • $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Doc. 2 Préparation d'une échelle de teintes

Matériel

Sulfate de cuivre pentahydraté , fiole jaugée de 100,0 mL, 2 burettes de 25,0 mL, pipette graduée de 1,0 mL, 5 tubes à essai, spatule, eau distillée, échantillon de la solution X.

Protocole expérimental

- Préparer une solution mère S_0 par dissolution de 0,75 g de sulfate de cuivre pentahydraté dans une fiole jaugée de 100,0 mL.
- Préparer successivement 10,0 mL de solution fille dans les tubes à essai en ajoutant les volumes de solution mère et d'eau distillée dont les valeurs sont notées dans le tableau ci-dessous.

Tube à essai n°	1	2	3	4
Volume de S_0 (mL)	1,0	3,0	6,0	9,0
Eau distillée (mL)	9,0	7,0	4,0	1,0

- Préparer un tube à essai avec 1,0 mL de la solution X et 9,0 mL d'eau distillée.



Retrouver une fiche méthode sur l'utilisation du spectrophotomètre. [LLS.fr/PC1FM18](https://lls.fr/PC1FM18)

Compétences

- ✓ REA : Effectuer des mesures
- ✓ VAL : Traiter et exploiter un ensemble de mesures

1. **Doc. 2** Déterminer la concentration en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de la solution mère en ions cuivre (II) Cu^{2+} . En déduire les concentrations des quatre solutions filles.
2. Mesurer l'absorbance des quatre solutions filles pour une valeur $\lambda = \lambda_{\text{max}}$.
3. Représenter à l'aide d'un tableur-grapheur le graphe représentant l'évolution de l'absorbance en fonction de la concentration c en ions cuivre (II) Cu^{2+} . Modéliser la courbe obtenue.
4. Mesurer l'absorbance de la solution diluée de l'échantillon de solution X et, à l'aide des fonctionnalités du logiciel, déterminer la valeur de la concentration de cette solution. En déduire la concentration c de la solution initiale X.

Synthèse de l'activité

En déduire la masse de cuivre contenue dans la pièce de 10 centimes et la comparer à la valeur officielle qui indique qu'une pièce contient 89 % de cuivre métallique.

1 Espèce colorée en solution

A Concentration d'une espèce dissoute

La concentration d'un soluté en solution s'exprime en utilisant :

- soit la concentration en masse γ :

$$\gamma = \frac{m_{\text{solute}}}{V_{\text{solution}}}$$

avec γ en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;
la masse m_{solute} , en g ;
et le volume V_{solution} de la solution en L.

- soit la concentration c en quantité de matière :

$$c = \frac{n_{\text{solute}}}{V_{\text{solution}}}$$

avec c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;
la quantité de matière n_{solute} en mol ;
le volume V_{solution} de la solution en L.

Ces deux concentrations sont liées par la relation :

$$\gamma = c \cdot M \quad M \text{ étant la masse molaire du soluté en } \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

➤ Dans le cas d'un soluté ionique, les espèces présentes en solution après dissolution sont différentes du soluté initialement dissous.

$[X] = \frac{n_X}{V_{\text{solution}}}$ exprime la concentration en quantité de matière de l'espèce X en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, avec n_X en mol et V_{solution} en L.

B Couleur d'une solution

Lorsqu'une solution est traversée par de la lumière blanche, certaines radiations sont absorbées et d'autres sont transmises. La couleur perçue d'une solution est complémentaire des radiations absorbées qui traversent la solution. Des couleurs complémentaires sont diamétralement opposées sur le cercle chromatique (doc. 1).

Plus la concentration d'une espèce chimique colorée en solution est élevée, plus les radiations sont absorbées, et plus la solution est foncée.

C Absorbance

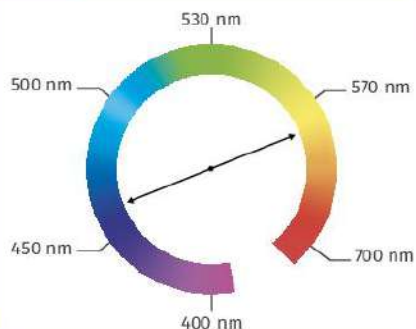
Pour une longueur d'onde donnée, l'absorbance A quantifie la proportion des radiations incidentes d'intensité I_0 absorbées en mesurant l'intensité des radiations non absorbées I (doc. 2). Pour une espèce chimique, la courbe $A = f(\lambda)$ est appelée spectre d'absorption. Elle permet de déterminer la longueur d'onde, notée λ_{max} , de l'absorbance maximale, notée A_{max} et correspondant à la couleur complémentaire de la solution (doc. 3).

Un spectrophotomètre permet d'effectuer des mesures d'absorbance sur une gamme de longueurs d'onde qui s'étend sur les ultraviolets proches (200 nm à 400 nm) et le domaine visible (400 nm à 800 nm).

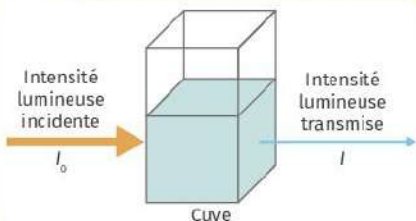
Éviter les erreurs

- La concentration c informe sur la quantité de soluté apportée par unité de volume et la notation $[X]$ renseigne la concentration de l'espèce chimique X effectivement présente dans la solution.

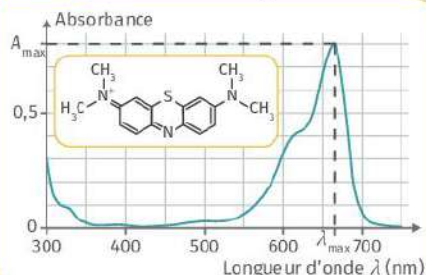
Doc. 1 Cercle chromatique simplifié



Doc. 2 Absorbance d'une solution



Doc. 3 Le bleu de méthylène



Application

On dissout une masse $m = 0,15$ g de chlorure de cobalt de formule CoCl_2 dans un volume V_{sol} de 50,0 mL d'eau. L'équation de dissolution est : $\text{CoCl}_2(\text{s}) \rightarrow \text{Co}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^{-}(\text{aq})$.

1. Calculer la concentration en masse puis en quantité de matière de soluté dissous.
2. Calculer la concentration d'ions cobalt (II) et d'ions chlorure dissous en solution.

Corrigé :

1. $\gamma = \frac{m}{V} = \frac{0,15}{50,0 \times 10^{-3}} = 3,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.
Conversion : $c = \frac{\gamma}{M(\text{CoCl}_2)} = \frac{3,0}{58,9 + 2 \times 35,5} = 2,3 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
2. D'après l'équation de dissolution, 1 mole de chlorure de cobalt produit 1 mole d'ions cobalt (II) et 2 moles d'ions chlorure. Ainsi :
 $[\text{Co}^{2+}(\text{aq})] = c = 2,3 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et
 $[\text{Cl}^{-}(\text{aq})] = 2c = 4,6 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

2 Dosage spectrophotométrique par étalonnage

A Loi de Beer-Lambert

Pour une longueur d'onde λ donnée, l'absorbance A_λ d'une espèce chimique en solution diluée est proportionnelle à la concentration c en quantité de matière de cette espèce chimique, à l'épaisseur l de solution traversée et à ϵ_λ , le coefficient d'extinction molaire (qui dépend de la nature de l'espèce chimique) : c'est la loi de Beer-Lambert.

$$A_\lambda = \epsilon_\lambda \cdot l \cdot c$$

avec A_λ sans unité, ϵ_λ en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, l en cm et c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Pour des conditions expérimentales données (λ , ϵ_λ et l fixés) :

$$A_\lambda = k \cdot c$$

avec k le coefficient de proportionnalité en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

B Dosage spectrophotométrique par étalonnage

➤ Étapes d'un dosage spectrophotométrique par étalonnage :

1. Déterminer la longueur d'onde λ_{max} pour laquelle le spectre d'absorption de l'espèce chimique présente une absorbance maximale.
2. Pour la longueur d'onde λ_{max} , mesurer l'absorbance des solutions étalons et réaliser la droite d'étalonnage représentant la loi de Beer-Lambert, $A_\lambda = k \cdot c$.
3. Mesurer l'absorbance de la solution à doser et déterminer sa concentration en exploitant la droite d'étalonnage (doc. 5).

Doc. 4 Solution de chlorure de cobalt



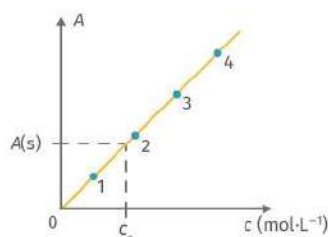
Données

- Masses molaires en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$:
 $M(\text{Cl}) = 35,5$; $M(\text{Co}) = 58,9$.

Éviter les erreurs

- ➔ Dans le cas de plusieurs espèces chimiques colorées en solution, l'absorbance est additive :
 $A = A(1) + A(2) + \dots + A(n)$.

Doc. 5 Courbe d'étalonnage



Vocabulaire

- **Dosage** : doser une espèce chimique consiste à déterminer la quantité de matière ou la concentration de cette espèce.

Pas de malentendu

- ➔ Une mesure d'absorbance peut être réalisée à n'importe quelle valeur de longueur d'onde. Régler le spectrophotomètre sur la valeur λ_{max} permet de comparer des valeurs plus grandes et minimiser ainsi les incertitudes.

Principales notions

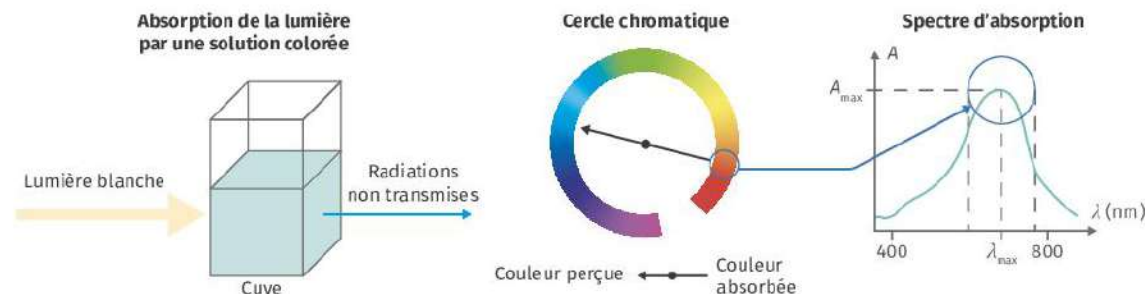
La concentration d'une espèce chimique en solution peut s'exprimer de deux façons :

$$c = \frac{n_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}} \text{ (en mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{)} \text{ ou } \gamma = \frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}} \text{ (en g} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}.$$

Elles sont liées par la relation : $\gamma = c \cdot M$.

Avec $m_{\text{soluté}}$ en g, $n_{\text{soluté}}$ en mol, V_{solution} en L et M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Une espèce chimique peut être caractérisée par son spectre d'absorption qui représente l'évolution de l'absorbance en fonction des longueurs d'onde des radiations qui la traversent.



Les éléments essentiels de la modélisation

Pour une longueur d'onde donnée, l'absorbance d'une espèce chimique colorée en solution est proportionnelle à la concentration de cette espèce chimique.

La loi de Beer-Lambert s'écrit :

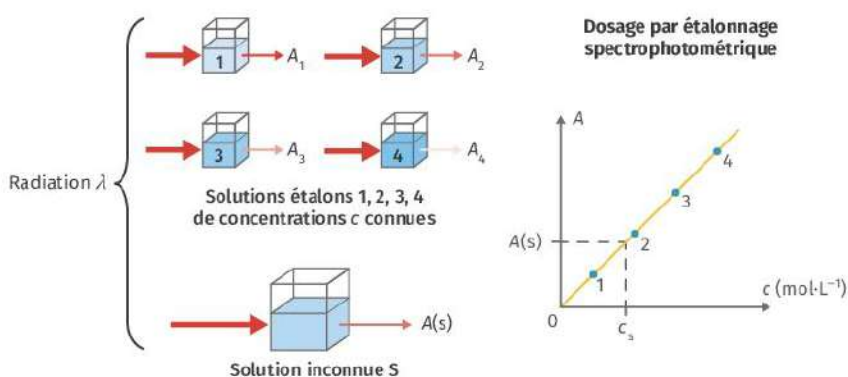
$$A_{\lambda} = k \cdot c = \epsilon_{\lambda} \cdot l \cdot c$$

avec A_{λ} sans unité,

ϵ_{λ} en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$,

l en cm et c en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Cette propriété permet de doser une espèce chimique par étalonnage spectrophotométrique.



Les limites de la modélisation

Les conditions de validité de la loi de Beer-Lambert sont les suivantes :

- les espèces chimiques présentes en solution ne doivent pas réagir ensemble ;
- la solution doit être homogène ;
- la radiation incidente doit être monochromatique ;

- la radiation incidente ne doit pas faire réagir les espèces chimiques en solution ;
- les valeurs d'absorbance ne doivent pas être trop importantes (la valeur 1 est communément admise comme limite).

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour réaliser un schéma et reprendre les principales notions du chapitre ! LLS.fr/PC1P37

1 Concentration d'une espèce chimique en solution

	A	B	C
1. La concentration en quantité de matière d'une espèce chimique en solution :	s'exprime en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.	s'exprime en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.	s'exprime en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
2. La concentration en masse s'exprime par la relation :	$c = \frac{n}{V}$.	$\gamma = \frac{m}{V}$.	$\rho = \frac{m}{V}$.
3. La relation entre les concentrations en masse γ et en quantité de matière c est :	$\gamma = c \cdot M$.	$c = \frac{\gamma}{M}$.	$c = \frac{M}{\gamma}$.

2 Couleur des solutions

1. Une solution colorée absorbe :	toutes les radiations incidentes.	une seule radiation incidente.	plus certaines radiations que d'autres.
2. Sur le cercle chromatique, des couleurs complémentaires :	sont l'une à côté de l'autre.	sont diamétralement opposées.	donnent de la lumière blanche si on les ajoute.
3. Une solution de couleur magenta absorbe :	principalement dans le vert.	principalement dans le jaune.	principalement dans le magenta.

3 Loi de Beer-Lambert

1. Pour une longueur d'onde donnée, l'absorbance est proportionnelle à :	la concentration et la largeur de solution traversée.	la longueur d'onde de la radiation incidente.	l'intensité de la longueur d'onde incidente.
2. Pour une longueur d'onde donnée, la loi de Beer-Lambert s'écrit :	$A_{\lambda} = \frac{k}{c}$.	$A_{\lambda} = k \cdot c$.	$A_{\lambda} = -\frac{k^2}{c}$.
3. La représentation graphique de la loi de Beer-Lambert pour une espèce chimique en solution est :	une droite qui coupe l'axe des ordonnées.	une parabole.	une droite qui passe par l'origine.
4. Pour un dosage par étalonnage spectrophotométrique, il faut mesurer l'absorbance :	de différentes solutions de même concentration.	d'une seule solution à différentes longueurs d'onde.	de différentes solutions de concentrations connues.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P38

4 Questions Jeopardy

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

a. La solution est de couleur verte.

b. C'est la longueur d'onde λ_{max} .

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage (Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 398)

□ Savoir déterminer la concentration en quantité de matière d'une espèce chimique en solution

9

16

24

□ Savoir déterminer la couleur d'une solution à partir de son spectre d'absorbance

11

□ Savoir mettre en œuvre un protocole expérimental pour déterminer la concentration d'une espèce colorée en solution

15

□ Connaître et savoir utiliser la loi de Beer-Lambert

[DIFF]

Pour s'échauffer

5 Quantité de matière

- Calculer la quantité de sulfate de cuivre en mol dans une solution de 1,5 L à $0,25 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

6 Concentration

- Calculer la concentration exprimée en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ d'une solution de volume $V = 100 \text{ mL}$, obtenue par dissolution d'une masse $m = 5,7 \text{ g}$ de chlorure de fer (III) de formule $\text{FeCl}_3(\text{s})$.

Donnée

• Masse molaire du chlorure de fer (III) : $M(\text{FeCl}_3) = 162,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

7 D'une concentration à l'autre

L'anémie ferriprive est due à une carence en fer. Le fer se fixe sur l'hémoglobine qui apporte le dioxygène aux cellules du corps. Pour une femme adulte, la valeur de

la concentration de référence est de $138 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. Le résultat d'une analyse d'une femme enceinte montre un taux d'hémoglobine de $1,71 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

- Souffre-t-elle d'anémie ?

Donnée

• Masse molaire de l'hémoglobine : $M(\text{Hb}) = 64\,458 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

8 Couleur d'une solution

Le spectre d'absorption d'une solution contenant du β -carotène montre une forte absorption pour des radiations de longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 500 nm.

1. À quelle gamme de couleurs correspondent les radiations ?
2. De quelle couleur est la solution ?

Pour commencer

Concentrations

9 Notion de concentration

✓ RAI/ANA : Associer les unités de mesure à leurs grandeurs

L'éosine est une solution antiseptique. On la trouve sous forme d'unidoses de 2 mL à 2 %, soit une concentration de $20,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.



1. La masse molaire de l'éosine est de $694 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. En déduire la concentration en quantité de matière de la solution.
2. Calculer la quantité de matière d'éosine contenue dans une unidosé.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P39

Spectre d'absorption

10 Solvatochromisme

✓ APP : Formuler une hypothèse

Le solvatochromisme est la propriété d'une espèce chimique de changer de couleur en fonction du solvant dans lequel elle est dissoute. Le diiode est jaune pâle lorsque le solvant est l'eau (tube a) et rose lorsque le solvant est le cyclohexane (tube b).



1. Quelles sont les gammes de longueurs d'onde absorbées dans chaque cas ?
2. Représenter, sans souci d'échelle, l'allure possible de leur spectre d'absorption.

Dosage spectrophotométrique par étalonnage

11 La bouteille bleue

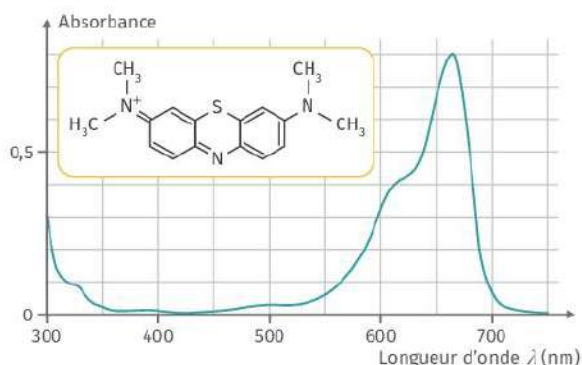
✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

La bouteille bleue est une expérience au cours de laquelle la solution à l'intérieur de la bouteille change de couleur quand on l'agite.

L'espèce chimique responsable de la coloration de la bouteille est le bleu de méthylène. Au repos, le bleu de méthylène réagit avec du glucose dissous et est présent sous sa forme incolore. Lors de l'agitation, le bleu de méthylène réagit avec le dioxygène de l'air pour se transformer dans sa forme colorée. Une fois l'agitation terminée, le cycle reprend, le bleu de méthylène réagit avec le glucose et la solution se décolore. Et ainsi de suite.



Le spectre d'absorption ci-dessous est celui du bleu de méthylène.



- Justifier que le spectre d'absorption est celui de la forme colorée du bleu de méthylène.
- À quelle longueur d'onde doit-on régler le spectrophotomètre pour réaliser une mesure d'absorbance d'une solution de bleu de méthylène ?
- Représenter l'allure du spectre d'absorption du bleu de méthylène sous sa forme incolore.

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Connaître et savoir utiliser la loi de Beer-Lambert

12 La tartrazine

✓ MATH : Effectuer des calculs numériques

La tartrazine est un colorant de synthèse utilisé principalement dans l'industrie alimentaire, son code est E102.

- Calculer la concentration c en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ d'une solution de tartrazine dont l'absorbance mesurée à la longueur d'onde $\lambda = 425 \text{ nm}$ est $A_{425} = 0,05$. En déduire la concentration γ de tartrazine en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Données

- Largeur de la cuve : $l = 1,0 \text{ cm}$;
- Coefficient d'extinction molaire à 425 nm : $\epsilon_{425} = 2,3 \times 10^4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$;
- Masse molaire de la tartrazine : $M_{\text{tartrazine}} = 534 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

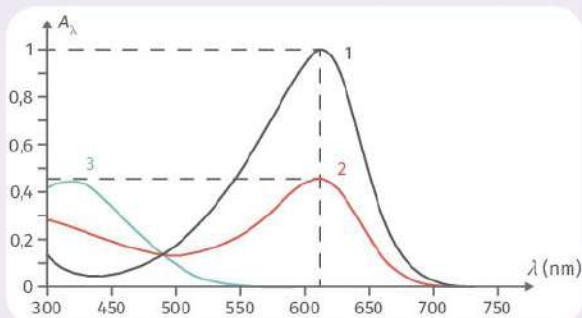
13 Indicateurs colorés

✓ MATH : Effectuer des calculs numériques

Le bleu de bromothymol (BBT) est un indicateur coloré dont la couleur en solution dépend de la valeur du pH de la solution. Une solution acide de BBT est jaune alors qu'une solution basique apparaît bleue.

- Identifier, en justifiant, les courbes d'absorbance d'une solution acide et d'une solution basique contenant du BBT.
- La courbe 1 représente une solution de BBT de concen-

tration $c = 3,0 \times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Déterminer le coefficient d'extinction molaire du BBT au maximum d'absorbance de la solution pour une cuve de $1,0 \text{ cm}$ de largeur.



14 Mélange de colorants

✓ MATH : Effectuer des calculs numériques

Les absorbances de deux solutions S_1 et S_2 de riboflavine (vitamine B2), de concentrations c_1 et c_2 , sont mesurées dans les mêmes conditions expérimentales. Les valeurs trouvées sont $A_1 = 1,2$ et $A_2 = 0,4$.

- Calculer l'absorbance A_3 du mélange d'un même volume V de chaque solution.
- Calculer l'absorbance A_4 du mélange d'un volume V_1 de la solution S_1 et d'un volume $V_2 = \frac{V_1}{2}$ de la solution S_2 .

- ✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés
 ✓ VAL : Analyser un résultat numérique

Dosage des ions dichromate

Énoncé

Pour doser une solution orangée contenant des ions dichromate $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})$, on réalise une gamme de solutions étalons de concentrations différentes. Le spectrophotomètre est réglé sur une longueur d'onde de 450 nm. Les cuves utilisées pour réaliser ces mesures sont d'une largeur de 1,0 cm. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Solution étalon	A	B	C	D	E
Concentration c ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	6,5	5,0	4,0	2,5	1,0
Absorbance à 450 nm A_{450}	1,9	1,46	1,25	0,73	0,29

- Justifier le réglage du spectrophotomètre à 450 nm.
- Tracer la courbe d'étalonnage $A_{450} = f(c)$. La loi de Beer-Lambert est-elle vérifiée ?
- L'absorbance $A_{450, \text{inc}}$ d'une solution de concentration inconnue en ions dichromate est mesurée avec le même spectrophotomètre et les mêmes réglages. La valeur est $A_{450, \text{inc}} = 1,52$. En déduire la valeur de la concentration c_{inc} .

Solution rédigée

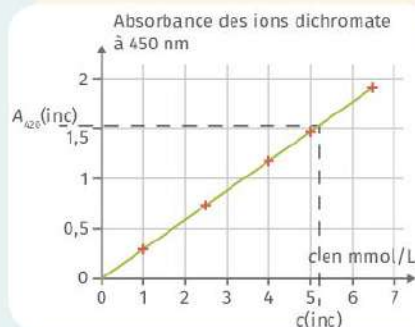
- La couleur d'une solution est la couleur complémentaire des radiations absorbées par la solution, c'est-à-dire la couleur diamétralement opposée sur le cercle chromatique. La solution est perçue de couleur jaune, c'est donc qu'elle absorbe les radiations bleues (450-500 nm).
- Les points sont alignés. La courbe d'étalonnage est une droite passant par l'origine. A et c sont proportionnelles : l'équation de la droite d'étalonnage est de la forme $A = k \cdot c$. La loi de Beer-Lambert est bien vérifiée.
- Par lecture graphique, la valeur de la concentration en ions dichromate de la solution inconnue dont l'absorbance est $A_{450, \text{inc}} = 1,52$ est : $c_{\text{inc}} = 5,2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

- Mettre en relation le réglage du spectrophotomètre avec la couleur de la solution.
- Repérer dans le tableau les grandeurs à porter en abscisses et en ordonnées. Écrire la loi de Beer-Lambert.
- Utiliser la droite d'étalonnage pour déterminer la concentration d'une solution.

POUR BIEN RÉPONDRE

- Utiliser le cercle chromatique présenté en rabat de fin de cet ouvrage pour déterminer la couleur absorbée.
- Choisir une échelle adaptée aux valeurs.
- Déterminer l'abscisse du point de la droite dont l'ordonnée est $A_{450, \text{inc}} = 1,52$.



15 Mise en application

- Tracer la droite d'étalonnage pour les valeurs de concentration c d'ions permanganate données dans le tableau ci-dessous.

Solution étalon	A	B	C	D	E
Concentration c ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Absorbance A_{540}	0,07	0,13	0,20	0,26	0,33

- Déterminer la valeur de la concentration c_{inc} de la solution dont l'absorbance mesurée est $A_{540, \text{inc}} = 0,21$.
- Pour une cuve de largeur de 1,0 cm, déterminer la valeur du coefficient d'extinction molaire ϵ_{540} .

Pour s'entraîner

16 Dosage par étalonnage

✓ VAL : Exploiter un ensemble de mesures

On réalise le dosage spectrophotométrique d'une solution aqueuse de diiode I_2 . Les mesures de l'absorbance à 520 nm pour plusieurs solutions étalons sont données dans le tableau ci-dessous.

Solution étalon	A	B	C	D	E
Concentration ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
Absorbance A_{520}	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48

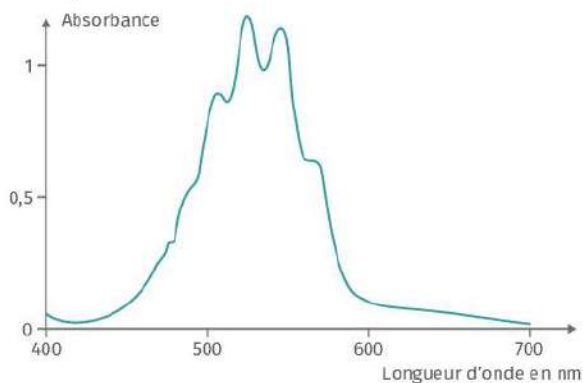
1. Tracer la droite d'étalonnage.
2. Déterminer la concentration en quantité de matière d'une solution de diiode de concentration inconnue dont la mesure de l'absorbance à 520 nm est $A_{520} = 0,31$.
3. Déterminer la valeur du coefficient d'extinction molaire du diiode sachant que la cuve de mesure a une largeur de 1,0 cm.

17 Validité de la loi de Beer-Lambert

✓ VAL : Identifier des sources d'erreurs

✓ RAI/ANA : Élaborer un protocole

Rayan décide de vérifier la loi de Beer-Lambert pour des solutions contenant l'ion permanganate. Pour ce faire, il réalise une série d'expériences : il dispose de tout le matériel de laboratoire nécessaire et du spectre d'absorption de l'ion permanganate ci-dessous pour réaliser ses expériences.



Expérience 1 : Droite d'étalonnage

Il réalise une série de cinq solutions étalons dont les concentrations sont comprises entre $0,01 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $0,05 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Il règle le spectrophotomètre à 600 nm et effectue ses mesures. Après avoir saisi ses résultats dans un tableur, il trace la courbe d'étalonnage et remarque que les points ne sont pas alignés. Il modélise la droite mais celle-ci ne passe pas par l'origine.

1. Identifier dans le protocole de Rayan ce qui ne lui permet pas de vérifier la relation de proportionnalité

entre l'absorbance et la concentration d'une solution diluée contenant l'ion permanganate.

Expérience 2 : Additivité des absorbances

Rayan dispose de deux solutions : la solution 1 de permanganate de potassium et la solution 2 incolore qui contient des ions fer (II). Il mesure l'absorbance de la solution 1 et trouve $A_1 = 0,25$. Il mélange deux volumes V égaux de chaque solution pour ensuite mesurer l'absorbance du mélange et ainsi vérifier l'additivité de l'absorbance. Cependant, il découvre que le mélange est devenu incolore.

2. Formuler une hypothèse permettant d'expliquer le résultat de l'expérience.
3. Proposer un autre protocole expérimental permettant de vérifier l'additivité des absorbances pour une solution diluée colorée.

18 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.

Diagnostic du diabète

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS) un patient est diabétique quand sa glycémie à jeun est supérieure au moins à deux reprises à $7 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Données

• Masses molaires en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$:

$$M(\text{C}) = 12,0 ;$$

$$M(\text{O}) = 16,0 ;$$

$$M(\text{H}) = 1,0.$$

1. La concentration en masse de glucose est donnée par $\frac{\text{masse glucose}}{\text{volume glucose}}$ donc :

$$\text{prise 1 : } \gamma_1 = \frac{9,0}{5} = 1,8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$\text{prise 2 : } \gamma_2 = \frac{8,6}{5} = 1,7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$$

2. Pour calculer la concentration en quantité de matière de glucose, j'ai besoin de la masse molaire :

$$M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 6M(\text{C}) + 12M(\text{H}) + 6M(\text{O}) = 180,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}.$$

La concentration en quantité de matière de glucose est obtenue en divisant par la masse molaire car $n = \frac{m}{M}$:

$$c_1 = \frac{1,8}{180} = 0,017 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$c_2 = \frac{1,7}{180} = 0,0094 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

3. Il ne faut pas que la concentration dépasse $7 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Or on a $0,017$ et $0,0094$, il n'y a pas de problème le patient n'est pas diabétique.

Comprendre les attendus

19 Dopage au salbutamol

✓ RAI/ANA : Utiliser des mesures pour répondre à une problématique

Le salbutamol est une molécule que l'on trouve en particulier dans la Ventoline pour le traitement de l'asthme. Sa formule chimique est $C_{13}H_{21}NO_3$. Chez les sportifs, il améliore la ventilation et permet une meilleure résistance à l'effort. Christopher Froome, par exemple, est un cycliste asthmatique qui a été soupçonné d'utilisation excessive de son médicament. Son usage est donc réglementé et sa concentration en masse ne doit pas dépasser $1,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ lors d'une analyse d'urine. Pour Christopher Froome, on a trouvé une valeur de $3,35 \text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.



1. Calculer la masse molaire du salbutamol.
2. En déduire la concentration γ en masse de salbutamol donnée par l'analyse de l'urine.
3. Christopher Froome risque-t-il une sanction ?

Détails du barème

TOTAL/4 pts

- | | |
|--|--------|
| 1. Identifier les masses molaires atomiques dans le tableau périodique. | 0,5 pt |
| Calculer la masse molaire moléculaire à partir de la formule brute. | 0,5 pt |
| 2. Convertir correctement la concentration trouvée en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (ou méthode équivalente). | 1 pt |
| Utiliser la relation entre la masse, la masse molaire et la quantité de matière. | 0,5 pt |
| 3. Convertir la concentration en masse en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. | 1 pt |
| Conclure en comparant les valeurs. | 0,5 pt |

20 La qualité de l'air en QCM

✓ MATH : Effectuer des calculs numériques

Les normes concernant la qualité de l'air indiquent que le taux moyen annuel de dioxyde d'azote NO_2 ne doit pas dépasser $40,0 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ d'air.

Donnée

$$1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ L.}$$

1. Une mesure dans un prélèvement d'air de 300 L donne une quantité de matière de $0,760 \text{ }\mu\text{mol}$ de NO_2 . La concentration γ en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ correspondante est de :
a. 0,230. b. 45,8 c. 117.

2. Peut-on affirmer que la norme est dépassée ?

- a. Oui, car on est largement au-dessus de la valeur préconisée.
- b. Non, car la norme précédente donne une valeur moyenne sur l'année, cela nécessite donc d'autres mesures.

21 Hyperuricémie

✓ MATH : Effectuer des calculs numériques

L'hyperuricémie est une augmentation de la concentration de l'acide urique $C_5H_4N_4O_3$ dans le sang. La concentration normale chez l'homme doit être située entre $206 \text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $441 \text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Un excès de cette molécule peut entraîner la goutte (maladie inflammatoire des articulations) ou des calculs rénaux.

1. Calculer la masse molaire de l'acide urique.
2. Exprimer les concentrations précédentes en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.
3. Un patient se plaint de douleurs au niveau des reins et une analyse de sang donne une valeur de $82,7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ d'acide urique dans le sang. Cela est-il de nature à confirmer un diagnostic de calcul rénal ?

22 L'axolotl

✓ MATH : Effectuer des calculs numériques



Axolotls dans un aquarium.

L'axolotl est un amphibien qui peut être atteint de mycoses. Ces mycoses peuvent être traitées par des bains intensifs de solution aqueuse de chlorure de sodium NaCl. D'environ 20 minutes par jour et d'une concentration en masse de $21,6 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ en chlorure de sodium dissous, ces bains (qui doivent être vidés à chaque fois) peuvent être prolongés pendant trois jours maximum.

1. Calculer la concentration c en quantité de matière du chlorure de sodium dans ce bain.
2. Quelle quantité de matière totale de chlorure de sodium est nécessaire pour effectuer les trois jours de traitement dans un bac de 8,5 litres ?

23 Un dosage de protéines particulier

✓ VAL : Exploiter un ensemble de mesures

Méthode de Bradford

En biochimie, la méthode de Bradford est une méthode d'analyse spectroscopique utilisée pour mesurer la concentration des protéines en solution.

D'après « Méthode de Bradford », *wikipedia.org*.

L'expérience est réalisée à 595 nm (couleur bleue) en présence de bleu de Coomassie. Comme pour tout dosage par spectrophotométrie, il faut au préalable effectuer un étalonnage. On prépare 5 tubes contenant des masses croissantes de protéines et on mesure l'absorbance à 595 nm.

Masses (μg)	0	2	4	6	8
Absorbance	0,10	0,33	0,57	0,81	1,09

1. Tracer la courbe d'étalonnage de l'absorbance en fonction de la masse.
2. L'absorbance de la solution étudiée est de 0,63. À quelle masse de protéines cela correspond-il ?
3. Sachant que le volume prélevé de solution étudiée est de 10,0 μL , en déduire la concentration γ en masse de protéine exprimée en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

24 L'acide chlorhydrique : un puissant décapant

✓ RÉA : Mettre en œuvre les étapes d'une démarche



Une solution d'acide chlorhydrique est obtenue par dissolution de chlorure d'hydrogène gazeux HCl (g) dans l'eau.

Doc. 1 Acide chlorhydrique commercial

IMPORTANT : s'utilise en dilution 30 % d'acide pour 70 % d'eau : attention de toujours verser l'acide dans l'eau. Après traitement, rincer abondamment.

DÉTARTRANT : rénovation extérieure de certaines pierres de terrasses et cuivres oxydés. Débouche, détartre les canalisations PVC.

DÉCAPANT : carrelages (traces de ciment, égalisation de joints), verre, sanitaires, ustensiles non alimentaires en fer, acier. Polit et nettoie les métaux.

Volume : 1,0 L. Acide Chlorhydrique 23 % (23 g d'acide dans 100 g de solution). **Masse volumique** : $\rho = 1,15 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.



Doc. 2 Nettoyage de métal à l'acide chlorhydrique



1. Que signifient les pictogrammes sur la bouteille d'acide chlorhydrique ?

2. Quelles précautions faut-il prendre lors de l'utilisation de cette espèce chimique ?
3. Calculer la masse de chlorure d'hydrogène HCl gazeux dissous dans l'eau pour obtenir cette solution du commerce.
4. Calculer la concentration γ en masse en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ d'acide chlorhydrique dans cette solution du commerce.
5. Calculer la masse molaire moléculaire du chlorure d'hydrogène.
6. Calculer la concentration c_1 en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de l'acide chlorhydrique du commerce.
7. Calculer le volume de solution du commerce à prélever pour préparer 500,0 mL de solution fille diluée.
8. Calculer la quantité de matière d'acide chlorhydrique dans la solution fille.
9. Calculer la concentration c_2 en quantité de matière d'acide chlorhydrique de la solution fille.

25 Échelle de teintes

✓ VAL : Effectuer une analyse comparative

On dispose d'une solution de diiode dont on ne connaît pas la concentration et d'une autre de concentration en quantité de matière de diiode connue à $2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. À l'aide d'une pipette jaugée, on prélève 2,0 mL de la solution de diiode dont la concentration est connue qu'on verse dans une fiole jaugée de 20,0 mL et on complète avec de l'eau distillée. On réalise cette opération avec des volumes de 4,0, 6,0 et 8,0 mL de diiode. On verse ces solutions dans quatre tubes à essai.

1. Calculer les concentrations en quantité de matière de diiode dans les quatre premiers tubes.

La solution de concentration à déterminer est trop concentrée, sa couleur ne correspond pas aux tubes test. À l'aide d'une pipette jaugée, on prélève 10,0 mL de la solution inconnue que l'on verse dans une fiole jaugée de 25,0 mL. On ajoute de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On verse la solution obtenue dans le 5^e tube à essai.

2. Par comparaison de couleurs, estimer la concentration c en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de diiode dans le 5^e tube.
3. En déduire alors la concentration en diiode dans la solution initiale.

Doc. 1 Échelle de teintes du diiode et solution inconnue



Pour aller plus loin

26 Casse ferrique du vin

✓ APP : Formuler le résultat attendu

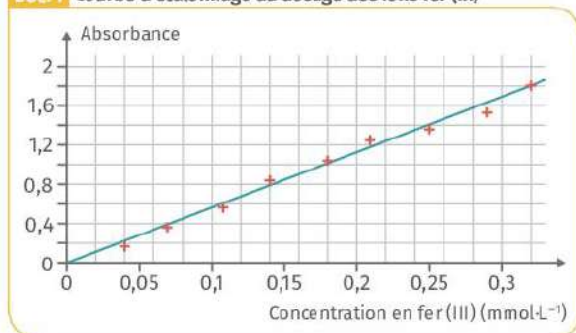


La casse ferrique est un dépôt qui se forme suite à une présence trop importante d'ions fer (III) Fe^{3+} dans un vin. Initialement présents sous forme d'ions fer (II) Fe^{2+} , une oxydation peut transformer ces ions fer (II) en ions fer (III).

Un dosage fréquent permet de contrôler l'évolution de la concentration en ions fer (III) dans le vin. Le dosage est effectué par spectrophotométrie. La courbe de dosage est donnée dans le doc. 1.

1. L'absorbance mesurée est égale à 0,90. Déterminer la concentration c en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de l'ion fer (III) dans le vin testé.
2. En déduire la concentration γ en masse en ions fer (III) dans ce vin.
3. Les risques de casse ferrique deviennent importants à partir de $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Ce vin doit-il être surveillé ?

Doc. 1 Courbe d'étalonnage du dosage des ions fer (III)



27 Le Ramet Dalibour

✓ RÉA : Effectuer des calculs numériques

La préparation de Ramet Dalibour permet de nettoyer des lésions de la peau pouvant éventuellement se surinfecter. Cette solution, à base de sulfate de cuivre (II) et de sulfate de zinc (II), s'utilise comme un savon liquide, pur ou dilué deux fois, suivi d'un rinçage abondant. On l'achète par flacon de 100 mL. Sur l'étiquette, on trouve les informations suivantes :

- sulfate de cuivre (II) CuSO_4 : 0,100 g ;
- sulfate de zinc (II) ZnSO_4 : 0,350 g.

1. Calculer la concentration c en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de sulfate de cuivre (II) et de sulfate de zinc (II) dans le flacon.
2. Détailler le protocole permettant de préparer avec précision 20,0 mL de solution diluée de Ramet Dalibour.

3. Calculer les nouvelles concentrations molaires en sulfate de cuivre (II) et en sulfate de zinc (II) dans la solution fille.

28 Thé ou café ?

✓ RAI / MOD : La quantité de matière

Contrairement aux idées reçues, la théine, la molécule à effets excitants du thé, et la caféine sont une seule et même molécule. Cette molécule, c'est la 1,3,7-triméthylxanthine, de formule chimique $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_4\text{O}_2$.

La dose journalière admissible (DJA) de la caféine pour les adolescents est de $1,55 \times 10^{-5} \text{ mol}$ par kg de masse corporelle. Au-delà de cette valeur, il y a des risques pour la santé. L'excès de caféine peut augmenter la nervosité et favoriser les insomnies.

Boisson	Masse de caféine (mg)	Volume (en mL)
Expresso	63	50
Thé darjeeling	58	200
Cola	40	330
Boisson énergisante	80	250

1. Calculer la masse molaire moléculaire de la caféine.
2. Calculer la quantité de matière de caféine dans chacune de ces boissons.
3. Calculer la concentration en quantité de matière de caféine de ces quatre boissons.
4. Déterminer la DJA en mg/kg de caféine.
5. Marlène, 16 ans, a une masse de 50 kg. Elle boit un thé tous les matins, une canette de Cola en mangeant à chaque repas et une boisson énergisante à la sortie du lycée. Prend-elle des risques pour sa santé ?

29 Mélange de solutions

✓ RAI / ANA : Proposer une stratégie de résolution

L'aide-laboratoire d'un lycée récupère les solutions qui ont servi aux élèves pour faire les tests d'identification des ions. Il reste 200 mL de solution mère d'hydroxyde de sodium à la concentration $c_{\text{mère}} = 1,00 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ mélangé à 500 mL de solution fille d'hydroxyde de sodium à la concentration $c_{\text{fille}} = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Il doit préparer de nouveau 1,00 L de solution mère pour un prochain TP à partir des solutions restantes.

- Calculer la masse de pastilles de soude qu'il devra ajouter dans le mélange avant de compléter avec de l'eau distillée pour arriver à 1,00 L de solution.

Donnée

Une solution d'hydroxyde de sodium est obtenue par dissolution de pastilles de soude NaOH dans de l'eau.

30 Alcoolémie

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

L'alcoolémie A d'un automobiliste, en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, peut se calculer avec la relation suivante :

$$A = \frac{0,80V \cdot d}{K \cdot m}$$

Avec V le volume du verre d'alcool en mL ; d le degré d'alcool (%) ; K le coefficient de diffusion (0,70 pour un homme, 0,60 pour une femme) et m la masse de la personne en kg. Un automobiliste de 75 kg ayant son permis depuis un an et demi est contrôlé positif et doit subir une analyse de sang. Le résultat de l'analyse donne une concentration en alcool (éthanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$) de $c = 3,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

1. Calculer la concentration en masse d'éthanol.

2. Il affirme pourtant n'avoir bu que deux verres de vin (volume d'un verre $V_{\text{verre}} = 100 \text{ mL}$) à 8° ($d = 0,080$). Cela est-il plausible ?

3. S'il n'avait bu que ce qu'il affirme, ce jeune conducteur aurait-il pu encourir une sanction ?

Doc. 1 Données légales

En France, il est interdit de conduire avec une alcoolémie supérieure à $0,5 \text{ g d'alcool par litre de sang}$ ($0,2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour les permis probatoires). Les permis probatoires concernent notamment les jeunes conducteurs ayant passé leur permis il y a moins de 3 ans (ou 2 ans en cas de conduite accompagnée).

D'après « Alcool », securite-routiere.gouv.fr.

31 Mildiou et bouillie bordelaise

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



Feuille de vigne touchée par le mildiou.

La bouillie bordelaise est un mélange d'eau, de sulfate de cuivre (II) et de chaux éteinte, qui donne une bouillie bleu-verdâtre. Elle est utilisée en la pulvérisant sur les

feuilles et les fruits. C'est un traitement préventif contre le mildiou, une maladie affectant de nombreuses espèces de plantes. Elle peut prendre des proportions épidémiques dans certaines cultures, comme la vigne.

Un vigneron possède 50,0 hectares de vignes. Il souhaite préparer sa bouillie bordelaise annuelle. Il doit pour cela se procurer du sulfate de cuivre pentahydraté $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$ et de la chaux éteinte $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

• Quel est le coût de cette préparation pour le vigneron s'il envisage de traiter toutes ses vignes ?

Données

- $1 \text{ ha} = 1 \times 10^4 \text{ m}^2$;
- 10 kg de sulfate de cuivre pentahydraté : 45 € ;
- 15 kg de chaux éteinte : 10 € ;
- Prix du m^3 d'eau : 4 € ;
- Limite maximale de bouillie bordelaise dans un champ : 115 mL par m^2 pour une concentration en sulfate de cuivre pentahydraté de $80,0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ et en eau de chaux éteinte de $0,405 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Retour sur l'ouverture du chapitre (esprit scientifique)

32 Le stylo effaçable par friction

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

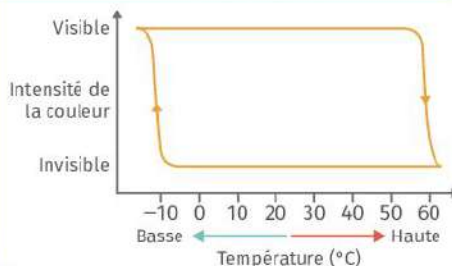
Après plusieurs années de développement, une entreprise japonaise a finalement réussi à commercialiser un stylo dont l'encre liquide s'efface en frottant la feuille de papier avec un morceau de plastique. L'encre de ces stylos est thermosensible, c'est-à-dire qu'elle change de couleur avec la température : on parle de thermochromisme.

1. Pour un stylo dont l'encre est bleue, représenter l'allure du spectre d'absorption que l'on obtiendrait pour une solution diluée de cette encre.

2. Comment évolue le spectre d'absorption de l'encre quand on la chauffe ?

3. Comment est-il possible de faire réapparaître l'encre du stylo ?

Visibilité de l'encre selon la température



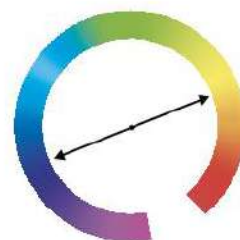
Activité numérique

Objectifs :

- ➔ Préparer le cours en s'appropriant le vocabulaire et les notions concernant la composition chimique d'une solution.
- ➔ Réaliser un bilan synthétique des notions abordées sous la forme d'un questionnaire ou de *flashcards*.

A Comprendre les couleurs des solutions avec un logiciel

1.  **Télécharger gratuitement le logiciel Chroma** sur [LLS.fr/PC1Chroma](https://lls.fr/PC1Chroma).
2. Lancer le logiciel Chroma, sélectionner *Couleur des objets* puis dans le menu déroulant *Absorbances des solutions colorées*.
3. À droite, décocher la ou les solutions colorées sélectionnées et cocher *Schéma simplifié du spectrophotomètre*.
4. Régler le curseur sur 534 nm. Quelle est la couleur de la radiation ?
5. Cocher la solution colorée de permanganate de potassium. Quelle valeur lit-on sur l'afficheur ?
6. La courbe apparue en bas est le spectre d'absorption du permanganate de potassium. Bouger le curseur permettant de changer la couleur des radiations traversant la solution. Que remarque-t-on pour l'intensité de la radiation traversant la cuve contenant le permanganate de potassium ? Pour la valeur de l'afficheur ?
7. Expliquer la relation entre la forme de la courbe du spectre d'absorption et l'intensité de la radiation après passage de la cuve contenant la solution de permanganate de potassium.
8. Quelle couleur est la plus absorbée par le permanganate de potassium ?
9. L'image ci-contre est un cercle chromatique. Deux couleurs diamétralement opposées sont appelées couleurs complémentaires : formuler une hypothèse concernant la relation entre la couleur d'une solution et la couleur la plus absorbée par celle-ci.
10. Tester cette hypothèse avec les autres solutions disponibles sur le logiciel. Conclure sur la validité et la limite de cette hypothèse.



B Transformer son smartphone en spectrophotomètre

Matériel :

- Un smartphone ;
- Un gobelet en plastique transparent ;
- Des boissons colorées non gazéifiées ;
- Un papier cartonné de couleur verte unie, rouge unie ou bleue unie.

1.  **Télécharger l'application Color Comparator** ou *ColorMeter*. Ces deux applications permettent d'obtenir les niveaux de rouge, vert et bleu de lumière colorée.
2. Après avoir visionné la vidéo sur [LLS.fr/PC1P47](https://lls.fr/PC1P47), réaliser avec un smartphone des mesures de l'absorbance de différentes boissons colorées.
3. Vérifier que la couleur perçue est bien la couleur complémentaire de la couleur pour laquelle l'absorption est maximale.



C Synthèse



Réaliser entre 5 et 10 *flashcards* synthétisant les notions principales sur [LLS.fr/PC1P47](https://lls.fr/PC1P47).



Évolution d'un système chimique

ESPRIT SCIENTIFIQUE



La corrosion est une réaction chimique lente. L'un de ses exemples le plus connu est la formation de rouille sur l'acier ou le fer, comme sur cette chaîne devant le Golden Gate à San Francisco.

➤ Comment évaluer l'état d'avancement d'une réaction chimique ?

➔ voir l'activité 2, p. 51



Travailler

autrement

CLASSE
INVERSEE

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour découvrir des animations et visionner des capsules vidéo en autonomie sur le tableau d'avancement.

LLS.fr/PC1P48

Voir p. 65

2 + 1 + 1 →

● Fromage
● Viande
● Personne

vidéo

Avant "Réaction"

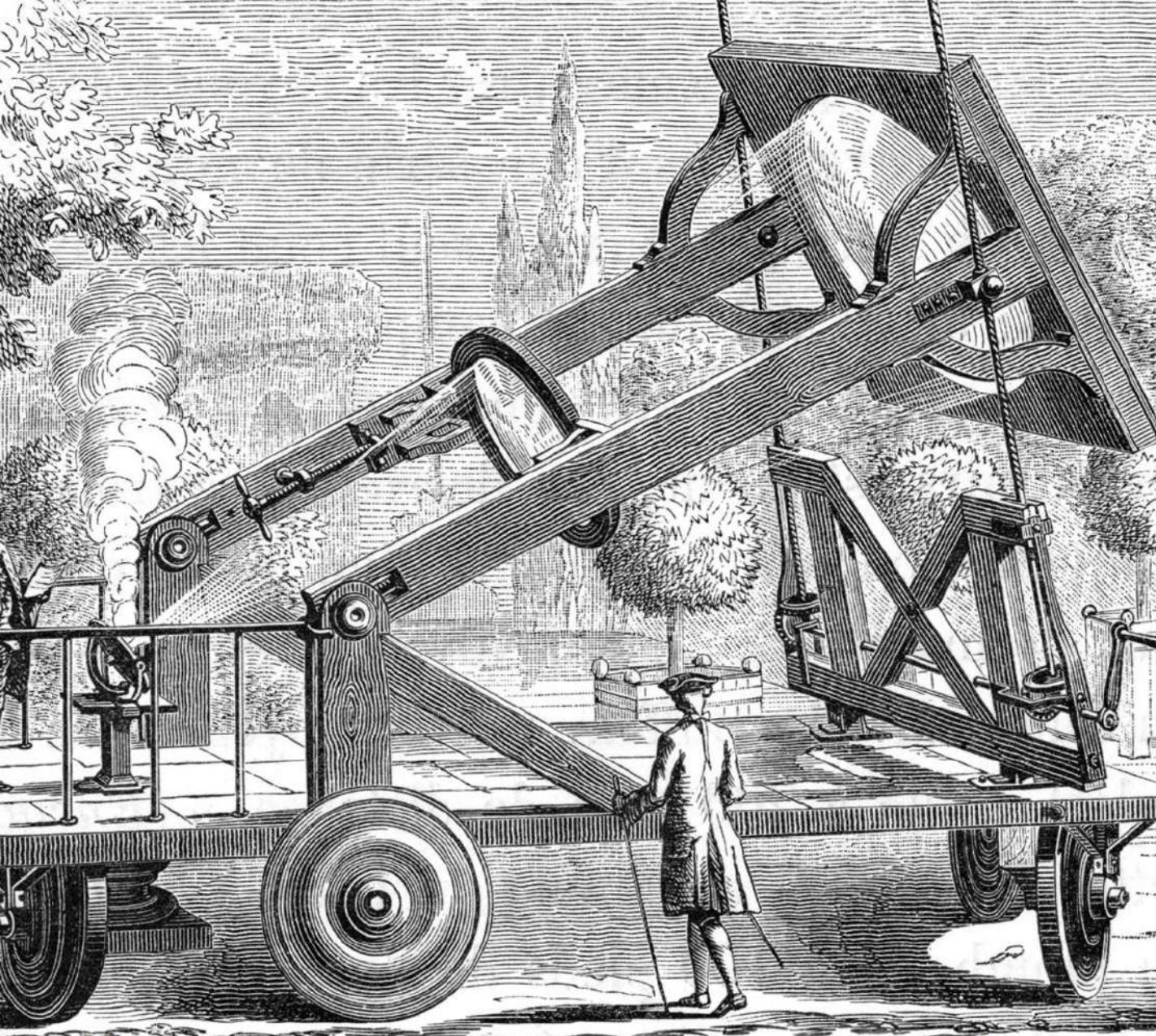
2 1 1

Reactifs

Après "Réaction"

1 0 0 0

Produits Restes



En 1772, Antoine de Lavoisier fait « disparaître » des diamants grâce à une lentille concentrant la lumière du Soleil en élevant ainsi fortement la température. Les lois de la conservation de la matière énoncées par ce même savant sont-elles respectées ?

→ **Comment expliquer la disparition des diamants ?**

→ voir l'exercice 38, p. 64

À revoir pour bien commencer

- › Savoir ajuster une équation bilan
- › Savoir déterminer une quantité de matière
- › Connaître la loi de Beer-Lambert

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P49

Objectifs du chapitre

- ☐ Construire un tableau d'avancement
- ☐ Savoir décrire l'évolution d'un système
- ☐ Déterminer la composition d'un système à l'état final
- ☐ Comparer l'avancement final à l'avancement maximal

1 Décrire l'évolution d'un système chimique

Le dentifrice de l'éléphant est une expérience impressionnante au cours de laquelle une gerbe de mousse est produite. Lors de la réalisation de cette expérience, il faut prévoir un bac de contenance assez importante pour pouvoir récupérer toute la mousse produite.

→ Comment peut-on prévoir l'état final du système ?

Par intuition

Quel volume de gaz peut être produit par une dizaine de millilitres d'eau oxygénée ?

Doc. 1 Réalisation de l'expérience

Lors de cette expérience, on mélange 50 mL d'eau oxygénée à 30 % en masse avec une solution d'iodure de potassium ($K^+(aq)$; $I^-(aq)$). Sous l'action catalytique des ions iodure I^- , la réaction de dismutation du peroxyde d'hydrogène est accélérée et le dégagement de dioxygène qui aurait dû s'effectuer sur plusieurs mois se fait en quelques instants.

Pour amplifier le côté impressionnant de l'expérience, on ajoute du liquide vaisselle. Le mélange liquide vaisselle-eau va former des bulles qui vont piéger le dioxygène : voilà le dentifrice de l'éléphant !

Pour récupérer la mousse formée, on place l'erlenmeyer dans un cristalliseur de 10 L.



Doc. 2 Tableau d'avancement et réaction totale

Le tableau d'avancement est un outil qui permet de décrire et prévoir l'évolution de systèmes chimiques. Il répertorie les quantités de matière de chaque réactif ou produit. Il fait intervenir une grandeur fictive : l'avancement noté x .

L'avancement correspond à la quantité de réactif ayant réagi ou bien de produit ayant été formé dans le cas particulier où le nombre stoechiométrique associé est égal à 1.

Doc. 3 Suivi de la réaction

La réaction de dismutation du peroxyde d'hydrogène (réaction sur lui-même) est une réaction totale. Les réactions totales ont lieu jusqu'à épuisement de l'un des réactifs.

À 20 °C le volume molaire du dioxygène est de 24 L·mol⁻¹.

valeurs en mole	Avancement	$2 H_2O_2(aq) \rightarrow H_2O(l) + O_2(g)$		
État initial	0	$n_0 = 0,44 \text{ mol}$	Excès	0
État final	x_{final}	$n_0 - 2 x_{\text{final}}$	Excès	x_{final}

Compétences

- ✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique
- ✓ RAI/MOD : Utiliser la quantité de matière

- Doc. 1** Avec quel réactif le peroxyde d'hydrogène réagit-il ? Quel(s) est/sont le(s) produit(s) de cette transformation chimique ?
- Doc. 2** Identifier le rôle de l'ion iodure I^- et du liquide vaisselle dans l'expérience du dentifrice de l'éléphant.
- Doc. 4** Quels sont les composants de l'eau oxygénée ? Expliquer alors la raison pour laquelle il est mentionné « excès » dans la colonne de l'eau.
- Doc. 4** Quelle est la quantité de matière finale de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 ? En déduire la valeur de l'avancement final x_{final} .

Synthèse de l'activité

Calculer le volume maximal de dioxygène produit lors de la réaction. Le cristalliseur utilisé est-il de taille suffisante ?

2 L'avancement d'une réaction 80'

En chimie industrielle, il est nécessaire de maîtriser les quantités de réactifs nécessaires pour élaborer la quantité souhaitée d'un produit donné.

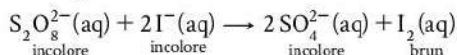
→ **Comment suivre l'évolution d'un système chimique et connaître son état final ?**



Doc. 1 Une réaction colorée

Il s'agit de la réaction entre les ions iodure et les ions peroxydisulfate :

- c'est une réaction qui s'effectue en quelques minutes ;
- elle s'accompagne d'une coloration progressive de la solution, ce qui permet de faire un suivi colorimétrique.



Doc. 2 Protocole

- Verser 3 mL de la solution ($\text{K}^{+}(\text{aq}) ; \text{I}^{-}(\text{aq})$) dans la cuve que l'on place dans le colorimètre et faire le blanc ($T = 100\%$) ;
- paramétrer le logiciel d'acquisition (40 min, 200 points) ;
- lancer l'acquisition ;
- verser rapidement 1 mL de la solution ($2\text{Na}^{+}(\text{aq}) ; \text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq})$) dans la cuve (agiter) ;
- recouvrir et relever la valeur de l'absorbance A toutes les minutes.

Doc. 3 Matériel nécessaire

Solutions :

- ($\text{K}^{+}(\text{aq}) ; \text{I}^{-}(\text{aq})$) à $0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$;
- ($2\text{Na}^{+}(\text{aq}) ; \text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq})$) à $5,0 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Verrerie et matériel :

- deux pipettes graduées de 5 mL ;
- colorimètre relié à un PC et sa cuve.



Doc. 4 Avancement et coefficients stœchiométriques

L'avancement x d'une réaction chimique permet de suivre l'état d'avancement d'une réaction.

Pour une réaction d'équation $a\text{A} + b\text{B} \rightarrow c\text{C} + d\text{D}$, la quantité de matière des réactifs sera :

$$n(\text{A}) = n_0(\text{A}) - a \times x \quad \text{et} \quad n(\text{B}) = n_0(\text{B}) - b \times x$$

De même, la quantité de matière des produits sera :

$$n(\text{C}) = n_0(\text{C}) + c \times x \quad \text{et} \quad n(\text{D}) = n_0(\text{D}) + d \times x$$

Doc. 5 Tableau d'avancement

valeurs en mole	Avancement	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq})$	+	$2\text{I}^{-}(\text{aq})$	→	$\text{I}_2(\text{aq})$	+	$2\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$
État initial	0	$n_0(\text{S}_2\text{O}_8^{2-})$		$n_0(\text{I}^{-})$				
État intermédiaire	x	$n_0(\text{S}_2\text{O}_8^{2-}) - x$				x		
État final	x_{max}							

Compétences

- ✓ REA : Mettre en œuvre un protocole
- ✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

1. Doc. 2 et 3 Calculer $n_0(\text{I}^{-})$ et $n_0(\text{S}_2\text{O}_8^{2-})$ et remplir la première ligne du tableau.

2. À l'aide du **doc. 4**, compléter les cases vides de la 2^e ligne du tableau d'avancement.

3. Doc. 2 Trouver x_{max} en recherchant le réactif limitant, à savoir celui qui s'épuise le premier (cases en bleu). Compléter la 3^e ligne. Mettre en œuvre le protocole.

4. Doc. 2 Sachant que seul le diiode I_2 est coloré, en appliquant la loi de Beer-Lambert, démontrer que $A = K \cdot x$ ($K = \text{Cte}$) et calculer K à partir de A_{max} et x_{max} .

Synthèse de l'activité

Calculer l'avancement x toutes les 5 min de l'expérience. Tracer la courbe $x = f(t)$.

3

La réaction est-elle toujours totale ?

60'

Une réaction est limitée par le réactif dit limitant. Celui-ci peut-il ne pas être totalement consommé à la fin de la transformation chimique ?

→ L'avancement final déterminé expérimentalement correspond-il toujours à $x_{\max}$ trouvé dans le tableau d'avancement ?

Par intuition

Une réaction totale s'arrête lorsqu'un réactif est entièrement consommé. Est-ce toujours le cas ?

Doc. 1 La synthèse d'un ester à odeur d'ananas

Lors d'une séance de travaux pratiques, un groupe d'élèves a fait la synthèse du butanoate d'éthyle (un ester), composé organique à l'odeur d'ananas. Pour cela, ils ont chauffé à reflux un mélange réactionnel composé au départ de 20 mL d'acide butanoïque $C_4H_8O_2$ et 20 mL d'éthanol C_2H_5O .



En fin de réaction, après les étapes de séparation des différents réactifs et de purification, le produit de cette synthèse est identifié : il s'agit bien du butanoate d'éthyle $C_6H_{12}O_2$. La masse récupérée est : $m_{\text{ester}} = 16,3 \text{ g}$.

Défi Python

Sur la console de programmation en ligne, élaborer un programme permettant de déterminer les quantités de matière à l'état final d'une réaction de type : $a A + b B \rightarrow c C + d D$, à partir des valeurs des coefficients a , b , c et d ainsi que des quantités de matière n_A et n_B introduites dans le programme par l'utilisateur. On suppose pour cela que la réaction entre les réactifs est totale.



Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour réaliser ce défi en ligne ! LLS.fr/PC1P52

Données

- $M(H) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(C) = 12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(O) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $\rho_{\text{acide but}} = 0,96 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$;
- $\rho_{\text{éthanol}} = 0,79 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$.

Doc. 2 Tableau d'avancement

Valeurs en mole	Avancement	$a C_4H_8O_2(l)$	+	$b C_2H_5O(l)$	$\rightleftharpoons$	$c C_6H_{12}O_2(l)$	+	$d H_2O(l)$
État initial	0							
État intermédiaire	x							
État final	x_f							

Compétences

- ✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique
- ✓ RAI/MOD : Utiliser la quantité de matière

1. **Doc. 2** Proposer des valeurs pour les coefficients **a**, **b**, **c** et **d** afin d'ajuster l'équation de cette réaction.

2. **Doc. 1 et 2** Déterminer les quantités initiales d'acide butanoïque $C_4H_8O_2$ et d'éthanol, C_2H_5O et après avoir reproduit le **doc. 2**, compléter la première ligne du tableau.

3. **Doc. 2** Remplir alors les cases de la deuxième ligne du tableau puis la troisième ligne en supposant que la réaction est totale. Identifier quel est le réactif limitant, s'il existe.

4. **Doc. 1** Déterminer la quantité (en mole) de l'ester obtenue par le groupe d'élèves.

5. **Doc. 2** En supposant les pertes de matières négligeables lors de la purification, quel est l'avancement réel $x_{\text{réel}}$ de cette réaction ? Correspond-il à l'avancement maximal $x_{\max}$?

6. En déduire le rendement $z = \frac{x_{\text{réel}}}{x_{\max}}$ pour cette réaction.

Synthèse de l'activité

Lorsqu'on remplit la dernière ligne d'un tableau d'avancement, on suppose que $x_{\text{final}} = x_{\max}$. Quelle caractéristique de la réaction chimique étudiée est nécessaire pour que cette hypothèse de travail soit valable ?

1 Qu'est-ce qui caractérise une transformation chimique ?

A L'évolution des quantités de matière

Au cours d'une transformation chimique, des réactifs sont consommés et des produits sont formés. Les quantités de matières correspondantes évoluent jusqu'à la fin de la réaction : les quantités des réactifs diminuent, celles des produits augmentent.

La masse globale du système est quant à elle conservée (**doc. 1**).

À l'échelle macroscopique, on décrit le système chimique et son évolution par un modèle, celui de la réaction chimique et de l'équation de la réaction qui lui est associée.

B Les nombres stœchiométriques

Une transformation chimique est modélisée par une équation bilan qui rend compte des proportions dans lesquelles les réactifs réagissent et les produits se forment.

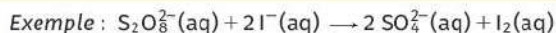
Les coefficients qui permettent d'ajuster une équation bilan s'appellent les nombres stœchiométriques.

2 Le tableau d'avancement

A L'avancement d'une réaction

Il s'agit d'une grandeur permettant de suivre la réaction ; elle se note x et s'exprime en mole (mol). L'avancement correspond à la quantité de matière consommée pour un réactif dont le nombre stœchiométrique vaut 1.

À l'état initial, l'avancement est nul et il atteint sa valeur finale quand la réaction est terminée (**doc. 2**).



Si on note x la quantité de I_2 formée, l'équation de la réaction permet de déduire que :

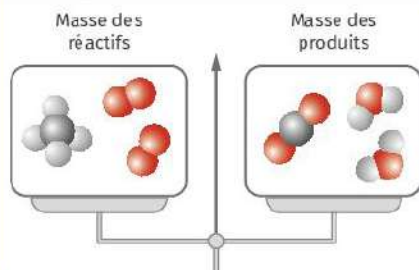
- la quantité de SO_4^{2-} formée est de $2x$ mol ;
- la quantité de $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ consommée est de x mol ;
- la quantité de I^- consommée est de $2x$ mol.

B Le tableau d'avancement

Le tableau d'avancement est un outil permettant de comprendre l'évolution d'un système chimique.

Il permet de déterminer la composition finale de ce système en s'appuyant sur la notion d'avancement (voir page suivante).

Doc. 1 Conservation de la masse



Éviter les erreurs

Il faut repérer une recombinaison des atomes entre eux pour valider l'existence d'une transformation chimique. Sinon c'est une transformation physique.

Numérique

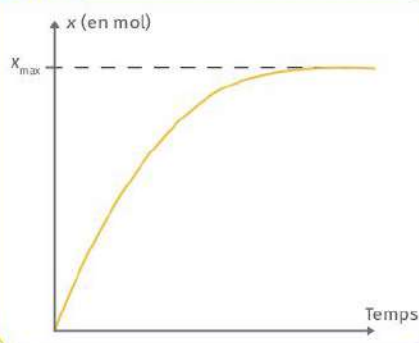
Retrouvez une vidéo présentant la conservation de la masse.

[LLS.fr/PC1P53](https://lls.fr/PC1P53)

Vocabulaire

Nombre stœchiométrique : nombre qui permet d'ajuster une équation bilan.

Doc. 2 Évolution de l'avancement



Éviter les erreurs

Les quantités initiales n_A et n_B ne dépendent pas des nombres stœchiométriques.

Un tableau d'avancement est toujours de la forme :

	Avancement	3 A	+ 1 B	→ 1 C	+ 2 D
État initial	0	$n_0(A)$	$n_0(B)$	0	0
État intermédiaire	x	$n_0(A) - 3x$	$n_0(B) - x$	x	$2x$
État final	$x_{\max}$	$n_0(A) - 3x_{\max}$	$n_0(B) - x_{\max}$	$x_{\max}$	$2x_{\max}$

C Détermination de la composition finale du système

Celui des deux réactifs (A et B) qui s'épuise le premier est dit réactif limitant. Pour identifier le réactif dont il s'agit, il faut comparer les deux valeurs $x_{\max 1}$ et $x_{\max 2}$ qui vérifient les équations :

$$n_0(A) - 3x_{\max 1} = 0 \text{ et } n_0(B) - x_{\max 2} = 0.$$

On ne retient que la plus petite de ces deux valeurs pour compléter la dernière ligne du tableau, avec les valeurs numériques correspondant au système chimique étudié.

3 Les proportions stœchiométriques

A Définition

Lorsque les réactifs s'épuisent tous en même temps, on dit qu'ils ont réagi dans les proportions stœchiométriques.

Ces proportions dépendent des nombres stœchiométriques dans l'équation bilan.

Dans l'exemple présenté dans la partie 2. B. du cours, cela impliquerait que $\frac{n_0(A)}{3} = \frac{n_0(B)}{1}$ soit $n_0(A) = 3n_0(B)$.

On trouverait alors : $x_{\max} = \frac{n_0(A)}{3} = n_0(B)$. En fin de réaction, il n'y aurait plus aucun des deux réactifs (voir doc. 3).

B Comparer l'avancement final à l'avancement maximal

De façon implicite, on s'attend à vérifier expérimentalement qu'à l'état final on aura bien atteint l'avancement maximal $x_{\max}$ tel que calculé dans le tableau d'avancement.

Pourtant, il est judicieux de le vérifier car ce n'est pas forcément toujours le cas et pour une **réaction dite limitée ou équilibrée**, l'avancement final x_f déterminé expérimentalement peut être inférieur à $x_{\max}$ (voir **Activité 3**, p. 52).

Vocabulaire

• **L'avancement x** : il s'agit de la quantité de réactif ayant réagi dans le cas particulier où le coefficient stœchiométrique de ce réactif vaut 1. L'avancement correspond aussi à la quantité d'un produit formé dans le cas particulier où le coefficient stœchiométrique de ce produit vaut 1.

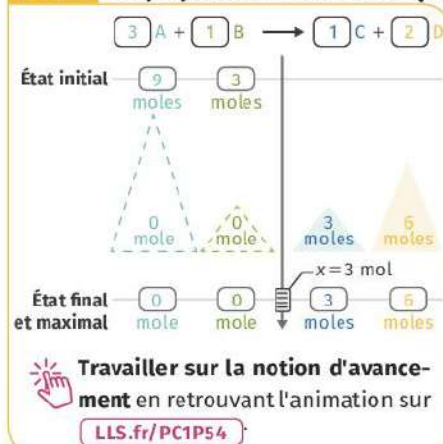
• **$x_{\max}$** : la valeur maximale de l'avancement qui correspond à la fin de la réaction (consommation totale de A et/ou B).

Pas de malentendu



➔ Même si mathématiquement deux valeurs de $x_{\max}$ sont calculables, seule la plus petite des deux a un sens pour le chimiste : on l'attribue au réactif limitant. Pourquoi ? Si on retenait la plus grande des deux, il y aurait des quantités négatives de réactifs restants, ce qui n'a chimiquement pas de sens !

Doc. 3 Les proportions stœchiométriques



Vocabulaire

• **Proportions stœchiométriques** : mélange des réactifs dans les proportions indiquées par les nombres stœchiométriques.

• **Avancement final** : celui qui correspond réellement à l'état final.

Pas de malentendu



➔ Au cours d'une transformation totale, l'avancement final x_f est égal à l'avancement maximal $x_{\max}$.

Principales notions

→ L'avancement x s'exprime en mole (mol), c'est une grandeur permettant de suivre l'évolution des quantités de matière mises en jeu dans la réaction.

→ Si $x_{\text{final}} = x_{\text{max}}$ la réaction est totale. Si $x_{\text{final}} < x_{\text{max}}$ la réaction est limitée.

Tableau d'avancement pour une réaction totale :

valeurs en mole	Avancement	a A	+	b B	→	c C	+	d D
État initial	0	$n_0(A)$		$n_0(B)$		0		0
État intermédiaire	x	$n_0(A) - ax$		$n_0(B) - bx$		cx		dx
État final	$x_{\text{final}} = x_{\text{max}}$	$n_0(A) - ax_{\text{max}}$		$n_0(B) - bx_{\text{max}}$		cx_{max}		dx_{max}

Résoudre : $n_0(A) - 2x_{\text{max}1} = 0$

$n_0(B) - 1x_{\text{max}2} = 0$

La plus petite des valeurs $x_{\text{max}1}$ et $x_{\text{max}2}$ correspond à la valeur de x_{max} à reporter dans le tableau et elle indique le réactif limitant.

Si $x_{\text{max}1} = x_{\text{max}2}$

→ conditions stœchiométriques

→ $\frac{n_0(A)}{a} = \frac{n_0(B)}{b}$

Caractéristiques d'une évolution chimique

Lors de l'évolution d'un système chimique, on peut noter d'autres changements liés à l'évolution des quantités de matière, par exemple :

- l'augmentation ou la diminution de la température ;
- l'augmentation ou la diminution de la pression ;
- l'apparition ou la disparition de couleur (image) ;
- l'apparition ou la disparition d'un précipité ;
- l'observation d'un changement d'état.

Les limites du tableau d'avancement

Le tableau d'avancement est un outil pratique car il permet de prévoir l'état final des systèmes subissant des transformations chimiques totales. C'est le cas par exemple de toutes les réactions de titrage.

Néanmoins, pour des réactions équilibrées (dont l'avancement final est inférieur à l'avancement maximal), le tableau d'avancement n'est pas suffisant pour prédire l'état final du système. Il faut alors un autre outil pour prédire l'état du système : la constante d'équilibre, qui sera abordée en terminale.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour faire une carte mentale et reprendre les principales notions du chapitre ! LLS.fr/PC1P55

1 Qu'est-ce qu'une transformation chimique ?

	A	B	C
1. Quand écrit-on une équation bilan ?	Pour une transformation chimique uniquement.	Pour toute transformation (chimique, physique).	Pour une transformation physique uniquement.
2. Qu'est-ce qu'implique une transformation chimique ?	L'apparition de nouvelles espèces chimiques.	Un changement d'état.	La disparition de toutes les espèces présentes au départ.
3. Une réaction chimique est une réaction au cours de laquelle :	il peut rester du réactif limitant à la fin.	il reste du réactif en excès à la fin.	il ne reste jamais de réactif à la fin.

2 Le tableau d'avancement

1. À quoi l'avancement x correspond-il ?	Une quantité de matière.	Une concentration.	Une masse.
2. De quoi dépend l'avancement d'une réaction ?	Du volume initial.	Du temps.	De la masse volumique.
3. Quel $x_{\max}$ retenir lors de la détermination du réactif limitant ?	Le plus grand.	Le plus petit.	Cela dépend des cas rencontrés.

3 Les conditions stœchiométriques

1. Pour $aA + bB \rightarrow cC + dD$, les conditions stœchiométriques sont vérifiées si :	$a n_0(A) = b n_0(B)$.	$\frac{b}{n_0(A)} = \frac{a}{n_0(B)}$.	$\frac{n_0(A)}{a} = \frac{n_0(B)}{b}$.
2. Que peut-on dire si les conditions stœchiométriques sont vérifiées pour une réaction totale ?	A peut être le réactif limitant.	B peut être le réactif limitant.	Pas de réactif limitant.
3. Quand les conditions stœchiométriques sont respectées :	$x_f = x_{\max}$.	$x_f \geq x_{\max}$.	$x_f \leq x_{\max}$.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P56

4 Questions Jeopardy ?

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

a. La réaction est partielle.

b. $x_{\max}(1) = x_{\max}(2)$

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage (Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 399)

□ Construire un tableau d'avancement	18	26
□ Savoir décrire l'évolution d'un système	13	31
□ Déterminer la composition d'un système à l'état final	16	[DIFF] 31
□ Comparer l'avancement final à l'avancement maximal		28

Pour s'échauffer

5 Deux exemples de transformations

- S'agit-il de transformations physique ou chimique ?

- $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$
- $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$

6 Loi de conservation

- Au cours d'une transformation chimique, observe-t-on la conservation :

- de la masse ?
- de la quantité de matière ?
- du volume ?

7 L'avancement x

- À quoi correspond l'avancement d'une réaction pour une équation dans laquelle tous les coefficients stœchiométriques valent 1 ?

8 L'état initial d'une réaction

- Doit-on prendre en compte les coefficients stœchiométriques d'une équation bilan pour définir l'état initial ?

9 $x_{\text{max}}(1)$ et $x_{\text{max}}(2)$

- Pourquoi est-on susceptible de trouver plusieurs valeurs pour x_{max} ? Pourquoi est-ce la plus petite des deux valeurs qui est la bonne ?

10 Les conditions stœchiométriques

- À quel état du système chimique correspondent-elles en fin de réaction ?

11 Le réactif limitant

- Est-ce forcément celui dont la quantité de matière initiale est la plus faible ?

Pour commencer

Relier quantité de matière et transformation chimique

12 Comprendre une équation bilan

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

La modélisation de la combustion du méthane peut s'écrire : $\dots \text{CH}_4(\text{g}) + \dots \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \dots \text{CO}_2(\text{g}) + \dots \text{H}_2\text{O}(\text{g})$.

- Équilibrer cette équation bilan.
- Quelle information apporte cette équation bilan ?
- Comment appelle-t-on les coefficients devant le symbole des molécules ? Ont-ils une signification à l'échelle microscopique ? macroscopique ?

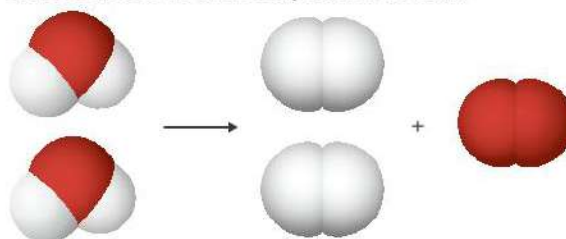


Torchère de gaz (Lincolnshire, Angleterre).

13 Changer d'échelle : du microscopique au macroscopique

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

En cours de chimie, l'utilisation de modèles moléculaires est courante. Ils permettent de montrer la conservation de la matière lors d'une transformation chimique, comme ci-dessous lors de la décomposition de l'eau.

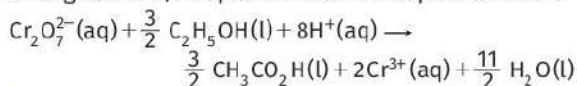


- Écrire l'équation bilan correspondante.
- De ces deux interprétations, laquelle est la bonne ?
 - Deux molécules d'eau réagissent pour donner deux molécules de dihydrogène et une molécule de dioxygène.
 - On obtient autant de molécules dihydrogène et moitié moins de molécules dioxygène qu'il y a de molécules d'eau ayant réagi.

14 Utiliser des nombres fractionnels

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

En présence d'alcool, les ions dichromate $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ se transforment en ions chrome (III) Cr^{3+} (passage de l'orange au vert). L'équation bilan correspondante est :



1. Est-il possible d'écrire une équation bilan de cette manière ? Expliquer.
2. Réécrire cette équation ajustée avec des coefficients stœchiométriques non fractionnaires.

Les conditions stœchiométriques

15 Relier quantité de matière et nombres stœchiométriques - Identifier la conservation de la masse

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

1. Recopier et équilibrer l'équation bilan ci-dessous.

... $\text{N}_2(\text{g})$	+	... $\text{H}_2(\text{g})$	→	... $\text{NH}_3(\text{g})$
2 mol		3 mol		2 mol
1 mol		3 mol		2 mol

2. Des deux propositions, rouge et verte, laquelle correspond aux conditions stœchiométriques ? Justifier en s'appuyant sur ses connaissances.

On suppose qu'on fait réagir 8,0 g de diazote (N_2) pour obtenir 9,7 g d'ammoniac (NH_3).

3. A priori, quelle masse de dihydrogène aura réagi ?
4. Si la masse initiale de dihydrogène est de $m(\text{H}_2) = 1,7$ g, les conditions stœchiométriques seront-elles respectées ?

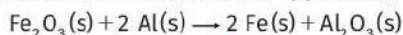
Données

• $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; • $M(\text{N}) = 14,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

16 Calculer une quantité de matière

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

La soudure aluminothermique permet de relier les rails du chemin de fer entre elles. Elle s'appuie sur :



1. On cherche à calculer la masse d'aluminium qui sera nécessaire pour faire réagir 3,00 g d'oxyde de fer, initialement présent dans les conditions stœchiométriques. Pour cela :

- a. Calculer la quantité de matière initiale d'oxyde de fer.
 - b. En déduire l'avancement maximal x_{max} .
 - c. En déduire la quantité de matière nécessaire d'aluminium pour que la réaction soit totale.
 - d. Calculer la masse d'aluminium correspondante.
2. Déterminer la masse de chacun des produits.
 3. Le principe de conservation de la masse est-il appliqué ?

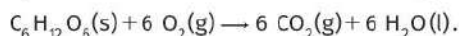
Données

• $M(\text{Fe}) = 55,8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; • $M(\text{Al}) = 27,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; • $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

17 Vrai ou faux ? Différencier masse et quantité de matière

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

Soit l'équation bilan suivante (combustion du glucose) :



- En se plaçant dans les conditions stœchiométriques, les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses ?
- a. Le rapport des masses du dioxygène et du glucose vaut 6.
 - b. Le rapport des quantités de matières du dioxygène et du glucose vaut 6.
 - c. La quantité de matière des réactifs est égale à celle des produits.
 - d. La masse des réactifs est égale à celle des produits.

Trouver le réactif limitant

18 Construire un tableau d'avancement

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

On fait réagir 0,34 g de méthylamine avec 0,44 cm³ de butane-2,3-dione. Il se forme une imine qui possède une odeur prononcée de pop-corn. Voici l'équation de la réaction :



1. Déterminer les quantités de matière des réactifs à l'état initial.
2. Construire le tableau d'avancement correspondant.
3. En déduire le réactif limitant ainsi que les quantités de matière finales.

Données

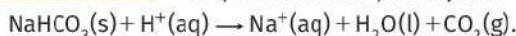
• Méthylamine : $M_m = 31,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
 • Butane-2,3-dione : $M_b = 86,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\rho_b = 0,99 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$.

19 Déterminer un volume de gaz

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation



La levure chimique est utilisée pour faire des gâteaux. Elle contient 0,2 mol d'hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3) ainsi que 2 mol d'acide tartrique (qui libère 4 mol d'ions H^+), tous deux solides. À froid, en présence d'eau, on observe un dégagement de dioxyde de carbone, ce qui fait lever la pâte à pain :



- Déterminer le réactif limitant.
- Calculer le volume de dioxyde de carbone ainsi produit.

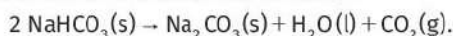
Donnée

• Le volume molaire des gaz est pris égal à $V_m = 24 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

20 Importance des conditions expérimentales

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation

Dans l'exercice 19, on étudie le mode d'action de la levure chimique à froid. Cependant, lors de la cuisson au four, la réaction se fait à chaud, et non plus à froid. L'équation bilan de la réaction est alors :



- Pourquoi la question de la nature du réactif limitant ne se pose-t-elle plus ici ?

- La levure contient 0,2 mol de bicarbonate de soude (NaHCO_3), déterminer le volume de gaz carbonique produit.

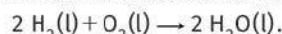
Donnée

• Dans les conditions de l'expérience, le volume molaire des gaz vaut $V_m = 30 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

21 Quelques calculs en QCM

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation

On étudie la réaction de la combustion du dihydrogène que l'on retrouve dans les réacteurs de certaines fusées :



Choisissez la ou les bonnes réponses pour chaque cas.

- On fait réagir 2,0 g de H_2 avec 1,0 g de O_2 :
 - les proportions stœchiométriques ont été respectées.
 - H_2 est le réactif limitant.
 - O_2 est le réactif limitant.
- On fait réagir 0,8 mol de H_2 avec 0,4 mol de O_2 :
 - les proportions stœchiométriques ont été respectées.
 - il va se former 1,2 mol d'eau.
 - il va se former 14,4 g d'eau.

Données

• $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; • $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Déterminer la composition d'un système à l'état final

22 Cas 1 (conditions stœchiométriques)

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

Dans le cas général, si l'équation bilan s'écrit :



- Quelles sont les proportions de A et de B à respecter pour être dans les conditions stœchiométriques ?
- Écrire alors la relation entre les masses de A, B, C et D.
- C et D seront obtenus dans quelles proportions ?

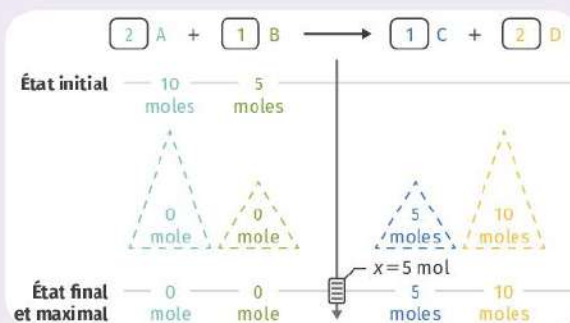
23 Cas 2 (conditions stœchiométriques)

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

Dans le cas général, si l'équation bilan s'écrit :



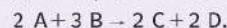
- Quelles sont les proportions de A et de B à respecter pour être dans les conditions stœchiométriques ?
- Écrire alors la relation entre les masses de A, B, C et D.
- C et D seront obtenus dans quelles proportions ?



24 Cas 3 (conditions stœchiométriques)

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

Dans le cas général, si l'équation bilan s'écrit :



- Quelles sont les proportions de A et de B à respecter pour être dans les conditions stœchiométriques ?
- Écrire alors la relation entre les masses de A, B, C et D.
- C et D seront obtenus dans quelles proportions ?

Gaz inodore, attention danger !

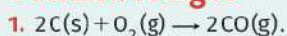
Énoncé

CO en partie par million (ppm)	CO dans l'air (% volumique)	Symptôme lors d'une exposition
0,2	0,00002	Aucun symptôme (taux habituel dans l'air)
400	0,04	Maux de tête intenses, danger de mort après 3 heures
1 600	0,16	Symptômes sévères après 20 min, décès dans l'heure
12 800	1,28	Perte de connaissance immédiate, décès en 1 à 3 min

La combustion des hydrocarbures (automobiles, usines, etc.) est souvent incomplète, c'est-à-dire qu'elle s'accompagne de la formation de monoxyde de carbone CO, substance toxique voire mortelle. On brûle 1,00 kg de carbone dans une cuve fermée remplie d'air d'un volume de 100 m³.

- Retrouver l'équation bilan correspondant à la combustion incomplète du carbone.
- Dresser le tableau d'avancement correspondant en supposant le dioxygène en excès. Compléter les deux premières lignes.
- Calculer l'avancement maximal $x_{\max}$. En déduire la quantité de monoxyde de carbone formé.
- L'atmosphère de la cuve constitue-t-elle (à 20 °C, 1 bar) un risque potentiel ?

Solution rédigée



2.

en mole	2 C(s)	+	O ₂ (g)	→	2 CO(g)
état initial	83,3*		Excès		0
état intermédiaire	83,3 - 2x		Excès		2x
État final	83,3 - 2x _{max} = 0		Excès		2x _{max}

$$*: n_0(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{1,00 \times 10^3}{12,0} = 83,3 \text{ mol.}$$

3. En complétant la dernière ligne du tableau (EF), on en déduit $x_{\max} = \frac{83,3}{2} = 41,7 \text{ mol}$. Il s'est donc formé $2x_{\max} = 83,3 \text{ mol}$ de CO.
4. Le volume occupé par une mole de gaz vaut 24,0 L (données). Par conséquent, $V_{\text{CO}} = V_m \cdot n = 24,0 \times 83,3 = 2,00 \times 10^3 \text{ L}$. Le volume d'air étant de 100 m³ = 100 × 10³ L, le pourcentage de CO vaut :
- $$p = \left(\frac{2,00 \times 10^3}{100 \times 10^3} \right) \times 100 = 2,00 \%. \text{ Décès inévitable } (> 1,28 \%).$$

DONNÉES

- À 20 °C, 1 bar : le volume molaire des gaz est $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

- La combustion est une réaction avec O₂(g).
- Il faut toujours trois lignes dans un tableau d'avancement (état initial, intermédiaire et final).
- Compléter la dernière ligne du tableau pour trouver $x_{\max}$.
- D'après le tableau des risques, il faut déterminer le pourcentage de monoxyde de carbone dans les 100 m³ d'air.

POUR BIEN RÉPONDRE

- Préciser l'état physique (solide, gaz) peut être utile par la suite.
- Le dioxygène étant en excès, aucun calcul n'est nécessaire. Attention aux coefficients stœchiométriques.
- $x_{\max}$ se détermine à partir du réactif limitant.
- Le volume molaire ne s'applique qu'aux gaz. Rappel : 1 m³ = 10³ dm³ = 10³ L.

La toxicité du CO₂

À 2 % de CO₂ dans l'air, l'amplitude respiratoire augmente. À 10 %, peuvent apparaître des troubles visuels, des tremblements et des sueurs. À 25 %, un arrêt respiratoire entraîne le décès.

D'après « Dioxyde de carbone », Wikipedia.org.

25 Mise en application

- Reprendre les questions 1., 2. et 3. dans le cas de la combustion complète (formation de dioxyde de carbone à la place du monoxyde de carbone).
- Calculer le pourcentage de dioxyde de carbone ainsi produit dans l'air. Ce gaz représente-t-il alors un danger ?

Pour s'entraîner

26 Déterminer une quantité de matière à partir de la concentration

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation

La réaction entre un acide et une base peut être dangereuse, notamment parce qu'elle peut dégager une très forte chaleur. On mélange 10 mL d'une solution d'acide chlorhydrique (H_3O^+ ; Cl^-) à $2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ avec 10 mL de soude (Na^+ ; HO^-) à $1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

- Après avoir identifié les espèces chimiques spectrales et réactives, écrire l'équation bilan de la réaction entre les ions H^+ et les ions HO^- .
- Dresser le tableau d'avancement.
- Déterminer la nature du réactif limitant et calculer les quantités de matière finales. Compléter le tableau.

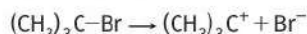
27 Interprétation macroscopique d'une équation bilan

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre le modèle microscopique et des observations macroscopiques

À température ambiante, le 2-bromo-2-méthylpropane réagit avec les ions hydroxyde selon l'équation bilan suivante :



L'étude de cette réaction montre qu'elle résulte de la succession de deux réactions élémentaires :



- Retrouver l'équation bilan à partir des deux étapes élémentaires.
- Justifier alors qu'une équation bilan soit macroscopique.

28 Procédé Haber

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation



Le procédé Haber permet de produire de l'ammoniac $\text{NH}_3(\text{g})$ par réaction du diazote $\text{N}_2(\text{g})$ et du dihydrogène $\text{H}_2(\text{g})$. Mis en place par Fritz Haber en 1909, ce procédé a eu un impact considérable sur les pratiques agricoles mondiales au XX^e siècle, l'ammoniac permettant de

produire des engrais chimiques azotés.

On réalise cette synthèse de l'ammoniac à 400 °C sous une pression de 200 bar à partir de 2,0 mol de dihydrogène et 2,0 mol de diazote. On obtient $5 \times 10^{-2} \text{ mol}$ d'ammoniac gazeux.

- Établir l'équation ajustée de cette réaction chimique.
- L'avancement final est-il égal à l'avancement maximal ? Justifier.
- Que peut-on en conclure sur cette réaction ?

Comprendre les attendus

29 Identification des ions cuivre (II)

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation

Le test des ions métalliques se fait à la soude ($\text{Na}^+(\text{aq})$; $\text{HO}^-(\text{aq})$). On verse 1,0 mL de soude à $1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ dans une solution contenant des ions cuivre (II) Cu^{2+} (supposés en excès). Un précipité bleu d'hydroxyde de cuivre (II) $\text{Cu}(\text{OH})_2$ apparaît alors.



- Écrire l'équation bilan correspondant à ce test.
- Dresser le tableau d'avancement et compléter les deux premières lignes.
- Déterminer l'avancement maximal de la réaction.
- Calculer la masse de précipité obtenu.

Donnée

$$M(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 97,6 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}.$$

Détails du barème

TOTAL/5 pts

- | | |
|--|--------------|
| 1. Équilibrer correctement l'équation bilan. | 0,5 pt |
| 2. Réaliser le tableau en respectant les conventions. | 0,5 pt |
| Établir l'expression littérale de la quantité de matière initiale d'ions hydroxyde HO^- et calculer cette quantité de matière (attention aux unités). | 0,5 + 0,5 pt |
| Écrire la 2 ^e ligne du tableau d'avancement en respectant les nombres stœchiométriques. | 1 pt |
| 3. Compléter la 3 ^e ligne (lien entre x_{max} et $n_A(\text{Cu}(\text{OH})_2)$). | 0,5 pt |
| Déterminer l'avancement maximal x_{max} en posant $n(\text{HO}^-) = 0 \text{ mol}$ (3 ^e ligne). | 1 pt |
| 4. Faire le calcul en respectant le nombre de chiffres significatifs. | 0,5 pt |

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P61

30 Estimation de la masse d'un précipité

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

La présence des ions chlorure Cl^- peut être mise en évidence par réaction avec les ions argent Ag^+ (formation d'un précipité blanc laiteux de chlorure d'argent qui noircit à la lumière). On ajoute 3 gouttes d'une solution de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+(\text{aq}); \text{NO}_3^-(\text{aq})$) de concentration $1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ dans 5 mL de la solution inconnue. On obtient le résultat ci-contre.



Solution de chlorure d'argent.

1. Que peut-on en conclure ?
2. Écrire l'équation bilan correspondante.
3. Dans l'hypothèse où les ions argent sont limitants, estimer la masse de précipité formé.

Données

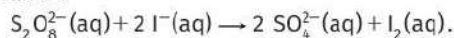
• $V_{\text{gouttes}} = 0,05 \text{ mL}$; • $M_{\text{Ag}} = 107,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; • $M_{\text{Cl}} = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

31 Avancement et concentration

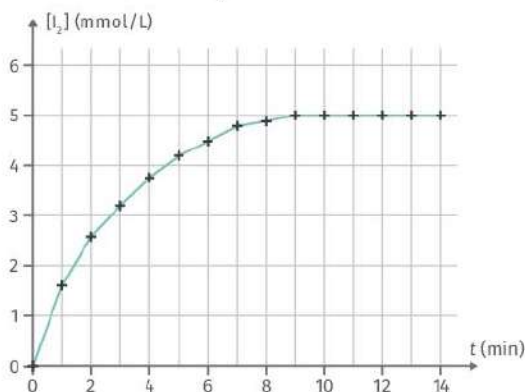
✓ APP : Extraire l'information utile : graphique

BAC

Toutes les réactions ne progressent pas à la même vitesse. On parle de réactions lentes dans le cas de la réaction de formation de la rouille par exemple. Voici un autre exemple de réaction lente : on mélange $V_1 = 10 \text{ mL}$ d'une solution contenant des ions peroxodisulfate $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ avec $V_2 = 20 \text{ mL}$ d'une solution contenant des ions iodure I^- . L'équation bilan correspondant à cette réaction est la suivante :



La courbe ci-dessous traduit l'évolution de la concentration en diiode (notée $[\text{I}_2]$) au cours du temps.



1. Dresser le tableau d'avancement en notant $n_0(\text{S}_2\text{O}_8^{2-})$ et $n_0(\text{I}^-)$ les quantités initiales.
2. Déterminer la relation entre $[\text{I}_2]$ dans le mélange et l'avancement x .
3. En déduire la valeur de l'avancement maximal x_{max} en utilisant la courbe.

4. Dans le cas où l'ion peroxodisulfate $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ serait le réactif limitant, quelle devrait être la concentration de la solution de départ contenant ces ions ?

5. Même question avec l'ion iodure I^- .

32 Fabrication de la nitroglycérine

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

La nitroglycérine est utilisée dans la fabrication de la dynamite. Le processus industriel de sa fabrication date de 1860. Beaucoup de chimistes s'y sont essayés, certains y ont laissé leur vie comme le frère d'Alfred Nobel, son inventeur. La nitroglycérine est en effet extrêmement instable. Elle peut être fabriquée en laboratoire dans des conditions très particulières en faisant réagir 1,00 L de glycérol $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ avec 1,00 L d'acide nitrique ($\text{H}^+; \text{NO}_3^-$) selon :



Alfred Nobel (1833-1896).

$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3(\text{l}) + 3 (\text{H}^+; \text{NO}_3^-)(\text{l}) \rightarrow \text{C}_3\text{H}_5(\text{NO}_3)_3(\text{l}) + 3 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

1. Calculer les quantités initiales des réactifs.
2. Déterminer la nature du réactif limitant.
3. Calculer la masse de nitroglycérine ainsi fabriquée.

Données

• Glycérol : $d_{\text{gly}} = 1,26$; • Acide nitrique : $d_{\text{nit}} = 1,51$;
 • $M(\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3) = 92,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; • $M(\text{HNO}_3) = 63,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
 • $M(\text{C}_3\text{H}_5(\text{NO}_3)_3) = 227 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

33 Copie d'élève à commenter

- Voici des extraits de copies d'élèves. Proposer un commentaire pour chaque erreur relevée.

1. On mélange 0,1 mol de O_2 avec 0,1 mol de H_2 . Le tableau d'avancement est le suivant :

	O_2	+	2H_2	$\rightarrow$	$2 \text{H}_2\text{O}$
État initial (mol)	0,1		0,2		0

2. Les conditions stœchiométriques, c'est quand on part d'autant de chaque réactif.
3. Quand x_{max} est atteint, tous les réactifs ont réagi.
4. Impossible d'avoir des fractions dans une équation bilan car on ne peut pas avoir de demi-molécule.
5. On obtient toujours autant de produit qu'il y avait au départ de réactif limitant.
6. Puisque la masse molaire de l'eau est de $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ mol} \cdot \text{g}^{-1}$, on obtient en fin de réaction 3,6 g d'eau.

Pour aller plus loin

34 Synthèse de l'aspirine

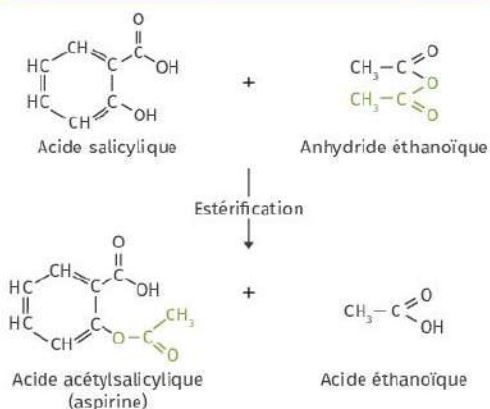
✓ RAI/ANA : Élaborer un protocole

BAC

On réalise la synthèse de l'aspirine par chauffage à reflux. Pour cela on mélange 3,00 g d'acide salicylique avec 7,00 mL d'anhydride éthanóïque. On chauffe durant 20 minutes afin d'accélérer la réaction.

1. Déterminer le réactif limitant.
2. En déduire la masse théorique d'aspirine attendue.
3. La masse obtenue est de 3,7 g. Calculer le rendement de la synthèse. Conclure.
4. Quelles sont les précautions à prendre ?

Doc. 1 Équation bilan de la synthèse de l'acide acétylsalicylique



Doc. 2 Calcul d'un rendement

Le rendement η correspond au rapport entre la masse du produit obtenue et la masse maximale, sa valeur varie entre 0 et 1 :

$$\eta = \frac{m_{\text{obtenue}}}{m_{\text{max}}}$$

Données

Espèce chimique	M (g·mol ⁻¹)	Densité	Solubilité	Sécurité
Acide salicylique	138	1,44	Peu soluble dans l'eau	
Anhydride éthanóïque	102	1,08	Réagit violemment avec l'eau	
Aspirine	180	1,40	Très peu soluble dans l'eau à 20 °C, soluble à 60 °C	

35 HISTOIRE DES SCIENCES



Production de la soude

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



Gravure d'une fabrique du savon.



Gravure d'une fabrique de verre de Murano.

Avant 1790, la soude était un produit rare et cher mais pourtant indispensable à la fabrication de savon et du verre. Il s'agit ici du carbonate de sodium (Na_2CO_3), à ne pas confondre avec la soude caustique (NaOH). En 1791 la première usine de soude artificielle voit le jour, grâce au procédé de Leblanc qui la synthétise à partir de sel de mer et de craie.

Les trois étapes du procédé sont les suivantes :

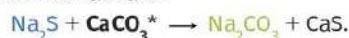
a) traitement du sel marin par le vitriol (ancien nom de l'acide sulfurique) :



b) calcination (cuisson à 900 °C) :



c) intervention de la craie :



* : en excès

• Quelle masse théorique de soude obtiendra-t-on par le traitement de 1,00 tonne de sel marin ?

Données

- $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(\text{Na}) = 23,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

36 L'acide acétique

✓ RAI/ANA : Construire un chemin de résolution

L'acide acétique de formule brute $C_2H_4O_2$ est le principal élément chimique responsable de l'acidité d'un vinaigre. La réaction de cet acide avec l'eau conduit à deux produits, l'ion acétate $C_2H_3O_2^-$ et l'ion oxonium H_3O^+ . On introduit une masse de $3,8 \times 10^{-1}$ g d'acide acétique glacial (pur à 96 %) dans 1 L d'eau. La mesure du pH avec une sonde pH-métrique indique une valeur de 3,5.

- La réaction de cet acide avec l'eau est-elle totale ? Justifier en dressant un tableau d'avancement de la réaction.

Le pH d'une solution



Le pH indique le niveau d'acidité ou de basicité d'une solution. La mesure du pH permet de connaître la concentration de la solution en

ions oxonium H_3O^+ , le lien entre les deux grandeurs étant donné par la relation : $[H_3O^+] = 10^{-pH} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

37 Chimie verte : recyclage du CO_2

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation

En 2011, le CEA met au point un nouveau procédé pour la valorisation du CO_2 . Il s'agit de produire des formamides, jusqu'ici issus de dérivés du pétrole.



1. En quoi la synthèse proposée dans le **doc. 2** répond-elle aux contraintes de la chimie verte ?
2. Quels intérêts peut-il y avoir à valoriser ainsi le CO_2 ?
3. On étudie le cas de la formation d'un formamide particulier, le N,N-diéthylformamide de formule $HCO-(C_2H_5)_2$. Donner la formule de l'amine permettant sa formation.
4. Quelles masses d'amine et de CO_2 seront nécessaires à la production de 750 kg de formamide ?

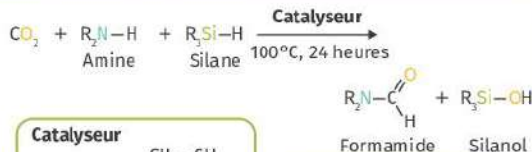
Données

- $M(H) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $M(C) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $M(N) = 14,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $M(O) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Doc. 1 Définitions

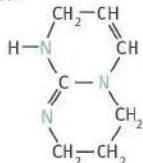
- **Formamides** : molécules organiques utilisées dans la synthèse de vitamines, de médicaments, de colles, etc.
- **Catalyseur** : espèce chimique qui, par sa présence, va accélérer une réaction chimique.
- **Chimie verte** : prend en compte les facteurs environnementaux, sécuritaires et d'économie d'énergie.

Doc. 2 Synthèse des formamides



Catalyseur

5 %



Recyclage du CO_2
Sans métal
Sans solvant
Sans additif
Une seule étape
Réactifs non toxiques

R : groupement alkyle de type $-(C_nH_{2n+1})$. On suppose le silane en excès.

Retour sur la problématique du chapitre

38 Les diamants de Lavoisier

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation

Même les diamants ne sont pas éternels ! En 1772, Lavoisier réussit à faire disparaître des diamants (constitué d'atomes de carbone) en les amenant à très haute température grâce à une grande lentille concentrant la lumière du Soleil.

1. Quelle réaction peut être à l'origine de cette disparition des diamants à haute température ?
2. En s'appuyant sur cet exemple, justifier qu'en chimie rien ne disparaît jamais vraiment.



Le tableau d'avancement en autonomie

Objectifs :

- ➔ Préparer le cours en s'appropriant le vocabulaire et les notions concernant l'évolution d'un système chimique.
- ➔ Réaliser un bilan synthétique des notions abordées sous la forme d'une fiche méthodologique.

A Fabrication de sandwiches



Consulter la partie Sandwichs de l'animation « Réactifs, produits et restes » sur [LLS.fr/PC1Sandwichs](https://lls.fr/PC1Sandwichs). Sélectionner fromage et jambon.

x est la grandeur qui caractérise l'état d'avancement de la fabrication des sandwiches. Si $x = 1$, un sandwich a été fabriqué avec 2 tranches de pain, 1 tranche de jambon et 1 tranche de fromage.

- D'après l'animation, combien de sandwiches peut-on fabriquer avec 8 tranches de pain, 6 de jambon et 5 de fromage ?
- Exprimer les quantités d'ingrédients au cours de la fabrication n_p , n_j et n_f , en fonction de x et de la quantité initiale de chaque ingrédient (par exemple, pour le pain : $n_p = 8 - 2x$).
- Exprimer la quantité de sandwiches produits, n_s , en fonction de x .
- Pour quelle valeur maximale de x , la fabrication des sandwiches est-elle arrêtée ?
- Vérifier les valeurs des quantités de chaque ingrédient après l'arrêt de la fabrication des sandwiches.
- En utilisant les relations établies en 2. et 3., déterminer la valeur maximale de x , le nombre de sandwiches fabriqués, les quantités d'ingrédients restantes, et l'ingrédient limitant la fabrication pour 113 tranches de pain, 83 tranches de jambon et 112 tranches de fromage.
- Choisir le mode personnalisé de l'animation et choisir le mode de fabrication de sandwiches suivant : 3 tranches de pain, 2 tranches de jambon et 3 tranches de fromage. Reprendre les questions 2. à 6.
- Quelles proportions les quantités initiales d'ingrédients doivent-elles respecter pour s'assurer qu'il n'en reste aucun ?
- Comment appelle-t-on ces proportions en chimie ?



Consulter la partie Molécules et tester la partie Jeu de l'animation.

B Tableau d'avancement



Utiliser l'animation « Avancement » téléchargeable sur [LLS.fr/PC1Avancement](https://lls.fr/PC1Avancement) et choisir 1, 4, 2 et 3 respectivement pour les nombres stœchiométriques de A, B, C et D. Choisir 5 moles pour les quantités de matières initiales de A et B.

- Établir les relations permettant de déterminer les quantités de matières des réactifs et des produits pour un avancement x quelconque.
- À l'aide de l'animation, vérifier la validité des relations obtenues pour des valeurs de l'avancement x données.



vidéo

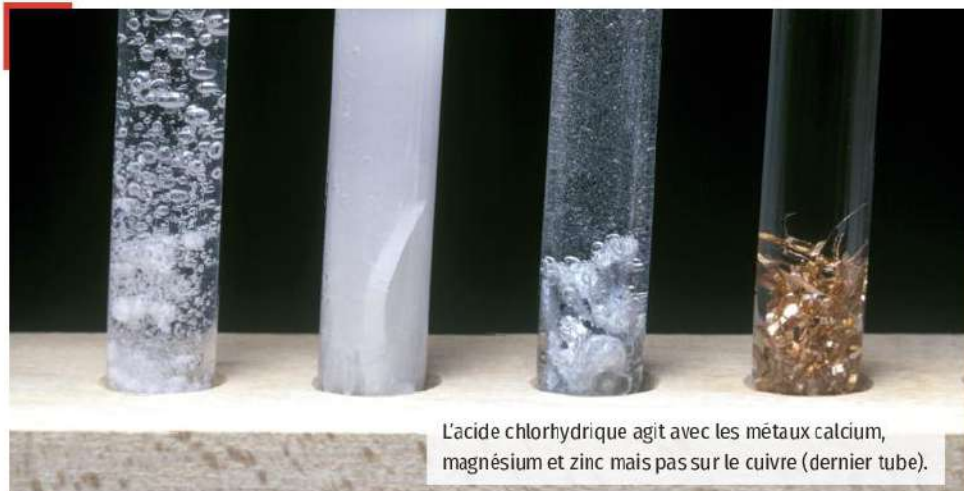
- À l'aide de l'animation, déterminer les quantités de matières des réactifs et des produits dans l'état final ainsi que la valeur maximale de l'avancement. Vérifier les résultats par le calcul.
- Quel réactif limite la réaction ?
- À partir de l'animation et de la partie 2 du cours, construire un tableau d'avancement permettant de décrire la réaction précédente.



Consulter la capsule vidéo « Avancement d'une réaction chimique » pour plus d'aide sur [LLS.fr/PC1P65](https://lls.fr/PC1P65).

Réactions d'oxydoréduction

DÉCONSTRUIRE LES IDÉES FAUSSES



L'acide chlorhydrique agit avec les métaux calcium, magnésium et zinc mais pas sur le cuivre (dernier tube).

Il faut éviter de déposer de l'acide sur des métaux comme le fer car celui-ci les dégrade. Ainsi, l'acide chlorhydrique attaque le calcium, le magnésium et le zinc, et provoque un dégagement gazeux de dihydrogène. Pourtant, il n'a aucune action sur le cuivre, quelle que soit la concentration en acide.

➤ **Le cuivre est-il un métal exceptionnel ?**

→ voir l'exercice 31, p. 82



Travailler

autrement

HISTOIRE DES SCIENCES

Retrouvez l'histoire des piles au fil des découvertes scientifiques, de leur invention à leur commercialisation.

Voir p. 83



Présentation à Napoléon Bonaparte de la pile Volta par son inventeur en 1800.



Feux d'artifice du Nouvel An, Londres.

→ Comment expliquer la variété des couleurs lors des feux d'artifice ?

→ voir l'activité 1, p. 68

À revoir pour bien commencer

- Savoir ce qu'est un ion
- Savoir écrire et équilibrer une réaction chimique

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P67

Objectifs du chapitre

- ☐ Équilibrer des demi-équations électroniques
- ☐ Connaître les notions d'oxydant et de réducteur
- ☐ Déterminer des couples redox
- ☐ Utiliser une équation d'oxydoréduction pour faire des calculs ou des raisonnements

1 À la découverte de l'oxydoréduction

Lors d'un feu d'artifice, chacun peut s'émerveiller devant les couleurs qui surgissent dans la nuit.

→ Comment expliquer l'apparition de ces couleurs lors de l'explosion ?

Par intuition

Quel est le principe d'une explosion et quel élément chimique est généralement concerné ?

Doc. 1 La poudre noire

La poudre noire (mélange en différentes proportions de charbon C, de soufre S et de nitrate de potassium KNO_3), connue depuis le VIII^e siècle en Chine, est utilisée dans les fusées des feux d'artifice. Échauffés, les corps qui la constituent réagissent et provoquent l'explosion nécessaire à la propulsion du corps pyrotechnique.

Ce corps expulsé contient lui aussi de la poudre noire qui explosera dans le ciel grâce à une mèche-retard (allumée par la première explosion). Le mélange pyrotechnique subit une combustion, ce qui produit les couleurs que nous pouvons observer.



Doc. 2 L'apparition des couleurs

L'explosion de la poudre noire a deux effets : apporter de l'énergie et du dioxygène. Pour obtenir la couleur blanche, c'est le magnésium qui est utilisé. Suite à l'apport d'énergie, le magnésium s'enflamme entraînant alors sa combustion dans le dioxygène pour former l'oxyde de magnésium MgO .



De nombreuses couleurs peuvent être créées.

Données

• Couleurs et éléments chimiques :

Vert	Baryum ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$)	Bleu	Cuivre (Cu et CuCl_2)
Orangé	Calcium ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)	Jaune	Sodium (NaNO_3)
Doré	Mélange fer, carbone, soufre	Rouge	Strontium ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$)

Vocabulaire

- **Oxydant** : espèce chimique susceptible de gagner un ou plusieurs électrons (e^-).
- **Réducteur** : espèce chimique susceptible de perdre un ou plusieurs électrons (e^-).

Compétence

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

1. Écrire l'équation bilan de la combustion du magnésium dans le dioxygène.

L'oxyde de magnésium MgO formé est un solide ionique composé d'ions magnésium Mg^{2+} et d'ions oxyde O^{2-} .

2. Comment un atome de magnésium Mg se transforme-t-il en ion Mg^{2+} ? Traduire cette transformation par une demi-équation électronique. On note e^- un électron échangé.

3. Reprendre la question 2. pour la molécule de dioxygène O_2 se transformant en ion oxyde O^{2-} .

4. Ces deux dernières équations sont appelées demi-équations électroniques. Retrouver, en les combinant, l'équation bilan de la réaction.

Synthèse de l'activité

La couleur dorée est obtenue à l'aide du fer, oxydé en Fe_2O_3 (2Fe^{3+} et 3O^{2-}). Effectuer le même travail et retrouver l'équation bilan de la combustion du fer.

2 L'arbre de Diane 50'

Un fil de cuivre est plongé dans une solution de nitrate d'argent. Il se recouvre rapidement de petits filaments (dendrites) gris-blanc appelés aussi végétation métallique. Alors que la quantité de dendrites augmente, le liquide prend une couleur bleu-ciel.

→ Est-il possible d'expliquer ce dépôt à l'aide de la notion d'oxydoréduction ?

Par intuition

Dans cette expérience, que devient le cuivre ? Quelle est la nature de la végétation métallique ?

Doc. 1 Matériel nécessaire

- Une solution de nitrate d'argent à $0,2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$;
- Une baguette en verre ;
- Un fil de cuivre épais ;
- Un b cher de 200 mL.

Doc. 2 Réalisation de l'arbre de Diane

- Remplir le b cher de la solution de nitrate d'argent.
- Suspender le fil de cuivre sur la baguette et placer celle-ci sur le b cher pour que le fil plonge dans la solution.



Doc. 3 Conservation de la matière

Selon les transformations, les éléments de matière qui se conservent sont respectivement : les espèces chimiques pour les transformations physiques, les éléments pour les transformations chimiques et les particules élémentaires pour les transformations nucléaires.

Les réactions d'oxydoréduction étant des transformations chimiques, elles

doivent respecter la conservation des éléments. Ce qui signifie que le nombre total d'entités de chaque élément (qu'il soit sous forme moléculaire, ionique ou atomique) doit être le même dans les réactifs et les produits. Par extension, cette règle de conservation est aussi valide pour les électrons et implique que la charge électrique totale des produits et des réactifs doit être la même.

Vocabulaire

- **Oxydation** : réaction d'échange d'électrons au cours de laquelle l'espèce oxydée perd un ou plusieurs électron(s).
- **Réduction** : réaction d'échange d'électrons au cours de laquelle l'espèce réduite gagne un ou plusieurs électrons.

Compétences

- ✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours
- ✓ R A : Agir de façon responsable

1. **Doc. 1 et 2** Identifier les espèces chimiques présentes à l'état initial et à l'état final.
2. Les ions nitrate interviennent-ils dans la transformation chimique ? Comment se nomme ce type d'ions ?
3. Cette transformation chimique est une oxydoréduction. L'élément oxygène intervient-il au cours de la réaction ?
4. Concernant l'élément cuivre :
 - a. sous quelle forme se trouve le cuivre à l'état initial et à l'état final ?
 - b. proposer une équation (appelée demi-équation) mettant en jeu l'échange d'électrons.
 - c. est-ce une oxydation ou une réduction ?
 - d. dans cette demi-équation, quel est l'oxydant et quel est le réducteur ?
5. Reprendre la question 4. pour l'élément argent.
6.   l'aide des deux demi-équations, écrire l'équation bilan de la transformation étudiée.

Synthèse de l'activité

En quoi consiste une réaction d'oxydoréduction ?

3 Pile à combustible

Déjà utilisées dans les transports et en voie de développement pour certains appareils portables, les piles à combustible permettent de produire de l'énergie électrique à partir de deux gaz : le dihydrogène et le dioxygène.

→ Les réactions d'oxydoréduction peuvent-elles expliquer ce phénomène ?

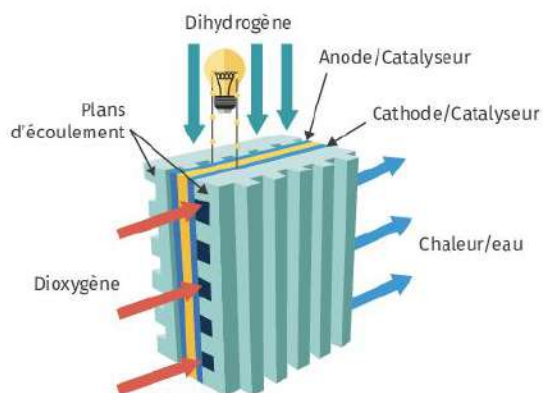
Une opinion ?

Quelle propriété des réactions d'oxydoréduction permet aux piles de générer un courant électrique ?

Doc. 1 Constitution et fonctionnement

Une pile à combustible est constituée d'une anode à dihydrogène gazeux $H_2(g)$ et d'une cathode à dioxygène gazeux $O_2(g)$. Entre les deux, un électrolyte permet le passage des ions de l'anode vers la cathode.

Lorsque le circuit est fermé, le dihydrogène $H_2(g)$ présent sur l'anode est transformé en ions hydrogène $H^+(aq)$ qui circulent dans l'électrolyte jusqu'à la cathode. Là, ils réagissent avec le dioxygène $O_2(g)$ pour former de l'eau $H_2O(l)$. Les électrons ainsi libérés par le dihydrogène alimentent le circuit électrique pour être récupérés à la cathode par le dioxygène.



Doc. 2 Une technologie de l'avenir

En 2009, la Venturi Buckeye Bullet 2 bat le record de vitesse FIA (Fédération internationale de l'automobile) pour un véhicule électrique alimenté par une pile à combustible : $488 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. C'est le premier véhicule électrique à franchir la barre symbolique des 300 mph (plus de $480 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Aujourd'hui, le record est détenu par la Venturi Buckeye Bullet 3 à une vitesse frôlant les $550 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ avec une batterie lithium-ion.

 Visionner le premier record de vitesse réalisé par la Venturi Buckeye Bullet 2 ! [LLS.fr/PC1P70](https://lls.fr/PC1P70)



Numérique

Retrouvez une animation sur le fonctionnement d'une pile à combustible. [LLS.fr/PC1PileACombustible](https://lls.fr/PC1PileACombustible)

Compétence

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

1. Doc. 1 Écrire les demi-équations des réactions qui se produisent au niveau des électrodes.
2. En déduire l'électrode où se produit une oxydation et celle où se produit une réduction.
3. Au sein du conducteur, de quelle électrode les électrons partent et arrivent-ils ?
4. En déduire le sens du courant. Quelle électrode est alors l'électrode positive ?
5. Pourquoi la lampe s'allume-t-elle ?
6. De quel type de courant électrique s'agit-il ?
7. Pourquoi une pile à combustible est considérée comme une pile propre ?

Synthèse de l'activité

Que peut-on déduire de cette expérience quant à la possibilité chimique de créer du courant électrique ?

1 Notion d'oxydation et de réduction

A Description

Une réaction d'oxydoréduction consiste en un transfert d'électrons entre deux espèces chimiques.

Elle met en jeu à la fois une oxydation (perte d'électrons) et une réduction (gain d'électrons).

Remarque : Le terme d'oxydation désignait à l'origine la corrosion d'une espèce chimique par le dioxygène. Aujourd'hui, ce n'est pas forcément le cas, une réaction d'oxydation ne fait pas forcément intervenir l'élément oxygène.

B Oxydant et réducteur

➤ Un oxydant est une espèce chimique capable de gagner un ou plusieurs électrons.

Un gain d'électrons s'appelle une réduction.

Un oxydant qui se réduit devient un réducteur.

➤ Un réducteur est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs électrons.

Une perte d'électrons s'appelle une oxydation.

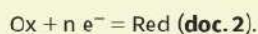
Un réducteur qui s'oxyde devient un oxydant.

➤ La réaction d'oxydoréduction est donc un transfert d'électrons du réducteur vers l'oxydant.

C Couple redox et demi-équation

➤ Au cours d'une réaction d'oxydoréduction, un oxydant peut être réduit en une espèce chimique qui est son conjugué.

Deux espèces conjuguées forment un couple Ox/Red si elles peuvent être reliées par une demi-équation de la forme :



Exemple : la pile Daniell (**doc. 3**)

Le réducteur zinc Zn, qui est oxydé, devient l'ion Zn^{2+} .

L'oxydant Cu^{2+} , qui est réduit, devient du cuivre métallique Cu.

Cette réaction d'oxydoréduction fait donc intervenir les 2 couples redox $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})/\text{Cu}(\text{s})$ et $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})/\text{Zn}(\text{s})$.

Par convention, les couples oxydant-réducteur s'écrivent toujours de la même manière : l'oxydant à gauche et le réducteur à droite. On les note sous la forme Ox/Red.

Remarque : Par simplification, on utilise parfois le terme redox à la place d'oxydoréduction.

Vocabulaire

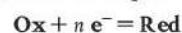
- **Oxydoréduction :** réaction chimique entre l'oxydant d'un couple et le réducteur d'un autre couple redox.

Doc. 1 Combustion du fer



Doc. 2 Quelques repères

Au sein du couple Ox/Red, l'oxydant Ox et le réducteur Red sont reliés par demi-équation électronique :



- Ox capte n électrons e^- et subit une réduction.
- Red cède n électrons e^- et subit une oxydation.

Pas de malentendu



➤ Une espèce chimique peut être un oxydant dans un couple et un réducteur dans un autre.

Par exemple, l'ion fer (II) est l'oxydant dans le couple $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})/\text{Fe}(\text{s})$ et le réducteur dans le couple $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})/\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$.

Doc. 3 Une pile zinc/cuivre



2 Équations et demi-équations

A Ajustement des demi-équations

Certaines demi-équations font intervenir des molécules d'eau et des ions hydrogène H^+ .

1. ajustement des éléments autres que l'oxygène et l'hydrogène ;
2. ajustement de l'élément oxygène à l'aide de H_2O ;
3. ajustement de l'élément hydrogène à l'aide des ions H^+ ;
4. ajustement des charges à l'aide des électrons e^- .

Exemple : réduction des ions $Cr_2O_7^{2-}$ en ions Cr^{3+} .

1. $Cr_2O_7^{2-} = Cr^{3+} \Rightarrow Cr_2O_7^{2-} = 2 Cr^{3+}$.
2. $Cr_2O_7^{2-} = 2 Cr^{3+} + 7 H_2O$.
3. $Cr_2O_7^{2-} + 14 H^+ = 2 Cr^{3+} + 7 H_2O$.
4. $Cr_2O_7^{2-} + 14 H^+ + 6 e^- = 2 Cr^{3+} + 7 H_2O$.

B Demi-équations en milieu basique

Pour ajuster les demi-équations en milieu basique (ions hydroxyde majoritaires par rapport aux ions hydrogène H^+), on ajoute autant d'ions HO^- de part et d'autre de l'équation qu'il y a d'ions H^+ . Ces deux derniers ions se combinent pour former une molécule d'eau. On élimine ensuite autant de molécules d'eau qu'il y en a présentes des deux côtés de la demi-équation.

Exemple : On ajuste la demi-équation suivante en milieu basique :

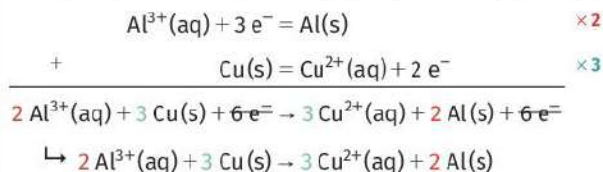
1. $Cr_2O_7^{2-} + 14 H^+ + 14 HO^- + 6 e^- = 2 Cr^{3+} + 7 H_2O + 14 HO^-$.
2. $Cr_2O_7^{2-} + 14 H_2O + 6 e^- = 2 Cr^{3+} + 7 H_2O + 14 HO^-$.
3. $Cr_2O_7^{2-} + 7 H_2O + 6 e^- = 2 Cr^{3+} + 14 HO^-$.

C Écriture de l'équation bilan

Après avoir déterminé les couples mis en jeu dans la réaction d'oxydoréduction et équilibré les demi-équations, on peut écrire l'équation bilan. Celle-ci consiste en une combinaison des deux demi-équations que l'on ajuste **de telle sorte que les électrons n'apparaissent pas dans l'équation bilan**.

Pour cela, les demi-équations utilisées doivent faire intervenir le même nombre d'électrons. Dans ces conditions, on peut être amené à multiplier par un même nombre tous les coefficients stoechiométriques de chaque demi-équation avant de les additionner.

Exemple : pour les couples $Al^{3+}(aq)/Al(s)$ et $Cu^{2+}(aq)/Cu(s)$, on écrit :



Vocabulaire

• **Demi-équation** : équation bilan montrant le transfert d'électrons dans un couple redox.

Éviter

les erreurs



- ➔ Par convention, les demi-équations doivent toujours être écrites avec des signes « + ».
- Ainsi, l'oxydation du fer solide en ions fer (II) s'écrit $Fe(s) = Fe^{2+}(aq) + 2 e^-$ et non pas $Fe(s) - 2 e^- = Fe^{2+}(aq)$.
- ➔ On utilise toujours le signe = pour les demi-équations et le signe $\rightarrow$ pour une équation bilan d'oxydoréduction.

Pas de malentendu



- ➔ Un mélange entre un oxydant et un réducteur ne va pas toujours donner lieu à une transformation chimique. Pour déterminer les oxydants qui réagissent spontanément avec des réducteurs, il existe une échelle de potentiels. Cette échelle est construite en mesurant la tension aux bornes de différentes piles, mais cette démarche n'est pas au programme en première.

Doc. 4 Oxydoréduction



- L'aluminothermie est une réaction d'oxydoréduction entre l'aluminium et certains oxydes métalliques.

Numérique

Retrouvez une vidéo pour apprendre à ajuster les équations d'oxydoréduction.

[LLS.fr/PC1P72](https://lls.fr/PC1P72)

Principales notions

Une réaction d'oxydoréduction modélise le transfert d'électrons entre deux espèces chimiques.

Ce transfert se réalise entre le réducteur Red_1 d'un couple Ox_1/Red_1 vers l'oxydant Ox_2 d'un autre couple Ox_2/Red_2 .

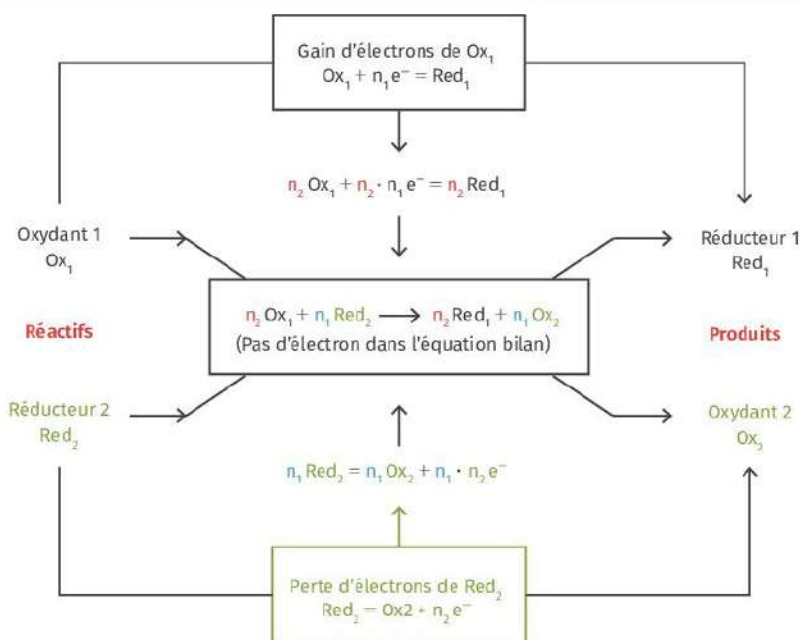
L'oxydant Ox_2 qui est réduit gagne ainsi un ou plusieurs

électrons et le réducteur Red_1 qui est oxydé perd des électrons.

Lors de ce transfert, les règles de conservation suivantes sont vérifiées :

- la conservation des éléments chimiques ;
- la conservation des charges électriques.

Les éléments essentiels de la modélisation



Pour ajouter une demi-équation de type $\text{Ox} + n e^- = \text{Red}$, il est parfois nécessaire de faire intervenir les espèces H_2O et H^+

Les limites de la modélisation

Les réactions d'oxydoréduction modélisent une famille très vaste de transformations chimiques. Le modèle présenté permet de comprendre quels sont les transferts en jeu et d'expliquer qualitativement et quantitativement ces transformations. Il permet aussi de prévoir les produits attendus à partir des réactifs mis en jeu.

En revanche, le modèle qui est présenté ne permet pas de prévoir si le réactif Ox_1 d'un couple réagit spontanément avec le réactif Red_2 d'un autre couple ou bien l'inverse, Ox_2 réagissant spontanément avec Red_1 . Seule une analyse des potentiels redox permet de privilégier un sens de transformation plutôt que l'autre. Cette notion de potentiel redox n'est pas au programme de l'enseignement de spécialité en première.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour réaliser un schéma et reprendre les principales notions du chapitre ! LLS.fr/PC1P73

1 Oxydation et réduction

	A	B	C
1. Dans la réaction $2\text{Mg(s)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{MgO(s)}$ le magnésium est :	oxydé.	réduit.	ni l'un ni l'autre.
2. Dans la réaction $\text{Zn}^{2+}\text{(aq)} + \text{Ba(s)} \rightarrow \text{Zn(s)} + \text{Ba}^{2+}\text{(aq)}$, quelle espèce est réduite ?	Le baryum Ba(s) .	L'ion zinc $\text{Zn}^{2+}\text{(aq)}$.	Le zinc Zn(s) .

2 Couples redox

1. Quel couple redox a pour demi-équation $\text{CO}_2\text{(g)} + 4\text{H}^+\text{(aq)} + 4\text{e}^- = \text{C(s)} + 2\text{H}_2\text{O(l)}$?	$\text{H}_2\text{O(l)}/\text{H}^+\text{(aq)}$.	$\text{CO}_2\text{(g)}/\text{C(s)}$.	$\text{H}^+\text{(aq)}/\text{H}_2\text{O(l)}$.
2. La demi-équation $\text{HSO}_4^-\text{(aq)} + 3\text{H}^+\text{(aq)} + 2\text{e}^- =$ $\text{SO}_2\text{(aq)} + 2\text{H}_2\text{O(l)}$ met en jeu le couple :	$\text{HSO}_4^-\text{(aq)}/\text{H}_2\text{O(l)}$.	$\text{HSO}_4^-\text{(aq)}/\text{SO}_2\text{(g)}$.	$\text{H}^+\text{(aq)}/\text{H}_2\text{(g)}$.
3. La demi-équation du couple $\text{Al(OH)}_4^-\text{(aq)}/\text{Al(s)}$ est :	$\text{Al(OH)}_4^-\text{(aq)} + 3\text{e}^- =$ $\text{Al(s)} + 4\text{OH}^-\text{(aq)}$.	$\text{Al(s)} + 4\text{OH}^-\text{(aq)} =$ $\text{Al(OH)}_4^-\text{(aq)} + 3\text{e}^-$.	$\text{Al(OH)}_4^-\text{(aq)} =$ $\text{Al(s)} + 4\text{OH}^-\text{(aq)} +$ 3e^- .

3 Demi-équations et équations bilans

1. La demi-équation du couple $\text{Fe}^{3+}\text{(aq)}/\text{Fe}^{2+}\text{(aq)}$ est :	$\text{Fe}^{3+}\text{(aq)} + \text{e}^- =$ $\text{Fe}^{2+}\text{(aq)}$.	$\text{Fe}^{2+}\text{(aq)} + \text{e}^- =$ $\text{Fe}^{3+}\text{(aq)}$.	$\text{Fe}^{2+}\text{(aq)} + \text{e}^- \rightarrow$ $\text{Fe}^{3+}\text{(aq)}$.
2. Quelle est l'équation bilan de la réaction de l'ion $\text{Fe}^{3+}\text{(aq)}$ sur le plomb Pb(s) ?	$2\text{Fe}^{3+}\text{(aq)} + \text{Pb(s)} \rightarrow$ $2\text{Fe}^{2+}\text{(aq)} + \text{Pb}^{2+}\text{(aq)}$.	$\text{Fe}^{3+}\text{(aq)} + \text{Pb(s)} \rightarrow$ $\text{Fe}^{2+}\text{(aq)} + \text{Pb}^{2+}\text{(aq)}$ $+ \text{e}^-$.	$2\text{Fe}^{3+}\text{(aq)} + 3\text{Pb(s)} \rightarrow$ $2\text{Fe}^{2+}\text{(aq)} + 3\text{Pb}^{2+}\text{(aq)}$.
3. La demi-équation du couple $\text{MnO}_4^-\text{(aq)}/\text{Mn}^{2+}\text{(aq)}$ est :	$\text{MnO}_4^-\text{(aq)} + \text{e}^- =$ $\text{Mn}^{2+}\text{(aq)} + 2\text{O}_2\text{(g)}$.	$\text{MnO}_4^-\text{(aq)} + 5\text{e}^-$ $+ 8\text{H}^+\text{(aq)} =$ $\text{Mn}^{2+}\text{(aq)} + 4\text{H}_2\text{O(l)}$.	$\text{MnO}_4^-\text{(aq)} + 5\text{e}^-$ $+ 4\text{H}_2\text{O(l)} =$ $\text{Mn}^{2+}\text{(aq)} + 8\text{H}^+\text{(aq)}$.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P74

4 Questions Jeopardy

♦ Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

- Le couple redox correspondant à cette demi-équation est $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}\text{(aq)}/\text{SO}_4^{2-}\text{(aq)}$.
- Cette équation bilan nous indique que le diiode $\text{I}_2\text{(aq)}$ est réduit en ion iodure $\text{I}^-\text{(aq)}$ par le nickel Ni(s) , lui-même oxydé en ion $\text{Ni}^{2+}\text{(aq)}$.

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage (Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 400)

□ Connaître la notion d'oxydant et de réducteur

22

□ Équilibrer des demi-équations

11

12

[DIFF]

21

22

□ Déterminer des couples redox

11

18

25

□ Analyser et utiliser une réaction d'oxydoréduction pour faire des calculs ou des raisonnements

12

[DIFF]

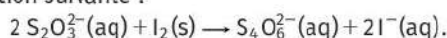
21

22

Pour s'échauffer

5 Espèces oxydée et réduite

- Quelles sont les espèces oxydée et réduite dans la réaction suivante ?



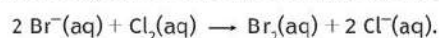
6 Couple redox

- Écrire les couples redox correspondant à l'équation d'oxydoréduction suivante :



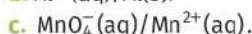
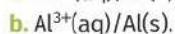
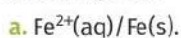
7 Oxydant et réducteur

- Identifier l'oxydant et le réducteur dans la réaction :



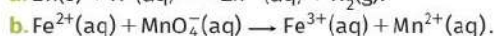
8 Demi-équations

- Écrire la demi-équation d'oxydo-réduction correspondant à chaque couple oxydant-réducteur en milieu aqueux.



9 Équilibrer une équation redox

- Équilibrer les équations suivantes.



Pour commencer

Équations bilans

10 Écrire l'équation d'une réaction redox

✓ RAI / MOD : Modéliser une transformation chimique

- Établir les équations bilans des réactions :

a. du cuivre $\text{Cu}(\text{s})$ avec le dibrome $\text{Br}_2(\text{aq}).$

b. de l'acide iodhydrique ($\text{H}^+(\text{aq})$; $\text{I}^-(\text{aq})$) avec le chlorure ferrique ($\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$; $3 \text{Cl}^-(\text{aq})$).

c. du thiosulfate de sodium ($2 \text{Na}^+(\text{aq})$; $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$) avec le diiode $\text{I}_2(\text{s}).$

d. de l'acide nitrique ($\text{H}^+(\text{aq})$; $\text{NO}_3^-(\text{aq})$) avec le fer $\text{Fe}(\text{s}).$

e. du nitrate d'argent ($\text{Ag}^+(\text{aq})$; $\text{NO}_3^-(\text{aq})$) avec le cuivre $\text{Cu}(\text{s}).$

f. du permanganate de potassium ($\text{K}^+(\text{aq})$; $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$) avec le chlorure de fer (II) ($\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$; $\text{Cl}^-(\text{aq})$).

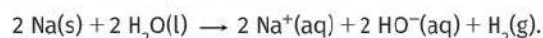
Données

- $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})/\text{Cu}(\text{s})$;
- $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})/\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$;
- $\text{Br}_2(\text{g})/\text{Br}^-(\text{aq})$;
- $\text{I}_2(\text{s})/\text{I}^-(\text{aq})$;
- $\text{MnO}_4^-(\text{aq})/\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$;
- $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$;
- $\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})$;
- $\text{Ag}^+(\text{aq})/\text{Ag}(\text{s})$;
- $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})/\text{Fe}(\text{s}).$

11 Comprendre la réaction du sodium avec l'eau

✓ RAI / MOD : Modéliser une transformation chimique

Le sodium doit être stocké à l'abri de l'humidité (dans l'huile de paraffine). Lorsqu'un morceau de sodium $\text{Na}(\text{s})$ est mis en contact avec de l'eau, une réaction violente se produit selon l'équation suivante :



1. Écrire les deux couples redox en présence.

2. Déterminer les deux demi-équations mises en jeu.

Doc. 1 Le métal sodium



Doc. 2 Sodium dans l'eau



Numérique

Retrouvez une vidéo de la réaction du sodium dans l'eau. [LLS.fr/PC1P75](https://lls.fr/PC1P75)

12 Production d'aluminium

✓ APP : Extraire l'information utile d'un texte

Doc. 1 Électrolyse de l'alumine

L'aluminium est un métal léger et très utilisé dans l'industrie comme dans l'aéronautique. La bauxite est un minéral qui contient de l'alumine, oxyde d'aluminium de formule $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$. Cet aluminium est extrait par électrolyse.

L'alumine est fondue à haute température dans une cuve contenant du carbone. Un courant continu de haute intensité (100 kA sous 4,50 V) traverse la cuve et réalise la transformation des ions aluminium $\text{Al}^{3+}(\text{l})$ en aluminium $\text{Al}(\text{s})$, et des ions oxygène $\text{O}^{2-}(\text{l})$ en dioxygène $\text{O}_2(\text{g})$. L'aluminium liquide se dépose au fond de la cuve, le dioxygène réagit avec le carbone et s'échappe sous forme de dioxyde de carbone.

1. Écrire l'équation de la fusion de l'alumine.
2. Écrire les demi-équations des réactions qui se produisent en précisant le type de réaction.

3. Écrire l'équation bilan de la réaction.
4. Quelles masses d'aluminium et de dioxygène obtient-on avec une tonne d'alumine ?
5. Écrire l'équation bilan de la formation du dioxyde de carbone $\text{CO}_2(\text{g})$.
6. Quelle masse minimale de carbone est nécessaire pour réduire l'oxygène produit ?

Doc. 2 Carrière de bauxite en Italie



Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Équilibrer des demi-équations/Utiliser une réaction d'oxydoréduction pour un raisonnement

13 Oxydation des ions thiosulfate

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique



Thiosulfate de sodium.

Le thiosulfate de sodium est utilisé pour de nombreux usages en médecine, il peut agir comme antidote contre un empoisonnement au cyanure.

On mélange une solution de thiosulfate de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq})$; $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$) et une solution de diiode $\text{I}_2(\text{aq})$. La couleur brune du diiode disparaît. Les deux couples redox concernés sont $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})/\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})$ et $\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-(\text{aq})$.

1. En déduire les deux demi-équations associées.
2. Quels sont les ions spectateurs de la réaction en jeu ?
3. Identifier les réactifs et les produits de cette réaction.
4. En déduire alors l'équation bilan de la réaction.
5. Pour une quantité de $1,00 \times 10^{-2}$ mol de I_2 en solution, quelle quantité de ($\text{Na}^+(\text{aq})$; $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$) faut-il introduire pour que le mélange réactionnel soit dans les proportions stœchiométriques ?

14 Oxydation du dioxyde de soufre (1)

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

Un vin blanc commercial contient souvent du dioxyde de soufre $\text{SO}_2(\text{aq})$, qui agit comme antioxydant et stabilisateur. On introduit goutte à goutte une solution de diiode $\text{I}_2(\text{aq})$ dans un bécher contenant un vin blanc.

1. Déterminer les demi-équations relatives à ces deux couples : $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})/\text{SO}_2(\text{aq})$ et $\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-(\text{aq})$.
2. Identifier les réactifs et les produits de cette réaction.
3. En déduire alors l'équation bilan de la réaction.
4. Pour une quantité de $1,00 \times 10^{-3}$ mol de diiode I_2 ajoutée, quelle est la quantité de dioxyde de soufre $\text{SO}_2(\text{aq})$ qu'il faut introduire pour que les réactifs soient dans les proportions stœchiométriques ?

15 Oxydation du dioxyde de soufre (2)

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

On mélange une solution de permanganate de potassium ($\text{K}^+(\text{aq})$; $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$) et une solution contenant du dioxyde de soufre dissous $\text{SO}_2(\text{aq})$ en milieu acide.

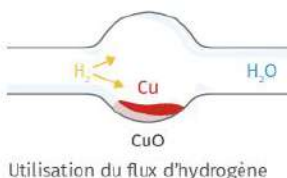
1. Établir alors l'équation bilan de la réaction, les couples en jeu étant $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})/\text{SO}_2(\text{aq})$ et $\text{MnO}_4^-(\text{aq})/\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$.
2. Pour une quantité de $1,00 \times 10^{-3}$ mol de permanganate de potassium introduite, quelle est la quantité de dioxyde de soufre qu'il faut introduire pour que les réactifs soient dans les proportions stœchiométriques ?

Réduction de l'oxyde de cuivre par un flux de dihydrogène

Énoncé

L'oxyde de cuivre (II) CuO(s) est une poudre noire. Il s'agit d'un solide ionique composé d'ions Cu^{2+} et d'ions O^{2-} . Il peut être réduit par un flux de dihydrogène $\text{H}_2(\text{g})$. Le dihydrogène étant un gaz hautement inflammable, il faut respecter des consignes de sécurité pour réaliser cette manipulation. Il se forme alors du cuivre métallique Cu(s) et de l'eau $\text{H}_2\text{O(l)}$.

1. Écrire l'équation bilan de la réduction de l'oxyde de cuivre (II) par le dihydrogène.



2. L'élément cuivre subit-il une oxydation ou une réduction ?
3. La masse d'oxyde de cuivre placée dans le tube à essai au départ est $m(\text{CuO}) = 2,00 \text{ g}$. En déduire la masse de cuivre formé.



Montage de l'expérience de réduction.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Identifier les réactifs et les produits à l'aide de l'énoncé.
2. Identifier les formes de l'élément cuivre.
3. Réaliser un calcul de masse molaire, puis de quantité de matière.

Solution rédigée

1. L'équation bilan de la réduction de l'oxyde de cuivre par le dihydrogène est : $\text{CuO(s)} + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Cu(s)} + \text{H}_2\text{O(l)}$.
2. Le cuivre passe de la forme Cu^{2+} à la forme Cu selon la demi-équation $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$. Le cuivre a donc subi une réduction.
3. La quantité d'oxyde de cuivre est :

$$n(\text{CuO}) = \frac{m(\text{CuO})}{M(\text{CuO})} = \frac{2,00}{63,5 + 16,0} = 2,52 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

La quantité de cuivre formé est : $n(\text{Cu}) = n(\text{CuO}) = 2,52 \times 10^{-2} \text{ mol}$.

La masse de cuivre formé est :

$$m(\text{Cu}) = M(\text{Cu}) \cdot n(\text{Cu}) = 63,5 \times 2,52 \times 10^{-2} \text{ mol} = 1,60 \text{ g.}$$

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Vérifier la conservation des éléments dans l'équation bilan.
2. L'oxyde de cuivre (II) CuO est un solide ionique composé des ions cuivre (II) Cu^{2+} et oxyde O^{2-} .
3. Attention, il faut raisonner sur les quantités de matière à l'aide de l'équation bilan.

16 Mise en application



Source colorée par l'oxyde de fer (John Bryan State Park, États-Unis).

L'oxyde de fer $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ est une poudre rouge. Il s'agit d'un solide ionique composé d'ions fer (III) Fe^{3+} et d'ions oxyde O^{2-} . Il peut être réduit par un flux de dihydrogène $\text{H}_2(\text{g})$. Il se forme alors du fer métallique Fe(s) et de l'eau $\text{H}_2\text{O(l)}$.

1. Écrire l'équation bilan de la réduction de l'oxyde de fer par le dihydrogène.
2. L'élément fer subit-il une oxydation ou une réduction ?
3. La masse de Fe_2O_3 placée dans le tube à essais au départ est $m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 2,00 \text{ g}$. En déduire la masse de fer formé.

Pour s'entraîner

17 Le dioxygène et le fer

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

Un objet en fer laissé à l'air libre se dégrade et rouille. C'est une oxydation lente.



La rouille est un composé complexe. Sa formation peut être décrite par la succession des réactions suivantes :

- Étape 1 : formation de l'hydroxyde de fer (II). Les couples qui interviennent sont $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})/\text{Fe}(\text{s})$ et $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$.
 - Écrire les demi-équations des couples.
 - En déduire l'équation bilan de la réaction.

Aide : les ions H^+ réagissent avec les ions HO^- en produisant de l'eau H_2O .

- Étape 2 : formation de l'hydroxyde de fer (III). Les couples qui interviennent sont $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})/\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ et $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$.
 - Écrire les demi-équations des couples.
 - En déduire l'équation bilan de la réaction.
- Étape 3 : l'hydroxyde de fer se transforme en oxyde de fer (III).

La réaction s'écrit $2 \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$. Qu'indique la présence de la molécule d'eau $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ dans les demi-équations de ces trois réactions ?

18 Réactions d'oxydoréduction en QCM

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Entre l'atome de cuivre $\text{Cu}(\text{s})$ et l'ion cuivrique $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$, le réducteur est :
 - l'atome de $\text{Cu}(\text{s})$.
 - l'ion $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$.
 - ni l'un ni l'autre.
- Dans la demi-équation redox de l'ion sulfate $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- = \text{H}_2\text{SO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$:
 - le sulfate $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ est l'oxydant.
 - l'acide sulfureux $\text{H}_2\text{SO}_3(\text{aq})$ est le réducteur.
 - le sulfate $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ est oxydé en acide sulfureux $\text{H}_2\text{SO}_3(\text{aq})$.
 - le proton $\text{H}^+(\text{aq})$ est un oxydant.
- La réaction d'équation $2 \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s}) \rightarrow 2 \text{Ag}(\text{s}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$:
 - met en jeu les couples $\text{Ag}^+(\text{aq})/\text{Ag}(\text{s})$; $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})/\text{Cu}(\text{s})$.
 - met en jeu les couples $\text{Ag}(\text{s})/\text{Ag}^+(\text{aq})$; $\text{Cu}(\text{s})/\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$.
 - correspond à la réduction de l'ion argent $\text{Ag}^+(\text{aq})$ par l'atome de cuivre $\text{Cu}(\text{s})$.

19 Décapage d'un métal

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement, communiquer sur les étapes/Chemin de résolution

Le traitement de surface des pièces métalliques est primordial avant de les usiner. Différentes techniques existent pour cela. Une pièce d'aluminium de 100 g est décapée dans 1,00 L d'une solution d'acide chlorhydrique ($\text{H}^+(\text{aq})$; $\text{Cl}^-(\text{aq})$). Une réaction a lieu sur la surface, éliminant une partie de l'aluminium qui passe en solution. Un dégagement gazeux incolore et extrêmement inflammable est observé.

- Déterminer l'équation de la réaction ayant lieu entre l'aluminium $\text{Al}(\text{s})$ et l'ion hydrogène $\text{H}^+(\text{aq})$.
- Calculer la concentration maximale en quantité de matière d'ion $\text{H}^+(\text{aq})$ pour que le décapage représente au plus 0,1 % de la masse d'aluminium.
- Pourquoi l'emploi d'ustensiles de cuisine en aluminium est-il déconseillé quand on utilise des ingrédients acides comme le vinaigre ?

Données

Couples redox mis en jeu : $\bullet \text{Al}^{3+}(\text{aq})/\text{Al}(\text{s})$; $\bullet \text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})$.

Comprendre les attendus

20 Crampes musculaires

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours



Lors d'un effort, l'acide pyruvique $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3(\text{aq})$ est transformé en acide lactique $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3(\text{aq})$. Un excès d'acide lactique provoque l'apparition d'une crampe musculaire.

- Écrire les demi-équations redox des couples $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ et $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3(\text{aq})/\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3(\text{aq})$. (Il est nécessaire de faire intervenir l'ion $\text{H}^+(\text{aq})$.)
- En déduire l'équation bilan de la réaction.
- L'acide pyruvique subit-il une oxydation ou une réduction ?

Détails du barème

TOTAL/5 pts

- | | |
|--|-------|
| 1. Faire intervenir l'ion $\text{H}^+(\text{aq})$ dans les équations et bien équilibrer les charges. | 2 pts |
| 2. Identifier le sens des demi-équations. | 1 pt |
| Équilibrer les charges pour trouver l'équation. | 1 pt |
| 3. Identifier une oxydation et une réduction. | 1 pt |

21 Eau forte

- ✓ REA : Agir de façon responsable/respecter les règles de sécurité
- ✓ RAI / MOD : La quantité de matière

Jean-Baptiste Le Prince, *Les Nouvellistes*, 1768, gravure à l'eau-forte.

Certains artistes utilisent une technique appelée « l'eau-forte » pour graver des plaques métalliques avec un acide tel que l'acide nitrique ($\text{H}^+(\text{aq}); \text{NO}_3^-(\text{aq})$). Ce procédé se fait en plusieurs étapes :

- la plaque de cuivre à graver est recouverte d'un film protecteur résistant à l'acide ;
- le graveur réalise son dessin en éliminant de fines stries sur le film au niveau desquelles le métal est mis à nu ;
- la plaque est alors plongée dans un bain où les ions nitrate, $\text{NO}_3^-(\text{aq})$, vont creuser les zones non protégées en attaquant le métal. Les ions $\text{NO}_3^-(\text{aq})$ réagissent et libèrent un gaz incolore et toxique qui entre ensuite en contact avec le dioxygène de l'air et se transforme en dioxyde d'azote $\text{NO}_2(\text{g})$ (fumées rousses très toxiques). Lors de la réaction, la solution du bain devient bleue ; après rinçage et élimination du vernis, la plaque permet l'impression sur papier en remplissant avec de l'encre les sillons formés.

1. Quelle est l'équation de la réaction ayant lieu dans le bain de gravure ?
2. En déduire les précautions indispensables à prendre pour réaliser une telle opération.
3. Une plaque de cuivre de masse $m_1 = 453,2 \text{ g}$ est plongée dans une cuve (10 cm de profondeur, 50 cm de longueur et 30 cm de largeur) remplie aux trois quarts d'acide nitrique. Après réaction, rinçage et séchage, la plaque pèse $m_2 = 452,4 \text{ g}$. Quelle est la concentration en quantité de matière d'ions Cu^{2+} dans la cuve après le traitement de la plaque ?

Données

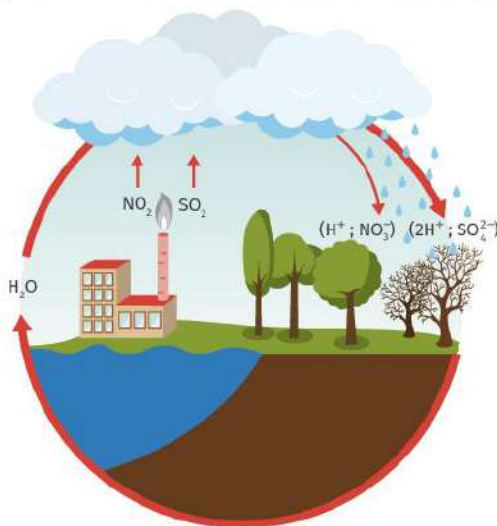
- Couples : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})/\text{Cu}(\text{s})$; $\text{Cu}^+(\text{aq})/\text{Cu}(\text{s})$; $\text{NO}_3^-(\text{aq})/\text{NO}(\text{g})$;
- Les ions $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ sont bleus, les ions $\text{Cu}^+(\text{aq})$ ne sont pas stables en solution aqueuse.

22 Origine des pluies acides

- ✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés / schéma/texte

BAC

Les industries et l'emploi massif des énergies fossiles entraînent notamment des émissions de dioxyde de soufre $\text{SO}_2(\text{g})$ et de dioxyde d'azote $\text{NO}_2(\text{g})$. Ces composés, naturellement toxiques, réagissent avec le dioxygène $\text{O}_2(\text{g})$ et l'eau $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ dans l'atmosphère. Les produits issus de ces réactions causent d'importants dégâts écologiques en retombant sur le sol avec les eaux de pluie.



1. Trouver le couple dont $\text{SO}_2(\text{g})$ fait partie et écrire la demi-équation correspondante.
2. Trouver le couple dont $\text{NO}_2(\text{g})$ fait partie et écrire la demi-équation correspondante.
3. Déterminer la réaction entre le dioxyde de soufre $\text{SO}_2(\text{g})$ et le dioxygène $\text{O}_2(\text{g})$.
4. Déterminer la réaction de l'oxyde d'azote $\text{NO}_2(\text{g})$ et le dioxygène $\text{O}_2(\text{g})$.

Une usine a eu un incident et du dioxyde de soufre $\text{SO}_2(\text{g})$ a été rejeté. Dans les jours suivants, des averses ont eu lieu à raison de 3,0 mm de pluie. La concentration mesurée dans les eaux de pluie donne une concentration en quantité de matière d'acide sulfurique $c = 0,010 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

5. Calculer la quantité d'acide qu'un champ d'un hectare a reçue lors de ces averses.
6. Quel volume de dioxyde de soufre émis correspond à la quantité retrouvée dans le champ ?

Données

- Volume molaire : $V_m = 24 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- 1 mm de pluie équivaut à 1 L/m²;
- 1 ha = 10 000 m².

23 La bouteille bleue

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations/des documents pour répondre à une problématique

Du glucose $C_6H_{12}O_6$ en poudre est dissous dans une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq)$; $HO^-(aq)$). La solution est incolore. On ajoute un peu de bleu de méthylène et la solution devient bleue. Puis, quelques secondes plus tard, elle devient incolore. Mais si on agite le flacon, elle devient bleue à nouveau, puis incolore lorsqu'on cesse l'agitation. L'expérience peut être reproduite de nombreuses fois.

Le bleu de méthylène est une molécule organique dont le couple redox est noté $B^{2+}(aq)/BH^+(aq)$. C'est la forme $B^{2+}(aq)$ qui est bleue. Le couple redox du glucose, quant à lui, sera noté $C_6H_{11}O_7^-(aq)/C_6H_{12}O_6(aq)$. En milieu basique, le couple du dioxygène est : $O_2(g)/HO^-(aq)$.

1. Écrire les demi-équations de ces trois couples redox.
2. En déduire la cause de la disparition de la couleur bleue dans un premier temps.
3. Expliquer pourquoi, en agitant, elle redevient bleue.
4. L'expérience peut-elle être réalisée indéfiniment ?

▶ L'expérience de la bouteille bleue



Le mélange est préparé, la couleur bleue disparaît après quelques dizaines de secondes.



Il est secoué, la couleur bleue réapparaît, puis disparaît à nouveau. Le processus peut être répété plusieurs fois.



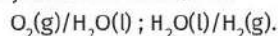
Retrouver la vidéo complète sur [LLS.fr/PC1P80](https://lls.fr/PC1P80).

24 Électrolyse de l'eau

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique/physique : écrire l'équation/l'ajuster

Pour produire le dihydrogène et le dioxygène utilisé dans les piles à combustible, on peut réaliser l'électrolyse de l'eau. Pour cela, on connecte un générateur à deux électrodes plongées dans l'eau. Toutefois, cette dernière étant peu conductrice, l'ajout d'une solution acide contenant des ions H^+ est nécessaire. On observe alors un dégagement de dioxygène à l'anode et de dihydrogène à la cathode.

Les couples en jeu sont les suivants :



1. Expliquer les observations en écrivant les demi-équations qui se produisent aux deux électrodes sous l'action du courant électrique, puis l'équation bilan de la réaction.
2. Que peut-on dire de l'eau en termes d'oxydoréduction dans cette réaction ?



HISTOIRE DES SCIENCES



Le mélange gazeux $H_2(g)/O_2(g)$ est explosif. Ainsi, le Zeppelin LZ 129 Hindenburg, le plus grand dirigeable jamais construit, rempli de dihydrogène pour s'élever dans les airs, a explosé peu avant son atterrissage à New York suite à un incident qui a provoqué l'inflammation de ce gaz et tué 35 personnes, le 6 mai 1937.

Numérique

Retrouvez plus d'informations sur cet accident en ligne. [LLS.fr/PC1P80](https://lls.fr/PC1P80)

25 Dismutation de l'eau oxygénée $H_2O_2(l)$

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement, communiquer sur les étapes

La réaction $2 H_2O_2(l) \rightarrow O_2(g) + 2 H_2O(l)$ est une réaction d'oxydoréduction.

- Comment peut-on l'expliquer ?

26 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.

1. Le plomb solide $Pb(s)$ devient des ions plomb $Pb^{2+}(aq)$ selon la demi-équation :
 ~~$Pb(aq) - 2e^- = 2 Pb^{2+}(s)$~~
2. La transformation du plomb solide en ion plomb est une ~~réduction~~ car $Pb(s)$ a perdu des électrons.
3. L'oxygène $O_2(g)$ se réduit en ion oxyde $O^{2-}(aq)$ selon l'équation :
 ~~$O_2(g) + 2e^- = O^{2-}(aq)$~~

Pour aller plus loin

27 Réflexion d'un(e) scientifique

✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

Une expérience historique



En 1781, Luigi Galvani, anatomiste et médecin italien, réalise des expériences pour comprendre l'influence de l'électricité sur les êtres vivants. Il utilise, comme ses contemporains, une bouteille de Leyde ou une machine électrostatique pour obtenir la contraction des muscles. Mais lorsqu'il suspend une grenouille

par un crochet en cuivre sur des barreaux en fer, elle est immédiatement animée de soubresauts, comme si elle était encore en vie. Il émet alors l'hypothèse d'une électricité animale produite par les muscles et libérée par les métaux.

1. Après la lecture du texte, que pensez-vous de l'hypothèse de Galvani ? Quelle explication permettrait de le contredire ?
2. Cette expérience fut indirectement à l'origine d'une grande invention quelques années plus tard, par un contemporain de Galvani qui a tenté de réfuter son hypothèse.



Rechercher qui est ce scientifique et l'invention dont il est à l'origine.

3. Expliquer brièvement le principe de fonctionnement de cette invention.

28 Piles électrochimiques

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique/physique : écrire l'équation/l'ajuster

Georges Leclanché a été un des précurseurs des piles en proposant en 1868 une pile saline zinc/dioxyde de manganèse. De nombreux autres types de piles électrochimiques ont depuis été inventés, comme la pile alcaline. La différence entre la pile saline et la pile alcaline réside dans l'électrolyte (corps entre les électrodes). Ainsi, il peut exister des piles zinc Zn/dioxyde de manganèse MnO_2 salines et alcalines. Celles-ci mettent en jeu les couples $\text{ZnO(s)}/\text{Zn(s)}$ et $\text{MnO}_2\text{(s)}/\text{Mn}_2\text{O}_3\text{(s)}$ en milieu basique.

1. Écrire les demi-équations des couples $\text{ZnO(s)}/\text{Zn(s)}$ et $\text{MnO}_2\text{(s)}/\text{Mn}_2\text{O}_3\text{(s)}$.
2. En déduire l'équation de la réaction.

Méthode pour équilibrer des réactions

Pour équilibrer des demi-équations redox en milieu basique, il faut faire intervenir l'ion $\text{HO}^-\text{(aq)}$ du côté du réducteur et la molécule d'eau $\text{H}_2\text{O(l)}$ du côté de l'oxydant.

29 Nanoparticules d'or

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations/des mesures/des documents pour répondre à une problématique

Les propriétés optiques de certains matériaux peuvent changer quand la taille des particules est inférieure aux longueurs d'onde du spectre visible (nanoparticules) : l'or est un de ces matériaux.

La technologie et l'emploi des nanoparticules se sont fortement développés depuis peu, mais leur fabrication était déjà connue sous l'Empire romain.

Elle était notamment développée pour la coloration du verre. Une des méthodes de formation a été développée en 1951. C'est une réaction d'oxydoréduction entre l'acide tétrachloraurique ($\text{H}^+\text{(aq)} ; \text{Au}^{3+}\text{(aq)} ; 4 \text{Cl}^-\text{(aq)}$) et une solution aqueuse de citrate de sodium ($3 \text{Na}^+\text{(aq)} ; \text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^-\text{(aq)}$) à la température d'ébullition de l'eau.

1. Quel montage faut-il réaliser pour éviter de perdre l'eau qui va se vaporiser lors de l'ébullition ?
2. Déterminer la réaction qui a lieu.
3. Le mélange obtenu a un pic d'absorbance à la longueur d'onde $\lambda = 600 \text{ nm}$. Quelle couleur perçoit-on en l'observant (on peut s'aider du cercle chromatique sur le rabat de fin).

Coupe en or - IV^e siècle

Données

• **Couples** : $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_5^{2-}\text{(aq)} / \text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^-\text{(aq)}$;

• **Demi-équation redox** :

$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^-\text{(aq)} = \text{C}_5\text{H}_4\text{O}_5^{2-}\text{(aq)} + \text{H}^+\text{(aq)} + \text{CO}_2\text{(g)} + 2 \text{e}^-$;
L'ion citrate est oxydé en ion 1,3-acétonedicarboxylate, en éliminant du CO_2 .

Numérique

Voyagez dans l'histoire des sciences pour découvrir plus d'objets de cette époque grâce à la frise chronologique interactive du British Museum.

[LLS.fr/PC1BritishMuseum](https://lls.fr/PC1BritishMuseum)

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices.

[LLS.fr/PC1P81](https://lls.fr/PC1P81)

30 Éthylotest

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement, communiquer sur les étapes/Chemin de résolution

Les éthylotests à usage unique sont basés sur une réaction d'oxydoréduction. Ils contiennent du dichromate de potassium ($2K^+(aq); Cr_2O_7^{2-}(aq)$) qui réagit avec l'éthanol $C_2H_5OH(aq)$ en présence d'acide. On obtient de l'éthanal $C_2H_4O(aq)$ et des ions chrome (III) : $Cr^{3+}(aq)$. Le ballon que l'on doit gonfler a un volume de 1 L. Le test est positif si le changement de couleur est observé sur la moitié du tube ou plus.

- À l'aide des documents, déterminer la masse de dichromate de potassium minimale pour détecter une alcoolémie trop importante pour un permis probatoire français.

Doc. 1 Définition de l'alcoolémie

L'alcoolémie est la concentration d'éthanol dans le sang, elle s'exprime en $\frac{g_{\text{éthanol}}}{L_{\text{sang}}}$.

Son estimation à partir d'une mesure sur l'air expiré est fondée sur la loi de Henry selon laquelle la pression partielle P_i d'une substance volatile, qui traduit sa concentration dans l'air au-dessus d'un liquide, est proportionnelle à sa fraction molaire x_i dans le liquide qui la contient : $P_i = x_i \cdot H_i$, où H_i est la constante de Henry qui est spécifique de la substance considérée.

Ainsi, l'alcoolémie est exactement proportionnelle à la concentration d'éthanol dans l'air expiré.

D'après « L'éthylotest », *L'actualité chimique*, n° 367-368, 2012, p. 90.

Doc. 2 L'alcool expiré

On sait que la masse d'éthanol contenue dans un litre de sang est deux mille fois supérieure à celle contenue dans un litre d'air expiré.

Doc. 3 Le couple redox en jeu



Dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7(s)$ / Oxyde de chrome (III) $Cr_2O_3(s)$.

Doc. 4 Éthylotest à usage unique



Doc. 5 Le taux d'alcool autorisé

Désormais, le taux d'alcool autorisé est $0,2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ dans le sang pour tous les permis probatoires. La réglementation s'applique à tous les jeunes conducteurs pendant :

- 3 ans après l'obtention du permis, la perte de 12 points ou l'annulation de son permis ;
- 2 ans si le permis a été obtenu dans le cadre de la conduite accompagnée ;
- $0,2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, c'est zéro verre d'alcool car dès le 1^{er} verre, ce seuil peut être dépassé.

D'après *securite-routiere.gouv.fr*.

Retour sur l'ouverture du chapitre (déconstruire les idées fausses)

31 Les acides attaquent-ils tous les métaux ?

✓ APP : Formuler le résultat attendu (hypothèse, etc.)

L'acide chlorhydrique ($H^+(aq); Cl^-(aq)$) attaque le fer $Fe(s)$ et l'aluminium $Al(s)$ pour donner des solutions de chlorure de fer (II) ($Fe^{2+}(aq); 2Cl^-(aq)$) et de chlorure d'aluminium ($Al^{3+}(aq); 3Cl^-(aq)$), accompagnées dans les deux cas d'un dégagement de dihydrogène.

1. Écrire les demi-équations électroniques des couples $Al^{3+}(aq)/Al(s)$, $Fe^{2+}(aq)/Fe(s)$, $H^+(aq)/H_2(g)$.
2. Écrire les équations bilans de la réaction entre ces

deux métaux et l'acide chlorhydrique.

Le cuivre $Cu(s)$, plongé dans une solution d'acide chlorhydrique, reste intact. Mais, avec l'acide nitrique ($H^+(aq); NO_3^-(aq)$), le cuivre disparaît, la solution devient bleue et un dégagement de monoxyde d'azote $NO(g)$ apparaît.

3. Écrire les demi-équations des couples $Cu^{2+}(aq)/Cu(s)$ et $NO_3^-(aq)/NO(g)$.
4. Écrire l'équation bilan de la transformation chimique entre le cuivre et l'acide nitrique.

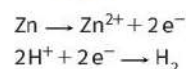
Une brève histoire des piles

A Élaboration des premières piles

Toute pile est constituée de trois éléments : deux métaux différents et un électrolyte (solution ionique). Le couple de métaux utilisés, ainsi que la nature et la forme de l'électrolyte permettent d'obtenir toutes sortes de piles aux capacités diverses.

Alessandro Volta (1745-1827) met au point la première pile, constituée d'un empilement de zinc, de cuivre et de carton imbibé d'eau salée. Mais la pile Volta présente deux inconvénients : d'une part, elle produit du dihydrogène, dont l'accumulation fait chuter la tension de la pile, et d'autre part, la pile n'est pas étanche car le liquide imbibé dans le carton a tendance à couler.

Volta

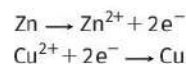
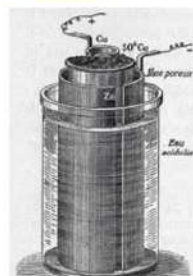


B Améliorations de Daniell et Leclanché

Le développement du télégraphe nécessitant des sources de courant constantes, **John Daniell (1790-1845)** améliore la pile de Volta. Sa pile est constituée d'une électrode en cuivre plongeant dans une solution contenant des ions Cu^{2+} et d'une électrode en zinc plongeant dans une solution contenant des ions Zn^{2+} . Les deux solutions sont séparées par une paroi poreuse, permettant le déplacement des ions. Du dihydrogène parasite se forme, mais cette pile nécessite cependant moins d'entretien que la pile Volta et délivre une tension plus élevée, qui chute moins rapidement.

Georges Leclanché (1839-1882) présente à l'Exposition universelle de 1868 une pile zinc-manganèse, rapidement améliorée pour donner la pile saline dont la conception domine le marché durant plus d'un siècle. Elle se présente comme une pile moderne : un cylindre renfermant les réactifs (zinc, dioxyde de manganèse, électrolyte). On observe encore la formation parasite de dihydrogène gazeux, dont l'accumulation risque de faire exploser le cylindre en plus de gêner les réactions. Toute l'astuce de Leclanché réside dans l'emploi du dioxyde de manganèse, qui oxyde H_2 en H^+ et évite ainsi ces inconvénients. Leclanché parvient de plus à gélifier l'électrolyte, ce qui rend sa pile considérablement plus pratique que les piles type Daniell contenant un électrolyte liquide.

Daniell



Leclanché



C Vers les piles alcalines modernes

Pour les besoins des services de communication de l'armée américaine, **Samuel Ruben (1900-1988)** met au point en 1942 une pile au mercure dont la durée de vie est six fois plus élevée que les piles Leclanché. Après la guerre, il s'associe avec l'industriel **Philip Mallory (1885-1975)** pour former ce qui deviendra Duracell, une entreprise commercialisant des piles alcalines, dérivées de la pile au mercure. Le mercure étant trop onéreux, Ruben reprend le couple zinc/manganèse de Leclanché, en utilisant un électrolyte basique, ou alcalin, qui donne son nom à la pile.

Pile alcaline



Détermination d'une quantité de matière par titrage

ESPRIT SCIENTIFIQUE



➤ Comment prévoir la couleur d'un mélange d'une solution violette de permanganate de potassium et d'une solution de sulfate de fer (II) incolore ?

→ voir l'exercice 22, p. 96



Travailler

autrement

JEU SÉRIEUX

Réalisez un titrage numérique pour permettre la commercialisation d'une nouvelle eau sur le marché.

[LLS.fr/PC1P84](https://lls.fr/PC1P84)

Voir p. 101



JEU SÉRIEUX

Prolongez le TP immersif en réalité augmentée au laboratoire pour résoudre le mystère du Rio Loco. [LLS.fr/PC1TPinteractif](https://lls.fr/PC1TPinteractif)



Statue en laiton du sanctuaire Kushida (Fukuoka, Japon).

Le laiton est un alliage constitué de cuivre et de zinc en proportions variables.

→ Comment peut-on déterminer la teneur exacte en cuivre d'un alliage ?

→ voir l'exercice 34, p. 100

À revoir pour bien commencer

- › Savoir décrire un système à l'aide de grandeurs physiques
- › Connaître les notions d'oxydant et de réducteur
- › Dresser un tableau d'avancement

Objectifs du chapitre

- Connaître la différence entre titrage et dosage
- Connaître la notion d'équivalence
- Savoir réaliser un titrage colorimétrique

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne !

LLS.fr/PC1P85

1 Titrage ou dosage ?

Pour déterminer une quantité de matière, les chimistes réalisent des dosages et des titrages.

→ Quelle est la différence entre un titrage et un dosage ?

Par intuition

À quoi peut servir un titrage au quotidien ?

Doc. 1 Deux types de dosage

Le dosage désigne une méthode qui permet de déterminer la concentration ou la quantité de matière d'une espèce chimique. On distingue deux grandes familles de dosage :

- les dosages par étalonnage dans lesquels on mesure une grandeur physique que l'on compare à des valeurs connues ;
- les dosages par titrage dans lesquels on fait réagir l'espèce titrée avec un réactif titrant. Cette méthode est destructive, l'échantillon est perdu à la fin du titrage.

Doc. 2 Le titrage direct

Le titrage consiste à faire réagir l'espèce chimique à doser avec un réactif dont on connaît la concentration, le réactif titrant. On ajoute progressivement le réactif titrant jusqu'à l'équivalence qui correspond au moment où les réactifs sont introduits en proportions stœchiométriques.

Expérimentalement, on place la solution titrante de concentration connue dans une burette.



Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour découvrir une vidéo définissant les notions de dosage et de titrage.

LLS.fr/PC1P86

Doc. 3 Situations mettant en jeu des dosages



Compétence

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

1. **Doc. 1** Quel est l'objectif d'un dosage ?
2. **Doc. 2** Réaliser le schéma du montage en utilisant un vocabulaire scientifique.
3. **Doc. 3** Pour chaque image, indiquer ce qui peut être testé.
4. Donner la différence entre un titrage et un dosage par étalonnage.

Synthèse de l'activité

Quels sont les champs d'activité pour lesquels il est nécessaire de réaliser des dosages ?

2 L'élément fer dans l'anti-mousse



Les solutions anti-mousse pour gazon sont composées notamment d'ions fer (II) très actifs contre la mousse.

→ Comment suivre l'évolution de la réaction chimique ?

Par intuition

Peut-on avoir des informations sur un système chimique sans instrument de mesure ?

Doc. 1 Suivi de la réaction

Afin de retrouver le pourcentage en ion fer (II) dans la solution anti-mousse, on effectue un titrage colorimétrique. La solution commerciale étant trop concentrée, on fait une dilution au 10^6 .

Lors de ce titrage colorimétrique, on repère l'équivalence par un changement de couleur rapide.

L'équivalence représente le point du dosage pour lequel les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques. C'est par ailleurs le moment où il y a changement du réactif limitant. Avant l'équivalence, le réactif titré est en excès, après l'équivalence le réactif titrant est en excès.

Doc. 2 Gazon envahi par la mousse



Données

- **Ion permanganate** : $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$ solution violette ;
- **Ion manganèse** : $\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ solution incolore ;
- **Ion fer (II)** : $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$: solution vert pâle ;
- **Ion fer (III)** : $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$: solution jaune pâle ;
- **Couples redox** : $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})/\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ et $\text{MnO}_4^-(\text{aq})/\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$.

Doc. 3 Matériel nécessaire

Espèces chimiques nécessaires :

- 50 mL de solution anti-mousse diluée ;
- Quelques gouttes d'acide sulfurique concentré ;
- Permanganate de potassium de concentration $c = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Verrerie nécessaire :

- Pipette jaugée de 10 mL et poire à pipetter ;
- Bêchers de 250 mL ;
- Burette de 25 mL ;
- Agitateur magnétique avec barreau aimanté.

Doc. 4 Protocole

1. Prélever 10 mL de la solution anti-mousse diluée au 10^6 à l'aide d'une pipette jaugée. L'introduire dans un bécher.
2. Ajouter 3 gouttes d'acide sulfurique concentré.
3. Remplir la burette avec la solution de permanganate de potassium de concentration $2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
4. Verser millilitre par millilitre la solution de permanganate de potassium puis 0,1 millilitre par 0,1 millilitre dès lors que la coloration rose persiste.

Compétences

- ✓ RÊA : Mettre en œuvre un protocole
- ✓ RAI/MOD : Calculer une quantité de matière

1. **Doc. 4** Écrire les demi-équations redox mises en jeu. En déduire l'équation de titrage.
2. Construire le tableau d'avancement après l'équivalence.
3. **Doc. 3** Réaliser le schéma du titrage et expliquer comment l'équivalence est repérée.
4. Calculer la moyenne et l'écart-type des différents volume V_E de titrant versé à l'équivalence pour le groupe de classe et en déduire la concentration en ions fer (II) de la solution diluée.

Synthèse de l'activité

Quelle doit être la caractéristique d'un titrage pour pouvoir faire un suivi colorimétrique ?

3 Titrage colorimétrique 60'

On cherche à effectuer un titrage colorimétrique de la bétadine afin de vérifier la concentration en diiode de cet antiseptique.

→ Quel réactif titrant faut-il choisir ?

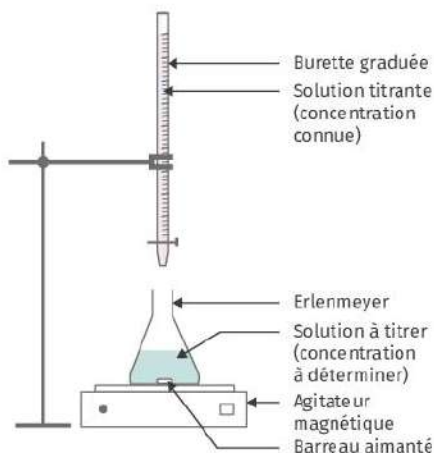


Doc. 1 La bétadine

- **Pathologies** : Antisepsie des plaies et brûlures superficielles et peu étendues.
- **L'étiquette de la bétadine précise** : Bétadine 10 %.
- **Principes actifs** : Diiodé (I_2) : 1,08 g pour 100 mL.
- **Excipients** : Glycérol (E422), Macrogol laurique ether, Phosphate disodique, Acide citrique (E330), Eau purifiée.
- **Incompatibilités** :
Le diiode est un oxydant.
Chaleur, lumière, inactivé par le thiosulfate de sodium.



Doc. 2 Schéma de l'expérience



Doc. 3 Quelques couples redox

- $I_2(aq)/I^-(aq)$;
- $Fe^{3+}(aq)/Fe^{2+}(aq)$;
- $Cu^{2+}(aq)/Cu(s)$;
- $S_4O_6^{2-}(aq)/S_2O_3^{2-}(aq)$;
- $MnO_4^-(aq)/Mn^{2+}(aq)$.

Données

- **Solutions disponibles** :
Bétadine (diiode) : $I_2(aq)$;
Sulfate de cuivre (II) : $(Cu^{2+}(aq); SO_4^{2-}(aq))$;
Sulfate de fer (II) : $(Fe^{3+}(aq); SO_4^{2-}(aq))$;
Thiosulfate de sodium : $(2Na^+(aq); S_2O_3^{2-}(aq))$;
Permanganate de potassium : $(K^+(aq); MnO_4^-(aq))$;
- **Concentration des différentes solutions titrantes possibles** :
 $c = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}$;
- **Volume de diiode dilué au dixième** : $V_B = 10,0 \text{ mL}$;
- **Volume équivalent** : $V_E = 8,5 \text{ mL}$;
- **Indicateur de fin de réaction** : empois d'amidon.

Numérique

Découvrez les principes de fonctionnement et de précaution de différents antiseptiques.

[LLS.fr/PC1Antiseptiques](https://lls.fr/PC1Antiseptiques)

Compétences

- ✓ RAI/ANA : Justifier un protocole
- ✓ RÉA : Mettre en œuvre un protocole

1. **Doc. 1** Relever les informations utiles pour effectuer le titrage.
2. **Doc. 3** Quelles espèces chimiques ne conviennent pas au titrage du diiode ? Justifier.
3. Établir l'équation de la réaction de titrage.
4. Réaliser une dilution au 10^e de la bétadine puis réaliser le titrage avec l'espèce chimique proposée et l'indicateur coloré de fin de réaction. Le volume équivalent correspond-il à celui indiqué dans les données ?
5. Décrire l'évolution observée de la transformation chimique.

Synthèse de l'activité

Quels sont les critères à prendre en compte pour effectuer un titrage colorimétrique s'appuyant sur une réaction d'oxydoréduction ?

1 Le titrage

A Réactions support de titrage

➤ Le terme dosage désigne l'ensemble des méthodes ayant pour objectif de déterminer la concentration d'une espèce chimique. Le titrage permet de doser une espèce en solution à l'aide d'une ou plusieurs réactions chimiques.

Le titrage direct utilise une seule réaction de dosage, elle est appelée réaction support de titrage.

Lors du titrage, la solution titrée se trouve dans le bécher et la solution titrante dans la burette graduée.

B Les conditions d'un titrage

➤ Le principe de titrage doit être utilisé suivant certaines conditions :

- la réaction de titrage doit être **totale** (le réactif limitant est entièrement consommé) ;
- la réaction doit être **rapide** ;
- la réaction doit être **unique**.

Une réaction rapide se fait immédiatement à l'œil nu.

C Évolution du système chimique

➤ L'évolution d'une réaction chimique peut être décrite à l'échelle macroscopique comme à l'échelle microscopique. Un changement de couleur peut s'expliquer grâce à l'utilisation d'un tableau d'avancement qui permet une description microscopique du système.

Le tableau d'avancement permet d'effectuer un bilan des quantités de matière des différentes espèces chimiques (réactifs ou produits).

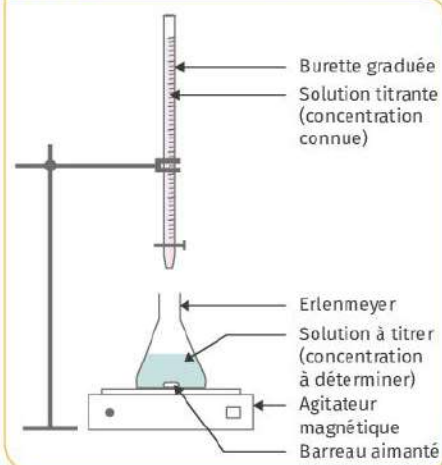
Il introduit une grandeur appelée **avancement de la réaction** et notée x (en mol). L'avancement permet de caractériser le système chimique entre l'état initial ($x = 0$ mol) et l'état final ($x = x_{\max}$ pour une réaction totale).

	Avancement	a A	+	b B	→	c C	+	d D
État initial	0	$n_0(A)$		$n_0(B)$		0		0
État intermédiaire	x	$n_0(A) - a \cdot x$		$n_0(B) - b \cdot x$		$c \cdot x$		$d \cdot x$
État final	$x_{\max}$	$n_0(A) - a \cdot x_{\max}$		$n_0(B) - b \cdot x_{\max}$		$c \cdot x_{\max}$		$d \cdot x_{\max}$

D Changement de réactif limitant

➤ Au cours du titrage, la quantité totale de réactif titrant introduite augmente mais elle est consommée par le réactif titré. Le réactif titrant est donc limitant jusqu'à ce que tout le réactif titré soit consommé. Ce stade s'appelle l'équivalence du titrage.

Doc. 1 Schéma d'un montage de titrage



Éviter les erreurs

➤ Attention à ne pas confondre la solution titrante placée dans la burette et la solution titrée.

Rappel

Calculer une quantité de matière :

$$n = \frac{m}{M}$$

où m est la masse en g, M est la masse molaire en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

$$n = c \cdot V$$

où c est la concentration molaire en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, V est le volume en L.

Vocabulaire

- **Réactif limitant** : espèce entièrement consommée en fin de réaction chimique.
- **Stoichiométrie** : proportion des éléments dans une réaction chimique.

Pas de malentendu

➤ Le principe de titrage est une méthode pour doser une espèce chimique.

2 L'équivalence d'un titrage

A L'équivalence

➤ Le changement de réactif limitant s'effectue à l'équivalence, qui correspond au moment où les deux réactifs sont tous les deux intégralement consommés.

À l'équivalence, les quantités de matière des réactifs (titrant et titré) sont introduites dans les proportions stœchiométriques.

B Repérer l'équivalence

Afin de déterminer le point d'équivalence avec le plus de rigueur possible, on peut utiliser plusieurs techniques différentes :

- le titrage colorimétrique permet de déterminer l'équivalence par un changement de couleur du milieu réactionnel ;
- le titrage pH-métrique permet de repérer le volume équivalent en identifiant un saut de pH pour la solution titrée ;
- le titrage conductimétrique permet de repérer le volume équivalent en mesurant les variations de la conductivité de la solution titrée.

C Déterminer la concentration du réactif titré

➤ Au cours d'un titrage, la solution présente dans la burette est ajoutée au fur et à mesure dans le bécher jusqu'à l'équivalence. Expérimentalement, on observe un volume pour lequel les quantités de matières des réactifs sont introduites dans les proportions stœchiométriques.

Le volume équivalent correspond au volume de la solution titrante ajoutée dans le bécher pour atteindre le point d'équivalence.

On considère la réaction chimique suivante :



où : A et B sont les réactifs, C et D les produits ;

a, b, c, d sont les coefficients stœchiométriques.

À l'équivalence, les réactifs sont mélangés dans les proportions stœchiométriques, on a alors :

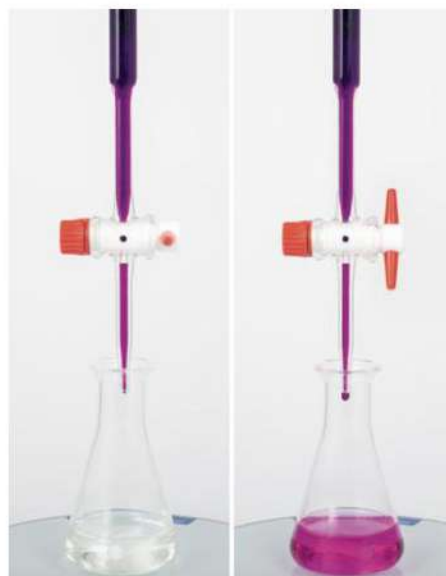
$$\frac{n_0(A)}{a} = \frac{n_0(B)}{b}$$

➤ Avec la relation précédente, on peut :

- calculer la quantité de matière du réactif titré A à l'aide de la relation à l'équivalence ;
- calculer la masse de A ou la concentration de A ;
- comparer la valeur obtenue à la valeur théorique (contrôle qualité).

Éviter les erreurs

- ➔ Attention à la précision du volume équivalent.
- ➔ Ne pas oublier les coefficients stœchiométriques à l'équivalence.



CULTURE SCIENTIFIQUE :

La technique de titrage est utilisée pour effectuer un contrôle qualité d'espèces chimiques. Elle permet par exemple de vérifier les données indiquées sur l'étiquette d'un produit commercial.

Pas de malentendu

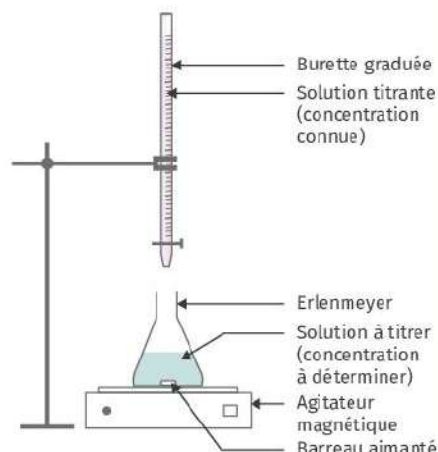
- ➔ On peut utiliser plusieurs techniques de titrage pour une même équation support de dosage. La méthode colorimétrique est souvent utilisée pour déterminer le volume équivalent approximatif.

Les titrages

- Les titrages sont des techniques de détermination de quantité de matière qui font intervenir une réaction chimique entre deux réactifs :
 - le réactif titrant, placé dans la burette,
 - le réactif à titrer, placé dans le bécher sous la burette.
- Une réaction de titrage doit être totale, rapide et unique.
- L'objet d'un titrage est de repérer l'équivalence :
 - il s'agit du stade où les deux réactifs ont été introduits en proportions stœchiométriques,
 - pour une équation de réaction titrage qui s'écrit :



les quantités de matière initiales de réactif titrant $n_0(A)$ et de réactif titré $n_0(B)$ vérifient l'égalité $\frac{n_0(A)}{a} = \frac{n_0(B)}{b}$ au point d'équivalence.



Repérer l'équivalence

- Tout l'enjeu des titrages est de repérer l'équivalence, le moment où les réactifs ont été introduits dans des proportions stœchiométriques.
- Avant l'équivalence, le réactif titré est en excès, c'est donc lui qui reste dans le bécher. Après l'équivalence, le réactif titrant est en excès, c'est donc lui qui reste dans le bécher.
- Dans le cas d'espèces colorées, on utilise la coloration des espèces chimiques pour repérer l'équivalence :
 - si le réactif titré est la seule espèce colorée, l'équivalence coïncide avec la disparition de la couleur,
 - si le réactif titrant est la seule espèce colorée, l'équivalence correspond avec l'apparition d'une coloration dans le milieu.

Les limites des titrages colorimétriques

La technique de titrage permet de :

- déterminer la concentration d'une espèce chimique en solution. L'objectif recherché est d'effectuer, par exemple, un contrôle qualité sur une espèce chimique.

Mais lors d'un titrage colorimétrique :

- le suivi à l'œil nu est source d'une grande incertitude dans la lecture du volume équivalent ;
- un titrage est destructif, l'espèce dont on cherche à déterminer la concentration est détruite dans l'échantillon titré ;
- un titrage colorimétrique nécessite la présence d'espèces colorées pour identifier l'équivalence, il n'est donc pas adapté à toutes les espèces chimiques étudiées.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour faire une carte mentale et reprendre les principales notions du chapitre !

LLS.fr/PC1P91

1 Principe du titrage

	A	B	C
1. La réaction de titrage d'une espèce chimique doit être :	rapide et limitée.	lente et totale.	rapide et totale.
2. Le titrage d'une espèce chimique permet de :	déterminer l'absorbance d'une solution.	déterminer la concentration d'une espèce chimique inconnue.	déterminer les espèces présentes dans la solution.
3. Un réactif limitant est :	une espèce chimique minoritaire.	un produit minoritaire.	un produit majoritaire.

2 Réactifs titrant et titré

1. Qu'appelle-t-on l'espèce titrée ?	Le réactif contenu dans le bécher.	Le réactif contenu dans la burette.	Le produit contenu dans la burette.
2. À quoi correspond une espèce titrante ?	Le réactif contenu dans le bécher.	Le réactif contenu dans la burette.	Le produit contenu dans le bécher.
3. La relation à l'équivalence est :	$n_0(A) = n_0(B)$.	$\frac{n_0(A)}{a} = \frac{n_0(B)}{b}$.	$\frac{n_0(A)}{b} = \frac{n_0(B)}{a}$.

3 Équivalence lors du titrage

1. À l'équivalence :	le réactif titrant est introduit en excès.	les réactifs sont introduits en proportions stœchiométriques.	le réactif titré est en excès.
2. Comment repérer l'équivalence de la réaction lors d'un titrage colorimétrique ?	La disparition de la couleur du réactif titrant.	L'apparition persistante de la couleur du réactif titré.	L'apparition persistante de la couleur du réactif titrant.
3. Lors d'un titrage par suivi colorimétrique :	l'équivalence est repérée par un saut de pH.	un oxydant réagit avec son réducteur associé.	l'équivalence est repérée par un changement de couleur.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P92

4 Questions Jeopardy

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

a. Les réactifs sont introduits en proportions stœchiométriques.

b. L'équivalence est atteinte lorsque la couleur a disparu.

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage (Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 400)

□ Connaître la différence entre titrage et dosage par étalonnage

11

□ Connaître la notion d'équivalence

21

28

□ Savoir suivre un titrage colorimétrique

14

16

[DIFF]

22

Pour s'échauffer

5 Le titrage direct

- Donner la définition d'un titrage direct et son intérêt.

6 Dosage et titrage

- Quelle est la différence entre dosage et titrage ?

7 La quantité de matière

- Rappeler la ou les relation(s) pour calculer une quantité de matière en précisant grandeurs et unités.

8 L'équivalence

- Donner la relation entre les quantités de matière à l'équivalence en précisant chaque grandeur et symbole.

9 Équivalence

On titre les ions fer (II) Fe^{2+} par les ions cérium (IV) Ce^{4+} selon l'équation de réaction :



- Quelle relation existe-t-il entre les quantités de matière de Fe^{2+} et Ce^{4+} à l'équivalence ?

Pour commencer

Dosage par titrage ou par étalonnage

10 Réaction support de titrage

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

Naïma veut réaliser le titrage d'une solution de sulfate de fer (II) par une solution de permanganate de potassium.

- Établir l'équation de la réaction support de titrage en justifiant la démarche.

RAPPEL : Pour établir l'équation bilan d'une réaction d'oxydoréduction il faut partir des demi-équations électroniques.

Solution de sulfate de fer (II) : $(\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}); \text{Fe}^{2+}(\text{aq}))$

Solution de permanganate de potassium :

$\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + \text{K}^+(\text{aq})$.

Données

Couples redox des espèces mises en jeu :

- $\text{MnO}_4^- (\text{aq}) / \text{Mn}^{2+} (\text{aq})$;
- $\text{Fe}^{3+} (\text{aq}) / \text{Fe}^{2+} (\text{aq})$.

11 Schéma d'expérience

✓ APP : Faire un brouillon comprenant un schéma

Pour doser une solution de permanganate de potassium $(\text{K}^+(\text{aq}); \text{MnO}_4^-(\text{aq}))$, on réalise un ensemble de 10 solutions de concentration croissante. On mesure ensuite l'absorbance de ces solutions à $\lambda = 540 \text{ nm}$. Puis on détermine la concentration de la solution en mesurant son absorbance.

- Réaliser le schéma d'une dilution.
- Cette expérience est-elle un titrage ?

Le titrage direct

12 Les ions chlorure

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

On réalise le titrage de 25,0 mL de l'eau Minéraux par une solution de nitrate d'argent à $2,5 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On ajoute 1,0 mL de chromate de potassium qui donne une teinte jaune à la solution avant l'équivalence et rouge après l'équivalence.

- Comment repérer l'équivalence ?
- Déterminer la concentration en ions chlorure obtenue lors du titrage.



Minéraux, une eau minérale riche en minéraux

Bicarbonates :	4 368 mg/L	Potassium :	110 mg/L
Calcium :	90 mg/L	Fluorures :	1 mg/L
Chlorures :	322 mg/L*	Sodium :	1708 mg/L*
Magnésium :	11 mg/L		
Sulfates :	174 mg/L	Minéralisation totale :	4 774 mg/L

*soit 0,53 g de sel/litre

Données

- Masse molaire du chlore : $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- Volume équivalent : $V_E = 9,0 \text{ mL}$.

13 Titrage d'un lait

✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

On réalise le titrage de l'acide lactique par l'hydroxyde de sodium. L'expérience est suivie par pH-métrie. Le volume équivalent est égal à 15,2 mL et le pH à l'équivalence est égal à 8,0.

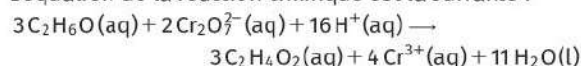
• Donner l'indicateur coloré à choisir. Justifier.

Indicateur coloré	Couleur d'acide	Zone de virage pH	Couleur basique
Rouge de méthyle	Rouge	4,4 – 6,2	Jaune
Bleu de thymol	Jaune	8,0 – 9,6	Bleu
Jaune d'Alizarine	Jaune	10,0 – 12,0	Rouge

14 Dosage de l'éthanol

✓ RAI/MOD : Décrire l'état initial et l'état final d'un système

Les éthylotests fonctionnent à l'aide d'une réaction d'oxydoréduction mettant en jeu des espèces colorées. L'équation de la réaction chimique est la suivante :



• De quelle couleur est le test avant de souffler dedans ? lorsque le test est positif ?

▶ Les couleurs de l'éthylotest

Couleur des espèces chimiques :

- $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$: incolore ;
- Cr^{3+} : vert ;
- $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$: orange ;
- $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$: incolore.

Suivi d'une réaction chimique

15 Coefficient stœchiométrique

✓ RAI/MOD : Ajuster l'équation

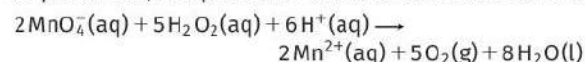
• Ajuster les équations de réaction suivantes :

- a. $\dots \text{C}_3\text{H}_8 + \dots \text{O}_2 \longrightarrow \dots \text{CO}_2 + \dots \text{H}_2\text{O}$.
- b. $\dots \text{SO}_2 + \dots \text{H}_2\text{S} \longrightarrow \dots \text{S} + \dots \text{H}_2\text{O}$.
- c. $\dots \text{Zn}^{2+} + \dots \text{HO}^- \longrightarrow \dots \text{Zn}(\text{OH})_2$.
- d. $\dots \text{I}_2 + \dots \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \longrightarrow \dots \text{I}^- + \dots \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$.
- e. $\dots \text{Fe} + \dots \text{O}_2 \longrightarrow \dots \text{Fe}_2\text{O}_3$.

16 Titrage de l'eau oxygénée

✓ RAI/MOD : Décrire l'état initial et l'état final

On réalise le titrage de l'eau oxygénée par une solution de permanganate de potassium. On définit ainsi le réactif titré (eau oxygénée) et le réactif titrant (permanganate de potassium). L'équation de la réaction est la suivante :



• Remplacer les pointillés par les signes : >, < ou =.

Avant équivalence	À équivalence	Après équivalence
$n_0(\text{H}_2\text{O}_2) - 5x_{\text{max}} \dots 0$	$n_0(\text{H}_2\text{O}_2) - 5x_{\text{max}} \dots 0$	$n_0(\text{H}_2\text{O}_2) - 5x_{\text{max}} \dots 0$
$n_0(\text{MnO}_4^-) - 2x_{\text{max}} \dots 0$	$n_0(\text{MnO}_4^-) - 2x_{\text{max}} \dots 0$	$n_0(\text{MnO}_4^-) - 2x_{\text{max}} \dots 0$
$5n_0(\text{MnO}_4^-) \dots 2n_0(\text{H}_2\text{O}_2)$	$5n_0(\text{MnO}_4^-) \dots 2n_0(\text{H}_2\text{O}_2)$	$5n_0(\text{MnO}_4^-) \dots 2n_0(\text{H}_2\text{O}_2)$

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Suivre un titrage colorimétrique

17 Titrage des ions chlorure

✓ RAI/MOD : Déterminer une quantité de matière

Le dosage des ions chlorure Cl^- peut se faire par les ions argent Ag^+ .

1. Compléter le tableau d'avancement suivant.

	$\text{Ag}^+(\text{aq})$	+	$\text{Cl}^-(\text{aq})$	$\rightarrow$	$\text{AgCl}(\text{s})$
État	Quantité de matière en mol				
Initial	6,0		3,0		
Intermédiaire					

2. Est-on avant ou après équivalence ?

18 Titrage des ions hydroxyde

✓ RAI/MOD : Déterminer une quantité de matière

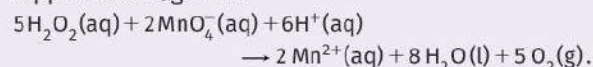
On cherche à titrer les ions hydroxyde $\text{HO}^-(\text{aq})$ d'un déboucheur de canalisation par l'acide chlorhydrique. L'équation support de la réaction est $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

1. Construire le tableau d'avancement avant l'équivalence.
2. Construire le tableau d'avancement après l'équivalence.

19 Titrage du peroxyde d'hydrogène

✓ RAI/MOD : Déterminer une quantité de matière

On cherche à titrer une solution d'eau oxygénée (solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène H_2O_2) par le permanganate de potassium KMnO_4 . L'équation de la réaction support du titrage est :



1. Construire le tableau d'avancement de la réaction de l'équivalence.
2. La quantité d'ions permanganate introduit à l'équivalence est $n = 4,2$ mol. Déterminer la quantité de peroxyde d'hydrogène titrée.

Titration du dioxyde de soufre dans le vin

Énoncé

Il est courant d'introduire du dioxyde de soufre SO_2 dans le vin pour réguler la fermentation et pour sa conservation, mais un excès de SO_2 dans le vin peut provoquer des maux de tête. Sa concentration maximale autorisée est de 210 mg/L.

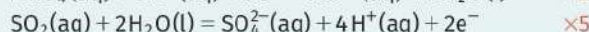
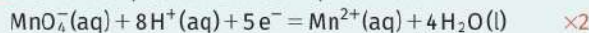
On souhaite réaliser le titrage d'un vin blanc par une solution de permanganate de potassium ($\text{K}^+(\text{aq}); \text{MnO}_4^-(\text{aq})$) en milieu acide pour vérifier sa concentration en $\text{SO}_2(\text{aq})$. L'équivalence est atteinte pour une couleur mauve persistante de la solution.

1. Quels couples redox sont mis en jeu dans la réaction de titrage ? Justifier et indiquer quels sont les réactifs titrant et titré.
2. Établir les demi-équations électroniques associées et l'équation bilan de la réaction de titrage.
3. En déduire la quantité de $\text{SO}_2(\text{aq})$ dans l'échantillon titré.
4. Déterminer la concentration massique γ de ce vin en dioxyde de soufre. Ce vin respecte-t-il les normes autorisées ?

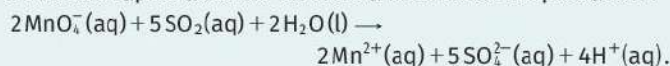
Solution rédigée

1. Le réactif titrant est l'ion permanganate $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$ qui est un oxydant. Le seul couple proposé dans lequel le dioxyde de soufre est réducteur est le couple $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})/\text{SO}_2(\text{aq})$. Le dioxyde de soufre est le réactif titré.

2. Les demi-équations électroniques sont :



On obtient après addition membre à membre et simplification :



3. À l'équivalence, les réactifs sont dans les proportions stœchiométriques, ce qui se traduit par :

$$\frac{n(\text{MnO}_4^-(\text{aq}))}{2} = \frac{n(\text{SO}_2(\text{aq}))}{5}$$

d'où la quantité de dioxyde de soufre dans l'échantillon titré :

$$n(\text{SO}_2(\text{aq})) = \frac{5}{2} n(\text{MnO}_4^-(\text{aq})) = \frac{5}{2} c(\text{MnO}_4^-) \cdot V_{\text{eq}}$$

$$n(\text{SO}_2(\text{aq})) = \frac{5}{2} \times (1,0 \times 10^{-3} \times 17,2 \times 10^{-3}) = 4,3 \times 10^{-5} \text{ mol.}$$

4. Dans l'échantillon de 20,0 mL :

$$c(\text{SO}_2) = \frac{n(\text{SO}_2(\text{aq}))}{V_A} = \frac{4,3 \times 10^{-5}}{20 \times 10^{-3}} = 2,2 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\gamma = c(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2) = 0,14 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} = 1,4 \times 10^2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Ce vin respecte les normes de dioxyde de soufre autorisées, le taux limite de 210 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ n'étant pas atteint.

DONNÉES

- Solution de permanganate de potassium :

$$c(\text{K}^+; \text{MnO}_4^-) = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1};$$

- Volume de vin blanc titré : $V_A = 20,0 \text{ mL}$;

- Volume versé à l'équivalence :

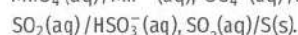
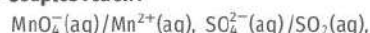
$$V_E = 17,2 \text{ mL} ;$$

- Masses molaires :

$$M(\text{SO}_2) = 64,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1},$$

$$M(\text{KMnO}_4) = 158 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} ;$$

- Couples redox :



ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. La première question est souvent qualitative, ici elle exige d'identifier les réactifs en jeu et le type de réaction.
2. Ajuster les demi-équations en pensant à l'usage des ions $\text{H}^+(\text{aq})$ et de l'eau $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ si nécessaire.
3. L'équivalence implique des réactifs en proportions stœchiométriques.
4. Établir la relation entre la concentration en masse γ et en quantité de matière.

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Le permanganate étant un oxydant, il doit réagir avec un réducteur.
2. Dans chaque demi-équation, il faut faire intervenir un coefficient multiplicateur de manière à ce que le nombre d'électrons soit identique de part et d'autre dans l'équation bilan.
3. Les proportions stœchiométriques imposent une relation à connaître entre les quantités de matière des deux réactifs.
4. Conclure en comparant le résultat avec la valeur fournie dans l'énoncé et en étant vigilant sur les unités.

20 Mise en application

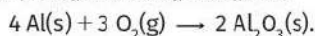
- Quel serait le taux de SO_2 dans ce vin si le volume versé à l'équivalence était de 29 mL ? Conclure.

Pour s'entraîner

21 Vérifier la stœchiométrie

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques

Une couche d'oxyde d'aluminium se crée avec le temps sur les fenêtres. Cette couche naturelle protège le métal. L'équation de formation est la suivante :



• Les mélanges suivants sont-ils stœchiométriques ?

- 2 mol de Al et 1 mol de O_2 .
- 3 mol de Al et 4 mol de O_2 .
- 8 mol de Al et 6 mol de O_2 .



HISTOIRE DES SCIENCES

Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, le procédé de fabrication de l'aluminium est développé. Ce métal devient à la mode et de nombreux objets précieux sont fabriqués en aluminium. Napoléon III lui-même commande un service de vaisselle en aluminium qu'il réserve à ses invités de marque. La France est alors le seul pays à fabriquer ce métal et il est très coûteux à produire. À partir de 1890, avec la production de masse de l'aluminium, l'élément métallique le plus abondant sur Terre devient abordable et son usage se démocratise.

D'après D. Bourgarit et J. Plateau, « Quand l'aluminium valait de l'or », *ArcheoSciences*, 29/2005, 95-105.

22 Changement de couleur

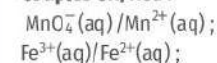
✓ RAI/MOD : Décrire l'état initial et l'état final

On désire réaliser le titrage des ions fer (II) Fe^{2+} par une solution de permanganate de potassium.

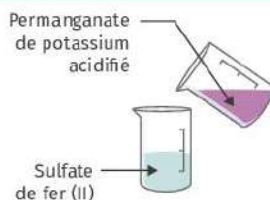
• Donner la couleur de la solution avant le point d'équivalence et après le point d'équivalence.

Données

• Couples Ox/Red :



• L'ion MnO_4^- est violet dans l'eau, les autres sont incolores.



23 QCM pas si facile

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

On désire titrer 10 mL de diiode I_2 de couleur brune par une solution de thiosulfate de sodium ($2\text{Na}^+ \text{(aq)} ; \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{(aq)}$) incolore de concentration $0,010 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Le volume équivalent vaut 13,7 mL. Les couples redox sont : $\text{I}_2 \text{(aq)} / \text{I}^- \text{(aq)}$ et $\text{S}_4\text{O}_6^{2-} \text{(aq)} / \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{(aq)}$.

1. L'équation bilan est :

- $\text{I}_2 \text{(aq)} + \text{S}_4\text{O}_6^{2-} \text{(aq)} \rightarrow \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{(aq)} + \text{I}^- \text{(aq)}$.
- $\text{I}_2 \text{(aq)} + 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{(aq)} \rightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} \text{(aq)} + 2 \text{I}^- \text{(aq)}$.
- $2 \text{I}_2 \text{(aq)} + 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{(aq)} \rightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} \text{(aq)} + 2 \text{I}^- \text{(aq)}$.

2. La concentration en diiode vaut :

- $c = 6,9 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- $c = 6,9 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- $c = 1,4 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

24 Volume équivalent

✓ VAL : Identifier et évaluer les sources d'erreur

Camille réalise une activité expérimentale et doit effectuer le titrage colorimétrique de l'acide ascorbique par une solution d'hydroxyde de sodium. Cependant, elle s'étonne de ne pas obtenir les mêmes résultats que les autres binômes.

• Pour quelles raisons tous les binômes ne trouvent-ils pas la même valeur de volume équivalent ?

Groupe	1	2	3	4	5	6	7
$V_{eq} \text{ (mL)}$	14,2	14,9	13,8	14,4	14,0	13,5	14,3

Comprendre les attendus

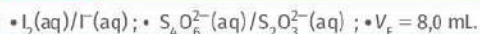
25 Le diiode

✓ MATH : Calcul littéral/Écriture du résultat d'un calcul

Chloé et Alexis souhaitent déterminer la concentration en thiosulfate de sodium ($2\text{Na}^+ ; \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \text{(aq)}$) d'une solution. Pour cela ils réalisent le titrage colorimétrique par une solution de diiode I_2 de concentration $50 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Alexis prélève 10,0 mL de thiosulfate de sodium et Chloé ajoute quelques gouttes d'empois d'amidon à la solution avant d'effectuer le titrage.

- Quel est le rôle de l'empois d'amidon ?
- Préciser le réactif titrant ainsi que le réactif titré.
- Établir l'équation de la réaction.
- Déterminer la concentration en ions thiosulfate.

Données



Détails du barème

TOTAL/7,5 pts

1. Savoir repérer l'équivalence.	0,5 pt
2. Connaître la définition d'un réactif titrant.	1 pt
Connaître la définition d'un réactif titré.	1 pt
3. Mettre en place des demi-équations.	1 pt
Établir l'équation bilan de la réaction avec les bons coefficients stœchiométriques.	1,5 pt
4. Exploiter l'équivalence.	1 pt
Calculer et conclure.	1,5 pt

26 Le dioxyde de soufre

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

Les laboratoires d'analyse effectuent régulièrement des tests sur l'eau afin de connaître leur concentration en dioxyde de soufre. Pour cela ils utilisent le diiode comme réactif titrant.

1. Réaliser le schéma du titrage.
2. Établir l'équation de la réaction support de titrage.
3. Donner la verrerie nécessaire à l'établissement de la solution titrante qui doit être diluée au 10^6 .
4. Faire des recherches quant à la dangerosité du dioxyde de soufre.

RAPPEL : Pour obtenir une équation de réaction d'oxydoréduction il faut établir les demi-équations redox de chaque couple. Attention au transfert d'électrons dans l'équation bilan.

Données

- Couples redox : $I_2(aq) / I^-(aq)$; $SO_4^{2-}(aq) / SO_2(aq)$;
- Volume équivalent : $V_E = 12 \text{ mL}$

27 Titrage du timoférol

✓ COM : Compte rendu écrit avec un vocabulaire scientifique

Élisa réalise le dosage des ions fer (II) $Fe^{2+}(aq)$ contenus dans le timoférol. Son professeur lui demande de rédiger le compte rendu d'expérience pour la prochaine séance.

- Aider Élisa à rédiger son compte rendu.

1- Dissoudre la gélule dans 50,0 mL
2- Titrage : 10,0 mL *Solution titrée*
Permanganate de potassium
à $2,5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}$ *Solution titrante*

$V_E : 14,4 \text{ mL}$

À faire :

1. Équation
2. Concentration Fe^{2+}
3. Concentration massique
4. Masse de fer dans la gélule : même que celle de la boîte ?

INFO : Une femme enceinte peut se voir prescrire du timoférol, complément riche en fer. Il est indiqué sur la boîte du médicament : TIMOFEROL 50 mg, gélule, boîte de 30.

RAPPEL : Pour calculer une concentration massique γ on utilise la relation : $\gamma = \frac{n}{V} \cdot M$.

Données

- Couples Ox/Red : $MnO_4^-(aq) / Mn^{2+}(aq)$; $Fe^{3+}(aq) / Fe^{2+}(aq)$;
- Masse molaire du fer (II) : $M(Fe) = 55,8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

28 L'acide oxalique

✓ RAI/ANA : Élaborer un protocole

L'acide oxalique est le réducteur du couple $CO_2 / C_2H_2O_4$. L'ion permanganate est l'oxydant permettant le titrage de l'acide oxalique.

1. Donner le protocole expérimental permettant de réaliser ce titrage.
2. Donner la relation à l'équivalence.
3. Calculer la concentration de l'acide oxalique.

INFO : L'acide oxalique est une espèce chimique utilisée en apiculture pour traiter les ruches contre le varroa acarien, parasite de l'abeille.

Données

- Le dosage s'effectue avec un volume de solution d'acide oxalique $C_2H_2O_4(aq)$ de 25,0 mL.
- La solution titrante de permanganate de potassium ($K^+(aq) ; MnO_4^-(aq)$) a une concentration de $0,10 \text{ mol} \cdot L^{-1}$.
- L'équivalence est atteinte pour un volume de 10,3 mL.
- L'équation support de titrage est la suivante :
 $2 MnO_4^- + 5 C_2O_4H_2 + 6 H^+ \rightarrow 2 Mn^{2+} + 10 CO_2 + 8 H_2O$.

29 Copie d'élève à commenter

Mathis a rendu son compte rendu d'expérience mais il n'est pas satisfait de son résultat.

- Corriger ses erreurs en expliquant la bonne réponse.

On a réalisé le titrage de 20 mL d'acide éthanóique de concentration inconnue. On doit retrouver la concentration de cette solution. Pour cela on la titre avec de la soude à la concentration en quantité de matière de $1,0 \text{ mol} \cdot L^{-1}$. On a observé un volume équivalent de 10,2 mL.

Exploitation des résultats :

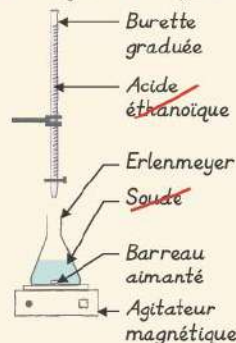
L'équation de la réaction est :



On a : $n_{\text{acide}} = n_{\text{soude}}$

Donc la concentration de l'acide éthanóique est égale à $c = 0,02$.

Schéma d'expérience :



Pour aller plus loin

30 Dosage de l'eau de Javel

✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

BAC

L'eau de Javel est une solution oxydante utilisée comme désinfectant et comme décolorant. Selon l'emploi désiré, il est important de connaître sa concentration.

Doc. 1 Synthèse de l'eau de Javel

Charles Guillaume Scheele (1742-1786), pharmacien suédois, découvrit le dichlore au XVIII^e siècle. Ce gaz intervient dans la fabrication de l'eau de Javel ; qui doit son nom à un ancien village aujourd'hui compris dans un quartier de Paris.

C'est à Javel que Claude Louis Berthollet (1748-1822), directeur à la manufacture des Gobelins, fabriqua ce produit décolorant et désinfectant et l'employa en 1785 pour le blanchiment des toiles textiles. L'eau de Javel est obtenue par action du dichlore $\text{Cl}_2(\text{g})$ sur l'hydroxyde de sodium ou soude et contient des ions $\text{Cl}^-(\text{aq})$, $\text{ClO}^-(\text{aq})$, $\text{Na}^+(\text{aq})$ ainsi que de l'eau $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

C'est donc une solution aqueuse constituée entre autres d'ions chlorure $\text{Cl}^-(\text{aq})$ et d'ions hypochlorite $\text{ClO}^-(\text{aq})$. En milieu acide, l'eau de Javel subit une transformation complète représentée par la réaction d'équation :

$\text{ClO}^-(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{Cl}_2(\text{g})$.
Cette transformation permet de définir le degré chlorométrique. Celui-ci est égal au volume, exprimé en litres, de dichlore produit par un litre d'eau de Javel. Ce volume est mesuré à une température de 0 °C sous une pression de 1,013 bar.

Pour vérifier l'indication portée sur une bouteille commerciale d'eau de Javel, 12 °chl (12 degrés chlorométriques), on procède à une expérience.

Principe de la manipulation :

- on ajoute un excès d'ions iodure à un volume connu de solution d'eau de Javel ;
- en milieu acide (concentré en H^+), les ions hypochlorite $\text{ClO}^-(\text{aq})$ oxydent les ions iodure $\text{I}^-(\text{aq})$;
- l'équation de la réaction est :

$$\text{ClO}^-(\text{aq}) + 2 \text{I}^-(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{I}_2(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \quad (1).$$

On considérera cette réaction comme totale. Le diiode formé appartenant au couple $\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-(\text{aq})$ est quantifié en le faisant réagir avec les ions thiosulfate, réducteurs du couple $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$. On en déduit alors la quantité d'ions hypochlorite puis le degré chlorométrique.

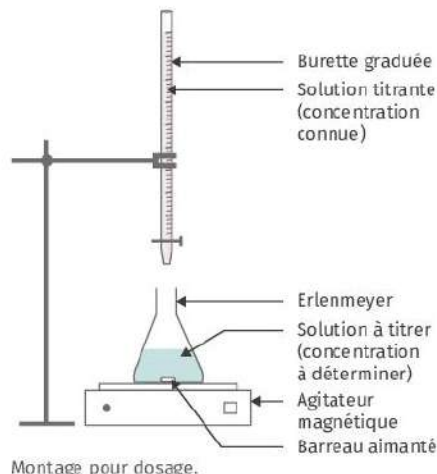
D'après le sujet Bac S, 2003.

I. Réaction entre les ions hypochlorite et les ions iodure

1. L'eau de Javel commerciale étant trop concentrée, il faut d'abord effectuer une dilution au dixième pour obtenir 50,0 mL de solution diluée S. Décrire une méthode qui permet d'effectuer cette dilution. Préciser la verrerie nécessaire (noms et volumes).
2. Dans un erlenmeyer (noté E), on introduit dans cet

ordre : $V = 10,0$ mL de solution S puis $V' = 20,0$ mL de la solution d'iodure de potassium ($\text{K}^+(\text{aq}) + \text{I}^-(\text{aq})$). Indiquer la verrerie à utiliser.

II. Détermination de la concentration en eau de Javel



Procédure : À l'aide d'une burette, on verse peu à peu, dans l'erlenmeyer E, une solution de thiosulfate de sodium de formule $(2\text{Na}^+(\text{aq}); \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq}))$ de concentration molaire apportée $c_1 = 0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. L'ajout se fait sous agitation à l'aide d'un agitateur magnétique. On ajoute une pointe de spatule d'empois d'amidon afin de mieux repérer le changement de couleur. Le volume de thiosulfate pour lequel le mélange dans l'erlenmeyer est décoloré totalement est $V_{1E} = 10,0$ mL.

1. Écrire l'équation de la réaction, qui sera notée (2), entre le diiode et les ions thiosulfate.
2. Justifier la décoloration progressive du mélange réactionnel.
3. Quel est le réactif limitant avant l'équivalence ? après l'équivalence ? à l'équivalence ?
4. Dédurre des résultats de l'expérience la quantité de matière de diiode présente dans le mélange réactionnel. Cette quantité de matière correspond aussi à la quantité produite lors de la réaction (1).
5. Calculer la quantité de matière d'ions hypochlorite initialement présents dans le prélèvement de volume V.
6. Déterminer la concentration en ions hypochlorite de la solution S, puis de la solution commerciale.
7. a. En utilisant l'équation de la réaction chimique donnée en doc. 1, calculer la quantité de matière de dichlore produite par un litre d'eau de Javel.
 b. Le volume molaire d'un gaz parfait, dans les conditions de température et de pression citées dans le texte, vaut $22,4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$. En déduire le degré chlorométrique de l'eau de Javel commerciale utilisée.

31 Réflexions expérimentales

✓ RAI/ANA : Choisir un protocole

Le Destop est utilisé pour déboucher les canalisations, c'est essentiellement une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq})$; $\text{HO}^-(\text{aq})$). On souhaite effectuer un contrôle qualité d'une solution commerciale de Destop. Pour cela, on titre cette solution par de l'acide chlorhydrique.

Doc. 1 Matériel à disposition au laboratoire

- Bêchers gradués : 50 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL ;
- Burettes graduées sur supports : 20 mL, 25 mL ;
- Éprouvettes graduées : 100 mL, 250 mL ;
- Pipettes graduées : 1,0 mL, 5,0 mL, 10 mL ;
- Fioles jaugées : 50 mL, 100 mL, 150 mL, 200 mL, 250 mL ;
- Pipettes jaugées : 10 mL, 20 mL, 25 mL.

Matériel divers : gants, lunettes, bouchons, propipette, etc.

Doc. 2 Protocole 1

- Prélever 20,0 mL de la solution diluée à l'aide d'une pipette jaugée.
- Verser dans un bécher de 100 mL.
- Remplir la burette graduée de 25 mL avec la solution d'acide chlorhydrique de concentration égale à $0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- Ajouter quelques gouttes d'indicateur coloré.
- Effectuer le titrage millilitre par millilitre jusqu'au point d'équivalence.

Doc. 3 Protocole 2

- Prélever 20,0 mL de la solution d'acide chlorhydrique à l'aide d'une éprouvette graduée.
- Verser dans un bécher de 200 mL.
- Ajouter quelques gouttes d'indicateur coloré.
- Remplir la burette graduée de 25 mL avec la solution diluée de concentration égale à $0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- Effectuer le titrage jusqu'au point d'équivalence.

1. La solution commerciale étant trop concentrée, on réalise une dilution au 100°. Concevoir le protocole de dilution en utilisant la verrerie du **doc. 1**.
2. Après obtention de la solution fille on réalise le titrage par une solution d'acide chlorhydrique. Choisir, en justifiant, le bon protocole.
3. Quelles sont les précautions à utiliser lors de cette manipulation ?
4. L'hélianthine est-il le meilleur indicateur coloré ? Justifier et proposer un autre indicateur si ce n'est pas le cas.

Doc. 4 Caractéristiques de différents indicateurs colorés

Indicateur coloré	Couleur de l'acide	Zone de virage	Couleur de la base
Hélianthine	Rouge	3,2 – 4,4	Jaune
Rouge de méthyle	Rouge	4,4 – 6,2	Jaune
Bleu de bromothymol	Jaune	6,0 – 7,6	Bleu
Phénolphthaléine	Incolore	8,2 – 9,8	Rouge

Données

- **Couples acido-basiques** : $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$; $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{HO}^-(\text{aq})$;
- **Volume équivalent** : $V_E = 11,2 \text{ mL}$;
- **pH à l'équivalence** : $\text{pH}_E = 7$.

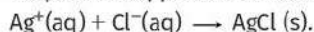
32 Méthode de Mohr

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Le dosage des ions chlorure par la méthode de Mohr est une méthode de titrage des ions chlorure par suivi colorimétrique. On titre les ions chlorure Cl^- par les ions argent Ag^+ en présence d'ions chromate $\text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})$. En présence d'ions argent Ag^+ en solution aqueuse les ions chromates forment un précipité rouge. Libres en solution aqueuses, les ions chromates sont jaune clair.



L'équation support de la réaction de titrage est :



On titre 20 mL de sérum physiologique (solution aqueuse de NaCl à 3 g/L) par une solution de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+(\text{aq})$; $\text{NO}_3^-(\text{aq})$) à $1,0 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. On ajoute quelques millilitres de chromate de potassium K_2CrO_4 . On note V_E le volume équivalent.

1. Construire le tableau d'avancement avant l'équivalence et faire le bilan des espèces chimiques présentes dans la solution.
2. Construire le tableau d'avancement après l'équivalence et faire le bilan des espèces chimiques présentes dans la solution.
3. Expliquer la manière dont on repère l'équivalence dans la méthode de Mohr.
4. La concentration des ions Cl^- correspond-elle bien à celle attendue ?

Données

- $M(\text{NaCl}) = 58,4 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $V_E = 10,2 \text{ mL}$.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P99

33 Dosage en retour

✓ VAL : Analyser un résultat numérique : analyse comparative

Voici le protocole permettant de mesurer la quantité de vitamine C contenue dans un comprimé de vitamine C de 500 mg :

- préparer 100,0 mL de solution S_1 contenant un comprimé de vitamine C ;
- prélever 10,0 mL de solution S_1 avec une pipette jaugée, verser le prélèvement dans une fiole jaugée de 100 mL, ajuster au trait de jauge, on obtient la solution S_2 ;
- prélever 10,0 mL de solution S_2 avec une pipette jaugée, verser le prélèvement dans un bécher ;
- ajouter au prélèvement 10,0 mL d'une solution d'acide phosphorique à 5 % puis 10,0 mL d'une solution de diiode (concentration $c_{\text{diiode}} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) et un peu d'empois d'amidon ;
- laisser réagir cinq minutes ;
- verser peu à peu une solution de thiosulfate de sodium ($c_{\text{thiosulfate}} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $2\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$) à l'aide d'une burette jusqu'à décoloration du mélange réactionnel.

1. Détailler le protocole de dilution en précisant le matériel employé.
2. Détailler la réaction qui a lieu dans le bécher avant l'ajout de thiosulfate.
3. Détailler la réaction qui a lieu pendant l'ajout du thiosulfate.
4. Justifier la décoloration lors de l'ajout du thiosulfate.

5. Le volume de thiosulfate versé lorsque la décoloration totale est observée est de 8,4 mL. Vérifier si le comprimé contient bien 500 mg de vitamine C.

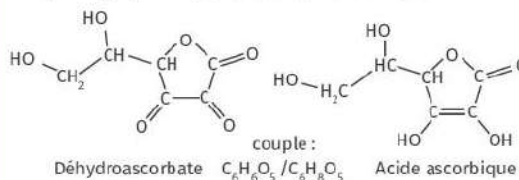
La vitamine C

La vitamine C (acide ascorbique) est extrêmement importante pour l'organisme car elle est impliquée dans de nombreux mécanismes physiologiques (synthèse du collagène, des globules rouges, promoteur de l'assimilation du fer entre autres). Une forte carence en vitamine C provoque le scorbut. La vitamine C est présente dans de nombreux aliments mais en cas de carence des compléments alimentaires peuvent être utilisés.

Une des propriétés les plus importantes de la vitamine C est son activité réductrice. Cela lui confère une action antioxydante. En effet, la vitamine C est oxydable en déhydroascorbate (DHA) ce qui piège les éventuels oxydants ou radicaux dans l'organisme.

Données

- Couples : $\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-(\text{aq})$; $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$;



- L'empois d'amidon en présence de diiode a une couleur bleu foncé.

Retour sur la problématique du chapitre

34 Dosier le cuivre dans les alliages

✓ COM : Rédiger un compte rendu écrit avec un vocabulaire scientifique rigoureux

Les laitons sont des alliages essentiellement constitués de cuivre et de zinc. Le taux de zinc modifie les propriétés physiques et mécaniques de l'alliage en le rendant plus dur à froid. L'alliage a de bonnes propriétés avec un taux de zinc au maximum de 35 % (pourcentage massique). Au-delà de 42 % de zinc, le laiton devient cassant et donc inutilisable.

Une statue en laiton s'est brisée. Un dosage du taux de zinc est réalisé pour vérifier si le problème provient de l'alliage.

1. À l'aide des données, trouver une procédure permettant de contrôler la teneur en cuivre de l'alliage. Donner les réactions mises en jeu et le matériel utilisé.

Un échantillon de 2,45 g de laiton issu de la statue contient une quantité de matière de $2,21 \times 10^{-2}$ moles de cuivre.

2. L'alliage est-il en cause dans la rupture ?

Données

- Couples oxydant/réducteur pour la solubilisation : $\text{NO}_3^-(\text{aq})/\text{NO}(\text{g})$; $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})/\text{Cu}(\text{s})$; $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})/\text{Zn}(\text{s})$;
- Les ions cuivre (II) Cu^{2+} réagissent avec les ions iodure I^- selon une réaction d'oxydoréduction : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})/\text{Cu}^+(\text{s})$; $\text{I}_2(\text{s})/\text{I}^-(\text{aq})$;
- Autre système de couples oxydant/réducteur pouvant intervenir au final : $\text{I}_2(\text{s})/\text{I}^-(\text{aq})$; $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$;
- Le diiode I_2 est réduit par les ions thiosulfate ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$). L'empois d'amidon permet de bien visualiser la décoloration due à la disparition du diiode.

Réaliser un dosage

A Une source à exploiter

Autorisation requise

La société Lavibelle a décidé d'exploiter une nouvelle source et de commercialiser son eau.

Commercialisable ?

Pour être commercialisée, une eau de source doit

vérifier des critères de potabilité. Afin d'obtenir toutes les autorisations il faut vérifier que l'eau est potable mais aussi qu'elle n'est pas trop dure.

Xavier K'boir, le technicien hygiène, sécurité et environnement, est chargé de vérifier la dureté de l'eau.

B Estimer la dureté de l'eau



Une eau dure ou douce ?

La dureté d'une eau est liée à la concentration en ions calcium et magnésium.



Votre mission :

Doser les ions calcium et magnésium présents dans l'eau de source pour conclure sur la dureté de l'eau.



Liste du matériel

- Un agitateur magnétique et un barreau aimanté ;
- Une burette graduée et son support ;
- Un erlenmeyer de 200 mL ;
- Quatre béchers de 100 mL ;
- Une solution d'EDTA de concentration $1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$;
- Une pipette jaugée de 10,0 mL et une poire aspirante ;
- Du N.E.T. (indicateur coloré) et un compte-gouttes ;
- Une solution tampon pH = 7.

À vous de jouer !

Allez chercher les informations, répondez aux questions, récoltez les indices dans le plateau de jeu en ligne. À la fin de votre mission, vous découvrirez un deuxième indice qui vous aidera à résoudre l'énigme de cette année.



Faire le jeu sérieux sur [LLS.fr/PC1P101](https://lls.fr/PC1P101).

C Une mission, un métier



Le métier de technicien/ne hygiène, sécurité, environnement

Le technicien ou la technicienne hygiène, sécurité et environnement (HSE) veille à prévenir les risques industriels, fait respecter les conditions d'hygiène et de travail, aide à produire sans polluer.

D'après le CIDJ.



Retrouver la fiche métier sur [LLS.fr/PC1TechnicienHSE](https://lls.fr/PC1TechnicienHSE).

Azote liquide : attention danger !

Énoncé

Le diazote est le constituant majoritaire de l'air. Refroidi en dessous de son point d'ébullition ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$), il s'agit d'un liquide utilisé dans le domaine médical pour brûler des verrues ou conserver certains tissus organiques par exemple. Son utilisation exige de respecter certaines règles de sécurité. Un contact direct avec la peau provoque des brûlures et en milieu confiné, la législation exige le port d'un appareil de protection respiratoire si la concentration de l'air en dioxygène chute en deçà de 19 %. Toute évaporation accidentelle de diazote dans un lieu fermé exige une certaine vigilance car elle peut entraîner un abaissement du taux de dioxygène de l'air ambiant.

David travaille dans une pièce fermée (2,30 m de longueur, 2,80 m de profondeur et 2,50 m de hauteur sous plafond) avec 2,50 L de diazote liquide stockés dans un Dewar (récipient isolé). Il renverse le Dewar et le diazote liquide se répand sur le sol. David décide alors d'évacuer immédiatement la pièce puis d'avertir la sécurité.

1. Quelle transformation physique a lieu lorsque le diazote touche le sol (à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) ?
2. Quelle est la quantité de diazote initiale dans le Dewar ?
3. Calculer les quantités de matière du dioxygène et du diazote dans la pièce avant l'incident.
4. Compte tenu du volume de la pièce et de la modification de la teneur en dioxygène due à l'incident, le choix de David d'évacuer était-il judicieux ? Justifier.



Azote liquide dans un Dewar.

DONNÉES

- $M(\text{N}) = 14,0\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; • $M(\text{O}) = 16,0\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- **Masse volumique :**
 $\rho(\text{N}_2\text{ liquide}) = 0,809\text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$;
- **Volume molaire d'un gaz à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sous P_{atm} :**
 $V_m = 24,1\text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- **Pourcentage du dioxygène dans l'air :**
21,0 % (en volume ou quantité de matière).

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Identifier l'état physique initial et final.
2. Quel est le lien entre la quantité de matière et le volume d'un liquide ?
4. Quel est le pourcentage de dioxygène avec l'ajout de diazote dans la pièce ?

Solution rédigée

1. Le diazote a une température d'ébullition de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ donc à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ il est à l'état gazeux et a subi une vaporisation.
2. $m(\text{N}_2) = V(\text{N}_2) \cdot \rho(\text{N}_2\text{ liquide}) = 2,50 \times 0,809 = 2,02\text{ kg}$ La quantité de matière de diazote est donc

$$n(\text{N}_2) = \frac{m(\text{N}_2)}{M(\text{N}_2)} = \frac{2,02 \times 10^3}{2 \times 14,0} = 72,2\text{ mol}.$$
3. Le volume de la pièce où travaille David est $V_{\text{pièce}} = l \cdot p \cdot h = 2,30 \times 2,80 \times 2,50 = 16,10\text{ m}^3 = 16,10 \times 10^3\text{ L}$.
Ce volume contient 21,0 % de dioxygène soit $V(\text{O}_2) = 0,210 \times 16,10 = 3,38\text{ m}^3 = 3,38 \times 10^3\text{ L}$.
Donc la quantité de matière de dioxygène dans la pièce est $n_i(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m} = \frac{3,38 \times 10^3}{24,1} = 140\text{ mol}$.
Pour le diazote $V(\text{N}_2) = 0,780 \times 16,10 = 12,6\text{ m}^3 = 12,6 \times 10^3\text{ L}$.
Soit une quantité de matière de diazote $n_i(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m} = \frac{12,6 \times 10^3}{24,1} = 522\text{ mol}.$
4. La quantité de diazote liquide vaporisée correspond à celle calculée en 2. : $n(\text{N}_2\text{ vaporisé}) = 72,2\text{ mol}$.
Le pourcentage de dioxygène devient donc :

$$\%(\text{O}_2) = 100 \frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{O}_2) + n_i(\text{N}_2) + n(\text{N}_2\text{ vaporisé})} = 100 \times \frac{140,25}{140 + 522 + 72,2} = 19,1\%.$$

David n'était pas obligé d'évacuer, il aurait pu se contenter d'aérer mais il a appliqué le principe de précaution.

1 Détartrage d'une cafetière (un pas vers la terminale)

Un détartrant pour cafetière est vendu dans le commerce sous forme de poudre blanche en sachets de 7,5 g. Pour qu'un détartrage soit efficace, une solution détartrante doit contenir $15,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ d'acide sulfamique mais les sachets vendus n'indiquent pas la composition. On doit donc déterminer la teneur du détartrant en acide sulfamique qui est un acide fort et a pour formule $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}(\text{S})$. Pour déterminer le pourcentage massique d'acide sulfamique dans la poudre, on réalise un titrage conductimétrique d'une solution de ce détartrant par une solution titrante d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq})$; $\text{OH}^-(\text{aq})$).

Doc. 1 Protocole de titrage conductimétrique

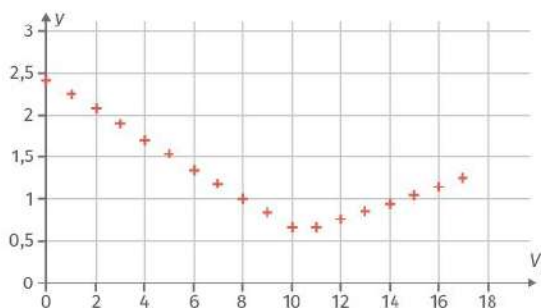
1) Solution S de détartrant : 1,0 g de détartrant est dissous dans de l'eau distillée dans une fiole jaugée de 200,0 mL.

2) Solution titrante Sb d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq})$; $\text{HO}^-(\text{aq})$) : 5,0 mL d'une solution mère d'hydroxyde de sodium S_0 de concentration $c_0 = 2,0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ dilués dans une fiole jaugée de 100,0 mL.

3) La burette est remplie de solution d'hydroxyde de sodium S_b . Un échantillon de 20,0 mL de solution de détartrant S est placé dans un erlenmeyer et dilué avec 150 mL d'eau distillée. Sous agitation, la cellule d'un conductimètre (  talonn  e au préalable) est immergée dans la solution. La solution S_b est coulée millilitre par millilitre et la valeur de conductivité σ du mélange est relevée en fonction du volume de base coulé V_b .

Doc. 2 Valeurs de conductivité

Lors d'un titrage, la conductivité de la solution titrée   vo-lue en fonction des espèces présentes et du volume v_b d'hydroxyde de sodium versé. L'équivalence est mise en évidence par un changement de pente de la courbe de la conductivité en fonction de V_b .



Données

- Masse molaire : $M(\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}) = 97,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
 $M(\text{CaCO}_3) = 100,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- Volume molaire d'un gaz à 20   C sous P_{atm} : $V_m = 24,1 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Numérique

Retrouvez plus de sujet Bac en version numérique.

[LLS.fr/PC1P103](https://lls.fr/PC1P103)

Questions

L'équation de la réaction de titrage est : $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{NH}_2\text{SO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

1. Faire le schéma du dispositif employé.
2. Déterminer le volume équivalent V_E .
3. Calculer la concentration c_a en acide sulfamique de la solution S.
4. Déterminer le pourcentage en masse d'acide sulfamique dans le détartrant commercial.

Un sachet de 7,5 g d'acide sulfamique est dilué dans 500,0 mL d'eau et utilisé pour détartrer une cafetière. Le tartre est constitué de carbonate de calcium $\text{CaCO}_3(\text{s})$. Après utilisation, la solution est analys  e et son pH indique que tout l'acide a réagi avec le tartre.

5.   crire l'équation bilan de la réaction se produisant entre la solution S et le dépôt de tartre sachant qu'il y a dégagement de $\text{CO}_2(\text{g})$ durant le détartrage production d'eau H_2O et formation d'ions $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$ et $\text{NH}_2\text{SO}_3^-(\text{aq})$.
6. Déterminer la masse de carbonate de calcium $\text{CaCO}_3(\text{s})$ éliminée.
7. Déterminer le volume de dioxyde de carbone $\text{CO}_2(\text{g})$ libéré lors du détartrage.

2 Traitement de végétaux au sulfate de fer (II)

Les maladies cryptogamiques (rouille, cloque, mildiou, etc.) représentent 90 % des maladies affectant les végétaux du jardin. Pour les enrayer, il est possible d'appliquer une solution de sulfate de fer (II) ($\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$; $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$) sur les végétaux, mais ceci doit être fait avec modération car le sulfate de fer (II) acidifie le sol et peut être nuisible aux vers de terre. Le sulfate de fer (II) existe sous diverses formes : anhydre $\text{FeSO}_4(\text{s})$ ou hydraté ($\text{FeSO}_4, n \text{H}_2\text{O}(\text{s})$) où n , nombre de molécules d'eau, varie de 1 à 7.

Doc. 1 Maladie cryptogamique



Colonie de champignons cryptogamiques sur des feuilles d'olivier.

Données

- **Masses molaires :** $M(\text{FeSO}_4) = 152,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
 $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{KMnO}_4) = 158,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- **Couples redox :** $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})/\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$;
- **Pictogramme de sécurité du sulfate de fer (II) :**
- **Pictogrammes de sécurité du permanganate de potassium :**



Doc. 2 Titrage des ions $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$

- Solution titrante S_T de permanganate de potassium ($\text{K}^+(\text{aq})$; $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$) : 0,5 g de permanganate de potassium $\text{KMnO}_4(\text{s})$ pur est dissous dans de l'eau distillée dans une fiole de 250,0 mL.
 - Solution à titrer S : 2,1 g de sulfate de fer (II) ($\text{FeSO}_4, n \text{H}_2\text{O}(\text{s})$) sont dissous dans de l'eau distillée dans une fiole jaugée de 1,00 L.
- La solution de permanganate de potassium est placée dans la burette. Puis elle est versée lentement sur un échantillon de 10,0 mL de la solution à titrer.



À l'équivalence, la couleur de la solution passe du vert $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ au violet $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$.

Questions

On souhaite éviter un surdosage du traitement. On veut donc connaître le taux d'hydratation du sulfate de fer (II). On réalise un titrage des ions fer (II) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ par des ions permanganate $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$ (doc. 2). Le volume de solution titrante versée à l'équivalence est de $V_E = 16,0 \text{ mL}$.

1. À quoi correspondent les pictogrammes de sécurité présents sur le flacon de permanganate de potassium ? Quelles précautions doivent être prises lors de ce dosage ?
2. Détailler le protocole à suivre et le dispositif utilisé pour réaliser le titrage.
3. Écrire les demi-équations électroniques puis l'équation de la réaction d'oxydoréduction ayant lieu lors du titrage, en précisant quel est le réactif oxydant.
4. Calculer la concentration molaire de la solution de permanganate de potassium, en déduire que la quantité d'ions permanganate ayant réagi à l'équivalence est $n(\text{MnO}_4^-) = 2,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$.
5. Déterminer la quantité d'ions fer (II) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ présents et la masse de $\text{FeSO}_4(\text{s})$ dans la solution à titrer.
6. En déduire la valeur du nombre entier n dans la poudre de sulfate de fer (II) ($\text{FeSO}_4, n \text{H}_2\text{O}(\text{s})$).

3 Technique de dorure

Le vermeil est un métal précieux constitué d'argent (Ag(s)) recouvert d'or (Au(s)). Il est très prisé pour la joaillerie et la coutellerie car il est résistant et ne ternit pas au contact de l'air.

Autrefois, la dorure au mercure permettait sa préparation. Actuellement, la principale méthode de dorure est une technique électrolytique : la galvanoplastie. Il s'agit d'une électrolyse, l'application d'un courant continu dans une solution permet le dépôt sous forme métallique des ions contenus dans la solution d'électrolyse.

Doc. 1 Nef de Burghley en vermeil



Données

• Masses volumique :

$$\rho(\text{Au}) = 19,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3} ; \rho(\text{Ag}) = 10,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3} ;$$

• Masse molaire : $M(\text{AuCl}_3) = 303,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;

• L'intensité est un débit de charge $1 \text{ A} = 1 \text{ C}\cdot\text{s}^{-1}$;

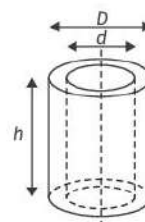
• La constante de Faraday (F) est la charge d'une mole d'électrons en coulomb, elle vaut $96\,500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$;

• Surface d'un cylindre creux :

$$S = \pi \left(h \cdot (D + d) + \frac{D^2 - d^2}{4} \right)$$

• Volume d'un cylindre creux :

$$V = \pi h \cdot \frac{D^2 - d^2}{4}$$



Numérique

Retrouvez plus de sujets Bac en version numérique.

[LLS.fr/PC1P105](https://lls.fr/PC1P105)

Questions

On veut dorer un anneau en argent Ag(s) dont les dimensions sont :

- ♦ diamètre extérieur $D = 1,7 \text{ cm}$;
- ♦ diamètre intérieur $d = 1,5 \text{ cm}$;
- ♦ hauteur $h = 0,5 \text{ cm}$.

L'anneau en argent Ag(s) à dorer est plongé dans un bain contenant 200,0 mL d'une solution de chlorure d'or ($\text{Au}^{3+}(\text{aq}) ; 3 \text{ Cl}^{-}(\text{aq})$) de concentration $c(\text{AuCl}_3) = 1,0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Une électrode de graphite (ne réagissant pas) est également plongée dans le bain, elle ne sert qu'à la circulation des électrons. Les deux électrodes sont reliées au générateur par deux fils.

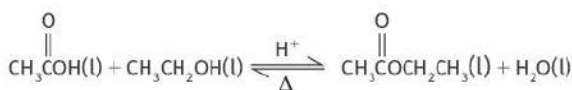
1. Faire un schéma du montage sans indiquer à quelles bornes du générateur les fils sont connectés.
2. Donner la demi-équation électronique de la réaction se déroulant à la surface de l'anneau pour que de l'or métal s'y dépose.
3. On procède à l'électrolyse avec un courant de 0,10 A pendant 10 minutes, quelle charge électrique a été délivrée durant l'électrolyse ?
4. Estimer la masse du dépôt et la masse totale de l'anneau après la dorure.
5. Estimer l'épaisseur du dépôt sur l'anneau (on considère qu'il est uniforme).
6. Compte tenu de la quantité de matière restant en solution, peut-on procéder à la dorure d'un second anneau identique avec le même bain ?

4 Préparation d'un solvant

L'acétate d'éthyle $C_4H_8O_2(l)$ est un solvant odorant très employé en cosmétique et en parfumerie. Il peut être préparé par estérification de l'acide acétique $C_2H_4O_2(l)$ avec l'éthanol $C_2H_6O(l)$. Cette réaction est équilibrée (**doc. 1**). Cela signifie que la transformation entre l'acide et l'alcool n'est pas totale. Une autre caractéristique de la réaction d'estérification est sa lenteur.

Julie veut vérifier expérimentalement ces caractéristiques en préparant de l'acétate d'éthyle. Elle réalise un montage à reflux où elle introduit 5,0 moles d'acide acétique $C_2H_4O_2(l)$ et 5,0 moles d'éthanol $C_2H_6O(l)$, puis elle met le tout à chauffer à 100 °C. Pour suivre l'évolution de la réaction, Julie réalise des prélèvements de 10,0 mL, à différents instants, pour titrer l'acide acétique dans le milieu réactionnel. Chacun des prélèvements est versé dans un erlenmeyer avec 3 gouttes de phénolphthaléine, il est refroidi brutalement puis une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq)$; $OH^-(aq)$) de concentration $c(NaOH) = 0,100 \text{ mol} \cdot L^{-1}$, est coulée lentement. L'acide acétique $C_2H_4O_2$ restant réagit selon la réaction : $C_2H_4O_2(aq) + HO^-(aq) \rightarrow C_2H_3O_2^-(aq) + H_2O(l)$. Quand la solution vire au rose (**doc. 2**), Julie note le volume d'hydroxyde de sodium ajouté (**doc. 3**).

Doc. 1 Équation de la réaction d'estérification



► Réaction de l'acide acétique avec l'éthanol.

Doc. 3 Phénolphthaléine



► Couleur de la solution de phénolphthaléine au virage (qui permet de repérer l'équivalence).

Données

• Masses molaires :

$$M(C) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} ;$$

$$M(H) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} ;$$

$$M(O) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} ;$$

• Masses volumiques :

$$\rho_{\text{éthanol}} = 0,789 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} ;$$

$$\rho_{\text{acide acétique}} = 1,05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} ;$$

$$\rho_{\text{acétate d'éthyle}} = 0,902 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}.$$

Doc. 2 Titrage des prélèvements

Temps (h)	V(NaOH) (mL)
0	10,0
5	7,4
10	6,5
20	5,3
40	4,5
100	3,6
150	3,5
200	3,4
250	3,3
300	3,3

► Volume (mL) de NaOH coulé en fonction du temps (h).

Questions

1. Décrire le montage à reflux utilisé. Expliquer pourquoi on chauffe.
2. Lors d'une réaction à reflux, par sécurité, on ne doit pas remplir le ballon bouilleur à plus des 2/3 de son volume. Les ballons disponibles ont les volumes suivants : 500 mL, 1 L et 2 L. Quel ballon doit être employé pour réaliser la réaction ? (On considère que les volumes d'acide acétique et d'éthanol s'additionnent.)
3. Pourquoi faut-il refroidir les prélèvements avant de couler la solution d'hydroxyde de sodium ?
4. Déterminer la quantité d'acide acétique restant dans chaque prélèvement.
5. Déterminer l'avancement de la réaction pour chacun des prélèvements et l'avancement maximal de la réaction.
6. Tracer la courbe représentant le taux d'avancement en fonction du temps. Montrer que la réaction n'est pas totale.
7. Quel volume maximal d'acétate d'éthyle peut être obtenu ?

5 Vieillesse des toitures en cuivre

Le cuivre joue un rôle dans l'architecture depuis l'Égypte ancienne et, de nos jours, son utilisation continue d'évoluer grâce à ses propriétés antimicrobiennes (mains courantes, barrières de lit, accessoires de salle de bain, comptoirs, etc.). En tant que métal architectural, le cuivre offre une excellente résistance à la corrosion. Un processus d'oxydation naturel forme sur les surfaces de cuivre une patine protectrice unique sur le métal.

Doc. 1 Le cuivre et ses oxydes



▶ Cuivre natif.



▶ Oxydes de cuivre (Cu_2O à gauche, CuO à droite).

Doc. 3 Toiture en cuivre avec vert-de-gris



▶ Toiture en cuivre (à gauche) et toiture oxydée avec vert-de-gris ou hydroxycarbonate de cuivre $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ (à l'avant).

Doc. 2 Autres formes de vert-de-gris



▶ Antlérilite : hydroxy-sulfate de cuivre $\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$.



▶ Atacamite : hydroxychlorure de cuivre $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$.

Données

• **Couples redox :** $\text{Cu}_2\text{O}(\text{s})/\text{Cu}(\text{s})$; $\text{CuO}(\text{s})/\text{Cu}_2\text{O}(\text{s})$; $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})/\text{SO}_2(\text{aq})$; $\text{CO}_2(\text{g})/\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$; • **Masse molaire :** $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Questions

- Déterminer les oxydes de cuivre à l'origine des couleurs rouge-orangé et noir.
- Écrire les réactions d'oxydoréduction successives qui sont associées aux changements de couleur rose-saumon au rouge-orangé puis de rouge-orangé au noir sous l'action du dioxygène, à haute température.
- Dresser le tableau d'avancement de l'oxydation finale du cuivre correspondant à ces oxydoréductions successives.
- Quelle quantité de dioxygène est nécessaire à la transformation complète d'une masse de 4,0 kg de cuivre métal ?
- Quelle forme de vert-de-gris est formée à partir du métal cuivre quand il est oxydé par l'oxygène de l'air en présence de dioxyde de carbone CO_2 d'eau H_2O ? Justifier en écrivant la réaction correspondante.
- Quelle forme de vert-de-gris est formée lorsque les pluies sont acides en raison d'un fort taux d'acide sulfurique (2H^+ ; SO_4^{2-}) causé par la pollution ? Justifier avec la réaction correspondante.
- Quelle forme de vert-de-gris est formée sur les architectures en bord de mer ? Justifier sans écrire de réaction.

Modélisation des de la matière et

Parcours d'orientation - Les BTS autour de la Physique-Chimie

Spécialités suggérées en terminale :



+



ou



À la découverte de ce cursus

BTS (BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR)

Lieu : Lycée

Durée de la formation : 2 ans

Les BTS sont une formation professionnalisante avec une grande dimension pratique. À noter qu'une proportion de plus en plus importante des places est réservée aux étudiants issus de filière technologique ou professionnelle.

CARACTÉRISTIQUES DE LA FORMATION

♦ Taux d'encadrement	■ ■ ■ ■ ■
♦ Spécialisation	■ ■ ■ ■ ■
♦ Professionnalisation	■ ■ ■ ■ ■
♦ Passe-relles possibles	■ ■ ■ ■ ■

EXEMPLES DE BTS

- ♦ **BTS électrotechnique** : à découvrir sur [LLS.fr/PC1Electro](https://lls.fr/PC1Electro)
- ♦ **BTS bâtiment** : à découvrir sur [LLS.fr/PC1Batiment](https://lls.fr/PC1Batiment)
- ♦ **BTS biotechnologies** : à découvrir sur [LLS.fr/PC1Biotech](https://lls.fr/PC1Biotech)
- ♦ **BTS développeur informatique** : à découvrir sur [LLS.fr/PC1Dev](https://lls.fr/PC1Dev)

transformations transferts d'énergie

Compétences

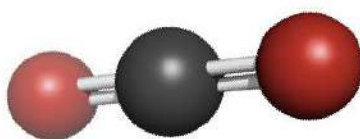
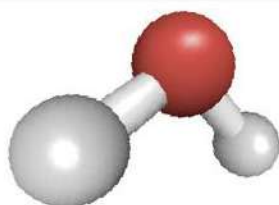


Retrouver les fiches méthode compétences sur lelivrescolaire.fr [LLS.fr/PC1Methode](https://lelivrescolaire.fr/LLS.fr/PC1Methode).

INDICATEUR DE MAÎTRISE		chap. 6	chap. 7	chap. 8	chap. 9	chap. 10
APP	Faire un brouillon comprenant schéma, données et notions Extraire l'information utile sur supports variés			✓		
APP	Maîtriser le vocabulaire du cours	✓		✓		✓
RAI/ ANA	Choisir/Élaborer/Justifier un protocole		✓		✓	
RAI/ ANA	Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques		✓			✓
REA	Mettre en œuvre un protocole		✓		✓	
REA	Agir de façon responsable/respecter les règles de sécurité				✓	✓
RAI/ MOD	Modéliser une transformation chimique/physique : écrire l'équation/l'ajuster/ décrire l'état initial et l'état final d'un système				✓	
RAI/ MOD	Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie					✓
RAI/ MOD	Respecter les conventions en chimie (dont chimie organique)	✓		✓	✓	
COM	Compte rendu écrit avec un vocabulaire scientifique rigoureux	✓	✓			

De la structure à la polarité d'une entité

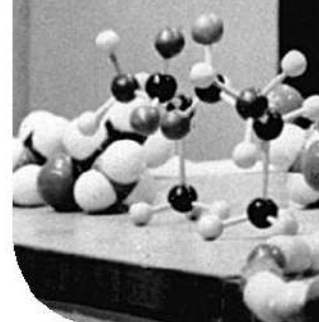
DÉCONSTRUIRE LES IDÉES FAUSSES



La molécule d'eau et la molécule de dioxyde de carbone sont toutes les deux constituées de trois atomes. Elles possèdent pourtant des géométries dans l'espace très différentes.

➤ **Comment peut-on expliquer cette différence ?**

➔ voir l'activité expérimentale 2, p. 113



Travailler

autrement

CLASSE
INVERSEE

Retrouvez un plan de travail pour travailler l'intégralité du chapitre en autonomie.

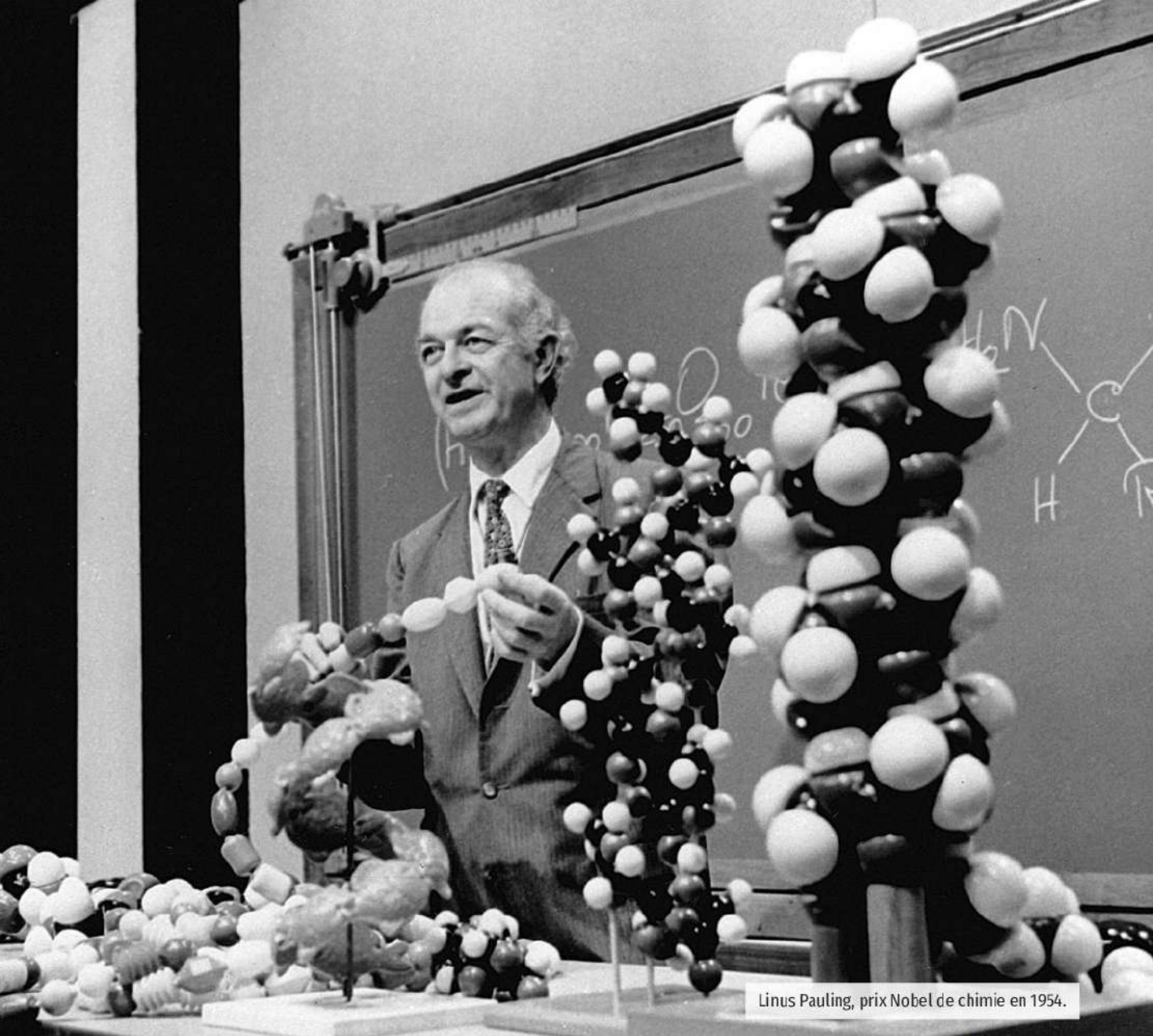
[LLS.fr/PC1P110](https://lls.fr/PC1P110)

Voir p. 129



Boîte de modèles moléculaires.





Linus Pauling, prix Nobel de chimie en 1954.

→ Quelle est la contribution remarquable de ce scientifique dans notre connaissance de la liaison chimique ?

→ voir l'exercice 39, p. 128

À revoir pour bien commencer

- Configuration électronique et électrons de valence
- Stabilité des gaz nobles, ions monoatomiques
- Modèle de la liaison covalente, lecture de schémas de Lewis de molécules

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P111

Objectifs du chapitre

- ❑ Établir le schéma de Lewis de molécules et d'ions monoatomiques ou polyatomiques
- ❑ Interpréter la géométrie d'une molécule à partir de son schéma de Lewis
- ❑ Déterminer le caractère polaire d'une liaison à partir de la donnée de l'électronégativité des atomes
- ❑ Déterminer le caractère polaire ou apolaire d'une entité moléculaire à partir de sa géométrie et de la polarité de ses liaisons

1 Les électrons font la paire dans le modèle de Lewis

La connaissance de la formule brute d'une molécule n'informe pas sur la façon dont les atomes sont agencés entre eux.

→ Comment connaître l'agencement des atomes dans une molécule ? Quel modèle utiliser ?

Par intuition

Peut-on connaître par avance les liaisons formées par les atomes ?

Doc. 1 Gilbert Newton Lewis (1875-1946)



Gilbert Lewis est un chimiste et théoricien du XX^e siècle. Il est l'auteur d'un modèle de représentation des molécules permettant d'établir les structures des molécules à partir de règles simples.

En 1916, il crée le modèle de liaison covalente : deux atomes forment une liaison en partageant une paire d'électrons.

En 1923, il propose également une théorie électronique des acides et des bases des espèces, respectivement accepteurs et donneurs d'une paire d'électrons.

Gilbert Lewis a été nommé 41 fois pour le prix Nobel de chimie mais sans jamais l'obtenir.

Doc. 2 La représentation de Lewis

Pour établir la structure de Lewis des molécules à partir de leur formule brute, on peut procéder ainsi :

- 1) écrire la configuration électronique de chaque atome de la molécule étudiée ;
- 2) déterminer le nombre d'électrons de valence de chaque atome et en déduire le nombre total d'électrons des couches externes mis en jeu dans la molécule étudiée, on note ce nombre n_t ;
- 3) déterminer le nombre de doublets d'électrons impliqués dans des liaisons covalentes ou des doublets non liants, en divisant le nombre n_t par deux ;
- 4) répartir les doublets en respectant les règles du duet pour H et de l'octet pour les autres atomes.

Molécule	Chlorure d'hydrogène HCl	
Atomes	H	Cl
Configuration électronique	$1s^1$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
Électrons de valence (couche externe)	1	7
n_t	$1 + 7 = 8$	
Nombre de doublets	$\frac{8}{2} = 4$	
Répartition des doublets et nature des doublets : le schéma de Lewis	1 liaison covalente entre H et Cl 3 doublets non liants sur Cl $\text{H} - \overline{\text{Cl}} $	

Doc. 3 Quelques acides de Lewis

Un acide de Lewis est une entité chimique possédant une lacune électronique, la rendant susceptible d'accepter un doublet d'électrons. Cette lacune est représentée dans le modèle de Lewis par un rectangle vide.

Ion H^+	Borane	Bromure de méthyle magnésium
$\boxed{\text{H}}^+$	$\text{H} - \boxed{\text{B}} - \text{H}$ H	$\text{H}_3\text{C} - \boxed{\text{Mg}} - \text{Br}$

Compétence

✓ COM : Rédiger un compte rendu écrit avec un vocabulaire scientifique rigoureux

1. Doc. 1 Rappeler la modélisation de la liaison covalente et du doublet non liant dans le cadre du modèle de Lewis.

2. Doc. 1 et 3 Donner la modélisation de la lacune électronique dans le modèle de Lewis et préciser si les acides de Lewis respectent les règles du duet et de l'octet.

3. Doc. 2 Après avoir montré que les règles de l'octet et du duet sont respectées dans le cas de HCl, compléter un tableau identique pour les molécules de formules NH_3 et CH_4 .

Synthèse de l'activité

Résumer en quelques phrases les règles à respecter pour établir la représentation de Lewis d'une molécule.

2 Géométrie des molécules 80'

Le modèle de Lewis permet de modéliser l'enchaînement des atomes au sein d'une entité chimique, moléculaire ou ionique, mais ne donne aucune information sur la géométrie spatiale de ces entités chimiques.

→ Comment prévoir la géométrie spatiale des entités chimiques ?

Par intuition

Quelles propriétés microscopiques influencent la géométrie des molécules ?

Doc. 1 Représentation de Lewis de molécules simples

Eau	Dioxyde de carbone
$\begin{array}{c} \text{O} - \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\text{O} = \text{C} = \text{O}$
Méthane	Ammoniac
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{N} - \text{H} \end{array}$

Doc. 2 Matériel nécessaire

- Une tablette ou un téléphone disposant de l'application « mirage géométrie des molécules » ;
- 2 cartes par molécule, l'une posant la problématique, l'autre proposant la géométrie ; soit 8 cartes à utiliser avec l'application *Mirage Make* ;
- Une boîte de modèles moléculaires ;
- Un logiciel de carte mentale.

Doc. 3 Répulsion des paires électroniques de la couche de valence ou méthode VSEPR

La méthode VSEPR (sigle de l'anglais *valence shell electron pair repulsion* - en français RPECV : répulsion des paires électroniques de la couche de valence) s'inscrit dans la poursuite des idées sur les liaisons chimiques de Lewis.

Cette méthode est destinée à prédire la géométrie des entités chimiques (molécules ou ions) en se basant sur les hypothèses suivantes :

- les électrons des doublets liants et des doublets non liants exercent les uns sur les autres des forces électrostatiques répulsives ;
- les doublets (liants et non liants) sont donc disposés autour de chaque atome de façon à minimiser les valeurs de ces forces.

Numérique

L'application « Mirage géométrie des molécules » est disponible sur smartphone et tablette en ligne. [LLS.fr/PC1MirageMake](https://lls.fr/PC1MirageMake)

Compétences

- ✓ APP : Faire un brouillon comprenant un schéma et des notions
- ✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

- 1. Doc. 1** Comparer les géométries des molécules d'eau et de dioxyde de carbone. Proposer pour chaque molécule le qualificatif le plus approprié entre : linéaire et coudée.
- 2. Doc. 1 et 2** Comparer les géométries des molécules d'ammoniac et de méthane. Proposer pour chacune d'entre elles un qualificatif rendant compte de la géométrie observée : tétraédrique ou pyramidale.
- 3. Doc. 1, 2 et 3** Expliquer, sur l'exemple de la molécule de dioxyde de carbone, comment la répulsion des paires électroniques de la couche de valence peut permettre de prévoir la géométrie de cette molécule.

Synthèse de l'activité

En se basant sur la méthode VSEPR, expliquer le passage de la représentation de Lewis d'une molécule à la modélisation de sa géométrie dans l'espace. Rendre compte des propositions sous la forme d'une carte mentale.

3 Des molécules polaires ou apolaires

Expérimentalement, on peut constater que l'eau est une molécule polaire alors que le dioxyde de carbone ne l'est pas.

→ Comment expliquer le caractère polaire d'une molécule ?

Par intuition

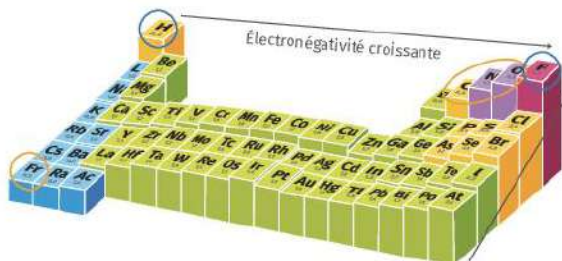
Un filet d'eau est dévié par un objet électrisé. Quelles caractéristiques microscopiques expliquent ce phénomène macroscopique ?

Doc. 1 Linus Pauling (1901-1994)

À partir des travaux de Lewis, Linus Pauling s'intéresse au lien entre la structure des atomes constituant la matière et les propriétés macroscopiques, physiques et chimiques, des entités chimiques. Ces études font de lui l'un des pionniers d'une nouvelle discipline, la chimie quantique.

En 1932, il établit une échelle d'électronégativité, nommée désormais échelle d'électronégativité de Pauling, qui associe une valeur d'électronégativité (sans unité) à la plupart des éléments chimiques. L'électronégativité d'un atome traduit sa capacité à attirer à lui les électrons d'une liaison covalente dans laquelle il est engagé.

Linus Pauling reçut le prix Nobel de chimie en 1954 pour ses recherches sur la nature de la liaison chimique.



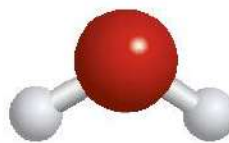
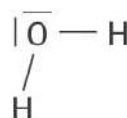
► L'électronégativité des éléments de la classification périodique.

Doc. 2 Électronégativité sur l'échelle de Pauling

H 2,20						
Li 0,98	Be 1,57	B 2,04	C 2,55	N 3,04	O 3,44	F 3,98
Na 0,93	Mg 1,31	Al 1,61	Si 1,90	P 2,19	S 2,58	Cl 3,16

Doc. 3 Une molécule polaire : l'eau

Pour l'oxygène O : $Z = 8$.
Pour l'hydrogène H : $Z = 1$.



► La déviation d'un filet d'eau sous l'effet d'un bâton paille électrisé.

Numérique

Créer l'Univers en 4 étapes, c'est simple et c'est sur LLS.fr/PC1P114.

Compétence

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques

- 1. Doc. 1 et 2** Les électrons des liaisons O – H de la molécule d'eau sont-ils plus attirés par l'atome d'oxygène ou par les atomes d'hydrogène ? Justifier la réponse.
- 2. Doc. 3** Pour traduire l'attraction des électrons vers l'un des atomes d'une liaison covalente, on utilise des symboles traduisant la charge partielle (soit positive δ^+ , soit négative δ^-). Positionner ces symboles sur la formule de Lewis de l'eau.
- 3. Doc. 2 et 3** Donner la formule de Lewis du dioxyde de carbone et préciser la position des charges partielles au sein de cette molécule.

Synthèse de l'activité

Expliquer la différence de polarité entre la molécule d'eau et celle de dioxyde de carbone.

1 Établir un schéma de Lewis

A Les règles du duet et de l'octet

➤ Dans une molécule, les atomes sont liés par des liaisons covalentes obtenues par la mise en commun d'électrons. Leur couche électronique externe est alors saturée, et leur stabilité est plus grande que lorsqu'ils sont isolés.

Dans une molécule, chaque atome respecte la règle du duet ou la règle de l'octet. Les formules de Lewis des molécules permettent de vérifier le respect de ces règles en comptabilisant les électrons des liaisons covalentes et des doublets non liants pour chaque atome de la molécule.

Voir l'exemple de la molécule d'eau (doc. 1).

B Établir un schéma de Lewis

Une méthode possible pour établir le schéma du modèle de Lewis d'une molécule à partir de sa formule brute consiste à :

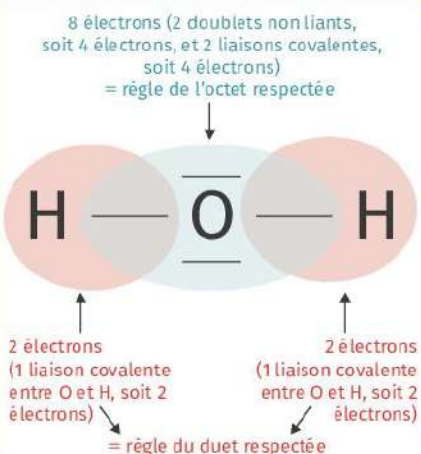
- 1) écrire la configuration électronique de chaque atome ;
- 2) déterminer le nombre total d'électrons de valence n_t mis en jeu dans la molécule étudiée ;
- 3) déterminer le nombre de doublets d'électrons (impliqués dans des liaisons covalentes ou des doublets non liants) en divisant le nombre n_t par deux ;
- 4) répartir les doublets en respectant les règles du duet (pour H) et de l'octet pour les autres atomes. Chaque atome forme un nombre de liaisons covalentes égal au nombre d'électrons manquant pour respecter la règle de l'octet ou du duet.

Exemple : la molécule d'ammoniac NH_3 :

Molécule	Ammoniac NH_3			
Atomes	H	H	H	N
Configuration électronique	$1s^1$	$1s^1$	$1s^1$	$1s^2 2s^2 2p^3$
Électrons de valence (couche externe)	1	1	1	5
Nombre d'électrons manquant pour respecter la règle du duet (H) et la règle de l'octet (N)	1	1	1	3
n_t	$1 + 1 + 1 + 5 = 8$			
Nombre de doublets	$\frac{8}{2} = 4$			
Répartition des doublets et nature des doublets	3 liaisons covalentes entre H et N 1 doublet non liant sur N $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{N} - \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$			

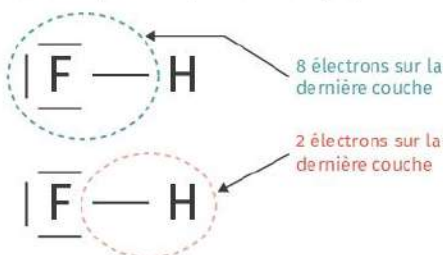
Remarque : Chaque liaison covalente simple formée par un atome avec un autre lui permet de gagner un électron sur sa couche externe.

Doc. 1 Le schéma de Lewis de H_2O



Éviter les erreurs

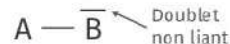
➤ Il faut comptabiliser tous les électrons des liaisons dans lesquelles chaque atome est impliqué.



Vocabulaire

• **Liaison covalente :** mise en commun de deux électrons de valence entre deux atomes. On représente une liaison covalente par un tiret entre les 2 atomes concernés : $\text{A} - \text{B}$

• **Doublets non liants :** pour un atome, ce sont des paires d'électrons de la couche externe qui ne participent pas aux liaisons covalentes.



Pas de malentendu

➤ Le modèle de Lewis ne s'intéresse pas aux électrons internes, seulement aux électrons de la couche de valence (ou couche externe), car seuls ceux-ci peuvent établir des liaisons covalentes.

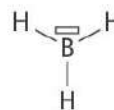
C Pour aller plus loin : les acides de Lewis

➤ Certaines entités chimiques possèdent une lacune électronique, symbolisée par un rectangle vide. On appelle ces entités chimiques des acides de Lewis.

Les atomes porteurs de la lacune électronique au sein de ces entités ne respectent pas la règle de l'octet, ou du duet, et sont donc susceptibles de créer une liaison covalente avec un doublet non liant d'une autre molécule.

Doc. 2 Un acide de Lewis, le borane

Dans le borane, le bore possède une lacune électronique représentée par un rectangle vide.



Il ne respecte pas la règle de l'octet car il est entouré de 6 électrons (3 liaisons covalentes).

Éviter les erreurs

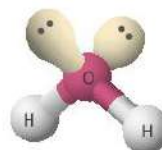
- Une liaison multiple, double ou triple, est traitée comme une liaison simple pour déterminer la géométrie d'une espèce chimique.
- Dans le cas d'une entité ne comportant que deux atomes, la géométrie est nécessairement linéaire.

Pas de malentendu

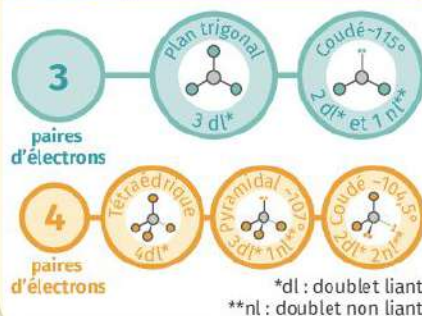
- On parle de l'atome central quand on cherche à identifier la géométrie d'une entité chimique. Il s'agit de l'atome autour duquel les liaisons covalentes et les doublets non liants se répartissent.

Éviter les erreurs

- Dans le cas de la molécule d'eau, on parle de géométrie coudée car l'atome d'oxygène possède 2 doublets non liants et forme deux liaisons covalentes, soit 4 doublets au total mis en jeu.



Doc. 3 Représentation VSEPR



2 La géométrie spatiale des molécules

A De la formule de Lewis à la géométrie des molécules

On peut prévoir la géométrie d'une entité chimique à partir de sa structure de Lewis.

Autour d'un atome qualifié de central, les doublets liants, ou doublets des liaisons covalentes, et les doublets non liants s'écartent au maximum des uns des autres afin de minimiser les forces de répulsions électrostatiques.

Les géométries adoptées sont des formes géométriques simples :

Nombre de liaisons (simples ou doubles) et de doublets non liants	2 liaisons simples	2 liaisons et 1 liaison double	4 liaisons simples
Géométrie autour de l'atome central	Linéaire	Plane trigonale	Tétraédrique
Représentation spatiale			
Exemple	Dioxyde de carbone CO_2 	Méthanal CH_2O 	Méthane CH_4

B Pour aller plus loin : la théorie VSEPR

La théorie VSEPR, dont le nom est issu du sigle anglais *valence shell electron pair repulsion*, s'inscrit dans la poursuite de la théorie développée par Gilbert Lewis en 1916 sur les liaisons chimiques. Le formalisme de cette méthode est plus abouti mais il n'est pas au programme. On appelle aussi parfois ce modèle le modèle de Gillespie, du chimiste qui l'a étudié.

Application

À partir de la représentation de Lewis de la molécule d'eau, indiquer la géométrie adoptée.

Corrigé :

L'atome d'oxygène, considéré comme central, possède 2 doublets non liants et 2 liaisons covalentes, soit 4 doublets électroniques. Cet atome est donc au centre d'un tétraèdre dont chaque sommet est occupé soit par un atome d'hydrogène, soit par un doublet non liant. On dit que la molécule d'eau est coudée (**doc. 4**).

3 La polarité des molécules

A De l'électronégativité d'un atome à une liaison covalente polarisée

➤ L'électronégativité d'un atome traduit son aptitude à attirer à lui les électrons d'une liaison dans laquelle il est engagé. Cette grandeur sans unité varie en fonction de la place de l'élément chimique dans le tableau périodique.

Dans une liaison covalente entre deux atomes A et B, si l'atome A est plus électronégatif que l'atome B, la liaison A-B est dite polarisée. Elle est alors notée $A^{\delta+}-B^{\delta-}$.

Les symboles $\delta+$ et $\delta-$ traduisent les charges partielles portées par les atomes de cette liaison covalente : A étant plus électronégatif, il porte une charge partielle négative notée $\delta-$, et B porte alors une charge partielle positive notée $\delta+$.

B Prévoir la polarité d'une molécule

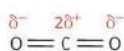
Pour déterminer le caractère polaire d'une molécule, il faut s'intéresser à l'électronégativité des atomes qui la constituent, identifier les éventuelles liaisons polarisées et enfin s'intéresser à la géométrie de la molécule.

Une molécule peut être polaire si elle comporte au moins une liaison polarisée :

- si elle ne comporte qu'une seule liaison polarisée, elle est alors nécessairement polaire ;
- si elle comporte plusieurs liaisons polarisées, il faut alors étudier la géométrie de cette molécule pour s'assurer que les polarisations des liaisons ne se compensent pas.

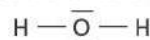
Exemple : La molécule d'eau est polaire (voir **doc. 6**) alors que la molécule de dioxyde de carbone ne l'est pas.

En effet, sur le schéma ci-contre, les polarisations des 2 liaisons $C=O$ se compensent et s'annulent.

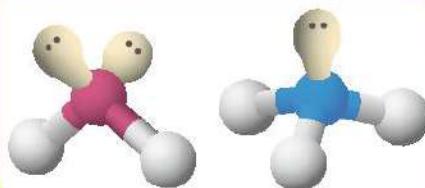


Donnée

• Représentation de Lewis de H_2O :



Doc. 4 Molécules coudée et pyramidale



Éviter les erreurs



➔ On parle d'une liaison polarisée ou non polarisée, et d'une molécule polaire ou apolaire.

Électronégativité χ de quelques atomes

Doc. 5

H 2,20						
Li 0,98	Be 1,57	B 2,04	C 2,55	N 3,04	O 3,44	F 3,98
Na 0,93	Mg 1,31	Al 1,61	Si 1,90	P 2,19	S 2,58	Cl 3,16
K 0,82	Ca 1,00	Ga 1,81	Ge 2,01	As 2,18	Se 2,55	Br 2,96
Rb 0,82	Sr 0,95	In 1,78	Sn 1,96	Sb 2,05	Te 2,1	I 2,66

Pas de malentendu



➔ Une charge partielle, positive ou négative, n'est pas une charge réelle comme dans un cation ou un anion. Il s'agit d'une grandeur uniquement formelle pour traduire la polarisation de la liaison.

Doc. 6 L'eau, une molécule polaire

La molécule d'eau possède 2 liaisons O-H polarisées :

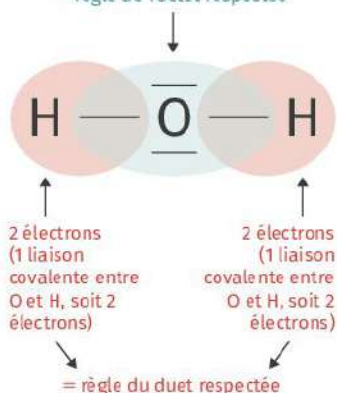


La géométrie coudée de cette molécule impose des charges partielles positives et négatives.



Principales notions

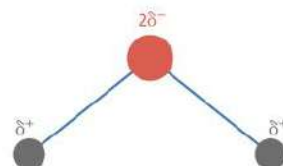
8 électrons (2 doublets non liants, soit 4 électrons, et 2 liaisons covalentes, soit 4 électrons)
= règle de l'octet respectée



Autour d'un atome central, les doublets liants (liaisons simples, doubles ou triples) et les doublets non liants s'écartent au maximum des uns des autres afin de minimiser les forces de répulsions électrostatiques.

Nombre de doublets	2	3	4
Géométrie autour de l'atome central	Linéaire	Triangulaire	Tétraédrique
Représentation spatiale			

Dans une liaison covalente entre deux atomes A et B, si l'atome A est plus électro-négatif que l'atome B, la liaison A-B est polarisée. Elle est notée $A^{\delta-} - B^{\delta+}$. Il est alors nécessaire de connaître la géométrie de la molécule étudiée afin de savoir si les polarisations des liaisons se compensent ou non et déterminer ainsi la polarité éventuelle de la molécule.



Les éléments essentiels de la modélisation

- Le modèle de Lewis permet d'expliquer et de prévoir la stabilité des ions monoatomiques et des atomes au sein des molécules sur la base du respect des règles de l'octet et du duet.
- La géométrie des molécules est établie à partir du modèle VSEPR (aussi appelé modèle de Gillespie) qui se fonde sur la répulsion électrostatique des doublets d'électrons entre eux.
- On modélise la polarisabilité d'une liaison covalente par des charges partielles sur les atomes de cette liaison polarisée, ces charges partielles sont notées $\delta+$ et $\delta-$. Cette donnée permet de prédire la polarité d'une molécule et d'en déduire certaines propriétés chimiques et physiques macroscopiques.

Les limites de la modélisation

➤ La règle de l'octet est mise en défaut dans le cas des acides de Lewis qui possèdent des lacunes électro-niques.

Le modèle de Lewis ne permet pas de :

- connaître l'estimation des angles dans l'espace entre les liaisons au sein de la structure moléculaire.

C'est le modèle VSEPR qui le permet !

Le modèle VSEPR ne permet pas de :

- expliquer la planéité de certaines molécules avec la géométrie, comme l'éthène, c'est la chimie quantique qui le permet !
- traduire la dynamique d'une molécule dont la configuration dans l'espace se modifie.

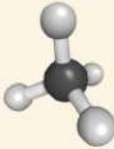
Numérique

Retrouvez la construction d'un schéma de Lewis en vidéo et interrogez une limite du modèle de Lewis en ligne [LLS.fr/PC1P118](https://lls.fr/PC1P118).

1 Schéma de Lewis

	A	B	C
1. La molécule d'eau a pour schéma de Lewis :	$\text{H} - \text{O} - \text{H}.$	$\text{H} - \text{H} - \text{O}.$	$\text{H} - \overline{\text{O}} - \text{H}.$
2. La molécule de chlorure d'hydrogène a pour schéma de Lewis :	$\text{Cl} - \text{H}.$	$\text{H} - \text{Cl}.$	$\text{H} - \overline{\text{Cl}}.$
3. L'ion H^+ :	possède une lacune électronique.	respecte la règle du duet.	correspond au schéma de Lewis suivant : $\text{H}^{\oplus}$

2 Géométrie des entités chimiques - modèle VSEPR

1. Le modèle moléculaire de la molécule de méthane est représenté ci-contre, cette molécule est :		pyramidale.	coudée.	tétraédrique.
2. La géométrie de la molécule d'eau $\text{H} - \overline{\text{O}} - \text{H}$ est :		coudée.	linéaire.	plane.
3. La géométrie d'une molécule est liée :		à la répulsion entre les atomes.	à la répulsion entre les électrons.	à la répulsion entre les protons.

3 Polarité des entités moléculaires

1. L'électronégativité d'un atome est la capacité qu'il a à :	annuler l'action des électrons.	attirer vers lui les électrons d'une liaison dans laquelle il est engagé.	repousser les électrons d'une liaison dans laquelle il est engagé.
2. L'atome d'oxygène est plus électronégatif que l'atome d'hydrogène, donc :	la liaison entre O et H est polarisée.	la liaison entre O et H est polaire.	l'atome d'oxygène porte une charge partielle négative.
3. Une molécule est polaire :	si elle possède des atomes de différentes électronégativités.	si elle possède des liaisons polarisées.	si les positions moyennes des charges partielles ne sont pas confondues.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P119

4 Questions Jeopardy

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

a. Cet atome forme 4 liaisons covalentes.

b. Cette molécule adopte une géométrie tétraédrique.

□ Établir un schéma de Lewis

12

[DIFF]

□ Interpréter la géométrie d'une molécule à partir de son schéma de Lewis

15

28

□ Déterminer le caractère polaire d'une liaison à partir de la donnée de l'électronégativité des atomes

16

17

□ Déterminer le caractère polaire ou apolaire d'une entité moléculaire

26

31

Pour s'échauffer

5 Autour du dihydrogène

- Établir le schéma de Lewis de la molécule de dihydrogène H_2 . Préciser si cette molécule est polaire.

6 La molécule de dioxygène

- Établir le schéma de Lewis de la molécule de dioxygène O_2 . Préciser si cette molécule est polaire.

7 Un ion monoatomique particulier

- Établir le schéma de Lewis de l'ion H^+ . En quoi cet ion est-il particulier ?

8 Schéma de Lewis de l'eau

- Établir le schéma de Lewis de la molécule de l'eau. Pourquoi faut-il connaître la géométrie de cette molécule pour déterminer si elle est polaire ou non ?

9 Autour du méthane

La formule chimique du méthane est CH_4 .

- Établir le schéma de Lewis de cette molécule.
- Justifier sa géométrie tétraédrique.

10 L'ion oxyde

L'ion oxyde est l'ion monoatomique issu de l'atome d'oxygène.

- Préciser la configuration électronique de l'atome d'oxygène et en déduire celle de l'ion monoatomique stable qu'il pourrait donner.
- Proposer la formule chimique de l'ion oxyde et établir son schéma de Lewis.

11 Autour de l'ammonium

- Établir le schéma de Lewis de l'ion ammonium NH_4^+ et justifier sa géométrie tétraédrique.

Pour commencer

Schéma de Lewis

12 Autour de quelques molécules simples

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

- Déterminer la représentation de Lewis des molécules d'eau H_2O , de dioxyde de carbone CO_2 et de méthane CH_4 .

Données

- Numéro atomique d'éléments chimiques :
H ($Z = 1$) ; C ($Z = 6$) ; N ($Z = 7$) ; O ($Z = 8$).

13 Autour de l'ammoniac

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

L'ammoniac est un gaz incolore, irritant et très odorant, il a pour formule NH_3 . La solution d'ammoniacale, quant à elle, contient des ions OH^- et des ions NH_4^+ .

- Déterminer la représentation de Lewis de la molécule d'ammoniac.
- Déterminer la représentation de Lewis de l'ion hydroxyde OH^- .
- Établir le schéma de Lewis de l'ion ammonium NH_4^+ .

Géométrie des molécules

14 Les gaz de l'atmosphère

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours



Les deux principaux gaz de l'atmosphère terrestre sont le diazote et le dioxygène.

- Établir la géométrie dans l'espace de ces deux molécules.
- Le dioxyde de carbone CO_2 est aussi présent dans l'atmosphère ainsi que la vapeur d'eau. La molécule de CO_2 est linéaire et celle d'eau est coudée. Expliquer cette différence à l'aide des schémas de Lewis et de ces deux molécules.

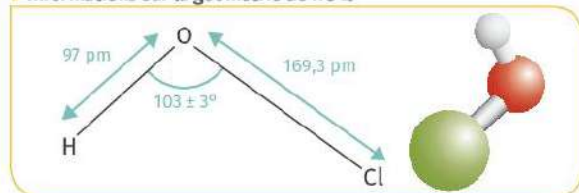
15 L'acide hypochloreux

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

L'acide hypochloreux, de formule chimique HOCl, est utilisé dans l'industrie cosmétique à faible concentration comme agent nettoyant de la peau.

- Établir sa représentation de Lewis et justifier la géométrie de cette molécule.

Informations sur la géométrie de HOCl

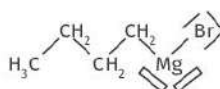


Polarité des entités moléculaires

16 Liaison polarisée dans un organomagnésien

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

- Dans la molécule de bromure de butylmagnésium ci-contre, identifier les deux liaisons polarisées. Justifier.



Données

• Électronégativité χ des atomes :

$$\chi(\text{Br}) = 2,96 ; \chi(\text{Mg}) = 1,31 ; \chi(\text{C}) = 2,55 ; \chi(\text{H}) = 2,20.$$

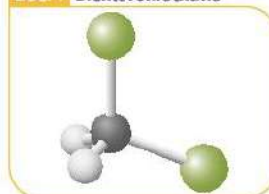
17 Solvants polaires ou apolaires

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre un modèle microscopique et des grandeurs macroscopiques

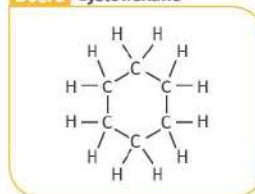
Le cyclohexane et le dichlorométhane sont des solvants courants en chimie organique.

- Ces solvants sont-ils polaires ? Justifier la réponse.

Doc. 1 Dichlorométhane



Doc. 2 Cyclohexane



Données

• Électronégativité χ des atomes :

$$\chi(\text{O}) = 3,44 ; \chi(\text{Cl}) = 3,16 ; \chi(\text{C}) = 2,55 ; \chi(\text{H}) = 2,20.$$

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Établir un schéma de Lewis

18 Vers la structure de Lewis de l'adrénaline

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

- À l'aide du modèle moléculaire du document ci-contre, établir la formule brute de la molécule d'adrénaline.

- À partir de leurs configurations électroniques, préciser le nombre de liaisons formées par chacun des types d'atomes impliqués dans cette molécule (C, H, O et N).

Nom	Modèle	Symbole
Hydrogène		H
Carbone		C
Azote		N
Oxygène		O

- En déduire la représentation de Lewis de cette molécule.

Données

• Numéros atomiques des atomes :

$$\text{H} (Z = 1) ; \text{C} (Z = 6) ; \text{N} (Z = 7) ; \text{O} (Z = 8).$$

19 Vers la géométrie spatiale

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

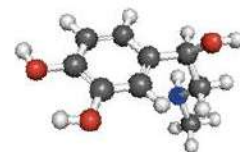
- Après avoir établi la représentation de Lewis de la molécule d'adrénaline, déterminer la géométrie spatiale

adoptée par les atomes du cycle de 6 carbones. Justifier la réponse proposée.

Doc. 1 Découverte de l'adrénaline

Jokichi Takamine (1854-1922), biochimiste et industriel, découvrit en 1901 la première hormone pure jamais isolée d'une source naturelle, la glande médullo-surrénale. Il la nomma *adrenalin* (qui signifie près du rein).

Son modèle moléculaire est représenté ci-contre :



20 Adrénaline ou noradrénaline

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie



- Établir la représentation de Lewis de la noradrénaline (modèle moléculaire ci-contre). Quelle est la géométrie autour de l'atome de carbone ?

La pollution par les dérivés azotés

Énoncé

La pollution par les ions nitrate NO_3^- et les ions nitrite NO_2^- est causée par l'agriculture intensive. L'usage massif d'engrais participe à l'augmentation de la concentration de ces entités chimiques dans les sols. Elles s'infiltrent ensuite dans nos cours d'eau et polluent les nappes phréatiques.

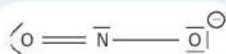


L'ion nitrite a pour formule brute NO_2^- . L'objectif de l'exercice est d'établir sa formule de Lewis et d'en déduire sa géométrie.

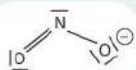
1. Combien d'électrons de valence possèdent l'atome d'azote et l'atome d'oxygène ?
2. Combien de doublets d'électrons sont mis en jeu dans l'ion nitrite ?
3. En déduire la formule de Lewis de l'ion nitrite.
4. En déduire qualitativement la géométrie de l'ion nitrite.

Solution rédigée

1. Pour l'azote : $1s^2 2s^2 2p^3$, il a donc 5 électrons de valence ; Pour l'oxygène : $1s^2 2s^2 2p^4$, il a donc 6 électrons de valence.
2. Il y a un atome d'azote et deux atomes d'oxygène, soit $5 + 6 + 6 = 17$ électrons de valence ; il faut penser à ajouter 1 électron pour la charge négative, soit 18 électrons en tout, donc 9 doublets.
3. L'atome d'azote peut engager jusqu'à trois liaisons covalentes et les atomes d'oxygène jusqu'à deux liaisons. L'atome d'oxygène étant le plus électronégatif, il est porteur de la charge négative et donc d'un électron supplémentaire. La formule de Lewis de l'ion nitrite NO_2^- est donc :



4. La double liaison $\text{N}=\text{O}$, le doublet non liant et la liaison simple $\text{N}-\text{O}$ se répartissent de façon à minimiser les interactions électrostatiques : la géométrie de cet ion est donc cou-dée. L'ion nitrite est donc représenté comme ceci :



DONNÉES

- **Numéro atomique des atomes :**
 $\text{H} (Z=1)$; $\text{C} (Z=6)$; $\text{N} (Z=7)$; $\text{O} (Z=8)$;
- **Électronégativité χ des atomes :**
 $\chi(\text{O}) = 3,44$; $\chi(\text{N}) = 3,04$; $\chi(\text{C}) = 2,55$;
 $\chi(\text{H}) = 2,20$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Déterminer les électrons de valence à l'aide de la configuration électronique.
2. Comment connaître le nombre de liaisons et/ou doublets non liants grâce aux électrons de valence des atomes ? Comment prendre en compte la charge négative de l'ion ?
4. Comment les liaisons covalentes et les doublets non liants influencent-ils la géométrie de cette molécule ?

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Utiliser ses connaissances pour établir la configuration électronique de N et de O puis repérer les électrons de valence sur les sous-couches 2s et 2p.
2. Tenir compte de la charge de l'ion en ajoutant au décompte un électron.
3. Utiliser la règle de l'octet pour identifier le nombre de liaisons que chaque atome peut créer et ainsi proposer une structure cohérente. Il faut aussi tenir compte de l'électronégativité de l'atome d'oxygène pour la charge de l'ion.
4. La répulsion électrostatique influence la géométrie en éloignant au maximum les doublets non liants et les doublets liants.

21 Mise en application

- L'ion nitrate a pour formule chimique NO_3^- . Proposer sa représentation de Lewis et sa géométrie.

Pour s'entraîner

22 L'eau de Javel

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

Petite histoire de l'eau de Javel

Claude Louis Berthollet (1748-1822), en étudiant les propriétés décolorantes du chlore, découvre un procédé de blanchiment des toiles utilisant une solution de chlorure et d'hypochlorite de potassium : il vient d'inventer la lessive de Berthollet, bientôt nommée eau de Javel suite à la localisation de son premier site de production : la manufacture de produits chimiques construite en 1777 dans le village de Javel, à l'ouest de Paris, qui donnera son nom au produit.

En 1820, le pharmacien Antoine Germain Labarraque étudie les qualités désinfectantes des dérivés chlorés et des hypochlorites de potassium et de sodium. Il met au point une solution de chlorure et d'hypochlorite de sodium qu'il appelle liqueur de Labarraque. En 1900, on appelait eau de Javel l'hypochlorite de potassium et eau de Labarraque l'hypochlorite de sodium. Plus tard, le procédé de fabrication a remplacé le potassium par le sodium, sans changement de nom.



À partir du XIX^e siècle, l'eau de Javel est couramment utilisée comme désinfectant et pour le traitement de l'eau potable.

L'eau de Javel est synthétisée

directement par la réaction :
 $\text{Cl}_2 + 2\text{HO}^- \rightarrow \text{ClO}^- + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$.

- Établir la structure de Lewis de la molécule de dichlore.
- Établir la structure de Lewis des ions chlorure, hypochlorite et hydroxyde.
- Pourquoi est-il préférable d'écrire HO^- au lieu de OH^- ?

23 Géométrie et polarité en QCM

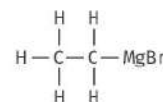
✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- La géométrie coudée de la molécule d'eau est :
 - due à la répulsion entre les atomes O et H.
 - due à la répulsion entre les liaisons covalentes.
 - due à la répulsion entre les doublets non liants de l'atome d'oxygène.
 - responsable du caractère polaire de cette molécule.
- L'heptane, de formule chimique C_7H_{16} , est une molécule :
 - polaire.
 - apolaire.
 - possédant des liaisons covalentes peu polarisées.
- La molécule de dioxyde de carbone CO_2 possède deux liaisons $\text{C}=\text{O}$ polarisées. Cette molécule est donc :
 - apolaire car elle a un nombre pair de liaisons polarisées.
 - polaire car elle possède deux liaisons polarisées.
 - apolaire car la polarisation de chaque liaison annule l'effet de l'autre.

24 Les réactifs de Grignard

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations

Le bromure d'éthylmagnésium est un réactif de Grignard dont la formule est la suivante :



Des réactifs stratégiques

Victor Grignard (1871-1935) est un chimiste français, lauréat du prix Nobel de chimie en 1912 pour sa découverte du réactif qui porte son nom et qui a récemment permis de grandes avancées en chimie organique.

Ses recherches ont porté sur le développement d'une nouvelle méthode de synthèse pour allonger les chaînes carbonées des molécules organiques en utilisant un dérivé contenant du magnésium. La particularité des réactifs de Grignard tient au fait que la polarité de la liaison $\text{C}-\text{Mg}$ est inversée par rapport à celle des liaisons $\text{C}-\text{N}$ ou $\text{C}-\text{O}$ habituellement rencontrée en chimie organique.

- Justifier la phrase « La particularité des réactifs de Grignard (...) habituellement rencontrée en chimie organique. »

Données

• Électronégativité χ des atomes :
 $\chi(\text{O}) = 3,44$; $\chi(\text{Mg}) = 1,31$; $\chi(\text{C}) = 2,55$; $\chi(\text{N}) = 3,04$.

Comprendre les attendus

25 Formaldéhyde

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

Le méthanal est un aldéhyde de formule brute : CH_2O . En solution aqueuse, il est appelé formol et sert en médecine comme conservateur de certains échantillons biologiques.

Son modèle moléculaire est le suivant :



- Établir sa représentation de Lewis.
- Préciser la géométrie adoptée par les atomes autour de l'atome de carbone.
- Quelle liaison covalente est polarisée au sein de cette molécule ? Justifier.

Détails du barème

TOTAL/45 pts

1. Proposer une structure de Lewis cohérente avec le modèle moléculaire.

1 pt

Respecter des règles du duet et de l'octet pour l'ensemble des atomes de la molécule.

1 pt

2. Prévoir la géométrie autour de l'atome de carbone.

0,5 pt

Expliciter la répulsion des doublets pour justifier la géométrie adoptée.

1 pt

3. À partir des électronégativités des atomes, identifier la liaison polarisée.

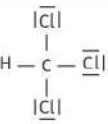
1 pt

EXERCICES

26 Dérivés chlorés et polarité

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à la problématique

- À l'aide des données suivantes, indiquer l'évolution de la polarité au sein des molécules de chlorométhane, de dichlorométhane et de chloroforme.

Chlorométhane	Dichlorométhane	Chloroforme
CH_3Cl		

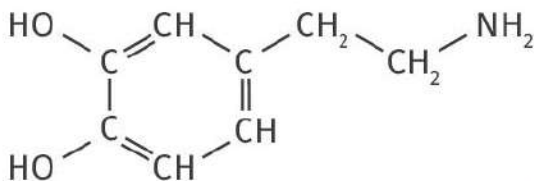
Données

- Numéros atomiques des atomes : C ($Z = 6$) ; Cl ($Z = 17$) ;
- Électronégativité χ des atomes : $\chi(\text{C}) = 2,55$; $\chi(\text{Cl}) = 3,16$.

27 La dopamine, entre prise de risque et bien-être

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

Doc. 1 Formule semi-développée de la dopamine



Doc. 2 La dopamine

Synthétisée dès 1910, par Georges Barger et James Ewens, la dopamine est une neurohormone produite par l'hypothalamus. Sa principale fonction est d'inhiber la libération de prolactine, protéine qui intervient dans la sensation de bien-être. Le plaisir ressenti lors d'un repas est dû à la sécrétion de dopamine, ce que la pratique régulière d'un sport permet aussi d'augmenter.

D'après « La dopamine », societetechimiquedefrance.fr

- Établir la représentation de Lewis de la dopamine.
- Préciser la géométrie adoptée par l'atome d'azote au sein de cette molécule.
- À l'aide de boîtes de modèles moléculaires, construire cette molécule et préciser la géométrie observée pour les atomes du cycle benzénique.
- Parmi les liaisons chimiques de cette molécule, préciser celles qui sont polarisées.

Données

- Numéros atomiques des atomes : H ($Z = 1$) ; C ($Z = 6$) ; N ($Z = 7$) ; O ($Z = 8$) ;
- Électronégativité χ des atomes : $\chi(\text{O}) = 3,44$; $\chi(\text{N}) = 3,04$; $\chi(\text{C}) = 2,55$; $\chi(\text{H}) = 2,20$.

28 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.

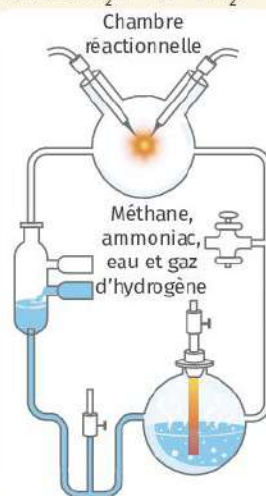
- La configuration de l'atome de soufre S est : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$. Il possède donc 6 électrons de valence.
- On compare souvent le soufre à l'oxygène car ils ont les mêmes propriétés chimiques.
- La formule de Lewis du sulfure de dihydrogène est : $\text{H}-\text{S}-\text{H}$. Il fait partie de ces molécules qui ne respectent pas la règle de l'octet car c'est un acide de Lewis.
- La géométrie du sulfure de dihydrogène : elle est linéaire.

29 La soupe primordiale

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

L'expérience de Miller

Miller souhaitait comprendre si les conditions physico-chimiques de la Terre primordiale ont permis l'apparition de la vie. Dans un système de tubes clos et stériles, il place de l'eau liquide, du méthane CH_4 , de l'ammoniac NH_3 et du dihydrogène H_2 . Ce mélange est parcouru d'arcs électriques, reproduisant les conditions d'orage supposées courantes à l'époque. Après quelques jours d'expérience, Miller a pu observer la formation de molécules organiques dans le milieu, dont plusieurs acides aminés et l'urée $\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2$.

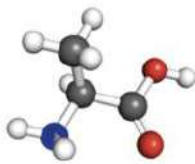


- Établir les structures de Lewis des molécules d'ammoniac et d'urée.
- Quelle est la géométrie adoptée par l'atome de carbone dans l'urée ? Construire le modèle moléculaire de l'urée à l'aide d'un logiciel de modélisation et valider la géométrie proposée.

30 L'alanine, un acide α -aminé

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

L'alanine est l'un des acides α -aminés les plus présents dans les protéines. Les acides aminés possèdent une fonction amine -NH_2 et une fonction acide carboxylique -COOH .



1. À partir du modèle moléculaire, établir la formule de Lewis de l'alanine.
2. Rappeler les hypothèses qui permettent de déterminer la géométrie d'une molécule à partir de sa formule de Lewis.
3. Préciser la géométrie observée autour de l'atome de carbone de la fonction acide carboxylique.
4. Préciser la géométrie observée autour de l'atome d'azote de la fonction amine.
5. Préciser les charges partielles présentes sur cette molécule.

Données

- **Numéros atomiques des atomes :**
H ($Z = 1$) ; C ($Z = 6$) ; N ($Z = 7$) ; O ($Z = 8$) ;
- **Électronégativité χ des atomes :**
 $\chi(\text{O}) = 3,44$; $\chi(\text{N}) = 3,04$; $\chi(\text{C}) = 2,55$; $\chi(\text{H}) = 2,20$.

31 Le tétrachlorure de carbone

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Le tétrachlorure de carbone, de formule brute CCl_4 , est une molécule organique de forte toxicité, autrefois utilisée dans les aérosols. En raison de son action destructrice sur la couche d'ozone, cette molécule a été interdite au niveau mondial par le protocole de Montréal en 1985.

1. Proposer la structure de Lewis de la molécule de tétrachlorure de carbone.
 2. En déduire sa géométrie.
- les polarisées ? Justifier.
- l'oxyde de carbone est-elle

Données

- **Numéros atomiques des atomes :** C ($Z = 6$); Cl ($Z = 17$);
- **Électronégativité χ des atomes :** $\chi(\text{C}) = 2,55$; $\chi(\text{Cl}) = 3,16$.

32 L'éthanol, un solvant polaire

- ✓ RAI/ANA : Faire le lien entre un modèle microscopique et des propriétés macroscopiques

1. À l'aide des documents ci-dessous, justifier la polarité de l'éthanol.
2. Quelles propriétés macroscopiques s'expliquent par la polarité de la molécule d'éthanol.

Doc. 1 Extrait de l'étiquette d'une bouteille d'éthanol

Éthanol
C₂H₅OH

$M = 46,07 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ $d = 0,789$
 $F = -114 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $E = 78 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Point éclair : $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Liquide incolore miscible à l'eau et aux solvants usuels



Doc. 2 L'éthanol, un solvant polaire

À cause de la nature polaire du groupement hydroxyle, l'éthanol dissout facilement les composés ioniques, comme l'hydroxyde de sodium ou le chlorure de sodium. La partie apolaire de l'éthanol lui permet de dissoudre des substances hydrophobes et notamment des huiles essentielles.

Données

- **Numéros atomiques des atomes :**
H ($Z=1$); C ($Z=6$); O ($Z=8$);
- **Électronégativité χ des atomes :**
 $\chi(\text{O}) = 3,44$; $\chi(\text{C}) = 2,55$; $\chi(\text{H}) = 2,20$.

33 Autoprotolyse de l'eau

- RAI/MOD: Respecter les conventions en chimie

L'autoprotolyse de l'eau est une réaction chimique au cours de laquelle deux molécules d'eau échangent un proton : $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$. C'est cette réaction chimique au sein de l'eau pure qui explique la légère conductivité de la solution.

1. Établir la représentation de Lewis de la molécule d'eau et en déduire la géométrie de cette molécule.
2. Une molécule d'eau perd un proton H^+ pour donner l'ion hydroxyde HO^- . Proposer la formule de Lewis de ces deux ions.
3. Une molécule d'eau gagne un proton H^+ pour donner l'ion oxonium H_3O^+ . Proposer la formule de Lewis de cet ion. En déduire sa géométrie.

Données

- **Numéros atomiques des atomes :**
H ($Z=1$) : C ($Z=6$) : O ($Z=8$).

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. **LLS.fr/PC1P125**

[illegible]

Notice d'extincteur au CCl_4 .

4. La molécule de tétrachlorure de carbone est-elle polaire ? Justifier.

Données

- **Numéros atomiques des atomes :** C ($Z = 6$); Cl ($Z = 17$);
- **Électronégativité χ des atomes :** $\chi(\text{C}) = 2,55$; $\chi(\text{Cl}) = 3,16$.

Pour aller plus loin

34 Le serpent qui se mord la queue

✓ APP : Extraire l'information utile

1. À partir des documents, donner la formule brute du benzène puis établir sa représentation de Lewis.
2. Cette représentation respecte-t-elle les hypothèses établies en chimie par Kekulé ?
3. Quelle est la géométrie observée autour des atomes de carbone de cette molécule ?
4. Le benzène a longtemps été utilisé comme solvant mais son usage est désormais très encadré en raison de sa toxicité. Ce solvant est-il polaire ou apolaire ?

Doc. 1 Le benzène et les travaux de Kekulé



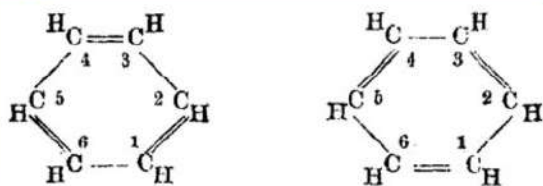
Friedrich August Kekulé von Stradonitz (1829-1896) est un chimiste organicien allemand célèbre pour ses travaux sur la tétravalence du carbone et sur la formule développée du benzène. En 1858, Kekulé émet deux hypothèses :

- le carbone est toujours tétravalent ;
- les composés organiques sont

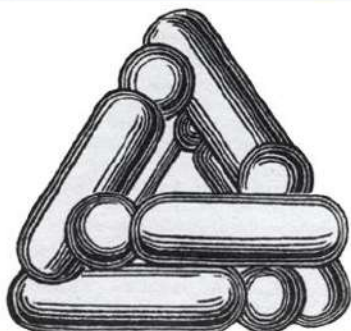
des enchaînements d'atomes de carbone, ayant échangé entre eux, une ou plusieurs unités de saturation (c'est ainsi qu'il nomme les liaisons simples voire doubles). En 1865, il travaille sur la formule développée du benzène de formule brute C_6H_6 . Aucune des formules auxquelles il songe, linéaire ou ramifiée, ne correspond parfaitement avec la monovalence de l'hydrogène H et surtout la tétravalence du carbone C.

Il propose finalement une structure cyclique, la première dans l'histoire de la chimie, avec un cycle de six atomes de carbone liés par des liaisons simples et doubles en alternance.

Doc. 2 La structure cyclique du benzène proposée par Kekulé



Doc. 3 Structure spatiale du benzène selon Kekulé



Données

- Numéros atomiques des atomes : C ($Z = 6$) ; H ($Z = 1$) ;
- Électronégativité χ des atomes : $\chi(C) = 2,55$; $\chi(H) = 2,20$.

Doc. 4 Le rêve de Kekulé

Kekulé raconte que sa théorie a été créée lorsqu'une nuit, il rêve de l'ouroboros : « Je tournais ma chaise vers le feu et tombais dans un demi-sommeil. De nouveau, les atomes s'agitèrent devant mes yeux [...] De longues chaînes, souvent associées de façon plus serrée, étaient toutes en mouvement, s'entrelaçant et se tortillant comme des serpents. Mais attention, qu'était-ce que cela ? Un des serpents avait saisi sa propre queue, et cette forme tournoyait de façon moqueuse devant mes yeux. Je m'éveillai en un éclair. » Et de conclure : « Apprenons à rêver, mais gardons-nous de rendre publics nos rêves avant qu'ils n'aient été mis à l'épreuve par notre esprit bien éveillé. » Les historiens débattent encore sur la vérité de cette histoire : certains croient que Kekulé l'aurait inventée quand il l'a racontée en 1890.

D'après « Friedrich August Kekulé von Stradonitz » societechimiquedefrance.fr.

Doc. 5 L'ouroboros

L'ouroboros est un dessin ou un objet représentant un serpent ou un dragon qui se mord la queue. Il s'agit d'un mot grec latinisé sous la forme *uroborus* qui signifie littéralement « qui se mord la queue ».



D'après « Ouroboros », de Wikipedia.org.

Numérique

Comment Kekulé eut l'idée de passer de la formule brute du benzène à la structure de la molécule ? Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'informations. LLS.fr/PC1P126

Doc. 6 Une nouvelle description du benzène

Au début des années 1930, la meilleure description de la structure du benzène restait celle du chimiste Friedrich August Kekulé, à savoir la transition rapide entre deux structures dans lesquelles les liaisons simples et doubles seraient alternées, les liaisons simples venant prendre la place des doubles et réciproquement.



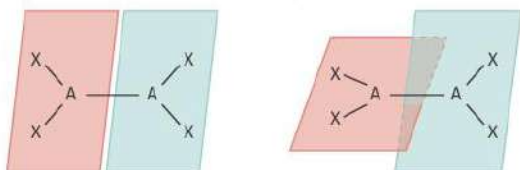
Linus Pauling montre qu'une description intermédiaire entre les deux structures, basée sur la mécanique quantique, est plus pertinente : il s'agit de la superposition de ces deux structures. Ce phénomène sera plus tard baptisé du nom de résonance.

35 Limitation du modèle VSEPR et avènement de la mécanique quantique

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

La méthode VSEPR est adoptée pour décrire la géométrie de molécules simples possédant un seul atome central. Cependant, pour des molécules plus complexes, avec plusieurs atomes centraux liés les uns aux autres, la théorie VSEPR se retrouve mise en échec.

Un exemple classique de cette limite est la molécule d'éthène C_2H_4 . Les mesures expérimentales montrent que tous les atomes de cette molécule sont dans un même plan. Dans une molécule possédant deux atomes centraux, il est possible de représenter les liaisons de chaque atome central par rapport à un plan. Dans la figure de gauche, les deux plans comprenant les liaisons de chaque atome central sont parallèles. Dans la figure de droite, les deux plans comprenant les liaisons de chaque atome central sont perpendiculaires.



1. Représenter la formule de Lewis de l'éthène en numérotant avec les indices 1 et 2 les deux atomes de carbone.
2. Combien d'atomes centraux possèdent la molécule. Quels sont ces atomes ?
3. Donner la géométrie observée pour chaque atome central.
4. À partir des observations ci-dessus, proposer une explication sur les limites du modèle VSEPR.



HISTOIRE DES SCIENCES

La mécanique quantique permet d'étudier la position ou le mouvement des électrons et de définir notamment le modèle des orbitales moléculaires. Ces orbitales moléculaires sont constituées d'orbitales atomiques qui délimitent une zone de l'espace dans laquelle les électrons sont susceptibles de se trouver autour de chaque atome. Ainsi, les orbitales atomiques ayant des formes régies par la mécanique quantique, les liaisons que peut former un atome sont limitées, ce qui contraint la géométrie des molécules. On doit à Linus Pauling la plupart des connaissances dans ce domaine particulier qu'est la chimie quantique.

Linus Pauling a commencé à publier ses travaux sur la nature de la liaison chimique au début des années 1930, ces travaux aboutissent en 1939 avec *The Nature of the Chemical Bond*. Ce livre est l'un des plus importants livres de chimie publiés. Linus Pauling reçoit le prix Nobel de chimie en 1954 puis un prix Nobel de la paix en 1962 pour son engagement pacifiste sur le nucléaire.

36 La molécule de l'ADN

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

BAC



HISTOIRE DES SCIENCES

En 1951, Linus Pauling et ses collègues proposent l'hélice α et le feuillet β comme motifs structuraux principaux de la structure des protéines. Linus Pauling propose une structure hélicoïdale pour l'ADN basée sur ses découvertes précédentes mais il commet quelques erreurs dans la description de cette structure. Lorsque William Lawrence Bragg, en compétition avec Linus Pauling, apprend que ce dernier travaille sur la structure de molécule d'ADN, il autorise James Dewey Watson et Francis Crick à proposer un modèle de l'ADN en utilisant des travaux non publiés de Maurice Wilkins et Rosalind Franklin du King's College de Londres.



En 1953, Watson et Crick proposent une structure correcte pour la double hélice d'ADN, ce qui leur vaudra le prix Nobel de physiologie ou médecine en 1962... et cela au détriment de Rosalind Franklin dont ils ne citent jamais les travaux qui leur ont permis de proposer une structure correcte !

Les deux brins de la structure d'ADN s'enroulent l'un autour de l'autre pour former la fameuse double hélice de l'ADN.

Cette structure en double hélice est particulièrement stable grâce à la création de liaisons hydrogène entre les bases nucléiques qui se font face sur chaque brin. L'interaction entre ces molécules peut être symbolisée de manière simplifiée par une liaison hydrogène entre les molécules de CH_2O et NH_3 et entre les molécules NH_3 et $HNCH_2$.



1. Établir les formules de Lewis de CH_2O et NH_3 .
2. Quelle est la géométrie de ces deux molécules ?
3. Proposer une formule de Lewis pour la molécule de $HNCH_2$.
4. Proposer la géométrie de cette molécule en considérant l'atome d'azote comme étant l'atome central.

Remarque : Pour aller plus loin, faire l'exercice 🧠.

37 Des molécules hypervalentes

✓ APP : Extraire l'information utile

L'acide sulfurique est une espèce chimique dite hypervalente.

- À l'aide des documents, proposer une formule de Lewis pour cette molécule.

Doc. 1 Étiquette d'une bouteille d'acide sulfurique

Acide sulfurique (> 15 %)
 H_2SO_4

DANGER

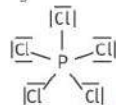
H314 (1A) : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves



Doc. 2 Entité chimique hypervalente

Une entité chimique est dite hypervalente si elle comporte un atome entouré de plus de huit électrons, cet atome ne respecte alors pas la règle de l'octet. L'ion triiodure I_3^- , l'ion phosphate PO_4^{3-} ou encore le pentachlorure de phosphore PCl_5 sont des entités chimiques hypervalentes.

Voici, par exemple, la représentation de Lewis du pentachlorure de phosphore :



Doc. 3 Un terme contesté

Ronald J. Gillespie, célèbre chimiste canadien, spécialiste de géométrie moléculaire, a contesté le terme hypervalent dans un article intitulé « *The octet rule and hypervalence: two misunderstood concepts* ». Il y indique qu'il n'y a pas de différence fondamentale entre des composés hypervalents et des composés non hypervalents et il propose d'abandonner ce terme.

Données

• Numéros atomiques des atomes :

H (Z = 1) ; C (Z = 6) ; O (Z = 8) ; S (Z = 16).

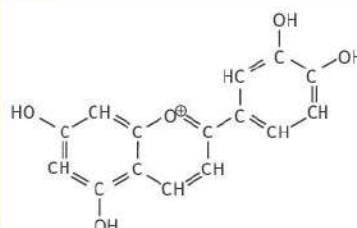
38 La myrtille, un fruit qui vous veut du bien !

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

La molécule de cyanidine est une des molécules responsables de la couleur des baies de myrtille.

- Proposer une explication.

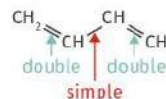
Doc. 1 La couleur des myrtilles



La myrtille tient sa couleur bleu-violet de la molécule de cyanidine représentée ci-contre.

Doc. 2 Molécules responsables d'une coloration

Ces molécules présentent une alternance régulière de liaisons doubles C = C séparées par une liaison simple C - C, on dit que ces liaisons sont conjuguées.



Doc. 3 Groupements auxochromes

Les groupements auxochromes au sein de molécules contenant des liaisons conjuguées sont responsables de la couleur des entités chimiques.

On parle d'effet bathochrome lorsque la fréquence d'absorption est diminuée : dans ce cas, l'absorption se déplace vers de plus grandes longueurs d'onde.

Voici les 3 principaux

groupes auxochromes à —OH —C(=O)—OH —S(=O)(OH)₂

effet bathochrome.

Retour sur la problématique du chapitre

39 Linus Pauling, la liaison hydrogène et la molécule d'ADN

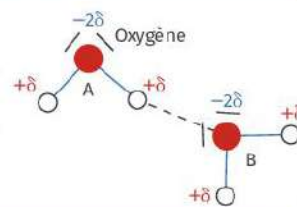
✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Les deux brins de la structure d'ADN s'enroulent l'un autour de l'autre pour former la double hélice de l'ADN. Cette structure en double hélice est particulièrement stable grâce à la création de liaisons hydrogène entre les bases nucléiques qui se font face sur chaque brin.

- À l'aide de l'exercice 36, modéliser les liaisons hydrogène au sein de la molécule d'ADN.

Modélisation de la liaison hydrogène

Elle se forme entre un atome H lié à un atome électronégatif (ici dans H_2O) et un atome électronégatif d'une autre molécule (ici l'eau).



CLASS
INVERSE

Plan de travail

A Du schéma de Lewis à la géométrie des molécules

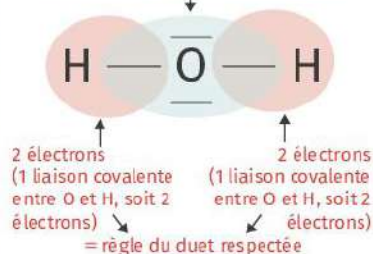
Les électrons font la paire !

Activité documentaire autour du « modèle de Lewis ».

À prolonger avec la partie 1 du cours. Puis s'exercer :

→ Rédiger les exercices 12, 13, 21 et 22.

8 électrons (2 doublets non liants, soit 4 électrons, et 2 liaisons covalentes, soit 4 électrons) = règle de l'octet respectée



S'entraîner avec l'exercice corrigé

Prolonger en complétant le tableau ci-dessous.

Ion	Nitrite NO_2^-		
Atomes	N	O	O
Configuration électronique			
Électrons de valence			
Nombre d'électrons manquants pour respecter la règle de l'octet			
n_t			
Nombre de doublets			

Comment expliquer la géométrie dans l'espace des entités chimiques ?

Activité expérimentale 2 avec *MirageMake* autour de la géométrie des molécules.

À prolonger avec la partie 2 du cours

→ Rédiger les exercices 14, 24 et 25.

Pour aller plus loin :

Découvrir le chimiste Kekulé et la molécule de benzène avec l'exercice 26.

B Électronégativité et polarité des molécules



Comment peut-on expliquer le caractère polaire d'une molécule ?

👉 Visionner pour commencer une vidéo sur [LLS.fr/PC1P129](https://lls.fr/PC1P129).

Activité d'exploration 3 sur les molécules polaires et apolaires.

À prolonger avec la partie 3 du cours de ce chapitre

→ Rédiger les exercices 16, 17, 26 et 27.

Comment évolue l'électronégativité dans le tableau périodique ?

Quelques valeurs d'électronégativité χ des atomes avec le tableau suivant.

H 2,20						
Li 0,98	Be 1,57	B 2,04	C 2,55	N 3,04	O 3,44	F 3,98
Na 0,93	Mg 1,31	Al 1,61	Si 1,90	P 2,19	S 2,58	Cl 3,16
K 0,82	Ca 1,00	Ga 1,61	Ge 2,01	As 2,18	Se 2,55	Br 2,96
Rb 0,82	Sr 0,95	In 1,78	Sn 1,96	Sb 2,05	Te 2,1	I 2,66

Se rendre au chapitre suivant pour comprendre les conséquences de la polarité des molécules sur les propriétés physiques et chimiques observables au niveau macroscopique :

- de nouvelles liaisons : les liaisons hydrogène et les liaisons de Van der Waals ;
- la solubilité dans un solvant ;
- la miscibilité ou la non-miscibilité des espèces chimiques ;
- l'hydrophilie, la lipophilie et les propriétés des savons !

→ voir p. 175

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver une activité numérique à télécharger et à réaliser. [LLS.fr/PC1P129](https://lls.fr/PC1P129)

Interpréter les propriétés d'une espèce chimique

DÉCONSTRUIRE LES IDÉES FAUSSES



➤ Le sucre et le sel de cuisine sont deux solides blancs mais leurs structures microscopiques sont-elles identiques ?

→ voir l'exercice 34, p. 147



Travailler

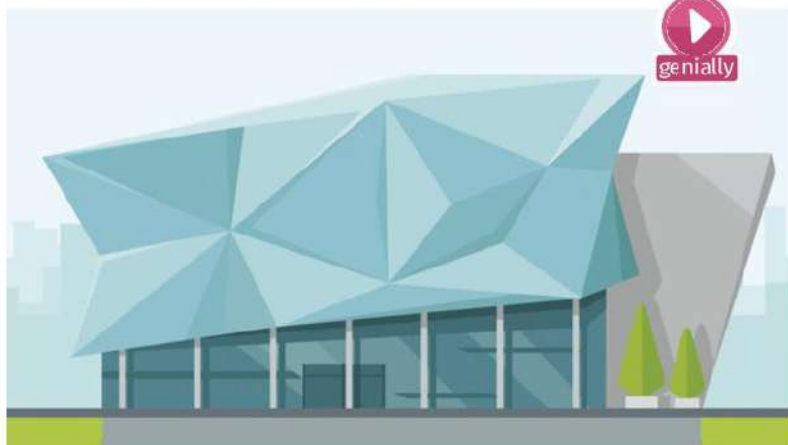
autrement

JEU
SÉRIEUX

Vous êtes enfermé dans le laboratoire de chimie, à vous de trouver la sortie en résolvant les énigmes au sujet des cristaux !

LLS.fr/PC1P130

Voir p. 149



EMPLOYEZ QUE LE



NLIGHT SAVON

Affiche de Berchmans, v. 1890.

→ Pourquoi le savon permet-il d'éliminer les salissures ?

→ voir l'activité 3, p. 134

À revoir pour bien commencer

- › Concentrations en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
- › Solutions, soluté, solvant
- › Solubilité, miscibilité
- › Propriétés physiques des espèces chimiques

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P131

Objectifs du chapitre

- ☐ Connaître la nature des interactions entre entités
- ☐ Savoir expliquer la cohésion au sein des solides ioniques et moléculaires
- ☐ Savoir modéliser la dissolution d'un composé ionique dans l'eau et déterminer les concentrations des ions
- ☐ Interpréter un protocole d'extraction liquide-liquide
- ☐ Savoir expliquer le caractère amphiphile d'un savon et citer des applications des tensioactifs

1 Du microscopique au macroscopique 60'

Une coupelle contenant une solution aqueuse de chlorure de sodium saturée laisse apparaître après quelques jours de magnifiques cristaux cubiques !

→ Quelles propriétés des entités constituant le sel sont à l'origine de sa structure ?

Par intuition

Les cristaux ont-ils tous la même structure ?

Doc. 1 L'interaction électrostatique

Deux corps ponctuels A et B, portant des charges électriques respectives q_A et q_B , s'attirent ou se repoussent mutuellement avec des forces d'égales intensités, mais opposées vectoriellement.

L'attraction ou la répulsion qu'ils exercent l'un sur l'autre est :

- proportionnelle à leurs charges q_A et q_B ;
- inversement proportionnelle au carré de la distance d qui les sépare.

La valeur de la force de Coulomb est donnée par la relation :

$$F = k \cdot \frac{|q_A \cdot q_B|}{d^2}$$

avec k la constante de Coulomb ($k = 9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$), F en newton (N), q_A et q_B en coulomb (C) et d en m.

Numérique

Retrouvez une simulation pour visualiser la force électrique qui s'applique sur un capteur placé à proximité d'une charge électrique positive ou négative. [LLS.fr/PC1ChargeEtChamps](https://lls.fr/PC1ChargeEtChamps)

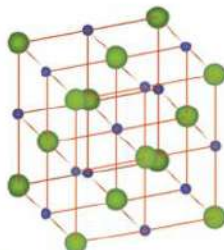
Doc. 2 Organisation des ions dans le cristal

Dans le solide, les ions chlorure Cl^- et les ions sodium Na^+ sont organisés dans un empilement périodique et symétrique. C'est un réseau cubique à faces centrées. Les ions chlorure occupent les sommets d'un cube d'arête a , et le milieu de chacune des faces. Les ions sodium occupent le centre du cube et le centre de chacune des arêtes du cube. La distance entre un cation et un anion voisin est égale à $\frac{a}{2}$. La distance entre deux cations ou deux anions proches est égale à : $a \frac{\sqrt{2}}{2}$.



Retrouver plus d'informations sur les cristaux en Enseignement scientifique. [LLS.fr/ES1P27](https://lls.fr/ES1P27)

Doc. 3 Le cristal de chlorure de sodium



En vert : l'ion chlorure.
En bleu : l'ion sodium.
Longueur de l'arête du cube :
 $a = 5,64 \times 10^{-10} \text{ m}$.



Compétence

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques

- 1. Doc. 1** Comment la valeur de la force de Coulomb évolue-t-elle si la distance entre deux charges ponctuelles est divisée par deux ?
- 2. Doc. 2** Quelle est la valeur de la charge électrique portée par un ion chlorure ? Et celle portée par un ion sodium ?
- 3.** Calculer la valeur de la force qui s'exerce entre deux ions chlorure proches puis entre un ion sodium et un ion chlorure voisins. Les comparer. (Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$).

Synthèse de l'activité

Expliquer l'origine de la cohésion des solides ioniques.

2 Solubilité de l'acide benzoïque 90'

L'acide benzoïque est un additif alimentaire qui est solide à la température ambiante. Il est peu soluble dans l'eau, et soluble dans l'éthanol et l'acétone.

→ Quels paramètres influent sur la solubilité d'une espèce chimique ?

Par intuition

Pourquoi ne pourrait-on pas dissoudre n'importe quelle espèce chimique solide dans n'importe quel liquide ?

Doc. 1 Propriétés physiques de l'acide benzoïque

Molécule	Acide benzoïque
Formule	$C_6H_5O_2$ 
Propriétés physiques	• $\theta_{\text{fusion}} : 122\text{ }^\circ\text{C}$; densité : $d = 1,3$; • Solubilité : $s(\text{eau}) = 2,9\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ à $20\text{ }^\circ\text{C}$; • Soluble dans l'éthanol et l'acétone.

Doc. 2 Matériel nécessaire

- Une balance de précision avec une coupelle et une spatule ;
- Plusieurs béchers de 20 mL et un agitateur en verre ;
- Éthanol ;
- Une pipette jaugée de 10,0 mL ;
- Acide benzoïque en poudre ;
- Pissette d'eau distillée ;
- Acétone (propanone).

Doc. 3 Vérifier une solubilité dans un solvant

Pour vérifier qu'une espèce chimique est soluble dans un solvant, on peut procéder ainsi :

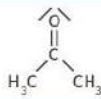
- introduire dans un bécher un volume $V = 10,0\text{ mL}$ du solvant à l'aide d'une pipette jaugée ;
- peser précisément une masse m de soluté ;
- ajouter cette masse m de soluté dans le bécher ;
- agiter le contenu du bécher avec un agitateur en verre ou sur agitateur magnétique ;
- observer le contenu du bécher et conclure.

Observation	Interprétation / conclusion
La solution est limpide	Le soluté est soluble dans le solvant
La solution est trouble	Le soluté est soluble, mais on est proche de la limite de solubilité
Il reste des grains solides au fond du bécher	La solution est saturée : on a dépassé la limite de solubilité de l'espèce dans le solvant

Données

• Électronégativité des atomes (échelle de Pauling) :

$\chi(\text{C}) : 2,55$; $\chi(\text{H}) : 2,2$; $\chi(\text{O}) : 3,44$.

Molécules	Formule de Lewis
Eau	
Acétone	
Éthanol	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{H}$

Compétence

✓ REA : Mettre en œuvre un protocole

1. **Doc. 1** Quelle masse maximale d'acide benzoïque peut-on dissoudre théoriquement dans 10,0 mL d'eau distillée à $20\text{ }^\circ\text{C}$?
2. **Doc. 3** Mettre en œuvre le protocole pour l'acide benzoïque dans l'eau et comparer la valeur de solubilité trouvée à la valeur théorique.
3. Refaire l'expérience en remplaçant l'eau par l'éthanol puis par l'acétone.
4. À partir de leurs représentations de Lewis, étudier la polarité de l'acide benzoïque et des solvants.

Synthèse de l'activité

Proposer une explication sur la différence de solubilité de l'acide benzoïque dans les différents solvants.

3 Les propriétés des savons

Le savon est un composé déjà connu au III^e millénaire av. J.-C. dans les royaumes de Babylone et Sumer.

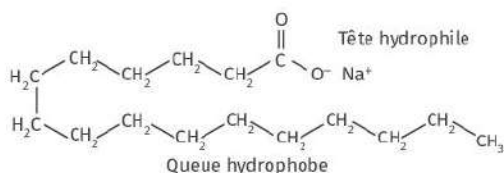
→ **Comment un savon permet-il d'enlever des taches de graisse ?**

Par intuition

Quelles particularités possède un savon pour éliminer une tache ?

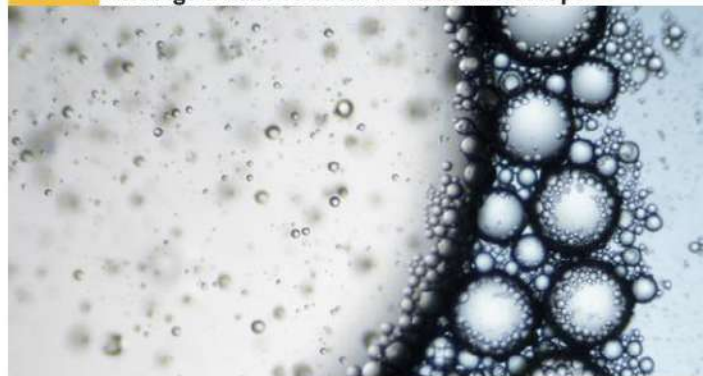
Doc. 1 Représentation du savon

Les savons sont des composés ioniques aux propriétés particulières : ce sont des composés combinant une tête hydrophile (qui aime l'eau) et une queue lipophile (qui aime le gras).



Ce sont donc des composés amphiphiles, aussi appelés tensioactifs.

Doc. 2 Mélange d'huile et de savon vu au microscope



Numérique

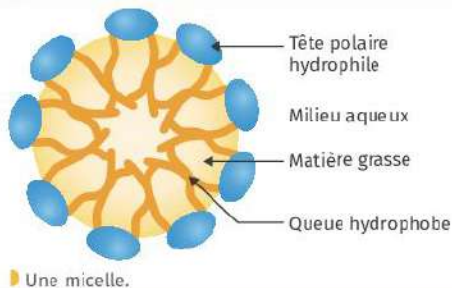
Retrouvez une activité sur le rôle des molécules amphiphiles dans le monde du vivant.

[LLS.fr/ES1P48](https://lls.fr/ES1P48)

Doc. 3 Propriétés des savons

Lors d'un lavage avec du savon, les taches de graisse d'un tissu sont entraînées par l'eau : le savon se localise à l'interface entre l'eau et la graisse à nettoyer, la chaîne hydrophobe (qui n'aime pas l'eau) du savon se dissout dans la graisse et sa tête hydrophile (qui aime l'eau) se dissout dans l'eau, la graisse est ainsi enfermée à l'intérieur d'une micelle puis dispersée dans l'eau de lavage.

Doc. 4 Formation de micelles



Numérique

Découvrez une animation sur l'organisation des molécules de tensioactif au niveau microscopique.

[LLS.fr/PC1Tensioactifs](https://lls.fr/PC1Tensioactifs)

Compétence

✓ APP : Extraire l'information sur des supports variés

1. **Doc. 3** Justifier le caractère hydrophile de la tête du savon.

2. **Doc. 3** Justifier le caractère lipophile de la queue du savon.

3. **Doc. 3** Expliquer le terme amphiphile.

4. **Doc. 4** Représenter une micelle inverse, structure formée dans un solvant organique dans lequel se trouvent une goutte d'eau et des tensioactifs.

Synthèse de l'activité

Justifier en quoi le caractère amphiphile du savon lui permet de laver.

4 Choisir le bon solvant 80'

Un élève a versé par inadvertance une solution aqueuse de diiode dans un erlenmeyer contenant une solution de sulfate de cuivre (II).

→ Comment extraire le diiode de ce mélange ?

Par intuition

Est-il possible de récupérer la solution de diiode d'origine ?

Doc. 1 Utilisation de l'ampoule à décanter

Pour réaliser une extraction liquide-liquide :

- poser l'ampoule dans son support ;
- vérifier que le robinet est fermé ;
- introduire la solution dans l'ampoule à décanter ;
- ajouter le solvant extracteur et boucher l'ampoule ;
- enlever l'ampoule de son support et agiter en retournant plusieurs fois ;
- dégazer régulièrement en ouvrant le robinet, ampoule renversée ;
- poser l'ampoule sur son support ;
- enlever le bouchon et laisser décanter ;
- ouvrir doucement le robinet et faire couler la première phase (la plus dense) dans un bécher ;
- récupérer la deuxième phase dans un autre bécher.

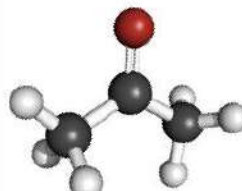
Doc. 2 Matériel nécessaire

- Un flacon contenant un mélange constitué d'une solution aqueuse de sulfate de cuivre (II) ($c = 0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) et du diiode dissous ;
- Une ampoule à décanter sur son support et un bouchon ;
- Un flacon de cyclohexane et un flacon d'acétone ;
- Un flacon d'éther ;
- Une pissette d'eau distillée ;
- Des béchers de 50 mL et une pipette simple.

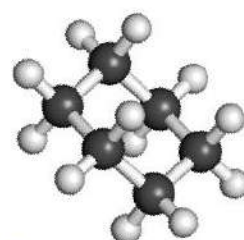
Données

Solvant	Eau	Cyclohexane	Acétone	Éther
Solubilité du diiode I_2	$330 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$2,7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	/	$25,2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
Solubilité du sulfate de cuivre (II) CuSO_4	Totale	Nulle	Nulle	Nulle
Densité	1,00	0,78	0,78	0,71
Miscibilité avec l'eau	/	Aucune	Totale	Partielle
Pictogrammes				

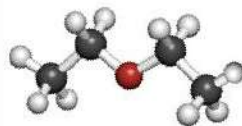
Doc. 3 Modèles moléculaires



Acétone (propanone).



Cyclohexane.



Éther (diéthyléther).



Diiode.



Retrouver une animation pour comprendre la polarité des molécules. [LLS.fr/PC1P135](https://lls.fr/PC1P135)

Compétence

✓ REA : Mettre en œuvre un protocole

1. Choisir le solvant extracteur d'après les données. Justifier son choix.
2. **Doc. 1** Réaliser cette extraction après validation du solvant choisi par le professeur.
3. **Doc. 3** Étudier la polarité des molécules en jeu (voir électronégativités, données p. 133).
4. Étudier les interactions entre les molécules du soluté et celles des différents solvants. L'analyse faite est-elle en accord avec le solvant choisi à la question 1. ?

Synthèse de l'activité

Comment choisir un solvant extracteur ?

1 Cohésion dans un solide

A La cohésion d'un composé solide ionique

Un solide ionique est une structure solide, constituée d'un empilement compact et régulier de cations (ions chargés positivement) et d'anions (ions chargés négativement) en proportions invariables.

La cohésion (stabilité) du solide ionique est assurée par les interactions électriques entre les cations et les anions.

➤ Deux corps qui portent des charges de même signe se repoussent. Deux corps qui portent des charges de signe opposé s'attirent.

Au sein du solide ionique, les cations se repoussent, les anions se repoussent, et les cations et anions s'attirent. Les distances entre cations et anions étant plus petites qu'entre deux cations ou deux anions, les interactions attractives sont plus intenses que les interactions répulsives, ce qui rend le solide cohérent, avec des ions collés les uns aux autres.

Le solide ionique est électriquement neutre : il contient autant de charges positives que de charges négatives.

La formule statistique d'un solide ionique rend compte des proportions de cations et d'anions dans le solide, en indiquant d'abord le symbole du cation, puis celui de l'anion, sans la charge électrique.

B La cohésion d'un composé solide moléculaire

➤ Le solide moléculaire est constitué d'un empilement compact et régulier de molécules.

La cohésion des solides moléculaires est assurée par des interactions électrostatiques appelées **interactions de Van der Waals**. Parfois, des **liaisons hydrogène** s'ajoutent.

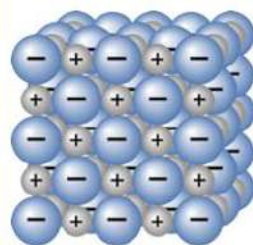
L'énergie mise en jeu dans les solides moléculaires est très inférieure à celle mise en jeu dans la cohésion des solides ioniques : il est donc plus facile de rompre les liaisons dans un solide moléculaire que dans un solide ionique.

Les interactions de Van der Waals sont des interactions électrostatiques de faible intensité, de courte portée et attractives entre des atomes ou des molécules.

➤ Il existe plusieurs types de forces de Van der Waals :

- les interactions entre **molécules polaires** : les zones qui portent des charges partielles opposées s'attirent ;
- les interactions entre **molécules apolaires** : le nuage électronique fluctue en permanence, à un instant t , une molécule possède une zone chargée positivement et une autre zone chargée négativement. Il peut donc y avoir des interactions électrostatiques entre la zone + d'une molécule et la zone - d'une autre molécule proche.

Doc. 1 Représentation dans l'espace



Dans le solide ionique, les cations sont entourés d'anions, et les anions sont entourés de cations.

Éviter les erreurs

- Attention, la proportion entre le nombre de cations et le nombre d'anions dépend de leurs charges : ils ne sont pas toujours en nombre égal.
- Le solide ionique étant électriquement neutre, on n'écrit pas de charge électrique même s'il est constitué d'ions.

Pas de malentendu

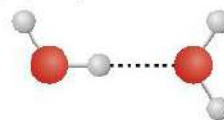
- La formule statistique traduit la proportion des ions, mais non leur nombre. Un cristal ionique contient des milliards de milliards d'ions.

Pas de malentendu

- Dans un solide, les entités ne sont pas parfaitement immobiles, elles vibrent autour d'une position.

Vocabulaire

- **Cohésion** : interaction qui maintient les atomes, les molécules, les ions « collés » les uns aux autres.
- **Pont hydrogène (ou liaison hydrogène)** : interaction électrostatique faible entre un atome d'hydrogène portant une charge partielle positive et un atome très électronégatif (O, N, Cl, etc.).



2 Dissolution des solides ioniques dans l'eau

A Les interactions entre l'eau et les ions

La molécule d'eau est polaire et peut interagir avec les ions du solide ionique. Ces interactions entre l'eau et les ions permettent d'expliquer la dissolution d'un solide ionique dans l'eau.

Lorsqu'on dissout un solide ionique dans l'eau, on obtient une solution aqueuse contenant des ions qui se combinent avec les molécules d'eau qui les entourent (doc. 2).

- La dissolution d'un solide ionique se déroule en trois étapes :
 - la **dissociation** du solide ionique : les molécules d'eau s'approchent du solide et fragilisent les interactions électrostatiques qui existent entre les cations et les anions, qui se rompent ;
 - la **solvatation** : les molécules d'eau entourent les ions : on dit qu'ils sont **solvatés** ou **hydratés** ;
 - la **dispersion** : les ions solvatés s'éloignent du solide et se dispersent parmi les molécules d'eau.

B La modélisation au niveau macroscopique

La dissolution d'un solide ionique A_xB_y se modélise, au niveau macroscopique, par une équation de réaction.

L'équation de dissolution d'un solide ionique A_xB_y dans l'eau s'écrit :

$$A_xB_y(s) \xrightarrow{\text{eau}} xA^{m+}(aq) + yB^{n-}(aq).$$

Le symbole (s) signifie que le solide ionique est à l'état solide. Le cation A^{m+} et l'anion B^{n-} sont solvatés, on l'indique en écrivant (aq). L'équation de la réaction est équilibrée en charge. La neutralité de la solution est donc respectée.

C Concentration des ions dans une solution

La concentration c en soluté apporté (en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) d'une solution est définie par :

$$c = \frac{n}{V} \text{ avec } c : \text{concentration en soluté apporté (mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{)} ;$$

$$V : \text{volume de la solution (L)}.$$

La concentration des ions A^+ dans la solution est notée $[A^+]$.

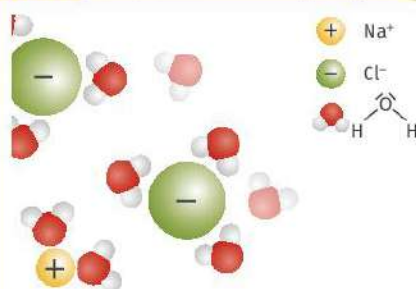
Exemple : dans la solution d'iodure de fer (II) de concentration en soluté apporté c , $[\text{Fe}^{2+}] = c$ et $[\text{I}^-] = 2c$.

Le tableau d'évolution du système permet de le vérifier :

Équation de la réaction	$\text{FeI}_2(s)$	$\longrightarrow$	$\text{Fe}^{2+}(aq)$	$+$	$2\text{I}^-(aq)$
État initial	n		0		0
État final	$n - x_{\text{max}} = 0$		x_{max}		$2x_{\text{max}}$

$$\text{Car } [\text{Fe}^{2+}] = \frac{x_{\text{max}}}{V} = c \text{ et } [\text{I}^-] = \frac{n(\text{I}^-)}{V} = \frac{2x_{\text{max}}}{V} = 2c.$$

Doc. 2 Solvatation d'une espèce par l'eau



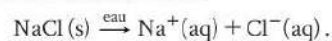
Les molécules de solvant entourent les ions avec la zone portant une charge opposée à celle de l'ion.

Éviter les erreurs

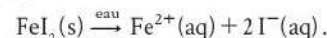
Attention à ne pas confondre dissolution d'un solide ionique et fusion (passage de l'état solide à l'état liquide).

Doc. 3 Mise en équation

L'équation de dissolution du chlorure de sodium dans l'eau s'écrit :



L'équation du sulfate de potassium s'écrit :



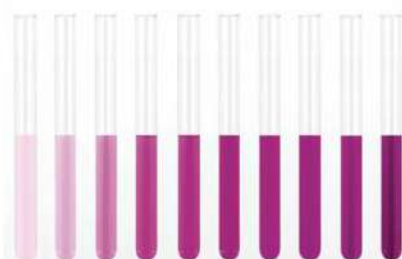
Pas de malentendu

L'équation de dissolution et l'équation de formation du solide ionique traduisent deux sens inverses d'une transformation. Par exemple : l'équation de dissolution du chlorure d'argent s'écrit :

$$\text{AgCl}(s) \xrightarrow{\text{eau}} \text{Ag}^+(aq) + \text{Cl}^-(aq).$$

L'équation de la formation du précipité de chlorure d'argent s'écrit : $\text{Ag}^+(aq) + \text{Cl}^-(aq) \longrightarrow \text{AgCl}(s).$

Doc. 4 Solutions de permanganate en solution



Différentes solutions de permanganate de potassium à des concentrations différentes.

3 Extraction par un solvant

A Solubilité dans un solvant

➤ La solubilité d'un soluté dans un solvant traduit sa capacité à se dissoudre dans ce solvant.

La solubilité, notée s (exprimée en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), d'une espèce chimique (solide, liquide ou gaz) correspond à la masse maximale de cette espèce que l'on peut dissoudre dans un litre de solvant, généralement de l'eau.

➤ La solubilité dépend de la température et de la nature du solvant, car elle est liée aux interactions, au niveau microscopique entre le soluté (molécule, ion, atome) et le solvant : plus les interactions sont nombreuses et plus le soluté est soluble dans le solvant.

Une espèce chimique peut être insoluble dans un solvant : dans ce cas, le soluté ne se dissout pas dans le solvant.

B Miscibilité de deux liquides

➤ Lorsqu'un soluté est liquide, il peut être soluble dans un solvant, en toutes proportions. Dans ce cas, on dit que les deux liquides sont miscibles.

Des liquides sont miscibles lorsqu'ils se mélangent l'un avec l'autre pour former un mélange homogène.

C Extraction par un solvant

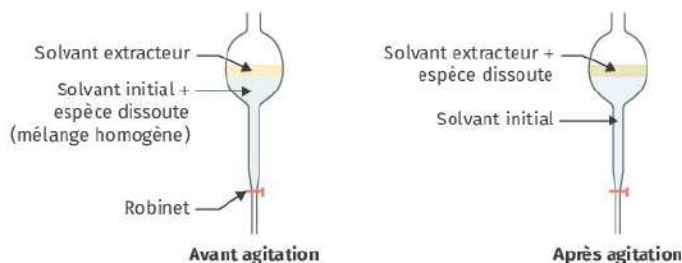
➤ L'extraction par un solvant (extraction liquide-liquide) est une technique expérimentale qui permet d'extraire une espèce dissoute dans une solution.

Le choix du solvant extracteur est lié à ses propriétés physiques :

- le soluté doit être plus soluble dans le solvant extracteur que dans le solvant initial ;
- le solvant extracteur ne doit pas être miscible avec le solvant initial.

➤ Pour réaliser l'extraction par solvant, on utilise une ampoule à décanter.

➔ Activité 4, p. 135



Doc. 5 Interactions soluté/solvant

Les interactions entre le soluté et le solvant sont de plusieurs types :

- interactions entre ions et molécules polaires (ex. : le sel dans l'eau) ;
- interaction entre molécules polaires (ex. : le glucose dans l'eau) ;
- interaction entre molécules apolaires (ex. : le diiode dans le cyclohexane) ;
- formation de ponts hydrogène entre le soluté et le solvant (ex. : l'éthanol dans l'eau).

Éviter les erreurs

- ➔ La solubilité correspond à la concentration en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (ou en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) du soluté dans la solution saturée, c'est-à-dire une solution dans laquelle la concentration en soluté est maximale.
- ➔ Ne pas confondre miscibilité et solubilité. La **miscibilité** concerne deux liquides qui se mélangent en toute proportion. La **solubilité** concerne un soluté qui se dissout plus ou moins dans un solvant.

Numérique

Retrouvez une animation sur l'extraction liquide-liquide en ligne.

[LLS.fr/PC1ExtractionLiquide](https://lls.fr/PC1ExtractionLiquide)

Vocabulaire

- **Solvant initial** : liquide dans lequel se trouve l'espèce dissoute à extraire.
- **Solvant extracteur** : liquide utilisé pour extraire une espèce dissoute dans un autre liquide.

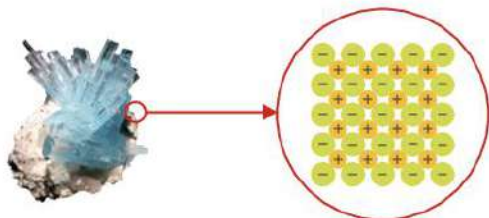
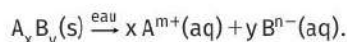
Pas de malentendu

- ➔ Le solvant extracteur est plus ou moins dense que le solvant initial : il se place donc au-dessus ou au-dessous du solvant initial, selon sa densité.

Principales notions

Un solide ionique ou moléculaire contient des entités chimiques (ions ou molécules) empilées régulièrement dans l'espace.

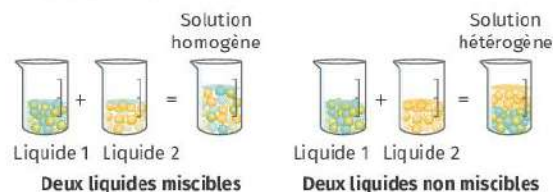
Un solide ionique peut généralement se dissoudre dans l'eau :



Deux liquides sont miscibles si le mélange qu'ils forment est homogène.

La solubilité traduit la capacité d'un soluté à se dissoudre dans un solvant.

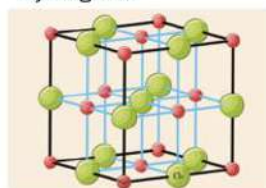
L'extraction par solvant est une technique expérimentale qui consiste à utiliser un solvant pour extraire une espèce dissoute dans un autre solvant en jouant sur les différences de solubilité.



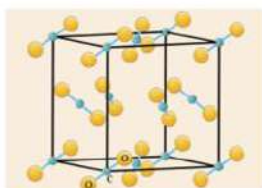
Les éléments essentiels de la modélisation

La **cohésion d'un solide** est assurée par des interactions électrostatiques :

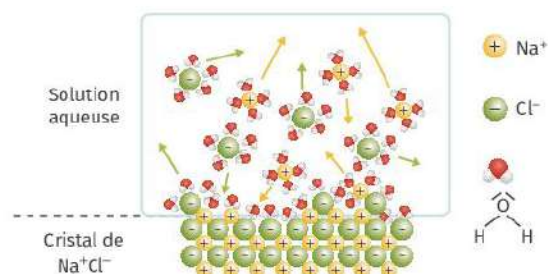
- pour le solide ionique, entre les cations et les anions ;
- pour le solide moléculaire, entre les molécules polaires ou entre les molécules apolaires (interactions de Van der Waals) et parfois avec des ponts hydrogène.



Solide ionique (NaCl).



Solide moléculaire (neige carbonique CO₂).



Au cours de la **dissolution d'un solide ionique** dans l'eau, le soluté se dissocie (les ions se séparent les uns des autres) et les ions s'entourent de molécules d'eau. La solubilité d'un soluté dans un solvant dépend des interactions entre le soluté et le solvant.

Les limites de la modélisation

Les techniques d'extraction liquide-liquide reposent sur les différences de solubilité et de miscibilité entre le soluté et les solvants.

Cependant, il n'est pas rare qu'un soluté soit soluble dans les deux solvants avec des valeurs de solubilité similaires : il faut alors procéder à plusieurs extractions successives.

Par ailleurs, si la concentration en soluté est très élevée, les interactions entre le soluté et le solvant sont trop importantes et on ne peut plus définir alors la concentration en soluté par la simple relation $c = \frac{n}{V}$. Pour cette raison, les concentrations usuelles en soluté apporté dépassent rarement 1 mol·L⁻¹.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour faire une carte mentale et reprendre les principales notions du chapitre ! LLS.fr/PC1P139

1 Cohésion dans un solide

	A	B	C
1. La cohésion d'un solide ionique est assurée par :	les interactions électriques.	les ponts hydrogène.	les interactions de Van der Waals.
2. La formule statistique d'un solide ionique rend compte :	du nombre exact d'ions présents dans une maille.	des proportions entre les cations et les anions.	de la masse des cations et des anions.
3. Quelles sont les interactions à l'origine de la cohésion d'un solide moléculaire contenant des molécules polaires ?	Des interactions de Van der Waals.	Des ponts hydrogène.	L'interaction gravitationnelle.

2 Dissolution des solides ioniques dans l'eau

1. Pour quelle raison la molécule d'eau peut-elle dissocier un solide ionique ?	Parce que la molécule d'eau est polaire.	Parce que la molécule d'eau est coudée.	Parce que les liaisons dans le solide sont très fortes.
2. Comment écrit-on l'équation de dissolution du solide ionique $A_x B_y$ dans l'eau ?	$A_x B_y(s) \xrightarrow{\text{eau}} A^{m+} + B^{n-}$	$A^{m+} + B^{n-} \xrightarrow{\text{eau}} A_x B_y(s)$	$A_x B_y(s) \xrightarrow{\text{eau}} x A^{m+}(aq) + y B^{n-}(aq)$
3. Que signifie le terme solvaté ?	Entouré de molécules de solvant.	Dans le solvant.	En très grande quantité par rapport au solvant.

3 Extraction par un solvant

1. Comment choisir un solvant extracteur vis-à-vis du soluté à extraire ?	Le soluté doit être plus soluble dans le solvant initial que dans le solvant extracteur.	Il doit être plus dense que le solvant extracteur.	Le soluté doit être plus soluble dans le solvant extracteur que dans le solvant initial.
2. Comment nomme-t-on la partie d'une molécule attirée par l'eau ?	Hydrophile.	Amphiphile.	Lipophile.
3. Pourquoi un soluté est-il soluble dans un solvant ?	Parce qu'il présente de nombreuses interactions avec le solvant.	Parce qu'il a une faible solubilité.	Parce qu'il a une grande concentration.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P140

4 Questions Jeopardy ?

- Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :
 - C'est une molécule qui présente des affinités avec l'eau et les corps gras.
 - C'est le résultat du mélange de deux liquides qui ne sont pas miscibles.

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage (Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 402)

□ Savoir modéliser la dissolution d'un composé ionique

11 13

□ Savoir calculer la concentration des ions dans une solution

14

[Diff]

□ Savoir expliquer ou prévoir la solubilité d'une espèce dans un solvant

15

20

□ Interpréter un protocole d'extraction liquide-liquide

16

25

Pour s'échauffer

5 Solides ioniques

- Quelle est la formule statistique du nitrate d'argent, du chlorure de fer (II) et du sulfate d'aluminium ?

Données

Formule des ions :

- ion nitrate NO_3^- ;
- ion argent Ag^+ ;
- ion chlorure Cl^- ;
- ion fer (II) Fe^{2+} ;
- ion sulfate SO_4^{2-} ;
- ion aluminium Al^{3+} .

6 Diiode

- Comment la cohésion du diiode solide est-elle assurée ?

7 Solubilité du sel

Le sel est un solide ionique de formule NaCl .

- Justifier la solubilité $s = 357 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ du sel dans l'eau et sa solubilité $s = 0,51 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ dans l'éthanol.

8 Concentration des ions

On dissout $m = 3,0 \text{ g}$ de chlorure de sodium (NaCl) dans $V = 50 \text{ mL}$ d'eau.

Donnée

- $M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

- Quelle est la concentration des ions dans la solution de chlorure de sodium ?

9 Savon



- Justifier les propriétés amphiphiles d'une molécule de savon.

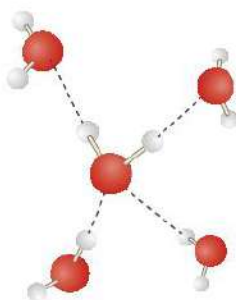
Pour commencer

Cohésion dans un solide

10 La glace

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

L'eau existe sous trois formes : solide, liquide, gaz. À l'état solide, les molécules d'eau sont ordonnées en cristal. Elles sont toutes en interaction les unes avec les autres et sont entourées de quatre molécules d'eau. La figure de molécule d'eau ci-contre représente une des configurations possibles à l'état solide.



1. La molécule d'eau est-elle une molécule polaire ou une molécule apolaire ? Justifier.
2. Quels sont les types d'interactions qui peuvent exister entre les molécules d'eau au sein de la glace ?

Numérique

Retrouvez une animation sur les trois états de la matière en ligne. [LLS.fr/PC1TroisEtats](https://lls.fr/PC1TroisEtats)

Dissolution du solide ionique

11 Carbonate

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique : écrire l'équation

Les ions carbonate CO_3^{2-} forment différents solides ioniques en se combinant avec des cations.

- Écrire l'équation de dissolution du carbonate de magnésium, du carbonate de calcium, du carbonate de sodium et du carbonate d'aluminium.

Données

Formules de quelques ions :

- ion magnésium : Mg^{2+} ;
- ion calcium : Ca^{2+} ;
- ion sodium : Na^+ ;
- ion aluminium : Al^{3+} .

12 Équations à compléter

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique : écrire l'équation

- Compléter les équations de dissolution (dans l'eau) et donner le nom du solide ionique correspondant.

- a. $\text{CuSO}_4 (\dots) \rightarrow \dots \text{Cu}^{2+} (\dots) + \dots (\dots)$.
- b. $\dots (\dots) \rightarrow \dots \text{Al}^{3+} (\dots) + \dots \text{Cl}^- (\dots)$.
- c. $\dots (\dots) \rightarrow \dots \text{Mg}^{2+} (\dots) + \dots \text{HO}^- (\dots)$.
- d. $\text{Al}(\text{OH})_3 (\dots) \rightarrow \dots (\dots) + \dots (\dots)$.

EXERCICES

13 Dissolution ou formation d'un solide

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique : écrire l'équation

- Pour chacune des équations proposées, indiquer s'il s'agit d'une équation de dissolution ou de formation du précipité, et ajuster l'équation si nécessaire.

- $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$.
- $\text{NaHCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HCO}_3^-(\text{aq})$.
- $\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{s})$.

14 Concentration des ions en solution

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre le modèle microscopique et les grandeurs macroscopiques

On dispose au laboratoire de plusieurs solutions aqueuses de concentration en soluté apporté $c = 0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, réalisées par dissolution de divers solutés.

Données

Nom et formule des solutés :

- hydroxyde de sodium NaOH ;
- sulfate de baryum BaSO_4 ;
- chlorure de cuivre (II) CuCl_2 ;
- nitrate d'argent AgNO_3 .

Pour chacune des solutions :

- Écrire l'équation de dissolution du solide ionique.
- Calculer la concentration des ions dans les solutions.

15 Solvatation des ions

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

Le chlorure de cuivre (II) est très soluble dans l'eau.

- Représenter schématiquement au niveau microscopique la solution aqueuse de chlorure de cuivre (II).

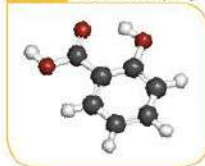
Extraction par un solvant

16 Choix d'un solvant

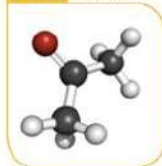
✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

L'acide salicylique est un solide, que l'on peut extraire par macération des feuilles de saule dans l'eau. Léo et Carla ont terminé la phase de macération et souhaitent extraire l'acide salicylique dissous.

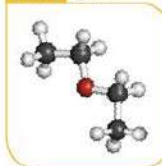
Doc. 1 Acide salicylique



Doc. 2 Acétone



Doc. 3 Éther



- Étudier la polarité des molécules d'acide salicylique, d'acétone, d'éther et d'eau.
- Étudier les interactions entre les molécules du soluté et des différents solvants. Ces résultats sont-ils en accord avec les données ?
- En utilisant les données, choisir le solvant à utiliser pour extraire l'acide salicylique de la solution aqueuse.

Données

Espèce chimique	Solubilité de l'acide salicylique à 20 °C	Miscibilité avec l'eau
Eau	Faible ($2,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)	/
Acétone	Bonne	Bonne
Éther	Bonne	Très faible

Une notion, trois exercices

- Savoir-faire : Calculer la concentration des ions en solution

17 Dissolution du chlorure de potassium

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

On réalise un volume $V = 50,0 \text{ mL}$ d'une solution en dissolvant une masse $m = 3,0 \text{ g}$ de chlorure de potassium.

- Écrire l'équation de cette dissolution dans l'eau.
- Calculer la concentration des ions dans la solution.

18 Dissolution de l'iodure d'aluminium

✓ RAI/MOD : La quantité de matière, décrire l'état initial et l'état final

On dissout une masse $m = 5,0 \text{ g}$ d'iodure d'aluminium AlI_3 pour réaliser $250,0 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse.

- Écrire l'équation de cette dissolution.
- Décrire le protocole expérimental.
- Calculer la concentration des ions dans la solution.

Données

Masses molaires :

- $M(\text{I}) = 126,9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(\text{K}) = 39,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(\text{Ag}) = 107,9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(\text{Al}) = 27,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M(\text{S}) = 32,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;

19 Sulfate d'argent

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

La solution de sulfate d'argent est utilisée au laboratoire pour tester la présence des ions chlorure.

Elle est constituée d'ions argent Ag^+ et d'ions sulfate SO_4^{2-} . Le technicien de laboratoire a besoin de $500,0 \text{ mL}$ d'une solution pour laquelle : $[\text{Ag}^+] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

- Exprimer puis calculer la masse de soluté nécessaire pour réaliser cette solution.

DIFFÉRENCIATION

Séparer des espèces mélangées

Énoncé

Au laboratoire, le technicien récupère le bidon dans lequel les élèves ont versé les solutions utilisées pendant la séance de travaux pratiques. Ce mélange contient de l'eau, des traces d'acide benzoïque et du cyclohexane. Il doit préparer un bidon de solvants organiques pour l'envoyer à une entreprise spécialisée dans le recyclage.

1. Combien de phases ce bidon contient-il ? Quelle est la composition de chacune de ces phases ?

Le technicien verse le mélange dans une ampoule à décanter.

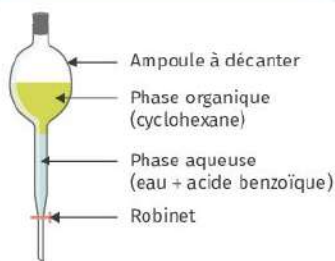
2. Quelle est la position de chacune des phases ?
3. Comment le technicien va-t-il récupérer le solvant organique ? Que contient alors le bidon envoyé à l'entreprise ?

Données

Espèce chimique	Température de fusion θ_f	Température d'ébullition θ_{eb}	Densité d
Eau	0 °C	100 °C	1,00
Acide benzoïque	122 °C	250 °C	1,27
Cyclohexane	6,5 °C	81 °C	0,78

Solution rédigée

1. L'acide benzoïque est dissous dans l'eau car il y est très soluble, mais insoluble dans le cyclohexane. Il peut rester des traces d'acide benzoïque à l'état solide (cela dépend de la masse d'acide introduite). Le mélange est constitué de deux liquides : l'eau et le cyclohexane. Ces deux liquides ne sont pas miscibles entre eux : le mélange est donc constitué de deux phases liquides.
2. L'eau ($d = 1,00$) est plus dense que le cyclohexane ($d = 0,78$) : la phase aqueuse se trouve sous la phase organique.
3. Le technicien va faire couler la phase aqueuse inférieure, et la placer dans un premier récipient. Ensuite, il va récupérer la deuxième phase qui contient le cyclohexane et la placer dans le bidon de récupération. Le bidon contient donc du cyclohexane.



DONNÉES

- L'acide benzoïque est soluble dans l'eau ($s = 2,9 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ à 20 °C) mais n'est pas soluble dans le cyclohexane.
- L'eau et le cyclohexane ne sont pas miscibles.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. L'analyse de la solubilité d'une espèce chimique dans les solvants (eau/cyclohexane) permet de savoir dans quelle phase elle se trouve. Pour savoir combien il y a de phases, il faut analyser la miscibilité des liquides entre eux.
2. La position des phases l'une par rapport à l'autre dépend de leur densité.
3. L'ampoule à décanter permet de récupérer séparément chacune des phases : la plus dense coule en premier, la moins dense est récupérée ensuite.

POUR BIEN RÉPONDRE

2. Justifier la réponse en comparant les densités.
3. Un schéma de l'ampoule à décanter n'est pas exigé mais il est bienvenu pour cette explication.

20 Mise en application

- Comment extraire le butan-1-ol d'un mélange contenant de l'eau ($d = 1,00$) et du butan-1-ol ($d = 0,80$) ? On dispose de trois solvants : eau, éther et éthanol.

Données

- L'eau et l'éther sont peu miscibles entre eux.
- L'eau et l'éthanol sont miscibles en toute proportion.
- **Solubilité du butan-1-ol** : dans l'eau : $s = 77 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$; complète dans l'éther et l'éthanol.
- **Densité de l'éther** : $d = 0,71$.

Pour s'entraîner

21 Anhydre ou pentahydraté

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

Léna et Enzo doivent préparer 50,0 mL d'une solution de sulfate de cuivre (II) dont la concentration en ions cuivre (II) doit être $[\text{Cu}^{2+}] = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Ils disposent au laboratoire d'un flacon de sulfate de cuivre (II) anhydre blanc (CuSO_4) et d'un flacon de sulfate de cuivre (II) pentahydraté bleu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$).

1. Écrire l'équation de la dissolution du sulfate de cuivre (II) dans l'eau.
2. Calculer la masse de sulfate de cuivre (II) pentahydraté qu'il faut utiliser pour réaliser cette solution.
3. Ils réalisent la solution mais se trompent sur le soluté à utiliser : ils utilisent le sulfate de cuivre (II) anhydre solide. Calculer la concentration en soluté en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de la solution qu'ils ont fabriquée.
4. En déduire les concentrations des ions en solution.

Données

- Ion sulfate SO_4^{2-} ;
- Ion cuivre (II) Cu^{2+} ;
- Masses molaires : $M(\text{Cu}) = 63,6 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{S}) = 32,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
 $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

22 Le sulfate d'aluminium en QCM

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

Amina doit préparer 50,0 mL d'une solution de sulfate d'aluminium de concentration en soluté $c = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ pour faire bleuir ses hortensias. Identifier la ou les bonnes réponses en justifiant le choix.

1. La formule du sulfate d'aluminium est :
 a. AlSO_4 . c. Al_2SO_4 .
 b. $\text{Al}(\text{SO}_4)_2$. d. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

2. Pour réaliser cette solution, il faut introduire une masse m de sulfate d'aluminium de :
 a. 1,71 g. b. 0,62 g. c. 50 mg.
3. L'équation de dissolution s'écrit :
 a. $\text{Al}(\text{SO}_4)_2(\text{s}) \rightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 2 \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$.
 b. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{s}) \rightarrow 2 \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$.
 c. $\text{AlSO}_4(\text{s}) \rightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$.
4. Les concentrations des ions dans la solution est :
 a. $[\text{Al}^{3+}] = [\text{SO}_4^{2-}] = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
 b. $[\text{Al}^{3+}] = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $[\text{SO}_4^{2-}] = 0,300 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
 c. $[\text{Al}^{3+}] = 0,200 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $[\text{SO}_4^{2-}] = 0,300 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Données

- Masses molaires : • $M(\text{Al}) = 27,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; • $M(\text{S}) = 32,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
 • $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

23 Préparation d'une solution de soude

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

La soude industrielle est fabriquée par dissolution des pastilles d'hydroxyde de sodium, solide ionique de formule NaOH , dans l'eau.



1. Quelles sont les interactions à l'origine de la cohésion de l'hydroxyde de sodium à l'état solide ?
2. Écrire l'équation de dissolution de l'hydroxyde de sodium dans l'eau.
3. Quelle masse de solide faut-il dissoudre pour réaliser 500 mL de soude de concentration en soluté apporté $c = 2,50 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$?
4. Quelle est la concentration des ions en solution ?

Données

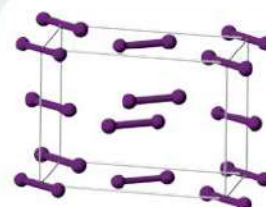
- Masses molaires : • $M(\text{Na}) = 23,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; • $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
 • $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Comprendre les attendus

24 Autour du diiode

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

Le diiode est un composé moléculaire de formule I_2 , solide à la température ambiante (20°C).



Organisation des molécules de diiode à l'état solide.

1. Quelles sont les interactions à l'origine de la cohésion du diiode solide ?
2. Expliquer pourquoi la solubilité du diiode dans l'eau ($s = 330 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) est beaucoup plus faible que celle dans le cyclohexane ($s = 21,2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$).
3. Quelle masse maximale de diiode peut-on introduire dans 50 mL d'eau et dans 50 mL de cyclohexane ?

Détails du barème

TOTAL/6 pts

1. Justifier la nature polaire/apolaire de la molécule de diiode.
 Justifier la nature des interactions entre les molécules de diiode pour expliquer la cohésion du solide. 1 pt
2. Justifier la nature polaire/apolaire des molécules de solvant (eau/cyclohexane).
 Expliquer la nature des interactions microscopiques entre les molécules de diiode et l'eau, et entre les molécules de diiode et le cyclohexane. 2 pts
3. Calculer correctement la masse maximale en utilisant la définition de la solubilité. 1 pt

25 Extraire le diiode d'une solution aqueuse

✓ RAI/ANA : Justifier un protocole

L'eau iodée, ou Lugol, est un mélange d'eau, d'iodure de potassium ($K^+(aq)$; $I^-(aq)$) et de diiode I_2 dissous, utilisée pour montrer la présence d'amidon.

1. Quel solvant faut-il choisir pour extraire le diiode de l'eau iodée ? Justifier le choix.
2. On mélange dans une ampoule à décanter 50 mL d'eau iodée avec 20 mL du solvant choisi. Dessiner l'ampoule à décanter avant l'agitation en précisant la composition des phases et en justifiant leurs positions.
3. Dessiner l'ampoule à décanter après agitation et décantation en précisant la composition des phases.

Données

Espèce chimique	Solubilité du diiode	Densité	Miscibilité avec l'eau
Eau	Faible	1,00	/
Cyclohexane	Très bonne	0,779	Nulle
Éthanol	Très bonne	0,789	Totale

26 Extraction du benzaldéhyde

✓ RAI/ANA : Justifier un protocole

Le lait d'amande est une boisson au parfum d'amande, qui contient, entre autres, de l'eau et du benzaldéhyde. On souhaite extraire le benzaldéhyde de cette boisson par solvant.



1. Quel solvant faut-il choisir ? Justifier.
2. Dessiner l'ampoule à décanter avant, puis après l'agitation, en indiquant la composition des phases.

Données

Espèce chimique	Solubilité du benzaldéhyde	Densité	Miscibilité avec l'eau
Eau	Faible	1,00	/
Éthanol	Très soluble	0,789	Totale
Éther	Très soluble	0,713	Partielle
Acétone	Très soluble	0,784	Grande

27 Chlorure de fer (III)

✓ RAI/MOD : La quantité de matière

La solution de chlorure de fer (III) est utilisée en usage pharmaceutique pour ses propriétés hémostatiques. On prépare un volume $V = 100,0$ mL d'une solution aqueuse de chlorure de fer (III) en dissolvant une masse $m = 8,1$ g de chlorure de fer (III) de formule $FeCl_3$.

1. Que signifie le terme hémostatique ?
2. Écrire l'équation de dissolution du solide ionique dans l'eau.

3. Décrire le protocole de préparation de la solution.
4. Calculer la concentration en soluté apporté (en $g \cdot L^{-1}$ puis en $mol \cdot L^{-1}$).
5. Calculer la concentration des ions dans la solution.

Données

Masses molaires : $M(Cl) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(Fe) = 55,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

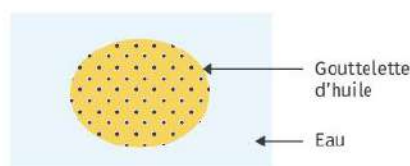
28 Molécule de tensioactif

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

Le jaune d'œuf contient une protéine de faible densité, la LDL, qui est soluble à la fois dans l'huile et dans l'eau. Elle se positionne à l'interface entre une goutte d'huile et l'eau et permet ainsi la formation d'un mélange contenant des gouttelettes d'huile stables dans l'eau, appelé émulsion.

D'après le sujet Bac sciences ES/L, 2017.

- Reproduire le schéma ci-dessous, y dessiner les molécules de LDL et expliquer pourquoi le mélange eau/huile est stable.



29 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.

1. L'équation de ~~dissolution~~ du chlorure d'argent en solution s'écrit : $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$.
2. La cohésion de l'éthanol à l'état liquide est liée aux interactions entre ~~molécules apolaires~~ et aux ponts hydrogène.
3. Dans la solution de nitrate d'argent, la concentration des ions argent est le ~~double~~ de celle des ions nitrate.
4. Le sel se dissout bien dans l'eau car il forme de nombreuses ~~liaisons~~ hydrogène avec les molécules d'eau.
5. L'éthanol se dissout facilement dans l'eau car il se forme des ponts hydrogène entre l'atome ~~d'hydrogène~~ du groupe $-OH$ de l'éthanol et l'atome d'hydrogène de la molécule d'eau.
6. Une molécule de savon ~~est lipophile~~ car elle contient une zone hydrophile et une zone ~~amphiphile~~.

Pour aller plus loin

30 PROPOSITION DE PROTOCOLE



Mayonnaise maison

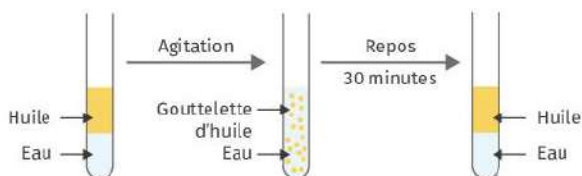
✓ COM : Compte rendu écrit avec un vocabulaire rigoureux



La lécithine est un émulsifiant présent notamment dans le jaune d'œuf. C'est une protéine qui possède une partie hydrophile et une partie hydrophobe : c'est donc une molécule amphiphile ou tensioactif. Cette expérience permet de montrer le rôle de la lécithine dans l'élaboration d'une mayonnaise.

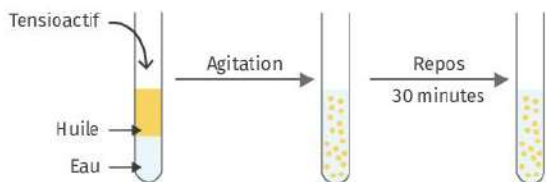
Première étape :

Dans un tube à essai, introduire 2 mL d'eau distillée et 2 mL d'huile de tournesol. Boucher, agiter, et attendre quelques minutes.



Deuxième étape :

Dans le tube à essai, ajouter à l'aide d'une pipette simple quelques gouttes de jaune d'œuf. Boucher, agiter, et attendre quelques minutes.



1. Quelle information peut-on tirer de l'expérience réalisée à la première étape ?
2. En étudiant les résultats de la deuxième étape, quelle modification est apportée par l'ajout du tensioactif ?
3. Une vinaigrette est constituée d'un mélange d'huile et de vinaigre (eau + acide acétique dissous). La vinaigrette est-elle stable ? Justifier.
4. Pourquoi une mayonnaise avec du jaune d'œuf est-elle plus stable ?

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P146

31 Huile essentielle de cannelle

BAC

✓ COM : Compte rendu écrit avec un vocabulaire rigoureux



L'huile essentielle (HE) de cannelle est extraite des écorces de cannellier par hydrodistillation. Elle est utilisée, par exemple, pour lutter contre la fatigue et les problèmes intestinaux. Elle contient notamment de l'aldéhyde cinnamique.

On réalise au laboratoire l'hydrodistillation d'un mélange contenant 400 mL d'eau et 200 g d'écorce de cannellier.

1. On recueille 100 mL de distillat. On ajoute 10 g de sel et on agite. Quel est le rôle du sel ?
2. Le mélange est placé dans une ampoule à décanter. Représenter l'ampoule à décanter et préciser la composition et la position des phases.
3. On recueille 10 mL d'huile essentielle. Calculer la masse d'huile essentielle obtenue.
4. Pour vérifier que l'huile essentielle contient bien de l'aldéhyde cinnamique, on réalise une chromatographie sur couche mince. La CCM est reproduite ci-contre. Son analyse de la CCM permet-elle d'établir que l'huile essentielle contient de l'aldéhyde cinnamique ?
5. On souhaite extraire l'aldéhyde cinnamique de l'huile essentielle. Proposer un protocole détaillé.



HE : dépôt d'huile essentielle ; AC : aldéhyde cinnamique du commerce.

Données

Densités de quelques liquides :

- $d_{\text{HE}} = 1,06$;
- $d_{\text{eau}} = 1,00$;
- $d_{\text{éthanol}} = 0,79$;
- $d_{\text{chloroforme}} = 1,49$.

Tableau de miscibilité

Espèce chimique	Eau	Éthanol	Chloroforme
Eau	/	Oui	Non
Éthanol	Oui	/	Oui
Chloroforme	Non	Oui	/

INFO : Une huile essentielle est très peu soluble dans l'eau salée. L'aldéhyde cinnamique est peu soluble dans l'eau, mais très soluble dans l'éthanol, l'éther et le chloroforme.

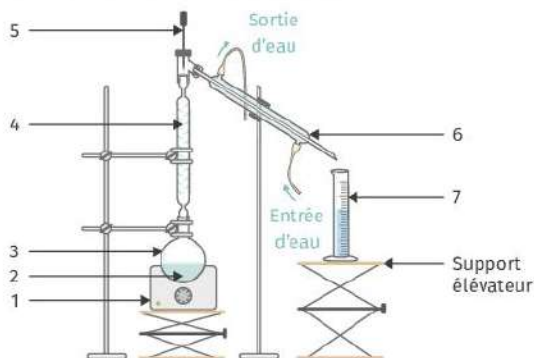
32 PROPOSITION DE PROTOCOLE

La distillation fractionnée

✓ RAI/ANA : Justifier un protocole

La distillation fractionnée permet de séparer les constituants d'un mélange homogène liquide. Le mélange est introduit dans un ballon, puis chauffé. Lorsque le mélange commence à bouillir, les vapeurs du mélange s'élèvent et circulent dans une colonne de Vigreux.

Une partie des vapeurs se liquéfient et retombent dans le ballon. Le liquide le plus volatil s'échappe, puis est liquéfié lorsqu'il rencontre les parois froides du réfrigérant à eau. Il est récupéré dans une éprouvette graduée. Pendant la distillation de ce liquide, la température, mesurée en tête de colonne, est constante. Une fois cette séparation terminée, la température chute brièvement, puis augmente à nouveau, jusqu'à atteindre la température d'ébullition de l'autre liquide.

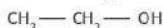
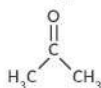


On souhaite séparer un mélange constitué de 25 mL d'eau et 10 mL d'acétone.

1. Reproduire et légénder le schéma de la distillation fractionnée.
2. Quelles sont les interactions intermoléculaires (entre molécules) et intramoléculaires (au sein des molécules) dans l'eau puis dans l'acétone ? Ces interactions au niveau microscopique permettent-elles d'expliquer la différence de température d'ébullition de l'eau et de l'acétone ?
3. Quel est le premier liquide recueilli dans l'éprouvette graduée ? Quelle est la température indiquée par le thermomètre pendant la première partie de la distillation ?
4. Pourquoi est-il plus difficile de séparer l'eau et l'éthanol par distillation ?

Données

Température d'ébullition de :

• l'eau : $\theta_{eb} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$;• l'éthanol : $\theta_{eb} = 78\text{ }^{\circ}\text{C}$.• l'acétone : $\theta_{eb} = 56\text{ }^{\circ}\text{C}$;

33 HISTOIRE DES SCIENCES

La calcite

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre le modèle microscopique et les grandeurs macroscopiques

C'est après avoir fait tomber au sol un morceau de calcite, et intrigué par la régularité de la fracture, que René Just Haüy (1743-1822) se lance dans l'observation et l'étude des cristaux. Ses études le conduisent à conclure que les cristaux sont des composés organisés et il introduit alors la notion de molécule intégrante remplacée plus tard par le terme de maille cristalline.

La calcite pure est un solide ionique translucide et blanchâtre constitué d'ions calcium Ca^{2+} et d'ions carbonate CO_3^{2-} . Lorsque les eaux de pluie s'écoulent et ruissellent sur les sols riches en calcite, la calcite se dissout dans l'eau qui s'enrichit alors en ions calcium.



INFO : Une solubilité de 1 ppm (partie par million) signifie que la solubilité est de 1 g dans 1 000 000 g de solution.

1. Quelles sont les interactions à l'origine de la cohésion de la calcite ?
2. Écrire l'équation de dissolution de la calcite dans l'eau.
3. Calculer la concentration maximale, exprimée en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, des ions calcium Ca^{2+} et carbonate CO_3^{2-} dans un litre d'eau douce.

Données

• Solubilité de la calcite : $s = 50\text{ ppm}$ environ à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$;• Masse volumique de la solution : $\rho = 1,0\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

34 DÉCONSTRUIRE LES IDÉES FAUSSES

Sucre salé

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Le sucre et le sel sont deux solides blancs aux propriétés physiques bien différentes. Le sel est un solide ionique, constitué d'ions sodium Na^+ et chlorure Cl^- organisés dans un cristal cubique face centrée. Le sucre est un solide moléculaire, constitué de molécules de saccharose de formule $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$.

1. Les interactions à l'origine de la cohésion du sel et du sucre sont-elles de même nature ?
2. Comment expliquer la très grande différence de température de fusion entre ces deux corps ?

Données

Température de fusion :

• Sel : $\theta_f = 801\text{ }^{\circ}\text{C}$;• Saccharose : $\theta_f = 185,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

35 La décaféination

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement, communiquer sur les étapes

Obtenu avec des graines de caféier torréfiées, le café est une des boissons les plus consommées au monde.

Une tasse de café contient environ 85 mg de caféine, une molécule aux effets stimulants pour le système nerveux, qui peut entraîner des problèmes cardiaques ou des insomnies. Pour éviter les effets stimulants de la caféine, il est conseillé de consommer du café décaféiné.

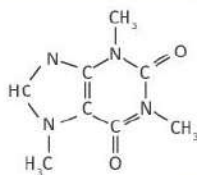
Il existe plusieurs techniques qui permettent d'extraire la caféine des grains de café : l'extraction par solvant, l'extraction par fluide supercritique (dioxyde de carbone) et l'extraction à l'eau. L'opération est toujours réalisée sur des grains verts avant leur torréfaction. Le café décaféiné n'est pourtant pas exempt de caféine : il en contient encore, en moyenne 10 mg par tasse.

La caféine extraite du café est vendue aux fabricants de sodas et aux laboratoires pharmaceutiques.

- Comparer les différentes méthodes de décaféination en justifiant les choix effectués pour éliminer la caféine.

Doc. 1 La molécule de café

La molécule de caféine (1,3,7-triméthylxanthine), de formule brute $C_8H_{10}N_4O_2$, se rencontre dans le café, le thé, le maté mais aussi dans les sodas et les boissons énergisantes.



Doc. 2 La décaféination

La décaféination par fluide supercritique consiste à utiliser du dioxyde de carbone à une pression très élevée (73 bars). Le dioxyde de carbone a ainsi des propriétés intermédiaires entre celles d'un gaz et d'un liquide, ce qui lui permet de s'infiltrer à travers les grains en entraînant la caféine. Le dioxyde de carbone chargé en caféine est ensuite mélangé à un jet d'eau puissant qui dissout la caféine et qui l'élimine du fluide.

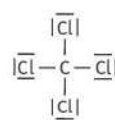
Données

Propriétés de la caféine :

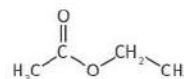
- $\theta_f = 227^\circ\text{C}$; $\theta_{\text{éb}} = 178^\circ\text{C}$ (sublimation) ;
- **Solubilité** : $s(\text{eau}) = 21,7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ (20°C) ; $s(\text{eau}) = 180 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ (80°C) ; $s(\text{eau}) = 670 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ (100°C) ; $s(\text{chloroforme}) = 1 \text{ g}$ dans $5,5 \text{ mL}$.

Doc. 3 Extraction par solvants

L'extraction la plus couramment appliquée pour la décaféination utilise principalement des solvants chlorés, comme le chloroforme dont la représentation est donnée ci-contre :



Ces solvants chlorés, dangereux pour la santé, sont parfois remplacés par de l'acétate d'éthyle :

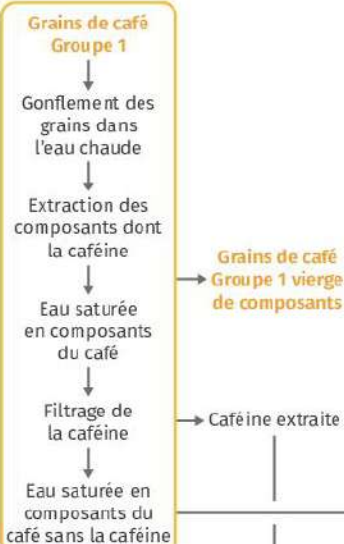


Après avoir fait tremper les grains de café dans de l'eau très chaude, on réalise l'extraction liquide-liquide par solvant.

Doc. 4 La technique SWP

La technique SWP utilise uniquement de l'eau. Les grains de café sont trempés dans l'eau chaude. La caféine et les arômes s'y dissolvent. L'eau est ensuite filtrée sur charbon actif, qui élimine la caféine. L'eau encore chargée en arômes peut être à nouveau utilisée pour éliminer la caféine d'un autre groupe de grains de café. Après plusieurs utilisations, l'eau peut ensuite être à nouveau mélangée avec les grains de café, et évaporée. Le café retrouve ainsi une partie de ses arômes.

Étape 1



Possible réutilisation de la caféine dans l'industrie pharmaceutique ou alimentaire

Étape 2



JEU
SÉRIEUX

Intrusion au laboratoire

A Enfermée dans le laboratoire de recherches

Prise au piège

Chris Tall, absorbée par ses recherches, a oublié de prévenir Kad Nas, le gardien, qu'elle était encore en train de travailler. La voici enfermée un vendredi soir, dans son laboratoire de cristallographie. Impossible de contacter Kad car pour des raisons de sécurité, le réseau est coupé le soir et le week-end.

Un rendez-vous important

Chris doit rapidement trouver un moyen de sortir

du laboratoire, car elle a un rendez-vous important dans une heure, avec Sophie Fonfec, la responsable d'un grand laboratoire qui souhaite lui proposer des financements.

Comment sortir ?

Toutes les portes sont verrouillées de l'extérieur, les volets roulants occultent les fenêtres et sont bloqués par un système ultra sécurisé. Mais Chris sait qu'il existe une boîte contenant toutes les clés du laboratoire.

B À la recherche de la boîte à clés

La boîte à clés

Chris retrouve la boîte à clés mais lorsqu'elle l'ouvre, quelle déception ! La boîte ne contient pas de clés, mais un morceau de papier chiffonné sur lequel sont griffonnés quelques mots incompréhensibles.



Votre mission :

Retrouver les clés et l'auteur de cette énigme afin que Chris arrive à temps à son rendez-vous.

À vous de jouer !

Allez chercher les informations, répondez aux questions, récoltez les indices dans le plateau de jeu en suivant le lien ci-dessous.

À la fin de votre mission, vous découvrirez un troisième indice qui vous aidera à résoudre l'énigme de cette année.



Faire le jeu sérieux sur [LLS.fr/PC1P149](https://lls.fr/PC1P149).



C Une mission, un métier



Le métier de chercheur/se en chimie

Trouver de nouvelles voies à explorer, observer, formuler des hypothèses... La vie du chercheur en chimie est une quête permanente, jalonnée d'avancées et de doutes. Un métier passion pour des scientifiques accomplis !

D'après l'Onisep.



Retrouver la fiche métier Onisep sur [LLS.fr/PC1ChercheurChimie](https://lls.fr/PC1ChercheurChimie).

Structure des entités organiques

DÉCONSTRUIRE LES IDÉES FAUSSES



➤ Comment définit-on une molécule organique ? S'agit-il exclusivement de molécules issues des règnes animal et végétal ?

➔ voir l'activité 1, p. 152



SÉCURITÉ
TOUS

Travailler

autrement

CLASSE
INVERSEE

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour visionner des capsules vidéos et retrouver des animations afin de découvrir en autonomie les molécules organiques. LLS.fr/PC1P150

Voir p. 169



Représentation moléculaire d'une racine de ginseng.

Ici, vous pouvez souffler sans modération.

PRITÉ ROUTIÈRE
RESPONSABLES

En France, la limite autorisée par la loi de 2018 du taux d'alcool dans le sang au volant est de 0,5 g/L et de 0,2 g/L pour les jeunes conducteurs (depuis le 1^{er} juillet 2015). On peut contrôler ce taux d'alcool par éthylotest, éthylomètre ou prise de sang.

D'après « Alcool au volant : sanctions, amende et retrait de points », www.legipermis.com, septembre 2018.

**SOUFFLE
VOUS
SAUR**

**ICI
POUR SAVOIR SI VOUS POUVEZ
UN ÉTHY**

→ Quelles méthodes d'analyse peut-on utiliser pour détecter l'alcool ?

→ voir l'exercice 28, p. 168

À revoir pour bien commencer

- › Savoir qu'une molécule est une association de plusieurs atomes
- › Savoir qu'un atome respecte la règle du duet ou de l'octet pour être stable

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! [LLS.fr/PC1P151](https://lls.fr/PC1P151)

Objectifs du chapitre

- ▣ Savoir écrire les formules brute et semi-développée d'une molécule à partir d'un modèle moléculaire
- ▣ Connaître et savoir identifier les groupes caractéristiques d'une molécule
- ▣ Savoir nommer une molécule à partir de sa formule semi-développée et inversement
- ▣ Savoir identifier les groupes caractéristiques d'une molécule grâce à l'analyse d'un spectre IR

1 Quelles écritures pour représenter une molécule ?

Axel lit dans une revue scientifique que l'éthanol a pour formule brute C_2H_6O . Cependant, il remarque qu'une molécule composée exactement des mêmes atomes (C_2H_6O) est appelée méthoxyméthane.

→ Ces deux molécules qui ont la même formule brute sont-elles identiques ?
Sinon, comment représenter leurs différences ?

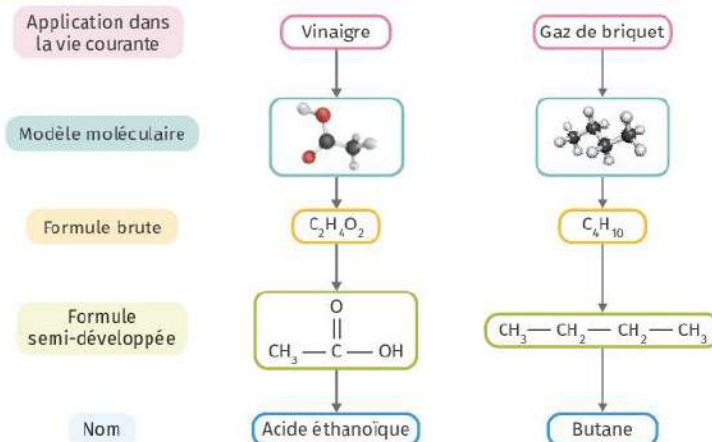
Par intuition

En quoi deux molécules composées des mêmes atomes pourraient-elles être différentes ?

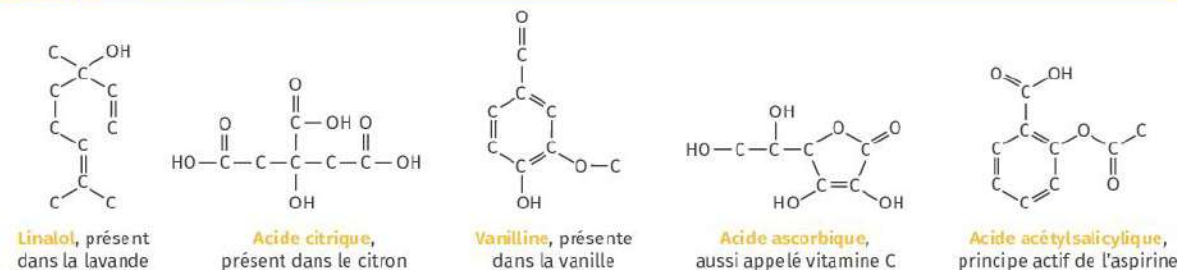
Doc. 1 La liaison covalente

Dans une molécule, les atomes mettent en commun des électrons externes et créent ainsi des liaisons, appelées liaisons covalentes, pour gagner en stabilité. En effet, cette mise en commun permet aux atomes de compléter leurs couches électroniques externes, et d'adopter ainsi la structure électronique du gaz noble le plus proche dans la classification périodique. Les règles de l'octet et du duet vues en seconde sont ainsi respectées. Une **liaison covalente** correspond à cette liaison entre atomes dans la molécule.

Doc. 2 Formules brutes et semi-développées



Doc. 3 Des molécules incomplètes



Compétence

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

1. **Doc. 1 et 2** À l'aide de leur numéro atomique (donné dans le tableau périodique en rabat de fin de manuel), déterminer le nombre de liaisons formées par les atomes d'hydrogène, de carbone et d'oxygène. Justifier.

2. **Doc. 3** Recopier et compléter les formules semi-développées avec les hydrogènes manquants, puis donner la formule brute de chacune des molécules.

Synthèse de l'activité

Représenter deux formules semi-développées possibles pour la formule brute C_2H_6O .

2 Familles et molécules 50'

On classe les atomes en différentes familles chimiques en fonction de leur place dans le tableau périodique (les alcalins, les halogènes, les gaz nobles, etc.). Tous les atomes d'une même famille ont des propriétés chimiques semblables.

→ Peut-on classer les molécules en familles comme les atomes ?

Par intuition

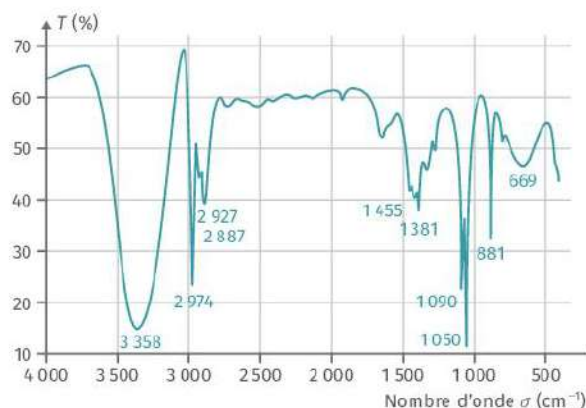
Quels pourraient être les points communs des molécules d'une même famille ?

Doc. 1 Spectroscopie infrarouge (IR)

La spectroscopie infrarouge, appelée spectroscopie IR est une technique d'analyse des molécules en chimie organique. Cette technique étudie la vibration des liaisons dans les molécules suite à une excitation électromagnétique (ou absorption d'énergie, voir chapitre 18, p. 365) : absorption d'un photon d'énergie $\Delta E = h \cdot \nu$.

Chaque type de liaison vibre à une fréquence particulière et cette fréquence est reliée à une valeur appelée nombre d'onde et notée σ (en cm^{-1}). Les nombres d'onde σ étudiés correspondent à des longueurs d'onde λ (tel que $\sigma = \frac{1}{\lambda}$) qui sont dans le domaine des infrarouges ($750 \text{ nm} < \lambda < 0,1 \text{ mm}$).

Un spectre IR représente la transmittance T (en %), en fonction du nombre d'onde σ (en cm^{-1}).



Doc. 2 Spectre infrarouge d'une molécule

L'animation suivante présente les spectres infrarouges de différentes familles chimiques.

Retrouver l'animation sur [LLS.fr/PC1SspectreIR](https://lls.fr/PC1SspectreIR).

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour regarder en quelques applications des rayons IR. [LLS.fr/PC1P153](https://lls.fr/PC1P153)

Doc. 3 Groupes caractéristiques et familles

Un groupe caractéristique est un assemblage d'atomes identique pour une même famille de molécules. Il confère des propriétés chimiques particulières aux molécules de cette famille. Chaque famille chimique correspond à un groupe caractéristique et a donc les mêmes propriétés chimiques.

Découvrir des molécules en 3D pour différentes familles chimiques sur [LLS.fr/PC1P153](https://lls.fr/PC1P153).

Compétence

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

- 1. Doc. 3** Classer les étiquettes fournies par le professeur en familles de 4 molécules.
- 2. Doc. 3** Donner le groupe caractéristique et le nom de chaque famille.
- 3. Doc. 1** À quel domaine de longueurs d'ondes exprimées en mètre correspond le rayonnement infrarouge ?
- 4. Doc. 1 et 2** Donner la ou les bandes caractéristiques de nombre d'onde σ (en cm^{-1}) pour chaque famille chimique.

Synthèse de l'activité

Réaliser une carte mentale qui précise les caractéristiques de chaque famille chimique.

3 Un nom pour chaque molécule 80'

Lou prépare un exposé sur les molécules organiques. Elle remarque qu'avec une chaîne carbonée constituée d'un atome de carbone, on peut créer du méthane, du méthanal ou encore du méthanol.

→ Quelles sont les différences entre ces trois molécules ?

Par intuition

Y a-t-il une logique derrière le nom des molécules ?

Doc. 1 Le squelette de la molécule

Une molécule organique est constituée principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Cet enchaînement d'atomes de carbone constitue le squelette de la molécule. Lorsque la molécule n'est constituée que d'atomes d'hydrogène et de carbone liés par des liaisons simples, on parle d'alcane. La formule brute d'un alcane est $C_n H_{2n+2}$ (avec n , entier positif). Le nom des six premiers alcanes linéaires est donné dans le tableau ci-contre.

n	Formule brute	Formule semi-développée	Nom de l'alcane linéaire
1	CH_4	CH_4	Méthane
2	C_2H_6	CH_3-CH_3	Éthane
3	C_3H_8	$CH_3-CH_2-CH_3$	Propane
4	C_4H_{10}	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	Butane
5	C_5H_{12}	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	Pentane
6	C_6H_{14}	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	Hexane

Doc. 2 Ramification d'une chaîne principale

n	Groupe de la ramification	Nom de l'alkyle
1	$-CH_3$	Méthyl
2	$-CH_2-CH_3$	Éthyl
3	$-CH_2-CH_2-CH_3$	Propyl
4	$-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	Butyl
5	$-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	Pentyl

Une chaîne carbonée est dite linéaire si les atomes de carbone s'enchaînent en ne formant qu'une ligne.

Une chaîne est dite ramifiée si au moins un des atomes de carbone de la chaîne linéaire est relié à un ou plusieurs autres atomes de carbone qui n'appartiennent pas à la chaîne principale.



Alcane ramifié de chaîne principale de 5 atomes de carbone et une ramification $-CH_3$: 2-méthylpentane.



Alcane linéaire à 5 atomes de carbone : pentane.

Les groupes qui forment la ramification sont appelés groupes alkyles (leur position est indiquée à l'aide d'un numéro dans le nom de la molécule). Le nom des quatre premiers groupes alkyles est donné dans le tableau ci-dessus.

Pour un alcane ramifié la chaîne principale est la chaîne carbonée linéaire la plus longue (qui a le plus grand nombre d'atomes de carbone).

Compétence

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

- Doc. 2** Classer en deux groupes (molécules linéaires et molécules ramifiées) les étiquettes fournies par le professeur.
- Trier les étiquettes par famille chimique et trouver le nom de deux molécules (deux étiquettes) par famille à l'aide du logiciel ChemSketch sur [LLS.fr/PC1ChemSketch](https://lls.fr/PC1ChemSketch).
- Doc. 1 et 2** Compléter la fiche méthode fournie par le professeur pour nommer une molécule dans chaque famille chimique.

Synthèse de l'activité

Représenter en formules brute et semi-développée le méthane, le méthanal et le méthanol. Faire une carte mentale pour expliquer la nomenclature des molécules.

4 Panique au laboratoire

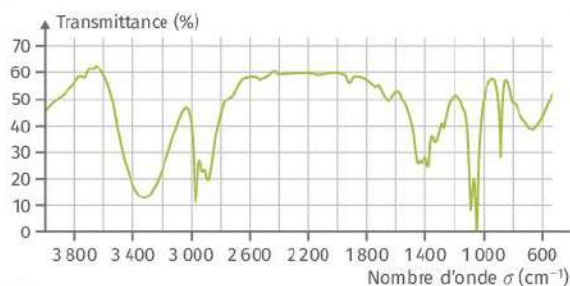
Kylian travaille dans un laboratoire de chimie. Il souhaite faire du rangement et remarque trois flacons dont les étiquettes sont partiellement effacées. Il réalise alors le spectre infrarouge des trois flacons inconnus pour les identifier.

→ Comment attribuer chaque étiquette à son flacon ?

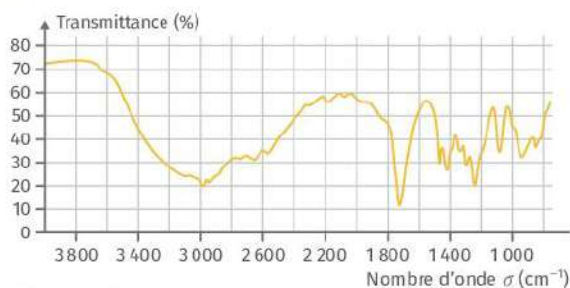
Par intuition

En quoi un spectre IR permet-il d'identifier une molécule organique ?

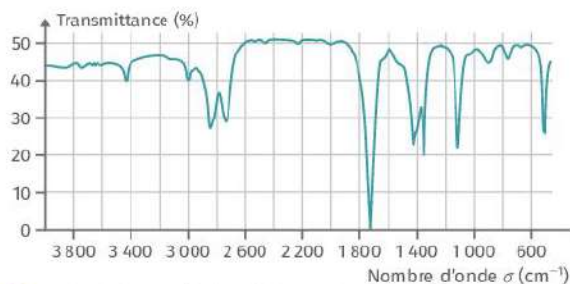
Doc. 1 Spectres IR des trois flacons inconnus



■ Spectre IR des molécules du flacon n°1.



■ Spectre IR des molécules du flacon n°2.



■ Spectre IR des molécules du flacon n°3.

Doc. 2 À chaque flacon son étiquette

Nom d'espèce :

Formule brute : $C_5H_{10}O$

Formule semi-développée : $\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3-CH-C(=O)-CH_3 \end{array}$

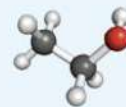
Modèle moléculaire :

Nom d'espèce : *Éthanol*

Formule brute :

Formule semi-développée :

Modèle moléculaire :

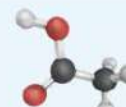


Nom d'espèce :

Formule brute :

Formule semi-développée :

Modèle moléculaire :



Compétence

✓ APP : Extraire l'information utile sur des supports variés

1. **Doc. 2** Recopier et compléter chaque étiquette.

2. **Doc. 2** Entourer les groupes caractéristiques à l'aide des tables → **Fiche méthode 17, p. 395**, et pour chaque molécule, identifier le spectre IR qui lui est associé.

3. **Doc. 1** Identifier les groupes caractéristiques de chaque spectre en vous reportant aux valeurs de référence fournies → **Fiche méthode 17, p. 395**.

Synthèse de l'activité

Quelles informations peut-on extraire d'un spectre IR ? Est-ce suffisant pour identifier une molécule ?

1 La structure des molécules

A Qu'est-ce qu'une molécule organique ?

Autrefois, les molécules organiques étaient issues du règne animal ou végétal, ce n'est plus forcément le cas aujourd'hui. Les molécules organiques d'origine naturelle ou de synthèse sont définies par rapport à leur composition.

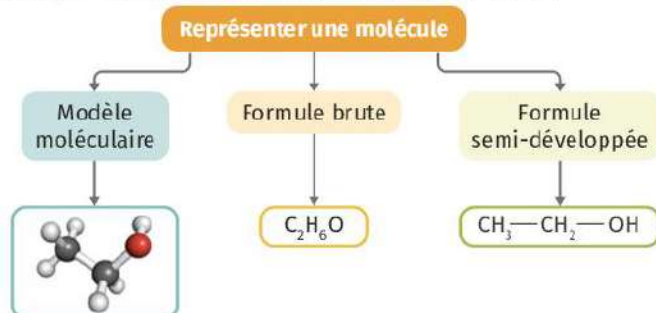
On considère qu'une **molécule est organique** si elle comporte des atomes de carbone et d'hydrogène liés entre eux et éventuellement d'autres atomes (O, N, Cl, etc.).

B Formules brutes et semi-développées

Une molécule est formée par un assemblage d'atomes. Elle est électriquement neutre.

Pour respecter les règles de l'octet et du duet, les atomes vont créer des liaisons covalentes et former des molécules pour gagner en stabilité. Il existe plusieurs manières de représenter une molécule, certaines permettant de visualiser ces liaisons internes.

Exemple : la représentation d'une molécule d'éthanol.

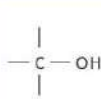


C Groupes caractéristiques

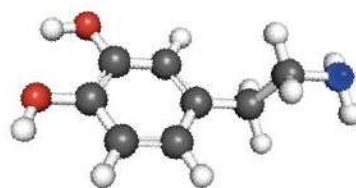
Les molécules organiques peuvent posséder des groupes caractéristiques en plus de leur chaîne carbonée.

Un **groupe caractéristique** est un groupement d'atomes autres que les atomes de carbone et d'hydrogène qui confère des propriétés chimiques particulières aux molécules. Les molécules qui ont le même groupe caractéristique font partie de la même **famille chimique**.

Voici les principaux groupes caractéristiques à connaître :

Famille	Alcool	Aldéhyde	Cétone	Acide carboxylique
Nom du groupe	Hydroxyle	Carbonyle		Carboxyle
Représentation du groupe		 En fin de chaîne	 Dans la chaîne	 En fin de chaîne

Doc. 1 Les molécules organiques



Dopamine : molécule organique qui constitue l'hormone du plaisir. Les molécules organiques ont pour base un squelette d'atomes de carbone et d'hydrogène mais elles peuvent être composées de nombreux autres atomes.

Éviter les erreurs

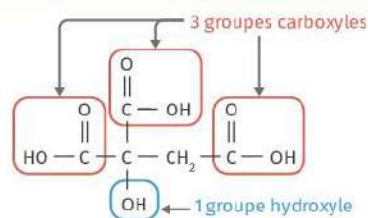
En formant une liaison, un atome gagne un électron. Le nombre de liaisons formées est déterminé grâce aux règles du duet ou de l'octet.

Atome	C	H	O
Nombre de liaisons	4	1	2

Vocabulaire

- **Liaison covalente** : liaison formée par le partage d'électrons externes entre 2 atomes.
- **Chaîne carbonée** : assemblage d'atomes de carbone.

Doc. 2 Molécule polyfonctionnelle



La molécule d'acide citrique, présente dans le citron, possède plusieurs groupes caractéristiques.

Pas de malentendu



- ➔ Attention, un groupe carboxyle n'est pas un groupe carbonyle + un groupe hydroxyle !
- ➔ L'aldéhyde et la cétone ont tous les deux un groupe carbonyle mais ce sont deux familles différentes :
 - les aldéhydes ont un groupe carbonyle en fin de chaîne carbonée ;
 - les cétones ont un groupe carbonyle dans la chaîne carbonée.

2 Nommer des molécules

A Nommer une chaîne carbonée

Une molécule organique possède un enchaînement d'atome de carbone qui constitue son squelette appelé chaîne carbonée.

Une chaîne carbonée possédant uniquement des liaisons C — C et C — H est appelée **alcane**.

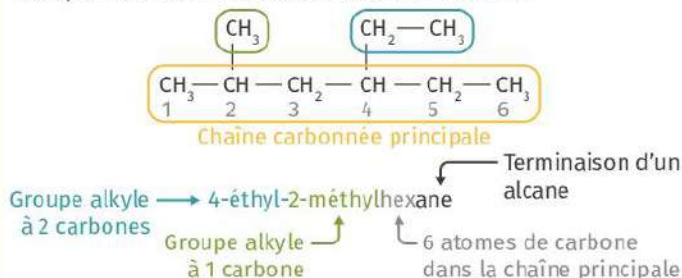
Une chaîne carbonée est dite **linéaire** si les atomes de carbone s'enchaînent en se formant les uns à la suite des autres.

Une chaîne est dite **ramifiée** si au moins un des atomes de carbone de la chaîne linéaire est relié à plus de deux atomes de carbone. Les groupes qui forment la ramification sont appelés **groupes alkyles**.

Dans le cas d'un alcane ramifié, il faut repérer la chaîne carbonée principale qui est la chaîne carbonée la plus longue. On numérote ensuite cette chaîne carbonée et on rajoute le nom des ramifications (groupes alkyles).

On numérote la chaîne carbonée de manière à ce que les groupes caractéristiques puis les ramifications alkyles portent le plus petit numéro (**doc. 4**). On nomme les groupes alkyles par ordre alphabétique et on les précède de leur numéro de position.

Exemple : voici une molécule à deux ramifications.



B Nommer une molécule avec un groupe caractéristique

Pour nommer une molécule possédant un groupe caractéristique, on écrit le nom de l'alcane correspondant dans lequel on remplace le -e final par le suffixe de la famille correspondante. Le groupe caractéristique impose la numérotation suivie dans la molécule : son suffixe doit être précédé du plus petit nombre possible.

Les suffixes des groupes caractéristiques principaux sont données ci-dessous.

Famille	Alcool	Aldéhyde	Cétone	Acide carboxylique
Terminaison	n-ol	n-al	n-one	Acide-oïque

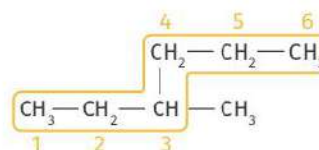
Avec n le numéro de l'atome de carbone sur lequel est fixé le groupe caractéristique.

Doc. 3 Préfixes des alcanes et alkyles

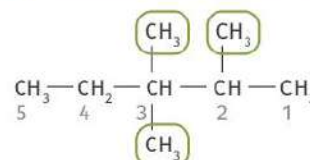
Nombre d'atomes de carbone	Préfixe
1	Méth-
2	Éth-
3	Prop-
4	But-
5	Pent-
6	Hex-
7	Hept-
8	Oct-
9	Non-

Éviter les erreurs

Attention, la **chaîne carbonée principale** est celle qui comporte le plus grand nombre d'atomes de carbone, elle n'est pas toujours représentée en ligne droite.



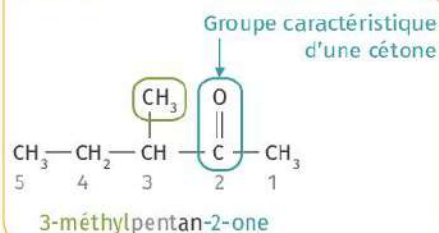
Doc. 4 Groupes alkyles identiques



2,3,3-triméthylpentane

Si une chaîne carbonée porte plusieurs groupes alkyles identiques, leur nombre est donné par les préfixes (di-, tri-, tétra-) toujours précédés de leur numéro de position.

Doc. 5 Détail du nom d'une molécule



3 Comment identifier une molécule ?

A La spectroscopie IR : une technique d'analyse

➤ La spectroscopie infrarouge, appelée spectroscopie IR, est une technique d'analyse des molécules en chimie organique. Cette technique étudie l'absorption de la lumière infrarouge par les molécules. L'absorption de cette lumière est liée à la vibration des liaisons dans les molécules suite à une excitation électromagnétique.

➤ Chaque type de liaison vibre à une fréquence particulière et cette fréquence est reliée au nombre d'onde noté σ (en cm^{-1}). Les nombres d'onde σ étudiés correspondent à des longueurs d'onde λ ($\sigma = \frac{1}{\lambda}$) du domaine des infrarouges ($750 \text{ nm} < \lambda < 0,1 \text{ mm}$).

➤ Un spectre IR représente la transmittance T (en %) en fonction du nombre d'onde σ (en cm^{-1}).

B Identification d'une molécule

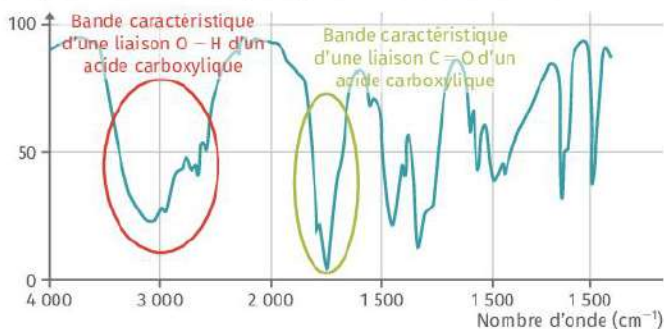
➤ On peut identifier les différents types de liaisons présentes dans une molécule grâce à la spectroscopie infrarouge (IR).

La présence d'une liaison dans la molécule se manifeste par la présence d'une bande d'absorption caractéristique, que l'on reconnaît par son allure et son nombre d'onde.

Chaque liaison dans la molécule va vibrer dans une plage de nombres d'onde référencée dans les tables. Le **doc. 7** en présente un court extrait.

Application

On fait le spectre IR d'une molécule inconnue.
À quelle famille chimique appartient cette molécule ?



Corrigé :

Sur le spectre IR de la molécule inconnue, on remarque une bande caractéristique de la liaison O – H d'un acide carboxylique aux alentours de $3\,000 \text{ cm}^{-1}$.

De plus, elle présente une bande aux alentours de $1\,700 \text{ cm}^{-1}$ caractéristique de liaison C = O d'un acide carboxylique.

Cette molécule comporte les deux bandes caractéristiques d'un acide carboxylique, c'est donc un acide carboxylique.

Éviter les erreurs

➤ Le nombre d'onde σ est différent de la longueur d'onde λ . $\sigma = \frac{1}{\lambda}$.

➤ Le nombre d'onde σ s'exprime en cm^{-1} .

Doc. 6 Les liaisons O – H pour un alcool

Deux molécules d'alcool peuvent établir des liaisons hydrogène (voir chapitre 7, p. 136) entre elles. On distingue alors deux types de liaisons O – H :

- O – H libre : à l'état gazeux, quand les molécules sont trop éloignées pour former des liaisons hydrogène,
→ la bande dans le spectre IR est alors fine ;
- O – H lié : à l'état liquide, les molécules sont rapprochées et peuvent donc faire des liaisons hydrogène,
→ la bande dans le spectre IR est alors large et son nombre d'onde est plus faible comparé à une liaison O – H libre.

Doc. 7 Bandes d'absorption IR

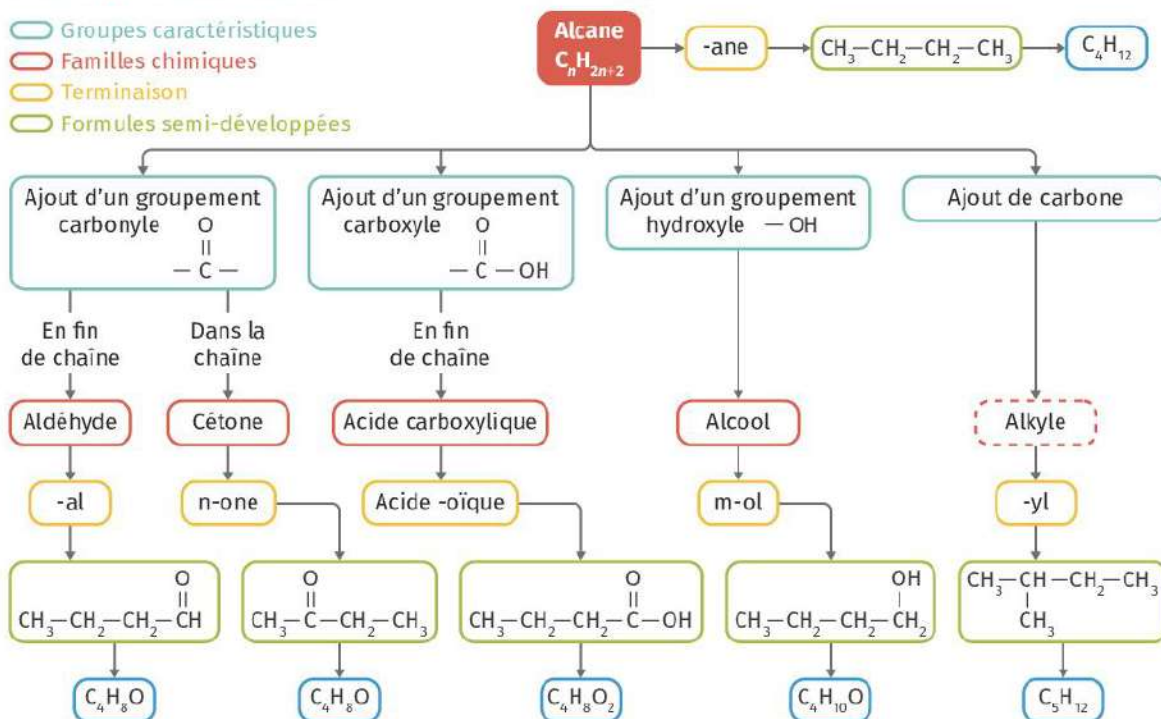
Liaison	$\sigma (\text{cm}^{-1})$	Forme
O – H libre	3 580–3 650	Bande fine
O – H lié	3 200–3 400	Bande large
C – H alcane	2 800–3 100	Plusieurs bandes
O – H acide carboxylique	2 500–3 200	Bande large
C = O aldéhyde et cétone	1 650–1 730	-
C = O acide carboxylique	1 680–1 710	-

Numérique

Retrouvez une vidéo sur la lecture des spectres IR. [LLS.fr/PC1P158](https://lls.fr/PC1P158)

Principales notions

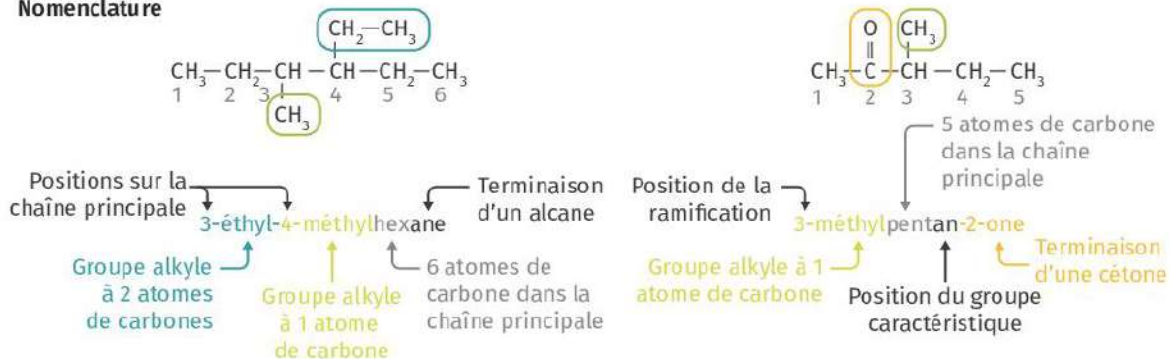
- Groupes caractéristiques
- Familles chimiques
- Terminaison
- Formules semi-développées



Préfixes pour les six premiers alcanes et alkyles

Nombre de carbones	1	2	3	4	5	6
Nom du préfixe	Méth-	Éth-	Prop-	But-	Pent-	Hex-

Nomenclature



Les éléments essentiels de la technique et ses limites

➤ Chaque type de liaison est caractérisé par une bande d'absorption dans le spectre infrarouge (IR). On utilise donc la spectrophotométrie IR pour déterminer les groupements présents dans la molécule à analyser.

➤ Cette technique permet d'identifier les liaisons dans la molécule, mais elle ne donne que très peu d'informations sur la localisation de ces liaisons. **Il n'est pas**

possible de déterminer entièrement la structure d'une molécule par spectroscopie IR. En chimie organique, on couple souvent l'analyse IR avec une analyse RMN du proton qui permet d'avoir des informations précises sur l'environnement chimique des atomes d'hydrogène dans la molécule. De cette manière, on peut reconstituer intégralement la structure d'une molécule inconnue.

1 Formules brute et semi-développée

	A	B	C
1. Le modèle moléculaire suivant a pour formule brute :	$C_4H_8O_3$.	$CH_3-C(=O)-CH_2-C(=O)-OH$.	$C_4H_6O_3$.
2. La 3-méthylpentan-2-one a pour formule semi-développée :	$CH_3-C(=O)-CH(CH_3)-CH_2-CH_3$.	$CH_3-CH_3-C(=O)-CH_2-CH_3$.	$C_5H_{11}O$.
3. La formule brute C_3H_6O peut être :	un aldéhyde.	un acide carboxylique.	un alcane.

2 Nomenclature

1. La molécule suivante s'appelle :	4-méthylpentan-2-ol.	hexan-2-ol.	2-méthylpentan-4-ol.
2. La molécule 3-éthylhexan-2-one est :	un alcool.	composée d'un groupement carboxyle.	une cétone.

3 Spectroscopie IR

1. 	Il s'agit du spectre IR d'un alcool.	Le spectre IR présente une bande de vibration caractéristique d'une liaison C=O.	C'est le spectre IR d'un acide carboxylique.
2. Le pic large caractéristique de la liaison O-H montre que les molécules :	sont à l'état gazeux.	sont à l'état liquide.	ont établi des liaisons hydrogène.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P160

4 Questions Jeopardy

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

a. C'est le groupe carboxyle.

b. Son nom est 3-méthylbutan-2-ol.

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage (Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 402)

☐ Savoir écrire les formules brute et semi-développée d'une molécule			[DIFF]	18	19	22
☐ Connaître et savoir identifier les groupes caractéristiques d'une molécule	11		[DIFF]		19	
☐ Savoir nommer une molécule à partir de sa formule semi-développée et inversement	11	12	[DIFF]	18		22
☐ Savoir identifier les groupes caractéristiques d'une molécule grâce à l'analyse d'un spectre IR			[DIFF]			22

Pour s'échauffer

5 Comprendre un modèle moléculaire

- Donner la formule brute de cette molécule.
- Est-ce une molécule ramifiée ? Justifier.
- Entourer le groupe caractéristique et donner sa famille chimique.



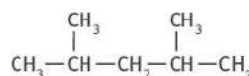
6 Formules semi-développées d'alcanes

- Écrire les formules semi-développées des alcanes suivants.
- Butane.
 - 2-méthylpentane.
 - 3-éthyl-2-méthylhexane.
 - 3,3-diméthylpentane.
 - 3-éthyl-2,5-diméthylhexane.

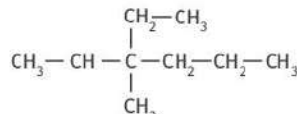
7 Nommer des alcanes

- Donner le nom des molécules suivantes.

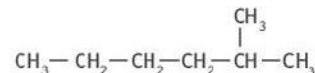
a.



b.



c.



Pour commencer

NOTA Pour l'interprétation des spectres infrarouges dans les exercices, se référer à la table IR du doc. 7 p. xxx.

Écrire des molécules

8 Représenter des molécules en formule semi-développée

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie organique

- Représenter trois isomères en formule semi-développée pour chaque formule brute qui suit.

a. $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ b. $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ c. $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$

INFO : Les formules brutes a., b. et c. peuvent correspondre à plusieurs formules semi-développées. Chaque formule semi-développée représente un isomère de constitution de la molécule.

9 Connaître les principales fonctions chimiques des molécules organiques

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Quel est le groupe caractéristique associé aux familles chimiques suivantes ? Le représenter en formule semi-développée.
- Alcool.
 - Aldéhyde.
 - Cétone.

- Représenter la formule semi-développée de l'acide 3-méthylpentanoïque.

INFO : Une molécule organique en plus d'être linéaire ou ramifiée peut être cyclique. Elle est cyclique si la chaîne carbonée se referme sur elle-même. On rajoute alors le préfixe cyclo- pour la nommer.

10 Associer une molécule à sa formule brute

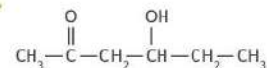
✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie organique

- Associer à chaque molécule sa formule brute.

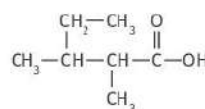
A.



B.



C.



D.



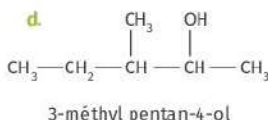
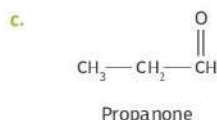
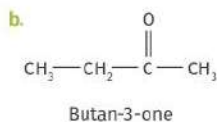
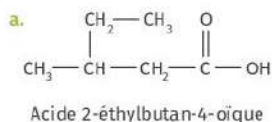
- C_6H_{12} .
 - $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$.
 - $\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$.
 - $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$.
- Reproduire les molécules en formule semi-développée. Entourer et nommer les groupes caractéristiques.

Nommer des molécules

11 Chercher l'erreur

✓RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie organique

1. Des noms ont été donnés aux molécules suivantes. Corriger ces noms si besoin et justifier.



2. Reproduire chaque molécule en formule semi-développée. Entourer et nommer les groupes caractéristiques.

12 Nomenclature

✓RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie organique

- Représenter la formule semi-développée des molécules suivantes et donner leur famille chimique en justifiant.

- Butanone.
- Acide méthylpropanoïque.
- 3-éthylpentanal.
- 3-éthyl-2-méthylhexan-2-ol.
- 2,5-diméthylhexan-3-one.
- 4-éthyl-2,5-diméthylhexan-2-ol.
- Propylhexane.
- 2,4,5-triméthylhexane.

Numérique

Retrouvez plus d'exercices sur [LLS.fr/PC1P162](https://lls.fr/PC1P162).

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

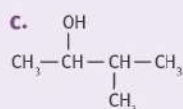
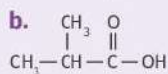
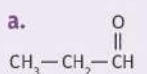
□ Savoir-faire : Connaître et savoir identifier les groupes caractéristiques d'une molécule

13 Qui suis-je ?

✓RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie organique

La molécule recherchée est un alcool en phase liquide.

1. Parmi les formules ci-dessous, laquelle correspond à la molécule recherchée ? Justifier.



- Donner sa formule brute et son nom.
- Quelle(s) serait(en)t la (ou les) bande(s) caractéristique(s) du spectre IR de la molécule recherchée ?

14 Qui suis-je ?

✓RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie organique

1. Trouver le modèle moléculaire associé à une molécule de cétone.



- Donner sa formule brute, semi-développée et son nom.
- Pour chaque molécule donner la famille chimique en justifiant.

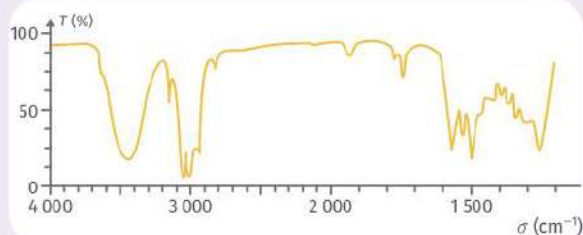
4. Quelles seraient les bandes caractéristiques du spectre IR de la molécule recherchée ?

INFO : Certaines molécules possèdent des doubles liaisons entre deux atomes de carbone. C'est le cas de la molécule a. de l'exercice 14. La présence de ce type de liaison est caractéristique de la famille de molécules appelée **alcène**.

15 Qui suis-je ?

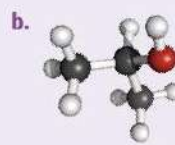
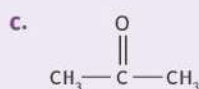
✓RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie organique

La molécule recherchée a le spectre IR ci-dessous.



1. Parmi les représentations ci-dessous, laquelle correspond à la molécule recherchée ? Justifier.

a. L'acide 3-méthylpentanoïque.



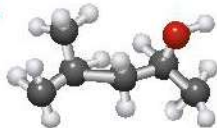
2. Donner la formule brute, semi-développée et le nom de la molécule recherchée.

Étude en laboratoire de recherche

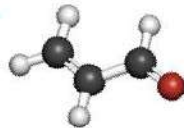
Énoncé

Lisa travaille dans un laboratoire de chimie. Elle vient de synthétiser une molécule dont le modèle est l'un des suivants.

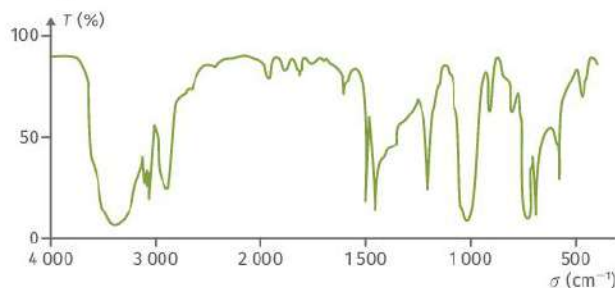
a.



b.



Son spectre IR est donné ci-dessous.



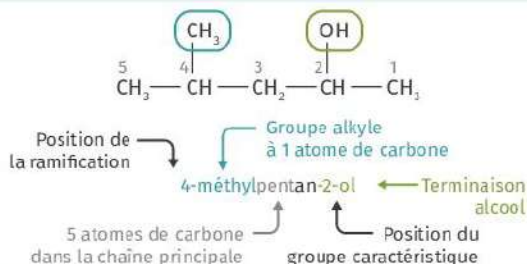
1. Identifier la molécule synthétisée.
2. Donner sa formule semi-développée et son nom.

Solution rédigée

1. La molécule **a.** possède un groupe hydroxyle (—OH) caractéristique des alcools, la molécule **b.** possède un groupe carbonyle (—C=O).

Sur le spectre IR de la molécule synthétisée, on remarque une bande large entre 3000 cm^{-1} et 3500 cm^{-1} . Cette bande est caractéristique d'une liaison O—H d'un alcool. De plus, on constate l'absence de bande aux environs de 1700 cm^{-1} caractéristique d'une liaison C=O . La molécule synthétisée est un alcool, c'est la molécule **a.**

2.



ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Quels sont les groupes caractéristiques présents dans chaque molécule proposée ? Quelles sont les bandes caractéristiques sur le spectre IR ? Voir le **doc. 7** du cours p. 158.
2. Formule semi-développée : combien de liaisons doivent avoir les atomes pour être stables ?
Nomenclature : combien d'atomes constituent la chaîne carbonée principale ? Y a-t-il des ramifications de type alkyle ? Y a-t-il un groupe caractéristique ?

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Entourer les groupes caractéristiques sur les modèles moléculaires. Entourer les bandes caractéristiques sur le spectre IR. Ne pas oublier de citer les nombres d'onde auxquelles correspondent les bandes caractéristiques.
2. Vérifier que l'atome de carbone fait 4 liaisons, l'atome d'hydrogène 1 liaison et l'atome d'oxygène 2 liaisons dans la formule semi-développée. Repérer le ou les groupes caractéristiques dans la formule semi-développée. Repérer la chaîne carbonée principale et la numéroté pour que le groupe caractéristique ait le plus petit numéro. Repérer les ramifications alkyles.

16 Mise en application

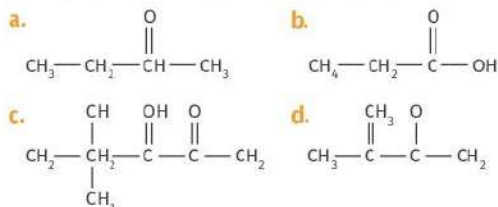
1. Donner la formule semi-développée de l'acide 2,3-diméthylbutanoïque.
2. Quelles seraient les bandes caractéristiques observées sur son spectre IR ?

Pour s'entraîner

17 Trop ou pas assez de liaisons ?

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

Inès aide son petit frère Camille à écrire les formules semi-développées de molécules. Les molécules représentées par Camille sont données ci-dessous.



- Donner la structure électronique des atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène.
- Combien de liaisons doivent faire les atomes de carbone, d'oxygène et d'hydrogène pour être stables ? Justifier.
- Aider Inès à corriger les formules semi-développées de Camille en justifiant.

18 Formule d'un alcane inconnu

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

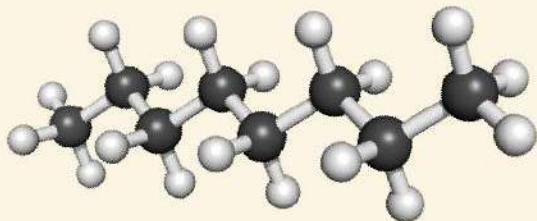
On cherche à représenter un alcane A qui a pour masse molaire $M(A) = 58 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

- Donner la formule brute générale d'un alcane.
- Déterminer la formule brute de cet alcane. Justifier.
- Représenter les deux formules semi-développées possibles de cet alcane.
- Donner le nom des deux alcanes possibles.

INFO : Un hydrocarbure est un composé organique constitué seulement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Les alcanes sont donc des hydrocarbures. Ce sont les composants principaux du pétrole.

► L'octane

L'octane C_8H_{18} est un des hydrocarbures présents dans le pétrole.



19 La molécule de vanilline

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Dire si ces propositions sont vraies ou fausses et justifier.
 - La vanilline a une fonction cétone.
 - La molécule est cyclique.
 - On observe une bande large vers 3500 cm^{-1} sur son spectre IR.
 - La formule brute de cette molécule est $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{O}_3$.

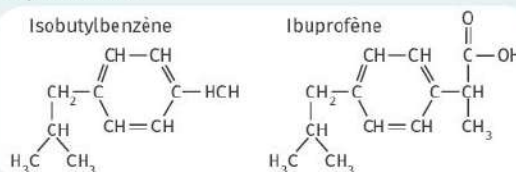


Comprendre les attendus

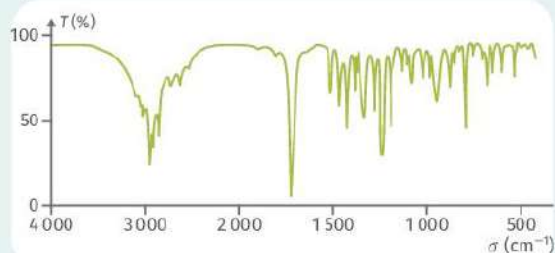
20 Synthèse de l'ibuprofène

✓ APP : Extraire l'information utile sur des supports variés

Gabriel réalise la synthèse de l'ibuprofène, molécule qui a des propriétés anti-inflammatoires. Il souhaite obtenir l'ibuprofène à partir de la molécule d'isobutylbenzène.



Il réalise le spectre IR de la molécule obtenue après synthèse.



- Gabriel a-t-il réussi à synthétiser la molécule d'ibuprofène ? Justifier.

Détails du barème

TOTAL/4 pts

- Repérer le groupe caractéristique de l'ibuprofène que l'isobutylbenzène ne possède pas. Repérer les deux bandes du spectre propres à ce groupe caractéristique et justifier avec les valeurs des nombres d'onde en cm^{-1} . Conclure sur le spectre IR d'un acide carboxylique et la synthèse de l'ibuprofène.

1 pt

1 + 1 pts

0,5 + 0,5 pt

21 Un acide aminé : la glutamine

✓ RAI/ MOD : Respecter les conventions en chimie organique

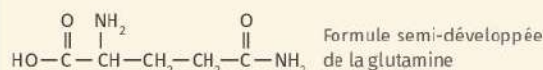
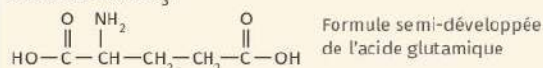


L'acide aminé le plus abondant dans l'organisme, la glutamine et particulièrement la L-glutamine, joue un rôle fondamental pour la régulation acido-basique du sang. La glutamine est particulièrement utilisée par les sportifs de haut niveau pour améliorer les performances physiques.

D'après le sujet Bac S, Polynésie, 2018.

Doc. 1 La glutamine et l'acide glutamique

La glutamine est synthétisée au sein de l'organisme à partir de l'acide glutamique qui fixe une molécule d'ammoniac NH_3 .



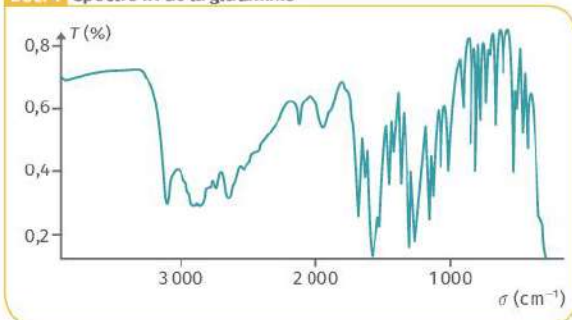
Doc. 2 Les groupes caractéristiques

Nom	Hydroxyle	Carboxyle	Amine	Amide	Carbonyle	
Groupe caractéristique	$-\text{OH}$	$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{O} \end{array}$	$-\text{NH}_2$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{N} \end{array}$	Aldéhyde $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Cétone $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$

Doc. 3 Table des bandes d'absorption en IR

Liaison	σ (cm^{-1})	Intensité
O - H alcool libre	3500-3700	Forte, fine
O - H alcool lié	3200-3400	Forte, large
O - H acide carboxylique	2500-3200	Forte à moyenne, large
N - H amine	3100-3500	Moyenne
N - H amide	3100-3500	Forte
N-H amine ou amide	1560-1640	Forte ou moyenne
C = O ester	1700-1740	Forte
C = O amide	1650-1740	Forte
C = O aldéhyde et cétone	1650-1730	Forte
C = O acide	1680-1710	Forte

Doc. 4 Spectre IR de la glutamine



1. Doc. 1 et 2 Recopier les formules semi-développées de l'acide glutamique et de la glutamine, entourer les groupes caractéristiques et donner leurs noms.

2. Dans le cas de molécules polyfonctionnelles, la nomenclature officielle impose le choix d'un groupe caractéristique prioritaire qui donne son nom à la molécule. Le nom de la glutamine en nomenclature officielle est : acide 2-amino-5-amidopentanoïque. Quel est le groupe caractéristique prioritaire pour la glutamine ?

3. Doc. 3 et 4 Pour identifier la glutamine, on utilise la technique de spectroscopie IR. Donner trois arguments justifiant que le spectre IR proposé peut être celui de la glutamine.

22 Copie d'élève à commenter

♦ Proposer une correction pour chaque erreur soulignée par le correcteur.



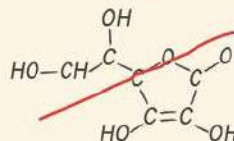
Cette molécule est l'acide ascorbique (vitamine C).

1. La molécule de vitamine C possède 4 groupes carboxyles.

Sa formule semi-développée est : $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$.

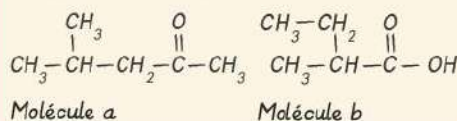
2. Le spectre IR de la molécule d'acide ascorbique a des bandes caractéristiques correspondant au liaison =C=O d'un alcool vers 3200 cm.

3. La formule brute de l'acide ascorbique est :



4. Le nom de la molécule a est le méthylpentan-2-al.

5. Le nom de la molécule b est le 2-méthylpropanoïque.



23 Les dangers de la cigarette

✓ APP : Savoir extraire l'information utile sur des supports variés

Le document ci-dessous représente les principales molécules présentes dans une cigarette. Nous allons étudier cinq d'entre elles plus précisément.

Acétone ①
dissolvant pour vernis à ongles

Phosphore
composant du poison anti-rats

Goudron
colle les cils vibrants dans les poumons

Formaldéhyde ③
(plus petit aldéhyde)
utilisé dans le liquide d'embaumement des cadavres

Naphtaline
gaz composant des boules antimites

Nicotine
responsable de la dépendance au tabac

Cadmium
utilisé dans les batteries de voiture, métal lourd

Monoxyde de carbone
gaz d'échappement, réduit la quantité d'oxygène absorbée par les globules rouges du sang

Chlorure de vinyle
utilisé dans les matières plastiques, diminution de la libido

Acide cyanhydrique
employé dans les chambres à gaz

Cire d'abeille

Ammoniaque
détergent, utilisé pour renforcer la dépendance à la cigarette

Laque
vernis chimique

Térébenthine
diluant pour les peintures synthétiques

Arsenic
composant des insecticides anti-fourmis

Méthoprene
régulateur de croissance des insectes

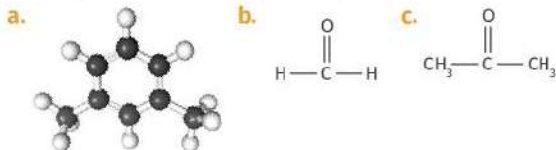
Polonium 210
élément radioactif

DDT
insecticide

Xylène
hydrocarbure, cancérigène

Plomb
métal toxique

1. Identifier, parmi les molécules suivantes, celles qui correspondent aux composés ①, ③ et ⑤ de l'affiche.



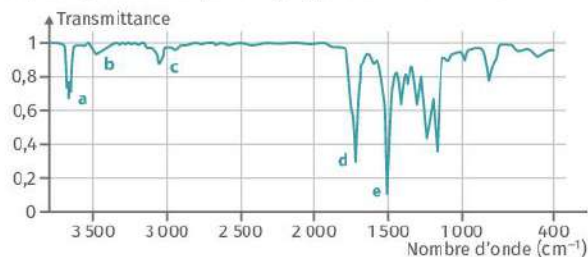
- À partir des formules données ci-dessus et du document, donner la formule brute, la formule semi-développée et le nom des 5 molécules repérées sur l'image.
- Entourer les groupes caractéristiques présents dans chaque molécule.
- Quel autre nom peut-on donner au formaldéhyde ? à l'acétone ?
- Comment pourrait-on différencier en spectroscopie IR la molécule de formaldéhyde et le xylène ?

24 Liquide ou gaz ?

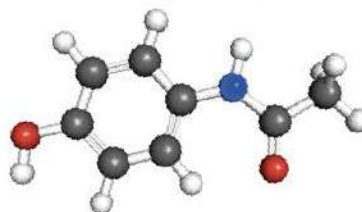
✓ APP : Savoir extraire l'information utile sur des supports variés

Une entreprise pharmaceutique fabrique du paracétamol. C'est un médicament proche de l'aspirine par ses propriétés analgésiques et antipyrétiques. On le retrouve dans de nombreux médicaments.

L'entreprise réalise le spectre IR du paracétamol obtenu après synthèse en phase gaz, présenté ci-dessous.



La molécule de paracétamol est représentée ci-dessous.

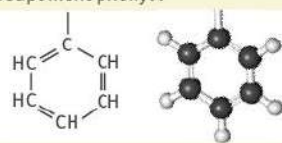


- Donner sa formule brute et semi-développée.
- Entourer les groupes caractéristiques présents dans la molécule de paracétamol (on pourra s'aider des groupes caractéristiques présentés en page de rabat).
- Le paracétamol est aussi appelé acétyl-para-amino-phénol, expliquer d'où vient son nom usuel.
- Attribuer les pics a, b, c, d et e du spectre IR ci-dessus
→ **Fiche méthode 17, p. 395.**
- Comment serait modifié le spectre IR du paracétamol en phase liquide (condensée) ? Justifier.

CONSEIL

Un groupement phényle est un groupement de 6 atomes de carbone qui s'associent en cycle. Si on ajoute un groupement hydroxyle (-OH) sur ce cycle (comme pour le paracétamol), on parle alors de phénol (terminaison -ol de l'alcool).

Groupe phényle :



De plus, le préfixe para- signifie qu'il y a deux groupements rattachés l'un en face de l'autre sur le groupement

phényle, d'où le nom de paracétamol (le groupe amide est en position para- par rapport au groupe hydroxyle sur le phényle).

Pour aller plus loin

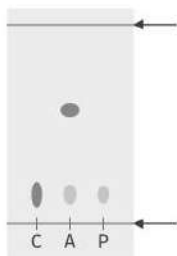
25 La caféine dans les médicaments

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours



La caféine a été découverte en 1819 par le chimiste allemand Friedlieb Ferdinand Runge (1794-1867). Il la nomma *kaffein* en tant que composé chimique du café, qui en français devint la caféine. La caféine est présente dans de nombreux aliments, elle agit essentiellement comme stimulant psychotrope (elle stimule le système nerveux). Un laboratoire de chimie étudie deux médicaments : l'actron, médicament

antalgique, et la percutaféine, pommade pour un traitement local à visée amincissante. Le laboratoire souhaite vérifier que ces deux médicaments contiennent bien de la caféine par chromatographie sur couche mince (CCM). Il dispose de caféine pure, d'un échantillon d'actron et d'un échantillon de percutaféine.

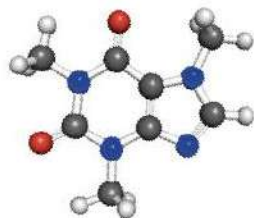


1. Proposer de manière détaillée le protocole de chromatographie sur couche mince pour aider le laboratoire.

La CCM réalisée par le laboratoire est donnée ci-contre.

2. À quoi correspondent les 2 traits horizontaux en haut et en bas ?

3. Pourquoi doit-on révéler la plaque avec une lampe UV ?



4. Le comprimé et la pommade contiennent-ils de la caféine ? Justifier.

La molécule de caféine est représentée ci-contre.

5. Écrire la formule semi-développée et brute de la molécule de caféine.

26 La découverte de l'urée

✓ APP : Savoir extraire l'information utile dans un texte

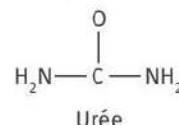
✓ RAI / MOD : Respecter les conventions en chimie organique

Les chimistes ont longtemps pensé que l'on ne pourrait jamais synthétiser en laboratoire une espèce chimique identique à celles synthétisées par un organisme vivant. Ces synthèses nécessitaient selon eux une force vitale que seuls les organismes vivants possédaient. L'urée est naturellement synthétisée dans le foie. En 1828, Friedrich Wöhler mélange une solution de cyanate de potassium

($K^+(aq)$; $OCN^-(aq)$) et une solution de chlorure d'ammonium ($NH_4^+(aq)$; $4Cl^-(aq)$). Il chauffe ce mélange puis le refroidit. Il voit alors apparaître des cristaux qu'il isole et qu'il souhaite identifier. Il observe au microscope ces cristaux et les compare à ceux d'urée extraits d'urine. Les échantillons ont la même composition chimique et la même forme. Il en conclut que les cristaux synthétisés sont constitués des mêmes molécules que ceux extraits de l'urine. Il met alors fin à la théorie de la force vitale.

1. L'urée est constituée d'atomes de carbone C, d'oxygène O, d'hydrogène H et d'azote N. Combien de liaisons doit faire chaque atome pour être stable ? Justifier.

2. Recopier et compléter la formule semi-développée ci-contre sans ajouter d'atome.



Urée

3. Donner la formule brute de l'urée.

4. Identifier les groupes caractéristiques présents dans la molécule d'urée. (On peut s'aider des groupes caractéristiques → Fiche méthode 17, p. 395).



HISTOIRE DES SCIENCES



La synthèse de l'urée est considérée comme la naissance de la chimie organique. C'est la première molécule organique synthétisée. En 1828, le jeune chimiste allemand Friedrich Wöhler (1800-1882) réussit à obtenir de l'urée, une molécule

« organique », terme qui, à l'époque, définissait une molécule produite par le monde vivant (ici, le monde animal). Pour cela, il utilise un composé minéral, le cyanate de plomb, de l'ammoniac et de l'eau. Avant cette expérience, on considérait que les molécules « organiques » ne pouvaient provenir que de constituants ou de dérivés d'organismes vivants habités par la « force vitale ». En réussissant cette synthèse de l'urée, Wöhler remet en cause l'existence même de la force vitale qui, pense-t-on alors, différencie le monde vivant du monde minéral. Il démontre également que la chimie minérale et la chimie « organique » sont liées et ouvre le champ de cette dernière, dont le domaine fut élargi à partir de 1840 à l'étude de tous les composés carbonés dans lesquels le carbone est associé *a minima* à de l'hydrogène.

André Brack, « Synthèse de l'urée », www.universalis.fr.

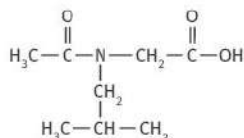
Numérique

Retrouvez plus d'exercices sur LLS.fr/PC1P167.

27 Quelle formule pour quelle molécule ?

✓ APP : Savoir extraire l'information utile sur des supports variés

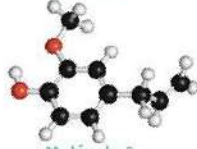
- On dispose des formules de six molécules appartenant à des médicaments. Le défi est de trouver le nom de chacune de ces molécules. Une fois chaque molécule trouvée, entourer et nommer le ou les groupes caractéristiques de chaque molécule.



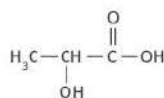
Molécule 1



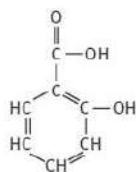
Molécule 2



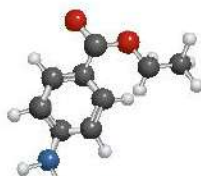
Molécule 3



Molécule 4



Molécule 5



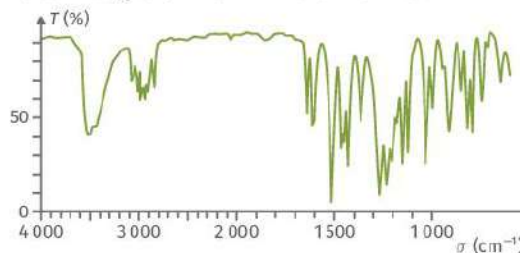
Molécule 6

Doc. 2 La kératose pilaire

La kératose pilaire est une maladie de peau se caractérisant par une sécheresse importante, ce qui donne à la peau un aspect rêche. Certains traitements thérapeutiques préconisent l'utilisation de modificateur de la kératinisation, tels que l'acide salicylique et l'acide lactique. Ces deux molécules possèdent les mêmes groupes caractéristiques : un groupe carboxyle et un groupe hydroxyle, mais la molécule d'acide salicylique est cyclique, contrairement à celle d'acide lactique.

Doc. 1 Des molécules utilisées en médecine

- L'acétylleucine, dont l'action sur le vertige de la souris a été découverte en 1957, est utilisée depuis avec succès comme médicament symptomatique des états vertigineux. Cette molécule comporte un groupe carboxyle et un groupe amide. Elle est présente notamment dans le Tanganil.
- L'eugénol est une molécule présente dans le baume du tigre servant à soulager les courbatures et les maux de tête. Son spectre IR est donné ci-dessous.
- L'aspirine est le nom usuel de l'acide acétylsalicylique. Elle est synthétisée par transformation chimique de l'acide salicylique, au cours de laquelle le groupe hydroxyle est transformé en groupe ester, alors que le reste de la molécule ne change pas.
- La benzocaïne est une molécule contenue dans des crèmes aux propriétés anesthésiantes comme le sédorhoïde. Elle a un groupe amine et un groupe ester.



Retour sur la problématique du chapitre

28 Comment peut-on détecter la présence d'alcool par infrarouge ?

✓ APP : Savoir extraire l'information utile sur des supports variés

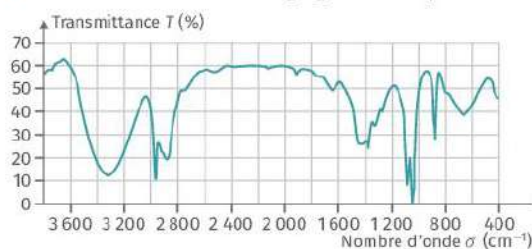
On peut contrôler le taux d'alcool dans le sang de plusieurs façons. Voir la technique avec le dichromate de potassium, exercice 50 p. 82.

► L'éthylomètre à infrarouge

Les éthylomètres à infrarouge font appel à la propriété qu'ont les alcools d'absorber dans l'infrarouge. Les appareils utilisés réalisent deux mesures, l'une pour $\lambda_1 = 3,03 \mu\text{m}$, l'autre pour $\lambda_2 = 3,48 \mu\text{m}$. Ces appareils à lecture directe sont de plus en plus utilisés car ils sont très précis.

D'après Annales de biologie clinique, 2003, vol. 61.

- Déterminer les nombres d'onde σ_1 et σ_2 (en cm^{-1}) correspondant aux longueurs d'ondes de mesure.
- Justifier le choix de ce réglage sur l'éthylomètre.



Les molécules organiques en autonomie

Objectifs :

- ➔ Préparer le cours en s'appropriant le vocabulaire et les notions concernant la représentation des composés organiques.
- ➔ Réaliser un bilan synthétique des notions abordées sous la forme d'une fiche méthodologique.

A La structure des molécules organiques



Visionner la capsule vidéo « Les molécules organiques » [LLS.fr/PC1P169](https://lls.fr/PC1P169).

1. En utilisant le pdf téléchargeable sur [LLS.fr/PC1P169](https://lls.fr/PC1P169) donner pour une molécule de chaque famille présentée :
 - la composition atomique ;
 - les formules développée et semi-développée ;
 - le nom et la représentation du groupe caractéristique ;
 - le nom de la famille à laquelle appartient la molécule.

CONSEILS :

- Prendre des notes pendant la vidéo.
- Trouver les mots-clés et les notions importantes.

2. **S'entraîner à identifier des fonctions organiques** avec l'animation disponible sur [LLS.fr/PC1FonctionsOrganiques](https://lls.fr/PC1FonctionsOrganiques).

B Identifier les molécules organiques

Lire la partie **3 Comment identifier une molécule ?** du cours à la page 160. Puis utiliser l'animation « Spectre infrarouge d'une molécule » disponible sur [LLS.fr/PC1SpectreIR](https://lls.fr/PC1SpectreIR).

Aide : pour comprendre le principe de la spectroscopie infrarouge, visualiser la capsule vidéo « Spectroscopie IR » sur [LLS.fr/PC1P169](https://lls.fr/PC1P169).

C Synthèse

Réaliser une fiche méthodologique synthétisant les principales notions abordées en utilisant un logiciel de présentation. La fiche devra inclure :

- un tableau regroupant les différents groupes fonctionnels, leur nom et leur représentation ;
- pour chaque molécule, une explication de la méthode pour identifier la molécule à partir de son spectre infrarouge ;
- le spectre infrarouge de chaque exemple de molécule (rechercher sur internet ou utiliser l'animation « Spectre infrarouge d'une molécule » sur [LLS.fr/PC1SpectreIR](https://lls.fr/PC1SpectreIR)) ;
- un exemple de molécule pour chaque groupe fonctionnel.

Les molécules organiques Principaux groupes fonctionnels

Identification à partir du spectre IR :

-
-

Spectres infrarouges :

-
-

Exemple de molécule :

-
-

Synthèse d'espèces chimiques organiques

DÉCONSTRUIRE LES IDÉES FAUSSES



« Les produits naturels (*naturally grown*) ne seraient pas composés de produits chimiques (*chemicals free*). »

➤ Les produits chimiques ont souvent mauvaise réputation mais sont-ils forcément néfastes ? Un composé synthétique est-il le contraire d'un composé naturel ?

➔ voir l'exercice 24, p. 184

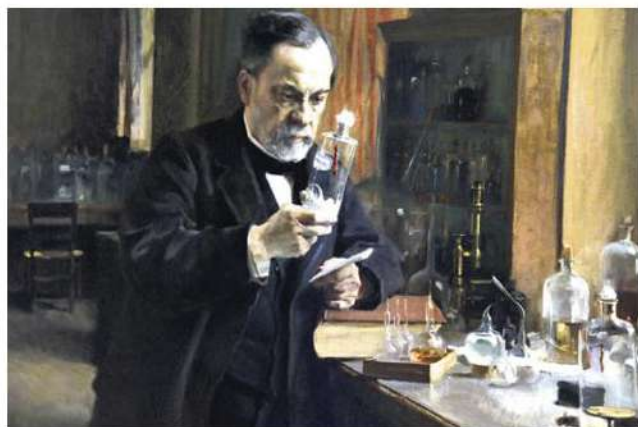
Travailler

autrement

HISTOIRE DES SCIENCES

Contrairement à ce que l'on peut penser, les recherches scientifiques n'aboutissent pas toujours au résultat attendu. Les erreurs et le hasard peuvent être source de grandes découvertes, on parle alors de sérendipité. Découvrez en fin de chapitre quelques exemples célèbres en chimie organique.

Voir p. 187



Louis Pasteur, découvrant le principe du vaccin par accident en 1879.



Selon la nature des réactifs et des produits, différents montages expérimentaux sont à disposition du chimiste.

→ Pourquoi un simple montage à reflux ne convient-il pas à toutes les synthèses organiques ?

→ voir l'exercice 26, p. 186

À revoir pour bien commencer

- État final d'une réaction chimique
- Solubilité et extraction par un solvant
- Structure des entités organiques (alcool, aldéhyde, cétone et acide carboxylique)

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P171

Objectifs du chapitre

- ❑ Identifier les différentes étapes dans le protocole d'une synthèse
- ❑ Justifier, à partir des propriétés physico-chimiques des réactifs et des produits, le choix des méthodes d'isolement, de purification ou d'analyse
- ❑ Déterminer le rendement d'une synthèse
- ❑ Schématiser des dispositifs expérimentaux

1 Synthèse d'un savon

Une des plus anciennes synthèses chimiques est la saponification, c'est-à-dire la fabrication d'un savon à partir d'un corps gras (aussi appelée hydrolyse basique des esters). On souhaite comparer une synthèse traditionnelle de savon aux procédés actuellement disponibles au laboratoire de chimie.

→ Comment mettre au point la synthèse d'un savon au laboratoire de chimie ?

Par intuition

Si un savon est soluble dans l'eau et dans une phase organique, comment l'isoler lors de sa synthèse ?

Doc. 1 Fabrication « en chaudron » d'un savon

Les premiers savons dits durs ont été élaborés dans le nord de l'actuelle Syrie au VIII^e siècle. Le savon d'Alep est obtenu par traitement à chaud d'huile d'olive par de l'hydroxyde de sodium (ou soude). Le processus chimique qui permet d'obtenir du savon est :

huile d'olive + soude → savon + glycérol.

Les deux produits de la réaction sont séparés lors de l'opération de relargage. La technique, pratiquée à l'ancienne, dure plus d'une semaine et comprend les quatre phases suivantes :

- 1) l'empâtage** : il consiste à mettre en présence l'huile d'olive et la soude et à les mélanger en les faisant bouillir en présence d'eau dans une cuve pour qu'elles réagissent ensemble ;
- 2) le relargage** : les deux produits formés sont séparés en ajoutant de l'eau salée. L'ensemble se divise en deux couches. La partie inférieure, mélangée avec de l'eau, est retirée par le fond du chaudron à travers une tubulure ;
- 3) la cuisson** : la pâte de savon restant dans le chaudron est chauffée à ébullition pendant de nombreuses heures avec un excès de soude pour compléter la transformation ;
- 4) les lavages** : ils éliminent l'excès de soude restant dans le savon ainsi que le glycérol et les impuretés.

Enfin, la pâte chaude du savon d'Alep est sortie de la cuve pour être étendue sur une feuille de papier, afin qu'elle refroidisse et perde une partie de son eau.

D'après le sujet Bac S, Nouvelle-Calédonie, 2006.

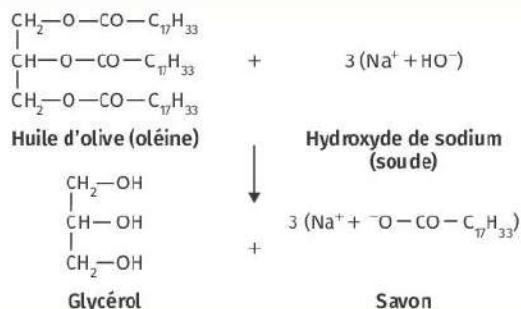
Doc. 2 Atelier traditionnel de fabrication de savon



Données

- **Solubilité du savon** : soluble dans l'eau, peu soluble dans l'eau salée.
- **Solubilité de l'hydroxyde de sodium** : très soluble dans l'eau et soluble dans l'eau salée ;
- **Miscibilité du glycérol** : miscible avec l'eau.

Doc. 3 Bilan de la réaction de saponification



Compétences

- ✓ RAI/ANA : Justifier un protocole expérimental
- ✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

- 1. Doc. 1** Pour chacune des étapes indiquées, déterminer s'il s'agit d'une étape de transformation des réactifs, d'isolement ou de purification du produit.
- Expliquer pourquoi on utilise de l'eau salée pour le relargage.
- À partir de ces informations, peut-on dire que les savons sont des composés naturels et/ou synthétiques ?

Synthèse de l'activité

Schématiser et légender les dispositifs expérimentaux qui pourraient être utilisés pour la synthèse d'un savon au laboratoire de chimie.

2 Synthèse du cyclohexanol

L'enjeu du chimiste lors d'une synthèse est de trouver des conditions qui permettent d'obtenir le produit isolé et pur à la fin du processus.

→ **Comment réaliser convenablement la synthèse d'un liquide ?**

Par intuition

Lors de la synthèse d'un composé liquide, comment isoler le produit ?

Doc. 1 Schéma de la transformation



Doc. 2 Transformation des réactifs

La synthèse du cyclohexanol peut se faire par réaction entre la cyclohexanone et une espèce chimique réductrice (le tétrahydruroborate de sodium, NaBH_4) dans un solvant (mélange eau/éthanol). On obtient en fin de réaction une seule phase.

Doc. 3 Isolement du produit

Pour isoler le produit synthétisé, on procède à une extraction liquide/liquide. Pour cela, on choisit un solvant (l'éthoxyéthane) non miscible avec l'eau, dans lequel le produit est très soluble et dans lequel les sous-produits sont très peu solubles.

On extrait donc la phase aqueuse avec ce solvant et on obtient, après lavages et séchage, une phase constituée uniquement du solvant (mélange éthoxyéthane et éthanol) et du produit.

Doc. 5 Purification et analyse du produit

Pour purifier le produit, il faut éliminer l'éthoxyéthane et l'éthanol. Pour cela, on procède à une distillation fractionnée : l'éthanol et l'éthoxyéthane ayant des températures d'ébullition plus basses que celle du cyclohexanol (respectivement $78,3^\circ\text{C}$ et $34,5^\circ\text{C}$ contre $160,8^\circ\text{C}$), ceux-ci vont s'évaporer et le produit reste, seul, dans le ballon. Pour caractériser la pureté du produit obtenu, on réalise un spectre infrarouge. Celui-ci présente une bande d'absorption large à 3331 cm^{-1} et aucune bande d'absorption vers 1700 cm^{-1} .

Doc. 4 Extraction liquide/liquide



Compétences

- ✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation
- ✓ RAI/ANA : Choisir un protocole

1. Doc. 1 Tous les sous-produits de la réaction sont-ils indiqués dans ce schéma de transformation ? Justifier.

2. Doc. 2 Que déduire de la phrase « on obtient en fin de réaction une seule phase » ?

3. Doc. 3 et 4 Expliquer le principe de l'extraction liquide/liquide. Pourquoi le cyclohexanol est-il plus soluble dans l'éthoxyéthane que dans l'eau ?

4. Doc. 5 L'analyse infrarouge permet-elle de montrer que le produit est pur ?

Synthèse de l'activité

Lister les dispositifs qui peuvent être utilisés pour la transformation des réactifs, l'isolement et l'analyse du produit obtenu dans le cas de la synthèse d'un liquide.

3 Synthèse de l'aspirine 90'

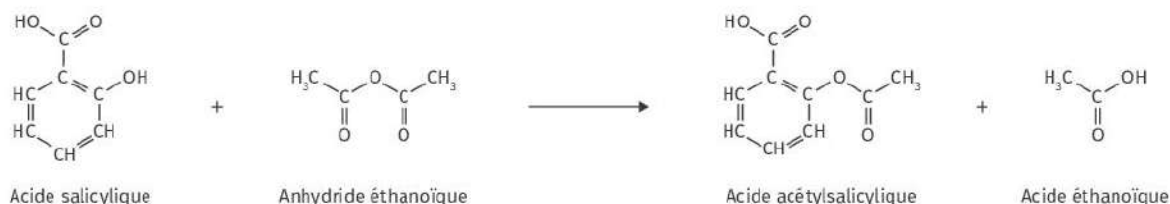
L'aspirine, ou acide acétylsalicylique, est un médicament bien connu qui est synthétisé par acétylation de l'acide salicylique.

→ **Comment réaliser la synthèse d'un solide tel que l'aspirine ?**

Par intuition

Est-il possible de synthétiser l'aspirine avec un rendement de 100 % ?

Doc. 1 Équation de la réaction



Doc. 2 Protocole expérimental

- Introduire dans un ballon sec 3,0 g d'acide salicylique ainsi que 5,0 mL d'anhydride éthanoïque.
- Ajouter une goutte d'acide sulfurique ainsi qu'une olive aimantée dans le ballon.
- Insérer le ballon dans un montage à reflux et chauffer à 60 °C pendant 15 minutes tout en agitant.
- Laisser refroidir le ballon à température ambiante puis le placer dans un bain eau/glace.
- Filtrer les cristaux obtenus à l'aide d'un dispositif de filtration sous vide puis les rincer avec un peu d'eau froide.
- Faire sécher le produit obtenu à l'étuve puis noter la masse m de produit obtenu.
- Mesurer la température de la fusion du produit synthétisé avec un banc Köfler.

Données

	Acide salicylique	Anhydride éthanoïque	Acide acétylsalicylique	Acide éthanoïque
Masse molaire	138 g·mol ⁻¹	102 g·mol ⁻¹	180 g·mol ⁻¹	60 g·mol ⁻¹
Densité	-	1,08	-	1,05
T_{éb} ou T_f	T _f = 159 °C	T _{éb} = 139 °C	T _f = 135 °C	T _{éb} = 118 °C
Solubilité dans l'eau / réactivité avec l'eau	Peu soluble	Réagit totalement avec l'eau	Très peu soluble à 20 °C, soluble à 60 °C	Très soluble
Pictogramme de sécurité				

Compétences

- ✓ RÉA : Mettre en œuvre un protocole
- ✓ RÉA : Agir de manière responsable

- 1. Doc. 1** Entourer et nommer le groupe caractéristique qui a été modifié lors du passage de l'acide salicylique à l'acide acétylsalicylique.
- 2. Doc. 2** Quel est l'intérêt de chauffer le milieu réactionnel ?
- D'après les données, pourquoi rince-t-on les cristaux formés avec de l'eau froide ?
- Mettre en œuvre le protocole du **doc. 2** après validation du professeur. D'après les données, la température de fusion permet-elle de conclure sur le produit synthétisé ?
- À partir de la masse m obtenue, calculer le rendement de la réaction, soit le rapport η de la masse de produit obtenu sur la masse maximale de produit théorique.

Synthèse de l'activité

Lister les dispositifs qui peuvent être utilisés pour la transformation des réactifs, l'isolement et l'analyse du produit obtenu dans le cas de la synthèse d'un solide.

1 Les étapes d'une synthèse en chimie organique

A Transformation des réactifs

➤ De nombreuses molécules d'intérêt (principes actifs de médicaments, molécules odorantes, etc.) sont artificielles ou disponibles dans la nature en très faible quantité. Il est donc nécessaire de les synthétiser.

➤ Une synthèse organique consiste à faire réagir plusieurs molécules, appelées réactifs, afin d'en obtenir de nouvelles, appelées produits.

La première étape d'une synthèse consiste à transformer, à l'aide d'une réaction chimique, **des réactifs** en une ou plusieurs molécules différentes, appelées **produits** de la réaction.

➤ Pour réaliser la transformation des réactifs, ceux-ci doivent être mis en contact. On a généralement recours à un solvant qui permet de solubiliser et de mélanger les différents réactifs.

La réaction peut ensuite avoir lieu à froid mais on utilise souvent un **montage à reflux (doc. 1)** qui permet d'accélérer la réaction tout en évitant les pertes de matière.

B Isolement du produit synthétisé

➤ Une fois la réaction terminée, on obtient un mélange contenant le produit synthétisé mais aussi les restes du milieu réactionnel. Il est alors nécessaire d'isoler le produit synthétisé. On peut alors réaliser :

- une filtration s'il s'agit d'un solide ;
- une extraction liquide-liquide.

Afin d'accélérer la filtration, celle-ci peut avoir lieu sous vide à l'aide d'un entonnoir Büchner (**doc. 2**).

C Purification

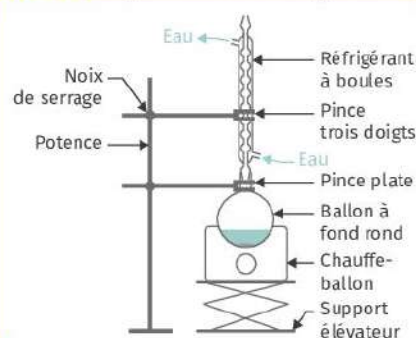
➤ Le produit isolé (appelé produit brut) n'est souvent pas pur.

Une partie de la purification peut déjà avoir lieu lors de l'étape d'isolement : la filtration et l'extraction liquide-liquide sont souvent suivies d'une étape de lavage.

On peut ensuite réaliser une nouvelle étape pour la purification : soit une recristallisation pour un solide, soit une distillation fractionnée pour un liquide (**doc. 3**).

Le montage de recristallisation est un montage à reflux dans lequel on introduit le produit brut solide et un solvant. Après avoir chauffé puis refroidi le mélange, le produit brut cristallise alors que les impuretés restent en solution. La distillation fractionnée permet de séparer les constituants d'un mélange liquide : on récupère les espèces par température d'ébullition croissante.

Doc. 1 Dispositif de chauffage à reflux

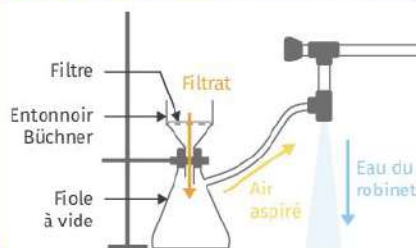


Éviter les erreurs

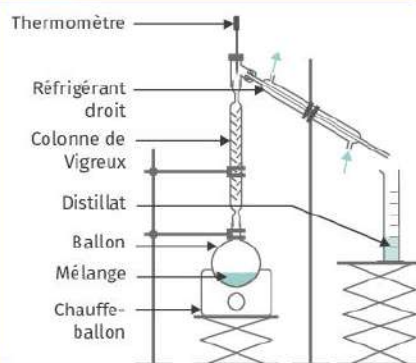
- On écrit le bilan d'une transformation chimique sous la forme d'une équation :

$$\text{Réactif}_1 + \text{Réactif}_2 \rightarrow \text{Produit}_1 + \text{Produit}_2$$
- On ajoute entre parenthèses l'état physique de chaque composé : (s) pour solide, (l) pour liquide, (g) pour gazeux et (aq) seulement pour un soluté dissous en phase aqueuse.

Doc. 2 Dispositif de filtration sous vide



Doc. 3 Montage de distillation fractionnée



2 Analyse du produit obtenu

A Identification

➤ Afin de contrôler la pureté du produit synthétisé et de s'assurer qu'il s'agit du produit souhaité, il faut procéder à une analyse du produit purifié.

Pour identifier la nature du produit synthétisé et vérifier sa pureté, plusieurs méthodes sont possibles. Parmi elles figurent notamment la chromatographie sur couche mince (ou CCM), la mesure d'une température de changement d'état ou encore l'analyse par spectroscopie infrarouge (voir **chapitre 8**, p. 150).

➤ La chromatographie sur couche mince permet de vérifier rapidement la présence d'impuretés mais aussi de vérifier la nature du produit si on dispose d'une référence (produit pur commercial par exemple). En effet, le chromatogramme d'un produit pur ne doit contenir qu'une seule tache et celle-ci doit se trouver à la même hauteur que celle du produit de référence.

➤ Pour un solide, on mesure généralement sa température de fusion à l'aide d'un banc Köfler (**doc. 4**). La température mesurée doit correspondre à la température de fusion du composé désiré. Sinon le produit n'est pas pur ou il ne s'agit pas du bon composé.

➤ Enfin, la spectroscopie infrarouge permet de vérifier les groupes caractéristiques présents sur le produit obtenu.

Toutes ces méthodes nécessitent l'utilisation d'une petite quantité du produit synthétisé.

B Calcul du rendement

➤ Une fois le produit pur identifié, il est intéressant de calculer le rendement de la réaction. Celui-ci permet de caractériser la qualité de la transformation : un rendement de 100 % indique que l'on a obtenu la quantité maximale de produit possible, un rendement proche de 0 % indique une réaction qui a mal fonctionné ou au cours de laquelle il y a eu beaucoup de pertes.

Calcul du rendement η d'une réaction :

$$\eta = \frac{\text{quantité de produit obtenu expérimentalement}}{\text{quantité maximale de produit que l'on aurait pu obtenir}}$$

La quantité maximale de produit que l'on aurait pu obtenir se calcule en faisant l'hypothèse d'une réaction totale et sans aucune perte de matière.

➤ Un rendement est toujours compris entre 0 et 1. Pour avoir le résultat en pourcentage, il suffit de multiplier ensuite par 100.

Remarque : La quantité peut désigner ici la masse de produit, sa quantité de matière ou son volume, à condition d'utiliser la même grandeur au numérateur et au dénominateur.

➤ Pour calculer le rendement d'une synthèse en plusieurs étapes, il suffit de multiplier le rendement des différentes étapes.

Pas de malentendu



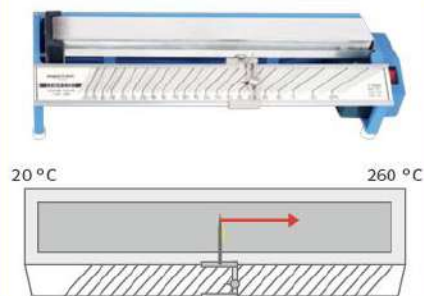
➤ Attention, en chimie le terme « produit » a plusieurs sens. Pour éviter les confusions, on réservera ce terme au cas des réactions chimiques et on utilisera les expressions composé chimique ou espèce chimique pour parler d'un produit chimique de manière générale.

Éviter les erreurs



- Pour calculer la quantité maximale de produit que l'on peut obtenir, on se place dans le cas d'une réaction totale.
- Pour ne pas se tromper, il est conseillé de raisonner avec les quantités de matière et éventuellement de faire un tableau d'avancement (voir **chapitre 5**).

Doc. 4 Principe d'un banc Köfler



Vocabulaire

- **Température de fusion :** elle correspond au changement d'état solide $\rightarrow$ liquide pour une espèce chimique.
- **Espèce chimique pure :** une espèce chimique est pure si elle ne contient qu'un seul type de molécules.

Pas de malentendu



➤ Attention, un rendement de 100 % ne signifie pas que le système chimique final contient uniquement le produit d'intérêt. Il y a souvent d'autres produits et parfois des réactifs introduits en excès.

Application

On réalise la synthèse de l'acétate d'éthyle grâce à la réaction entre l'acide éthanoïque et l'éthanol, modélisée par l'équation de réaction suivante : $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{l}) + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) \rightarrow \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Pour cela, on fait réagir un mélange équimolaire de 0,10 mol d'acide éthanoïque et 0,10 mol d'éthanol. Après réaction, on isole un volume $V_{\text{ae}} = 5,9 \text{ mL}$ d'acétate d'éthyle.

1. Calculer la quantité de matière maximale d'acétate d'éthyle qui aurait pu être synthétisée.
2. En déduire le rendement de cette réaction.

Corrigé :

1. Avec une réaction totale on obtiendrait $n_1 = 0,10 \text{ mol}$ de produit.
2. Ici la quantité de produit obtenue est $n_2 = \frac{\rho_{\text{ae}} \cdot V_{\text{ae}}}{M_{\text{ae}}} = 0,060 \text{ mol}$.
On en déduit le rendement : $\eta = \frac{n_2}{n_1} = 0,60 = 60\%$.

3 Élaboration d'un protocole

A Choix des méthodes

➤ Les méthodes expérimentales utilisées au cours de la synthèse d'un composé organique sont nombreuses et leur choix n'est pas aléatoire. Celui-ci est basé non seulement sur l'état physique des composés mais aussi sur les propriétés chimiques de ceux-ci.

Pour isoler un produit à l'aide d'une **extraction liquide/liquide**, il faut choisir un solvant dans lequel le produit est très soluble et, à l'inverse, dans lequel les autres composés restant dans le milieu réactionnel sont peu solubles. Le solvant utilisé pour l'extraction ne doit pas être miscible avec celui présent dans le milieu réactionnel. À l'inverse, lors d'une **filtration**, le solvant choisi pour le lavage doit être tel que le produit y est très peu soluble et que les autres composés y sont très solubles.

Enfin, pour purifier un composé lors d'une **recristallisation**, il faut choisir précisément le solvant : le produit doit y être soluble à chaud mais pas à froid, contrairement aux impuretés qui doivent y être solubles à chaud comme à froid.

B Schématisation des dispositifs expérimentaux

➤ Afin de décrire un protocole expérimental, il peut être intéressant de recourir à des schémas. Attention, un schéma n'est pas un dessin : l'objectif d'un schéma n'est pas de représenter fidèlement la réalité mais d'être compris par tous.

Un schéma permet de décrire les dispositifs expérimentaux rapidement. Ceux-ci doivent être clairs, complets et correctement légendés (voir **Bilan**, p. 178).

Données

• Masse volumique de l'acétate d'éthyle :

$$\rho_{\text{ae}} = 0,900 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1};$$

• Masse molaire de l'acétate d'éthyle :

$$M_{\text{ae}} = 88,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}.$$

Doc. 5 Maquette d'une rumerie



➤ L'acétate d'éthyle se retrouve à l'état naturel, en faibles quantités, dans des produits comme le rhum.

Éviter les erreurs

- Pour choisir correctement les méthodes expérimentales, il faut d'abord identifier le produit qui nous intéresse ainsi que les autres composés présents qu'on souhaite éliminer.
- Ne pas oublier de prendre en compte la dangerosité des composés utilisés (regarder les pictogrammes de sécurité).

Vocabulaire

• **Impureté** : tout composé encore présent avec le produit d'intérêt à la fin d'une réaction.

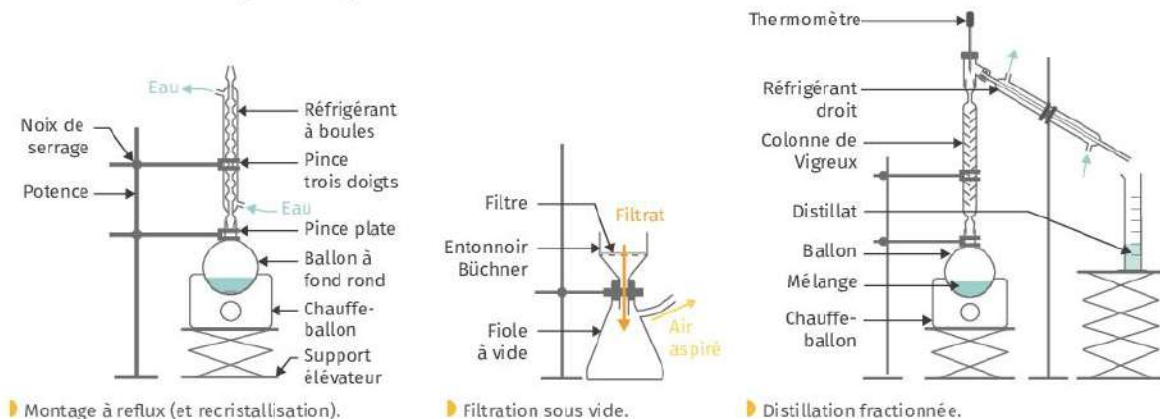
Pas de malentendu

- Pour schématiser les étapes d'une synthèse, il n'est pas nécessaire de représenter l'ensemble des opérations effectuées. Il faut schématiser les principales étapes (montage à reflux, extraction liquide/liquide ou filtration, distillation fractionnée ou recristallisation). Le reste des informations (par exemple, verre utilisé pour les prélèvements) peut être indiqué par une phrase.

Principales notions

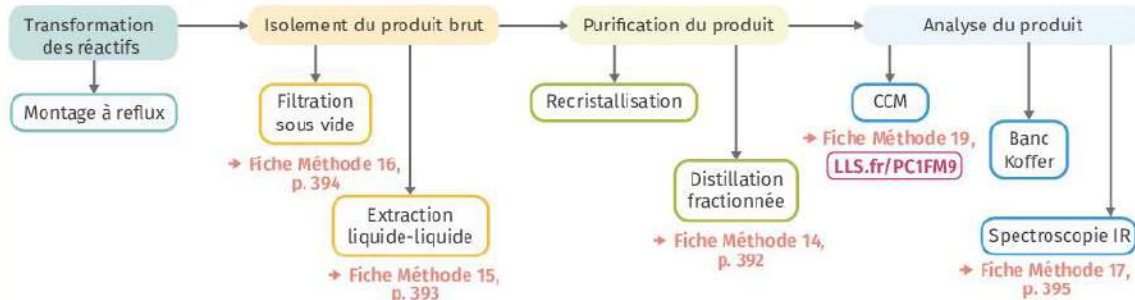
Calcul du rendement d'une réaction : Rendement $\eta = \frac{\text{quantité de produit obtenu expérimentalement}}{\text{quantité maximale de produit que l'on aurait pu obtenir}}$

Schématisation des dispositifs expérimentaux



Les éléments essentiels de la modélisation

Les étapes d'une synthèse en chimie



Les limites de la méthode

➤ Les synthèses en chimie organique sont souvent composées de plusieurs étapes, on parle de synthèses multi-étapes. Dans ce cas, le produit d'une réaction devient le réactif de la réaction suivante. Les étapes de purification et d'analyse du produit n'ont alors pas lieu à la suite de chaque réaction mais uniquement à la fin d'une série de réactions.

➤ Il existe d'autres méthodes expérimentales que celles abordées dans le cours : il faut conserver son esprit critique et analyser l'ensemble des données pour comprendre le rôle d'autres dispositifs lors d'une synthèse organique.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour faire une carte mentale et reprendre les principales notions du chapitre. LLS.fr/PC1P178

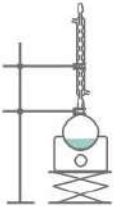
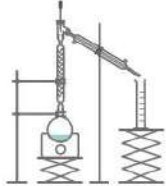
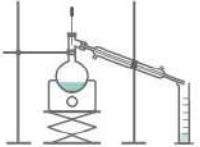
1 Les étapes d'une synthèse en chimie organique

	A	B	C
1. Lors d'une synthèse en chimie organique, l'extraction liquide/liquide est une étape qui sert à :	la transformation des réactifs.	l'isolement du produit.	la purification du produit.
2. Pour purifier un liquide, on peut utiliser :	une distillation fractionnée.	une filtration sous vide.	une recristallisation.
3. Une filtration sous vide permet de :	purifier un liquide.	isoler un solide.	analyser le produit obtenu.

2 Analyse du produit obtenu

1. La chromatographie sur couche mince permet de déterminer :	la pureté et la quantité de produit formé.	la nature et la pureté du produit formé.	la nature et la quantité de produit formé.
2. Pour calculer le rendement d'une synthèse, on peut calculer le rapport entre la quantité de matière de produit obtenu et :	la masse de réactif utilisé.	la masse maximale de produit que l'on aurait pu obtenir.	la quantité de matière maximale de produit que l'on aurait pu obtenir.
3. Le rendement maximal d'une synthèse est de :	90 %.	100 %.	200 %.

3 Élaboration d'un protocole

1. Lors du lavage d'un solide suite à une filtration, le solvant choisi doit être tel que :	le produit et les impuretés y sont très solubles.	seules les impuretés y sont très solubles.	seul le produit y est très soluble.
2. Choisir le schéma qui correspond à un dispositif de distillation fractionnée.			

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P179

4 Questions Jeopardy

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

- La mesure de sa température de fusion, la chromatographie sur couche mince ou l'analyse de son spectre infra-rouge.
- Un support élévateur, un chauffe-ballon, un ballon et un réfrigérant.

(Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 403)

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage

☐ Identifier, dans un protocole, les étapes de transformation des réactifs, d'isolement, de purification et d'analyse (identification, pureté) du produit synthétisé

9 10

☐ Déterminer, à partir d'un protocole et de données expérimentales, le rendement d'une synthèse

[DIFF]

19

☐ Justifier, à partir des propriétés physico-chimiques des réactifs et des produits, le choix des méthodes d'isolement, de purification ou d'analyse

13

17

☐ Schématiser des dispositifs expérimentaux des étapes d'une synthèse et les légèr

13

17

26

Pour s'échauffer

5 Distillation fractionnée

- Donner le rôle d'une distillation fractionnée lors d'une synthèse.
- Quel doit être l'état physique de l'espèce chimique formée pour qu'une telle opération soit envisageable ?

6 Mesure d'une température de changement d'état

- Donner le rôle d'une mesure de la température de changement d'état du produit à la fin d'une synthèse.
- Avec quel appareil peut-on mesurer une température de fusion ?

Numérique

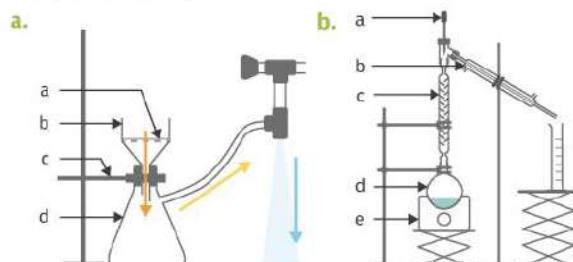
Retrouvez plus d'exercices sur [LLS.fr/PC1P180](https://lls.fr/PC1P180)

7 Chromatographie sur couche mince

- Combien de taches doit présenter un chromatogramme à la fin d'une synthèse si le produit obtenu est pur ?

8 Légèr des schémas

- Légèr les schémas suivants et indiquer le nom du dispositif correspondant.



Pour commencer

Les étapes d'une synthèse

9 Synthèse du cyclohexanol

✓ RAI/ANA : Justifier un protocole

Voici des extraits du protocole expérimental de la synthèse du cyclohexanol par réduction de la cyclohexanone :

- dans un ballon, placer la cyclohexanone, l'éthanol et le réducteur puis laisser réagir durant 20 minutes ;
- verser ensuite le mélange obtenu dans une ampoule à décanter et extraire la phase aqueuse à l'aide d'éther ;
- réaliser une distillation fractionnée de la phase organique après l'avoir lavée et séchée.

- Identifier les étapes de transformation des réactifs, d'isolement, de purification ou d'analyse du produit.
- Dans quel état physique se trouve, a priori, le cyclohexanol à la fin de la synthèse ?

10 Synthèse d'une coumarine

✓ RAI/ANA : Justifier un protocole

Voici des extraits du protocole expérimental de la synthèse d'un anticoagulant :

- placer dans un ballon les deux réactifs et l'éthanol puis réaliser un dispositif de chauffage à reflux ;

- laisser le mélange à reflux pendant 20 minutes puis procéder à une filtration sous vide ;
- après avoir séché le solide obtenu, mesurer sa température de fusion.

- Identifier les étapes de transformation des réactifs, d'isolement, de purification ou d'analyse du produit.
- Quelle(s) étape(s) aurait-on pu ajouter pour améliorer la pureté du produit synthétisé ?

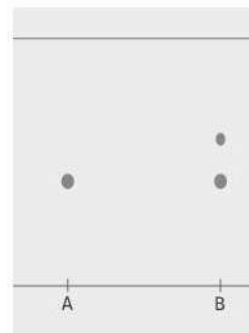
Analyse du produit obtenu

11 Synthèse de l'eugénol

✓ RAI/ANA : Justifier un protocole

Après une synthèse, on réalise une CCM et on obtient le chromatogramme ci-contre. Le dépôt A correspond à l'eugénol commercial et le dépôt B au produit obtenu.

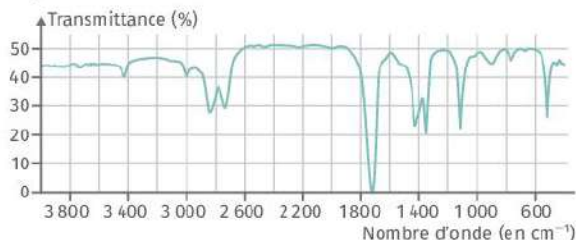
- La synthèse a-t-elle permis de former de l'eugénol ?
- Le composé obtenu est-il pur ?



12 Identification et pureté d'un composé

✓ RAI/ANA : Justifier un protocole

On souhaite réaliser la synthèse de l'éthanal CH_3CHO par oxydation de l'éthanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. Après réaction puis traitement, on isole le produit qui est ensuite analysé par spectroscopie infrarouge. Le spectre obtenu est représenté ci-dessous.



Répondre aux questions suivantes en s'aidant si besoin des tables IR ➔ **Fiche méthode 17, p. 395.**

1. Montrer que la réaction a effectivement eu lieu.
2. Reste-t-il de l'éthanol ? Quelle différence y aurait-il sur le spectre dans le cas contraire ?

Élaboration de protocoles

13 Première étape de la fabrication d'un savon

✓ RAI/ANA : Justifier un protocole

Pour réaliser la synthèse d'un savon, on chauffe à reflux pendant 30 min un mélange constitué d'oléine, d'hydroxyde de sodium (soude), d'éthanol et de quelques grains de pierre ponce. On transvase le mélange obtenu dans un bêcher contenant de l'eau salée.

1. Représenter le schéma du montage utilisé pour la première étape et le légender.
2. Quels sont les deux intérêts d'un tel montage ?
3. Quel est le rôle de l'éthanol ? De la pierre ponce ?
4. Représenter et légender le schéma du montage utilisé pour la filtration.

Données

Propriété/espèce	Oléine	Soude	Savon
Solubilité dans l'eau	Insoluble	Soluble	Soluble
Solubilité dans l'éthanol	Soluble	Soluble	-
Solubilité dans l'eau salée	Insoluble	Soluble	Peu soluble

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Déterminer, à partir d'un protocole et de données expérimentales, le rendement d'une synthèse

14 Rendement d'un produit solide

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

On fait réagir $5,0 \times 10^{-2}$ mol de géraniol $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$ et $6,0 \times 10^{-2}$ mol d'acide éthanoïque $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$. Après traitement, on isole 6,9 g d'éthanoate de géranyle $\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_2$.

1. Déterminer la quantité de matière maximale de produit qui aurait pu être synthétisée.
2. En déduire le rendement de la réaction.

Données

• Équation de la réaction :



• Masse molaire de l'éthanoate de géranyle :

$$M = 196,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

15 Rendement d'un produit liquide

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

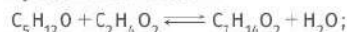
On réalise la synthèse de l'éthanoate d'isoamyle $\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$ à partir de 20 mL d'alcool isoamylique $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$ et de 15 mL d'acide éthanoïque $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$.

On obtient un volume d'ester égal à 20,4 mL.

1. Calculer les quantités de matière de chacun des réactifs et montrer que l'acide acétique est en excès.
2. Déterminer la valeur du rendement de cette synthèse.

Données

• Équation de la réaction :



- $M_{\text{acide acétique}} = 60,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\rho_{\text{acide acétique}} = 1,05 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$;
- $M_{\text{alcool isoamylique}} = 88,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\rho_{\text{alcool isoamylique}} = 0,81 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$;
- $M_{\text{éthanoate d'isoamyle}} = 130,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $\rho_{\text{éthanoate d'isoamyle}} = 0,86 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$.

16 Élaboration d'un protocole

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

On souhaite synthétiser 10 g de benzoate de méthyle $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$ à partir d'acide benzoïque $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$ et de méthanol CH_3O .

- Sachant que cette synthèse a un rendement de 70 %, déterminer le volume minimal de méthanol et la masse minimale d'acide benzoïque à utiliser.

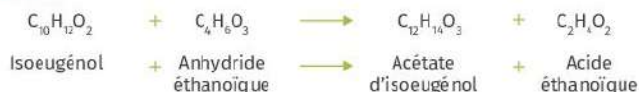
Données

• Équation de la réaction : $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$

- $M_{\text{acide benzoïque}} = 122,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\rho_{\text{acide benzoïque}} = 1,27 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$;
- $M_{\text{méthanol}} = 32,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\rho_{\text{méthanol}} = 0,79 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$;
- $M_{\text{benzoate de méthyle}} = 136,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\rho_{\text{benzoate de méthyle}} = 1,10 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$.

Synthèse de la vanilline (d'après le sujet Bac S, Liban, 2003)

Énoncé



Voici le mode opératoire de la synthèse de l'acétate d'isoeugénol qui constitue la première étape de la synthèse de la vanilline :

- introduire $m_1 = 10,0 \text{ g}$ d'isoeugénol, $V_2 = 20,0 \text{ mL}$ d'anhydride éthanoïque et quelques gouttes d'acide orthophosphorique dans un ballon ;
- chauffer à reflux pendant 30 minutes ;
- refroidir jusqu'à température ambiante puis verser le contenu du ballon dans un bécher contenant 30 mL d'eau glacée ;
- filtrer sous vide et laver les cristaux formés avec de l'eau glacée.

1. Schématiser et légender le montage utilisé pour la transformation des réactifs. Quels sont ses intérêts ?
2. Un groupe de TP a obtenu $m_3 = 11,3 \text{ g}$ de cristaux d'acétate d'isoeugénol. Calculer le rendement de leur synthèse.

Solution rédigée

1. Il s'agit d'un montage à reflux. Il permet d'augmenter la température du milieu réactionnel et donc la vitesse de réaction en évitant les pertes de matière.

2. Quantité de matière initiale d'isoeugénol notée n_1 :

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{10,0}{164,2} = 6,10 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

Quantité de matière initiale d'anhydride éthanoïque, notée n_2 :

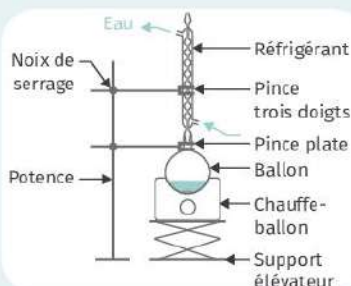
$$n_2 = \frac{d_2 \cdot \rho_{\text{eau}} \cdot V_2}{M_2} = \frac{1,08 \times 1,00 \times 20,0}{102,1} = 0,212 \text{ mol.}$$

Comme les nombres stœchiométriques valent tous 1, et que $6,10 \times 10^{-2} \text{ mol} < 0,212 \text{ mol}$, la quantité maximale d'acétate d'isoeugénol qui aurait pu être synthétisée est $n_{\text{max}} = 6,10 \times 10^{-2} \text{ mol}$ (il s'agit du réactif limitant).

Quantité de matière d'acétate d'isoeugénol obtenue, notée n_3 :

$$n_3 = \frac{m_3}{M_3} = \frac{11,3}{206,2} = 5,48 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

$$\text{Rendement } \eta = \frac{n_3}{n_{\text{max}}} = \frac{5,48 \times 10^{-2}}{6,10 \times 10^{-2}} = 0,898 = 89,8 \text{ \%}.$$



DONNÉES

- **Isoeugénol** : nocif en cas d'ingestion, irritant pour les yeux, les voies respiratoires et la peau :
 $M_1 = 164,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $d_1 = 1,08$;
- **Anhydride éthanoïque** : corrosif, inflammable, provoque des brûlures. Réagit avec l'eau en formant de l'acide éthanoïque : $M_2 = 102,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $d_2 = 1,08$;
- **Acétate d'isoeugénol** :
 $M_3 = 206,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $T_{\text{fusion}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Il faut identifier l'étape de transformation des réactifs dans le protocole puis voir quelles sont les indications données sur le montage utilisé.
2. Calculer d'abord la quantité de matière maximale qui aurait pu être obtenue à partir des quantités de réactifs utilisées. Comparer ensuite cette quantité à la quantité de matière réellement obtenue.

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Faire un schéma suffisamment grand et penser à légender chacun des éléments du montage.
2. Indiquer l'expression littérale puis l'application numérique pour chaque grandeur calculée. Penser aux chiffres significatifs et à l'unité de chaque résultat. Pour le calcul du rendement, ne pas oublier de calculer un rapport entre deux grandeurs qui ont la même unité.

Mise en application

Voir exercice 15, sur la synthèse de l'aspirine.

Pour s'entraîner

17 Synthèse du camphre

✓ RAI/ANA : Élaborer un protocole



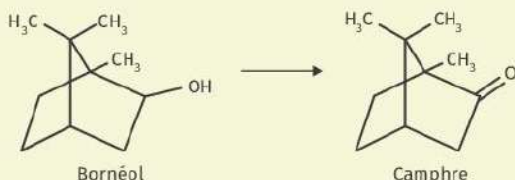
Huile de camphre et feuilles de camphrier.

On souhaite réaliser la synthèse du camphre par oxydation du bornéol. Pour cela, après avoir réalisé la réaction dans un ballon, on suit le protocole suivant :

- verser le contenu du ballon dans une ampoule à décanter et y ajouter 100 mL d'eau et 25 mL de solvant organique ;
- laisser décanter puis séparer les deux phases ;
- extraire à nouveau la phase aqueuse avec 25 mL de solvant organique ;
- après avoir lavé et séché les phases organiques réunies, éliminer le solvant pour récupérer uniquement le camphre synthétisé.

1. Quel est l'intérêt de la première étape ? En utilisant les données, choisir un solvant adapté pour cela.
2. Schématiser et légender le montage utilisé pour cette étape. Indiquer la position de chaque phase.
3. Proposer une méthode expérimentale permettant d'éliminer le solvant lors de la dernière étape.

INFO : Le camphre peut être récupéré à partir de distillation de racines ou d'écorces du camphrier. Cependant, il est actuellement principalement synthétisé à partir de l'alpha-pinène. La dernière étape de cette synthèse consiste en l'oxydation du bornéol que l'on peut schématiser ainsi :



Données

- **Bornéol** : presque insoluble dans l'eau, soluble dans la propanone et l'éther diéthylique, $T_{\text{fus}} = 208\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- **Camphre** : très peu soluble dans l'eau, très soluble dans l'éther diéthylique et dans la propanone, $T_{\text{fus}} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- **Réactif de Jones** : soluble dans l'eau, insoluble dans la propanone et l'éther diéthylique ;
- **Propanone** : miscible avec l'eau et l'éther diéthylique, $T_{\text{eb}} = 56\text{ }^{\circ}\text{C}$, $d = 0,78$;
- **Éther diéthylique** : non miscible avec l'eau, $T_{\text{eb}} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $d = 0,71$.

18 Pictogrammes de sécurité en QCM

✓ REA : Agir de façon responsable

1. Que signifie le pictogramme de sécurité ci-contre ?

- a. Toxique. b. Inflammable.
c. Cancérogène. d. Corrosif.



2. Que faire pour utiliser un composé qui présente le pictogramme ci-contre ? (Plusieurs réponses sont possibles.)

- a. Manipuler avec une blouse.
b. Manipuler avec des gants.
c. Manipuler avec des lunettes.
d. Manipuler sous hotte.



Comprendre les attendus

19 Synthèse de l'aspirine

✓ RAI/MOD : Utiliser la quantité de matière

On réalise la synthèse de l'aspirine $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$ à partir d'acide salicylique $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ et d'anhydride éthanóïque $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$ selon la réaction suivante :



À partir de 10,0 g d'acide salicylique et de 14,0 mL d'anhydride éthanóïque, on obtient, après traitements et purification, 6,2 g d'aspirine.



1. Quel est le réactif en excès ?
2. Déterminer la valeur du rendement de la synthèse.
3. Commenter l'efficacité de cette synthèse.

Données

Espèce chimique	Masse molaire	Masse volumique
Acide salicylique	$138\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	-
Anhydride éthanóïque	$102\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$1,082\text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$
Aspirine	$180\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	-

Détails du barème

TOTAL / 5,5 pts

1. Préciser l'expression littérale des quantités de matière introduites pour chacun des réactifs. Réaliser les applications numériques en respectant les chiffres significatifs et les unités. Comparer les quantités de matière en tenant compte des nombres stoechiométriques. 1 pt
2. Donner l'expression littérale du rendement. Réaliser l'application numérique en respectant les chiffres significatifs et les unités. 1 pt
3. Faire une phrase de réponse complète et cohérente avec la valeur trouvée à la question 2. 0,5 pt

20 Synthèse sans solvant

✓ RAI/ANA : Élaborer et justifier un protocole

BAC

Pour réaliser la synthèse de la chalcone, on suit le protocole suivant :



Angelica keiskei, plante contenant naturellement de la chalcone et réputée pour ses vertus thérapeutiques.

- placer dans un mortier en porcelaine les 2 réactifs ainsi que de l'hydroxyde de sodium NaOH solide ;
 - broyer le mélange pendant 5 minutes jusqu'à ce qu'il se solidifie et se morcelle ;
 - procéder à une filtration sous vide du mélange obtenu et laver le solide plusieurs fois avec de l'eau froide ;
- placer ensuite le solide obtenu à l'étuve.

1. Quel est l'intérêt de réaliser une réaction sans solvant ?
2. Quel est le rôle d'un solvant ? Quelle opération permet de se passer de solvant dans cette synthèse ?
3. Quel est ici le rôle de l'hydroxyde de sodium ?
4. Pourquoi lave-t-on le solide avec de l'eau froide ?
5. Pourquoi place-t-on ensuite le solide à l'étuve ?
6. Proposer une méthode expérimentale permettant de vérifier que le produit synthétisé est pur.
7. Proposer un protocole expérimental permettant de le purifier dans le cas où il ne serait pas pur.

Données

- Température de fusion de la chalcone : 59°C ;
- La chalcone n'est pas soluble dans l'eau, elle est soluble dans l'éthanol à chaud mais pas à froid ;
- Les impuretés formées au cours de la réaction ne sont pas solubles dans l'eau mais sont solubles dans l'éthanol ;
- L'hydroxyde de sodium est soluble dans l'eau.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver des ressources pour la chimie verte.

LLS.fr/PC1ChimieVerte

21 Synthèse d'un halogénoalcane

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

On souhaite réaliser la synthèse du 2-chloro-2-méthylbutane à partir de 25 mL 2-méthylbutan-2-ol et d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$; $\text{Cl}^-(\text{aq})$). On obtient en fin de synthèse un volume $V = 24,1$ mL de produit pur.

1. Sachant que cette réaction permet de remplacer un groupement hydroxyle par un atome de chlore, écrire l'équation bilan permettant de modéliser cette transformation.
2. Proposer une méthode permettant de vérifier la pureté du produit obtenu.
3. Calculer la quantité de matière de produit pur obtenu.
4. Sachant que l'acide chlorhydrique est introduit en excès, déterminer le rendement de cette synthèse.

Données

Espèce chimique	2-méthylbutan-2-ol	2-chloro-2-méthylbutane
Densité	0,805	0,865
Solubilité	Soluble dans l'eau	Peu soluble dans l'eau
Masse molaire	$88,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$106,6 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Température d'ébullition	102°C	$85,6^{\circ}\text{C}$

22 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.

1. Lors de la synthèse du paracétamol, le chauffage à reflux correspond à l'étape de transformation des produits en réactifs.
2. Lors de la filtration, on rince le paracétamol solide avec de l'eau pour purifier le produit. On choisit pour cela un solvant dans lequel le produit est très soluble.
3. Pour déterminer si le produit contient des impuretés, on peut procéder à une recristallisation.
4. Schéma légendé d'une filtration sous vide :



- L'intérêt de la filtration sous vide est de sécher le produit obtenu pour ensuite pouvoir le peser.
5. Le rendement est défini par le quotient de la masse du produit obtenu sur la masse des réactifs.

Pour aller plus loin

23 PROPOSITION DE PROTOCOLE



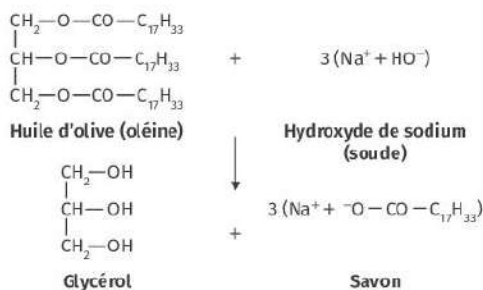
Synthèse d'un savon

✓ RAI/ANA : Élaborer un protocole



Savons d'Alep.

Les savons sont synthétisés à chaud à partir d'une solution concentrée d'hydroxyde de sodium (soude) ou d'hydroxyde de potassium (potasse) et de graisses végétales. Cette réaction, appelée saponification, correspond à l'hydrolyse d'un ester (la graisse végétale) pour former le savon, qui est sous forme d'ion carboxylate en milieu basique. La soude ou la potasse sont utilisées en excès. Voici le bilan de cette réaction de saponification sur l'oléine présente dans les huiles végétales.



1. Proposer un solvant permettant de réaliser la transformation des réactifs. Faire le schéma du montage utilisé et le légender.

Après réaction, le savon est sous forme d'ion carboxylate. On ajoute alors un acide dans le milieu pour former l'acide carboxylique qui précipite.

2. Proposer un protocole expérimental permettant d'isoler l'acide carboxylique obtenu. Peut-on le rincer avec de l'eau ? Justifier.
3. Le savon ainsi synthétisé est-il utilisable en l'état ? Sinon, expliquer ce qu'il faudrait faire avant de pouvoir l'utiliser.

Données

Espèce chimique	Dans l'eau	Dans l'huile	Dans l'éthanol
Hydroxyde de sodium ou de potassium 	Très soluble	Insoluble	Soluble
Oléine	Insoluble	Soluble	Soluble
Ion carboxylate	Soluble	Insoluble	Soluble
Acide carboxylique	Insoluble	Soluble	Insoluble

BAC

24 DÉCONSTRUIRE LES IDÉES FAUSSES



Synthèse de médicaments

✓ REA : Agir de façon responsable

Doc. 1 La synthèse du taxol

Le taxol est une molécule anticancéreuse qui a été isolée pour la première fois à partir d'un arbre, l'if du Pacifique. Cependant, l'if étant un arbre protégé et à croissance lente, les quantités de taxol extraites étaient très faibles.

C'est pourquoi les chimistes ont mis au point une synthèse de cette molécule en mimant ce qui est réalisé dans la nature. Ils ont ainsi isolé une molécule présente dans les feuilles en grande quantité à partir de laquelle il est possible de synthétiser le taxol.

Par ailleurs, ils se sont aperçus qu'une molécule obtenue au cours de la synthèse, le taxotère, possédait non seulement une activité thérapeutique, mais aussi que celle-ci était plus importante que celle du taxol. C'est ainsi que le taxotère a fini par devenir un médicament.

D'après Françoise Guéritte, « La nature pour inspirer le chimiste : substances naturelles, phytochimie et chimie médicinale », *La Chimie et la nature*, EDP sciences, 2012, p. 101-115.

Doc. 2 Forêt d'ifs du Pacifique (Oregon, États-Unis)



1. Un composé synthétique est-il le contraire d'un composé naturel ?
2. Proposer une définition pour les termes espèces naturelles, synthétiques et artificielles.
3. Expliquer comment la synthèse du taxol a été bénéfique pour la nature.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P185

25 Un compte rendu incomplet

✓ RAI/ANA : Justifier un protocole

Votre binôme de TP, Pierre, a réalisé une synthèse de l'aspirine. Il a cependant oublié de noter un certain nombre d'informations dans son compte rendu de TP.

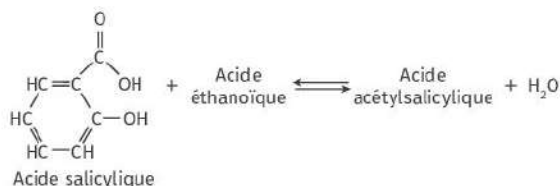
- Utiliser vos connaissances et les indications des documents pour l'aider à compléter son compte rendu et commenter la pureté du produit obtenu.

Page 1 Synthèse de l'aspirine

La réaction de synthèse de l'aspirine est une réaction d'estérification entre l'acide salicylique et l'acide éthanóïque. La réaction se fait plus précisément entre l'acide éthanóïque et le groupe hydroxyle de l'acide salicylique.

Équation de réaction incomplète de la synthèse de l'aspirine (appelée acide acétylsalicylique) :

Remarque de Pierre : Quelles sont les formules semi-développées de l'acide éthanóïque et de l'acide acétylsalicylique ?



Page 2 Analyse du produit de synthèse par CCM

Le chromatogramme obtenu par Pierre est le suivant.

L'éluant utilisé est l'acétate de butyle qui peut faire des liaisons hydrogène.

Remarques de Pierre : 1) En A j'ai déposé le produit synthétisé, mais j'ai oublié de noter si j'ai déposé les espèces de référence, à savoir l'acide salicylique pur et l'acide acétylsalicylique pur en B et C ou inversement. 2) J'ai oublié de noter la formule de l'acétate de butyle.



Page 3 Analyse du produit par banc Köfler

Pierre a regroupé les valeurs mesurées pour son produit et pour les espèces de référence dans un tableau.

Espèce	Température de fusion mesurée (°C)
Produit synthétisé	147
Corps pur de référence 1	159
Corps pur de référence 2	135

Remarque de Pierre : Là aussi j'ai oublié de noter quel corps pur de référence correspond à l'acide salicylique pur et lequel correspond à l'acide acétylsalicylique pur.

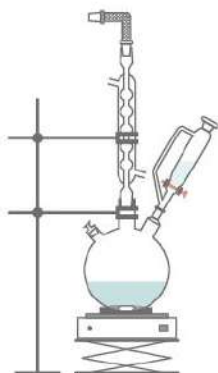
Retour sur la problématique du chapitre

26 Les organomagnésiens mixtes

✓ RAI/MOD : Respecter les conventions en chimie

Les organomagnésiens mixtes sont des composés très utiles en synthèse organique. Leur synthèse est délicate et il faut par exemple éviter tout contact avec l'eau.

Le montage utilisé pour cette réaction est représenté ci-contre, il s'agit d'un montage à reflux auquel sont ajoutés deux éléments :



- une garde à chlorure de calcium placée au-dessus du réfrigérant pour absorber l'eau présente dans l'air ;
 - une ampoule de coulée isobare pour ajouter des éléments lors de la synthèse sans ouvrir le montage.
1. Reproduire et légender le schéma du montage.
 2. Quel est l'intérêt de l'ampoule isobare ? Expliquer l'utilité du tube latéral de l'ampoule.



HISTOIRE DES SCIENCES

Les organomagnésiens sont également appelés réactifs de Grignard du nom de Victor Grignard, chimiste français qui reçut en 1912 le prix Nobel de chimie pour la synthèse et les applications de ces composés.

La sérendipité en chimie

A La sérendipité, ou l'exploitation du hasard

La **sérendipité** correspond à une découverte ou une invention faite par hasard, alors qu'on cherchait autre chose. La plupart des découvertes ou inventions ne relèvent pas de la sérendipité ; elles sont l'aboutissement d'un travail de recherche organisé, construit, dans lequel la chance vient parfois accélérer le processus. Mais plusieurs cas célèbres de sérendipité parcourent l'histoire de la chimie.

Cependant, **aucune découverte ne peut se faire sans réflexion**, sérendipité ou pas. Le génie des inventeurs et des chercheurs est de parvenir à comprendre l'importance de leur découverte fortuite, et de l'exploiter. Ainsi, en découvrant une pièce d'or, il faut pouvoir réaliser la portée de cette découverte : si le métal précieux n'est pas identifié ou si la pièce est ramassée sans plus de questions, alors le trésor enfoui ne pourra pas être découvert.



Alexander Fleming a découvert par « hasard » la pénicilline, antibiotique qui a révolutionné les soins, en 1928.

B Découverte de la mauvéine

Le **premier colorant de synthèse** fut découvert par hasard par le jeune **William Perkin (1838-1907)**. En 1856, âgé de seulement 18 ans, Perkin est l'assistant du Pr Hoffmann à l'université de Londres. Durant des vacances, il tente de synthétiser la quinine (médicament contre le paludisme) à partir d'aniline. Au lieu de la quinine désirée, il obtient un résidu noir qu'il aurait dû jeter... mais il remarque que, dilué dans l'alcool, le résidu donne une teinte violette. Perkin teste sa molécule, qui se révèle capable de teindre les tissus, et réalise qu'il peut la commercialiser. Il perfectionne le procédé pour le transposer à l'échelle industrielle, à partir de réactifs peu coûteux et fait fortune avec sa mauvéine.

À la suite de cette découverte, de nombreux chimistes de tous les pays tentent à leur tour de mettre au point de nouveaux colorants. L'engouement est tel que, vers 1900, de nombreuses teintures sont déjà disponibles à l'échelle industrielle, ce qui ruine les producteurs de plantes tinctoriales (garance, indigo, etc.).



Arthur Stockdale Cope, Sir William Henry Perkin, 1906, huile sur toile.

C Le Post-it

Spencer Silver (1941-) est un chimiste américain employé, dans les années 1970, par la société 3M, qui commercialise des adhésifs. En cherchant à mettre au point une colle très puissante, Silver aboutit à une colle... qui ne colle pas ! Comme le veut la tradition de l'entreprise, il fait part de sa découverte à ses collègues, au cas où cela puisse servir à quelqu'un.

Arthur Fry (1931-), autre chercheur chez 3M, entend parler de cette drôle de colle et l'essaie pour fixer les marque-pages de son livre de chants. Satisfait du résultat, il parvient à convaincre le service commercial de l'intérêt de cette découverte : le Post-it deviendra l'un des produits les plus rentables de la marque 3M.



Arthur Fry.

Conversions d'énergie au cours d'une combustion

ESPRIT SCIENTIFIQUE



L'avion est souvent présenté comme le moyen de transport le plus polluant.

➤ Cette affirmation se justifie-t-elle ?

➔ voir l'exercice 34, p. 205



Travailler

autrement

JEU
SÉRIEUX

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour aider l'opérateur de raffinerie à rédiger le rapport d'accident suite à l'incendie survenu en haut d'une colonne.

LLS.fr/PC1P188

Voir p. 207



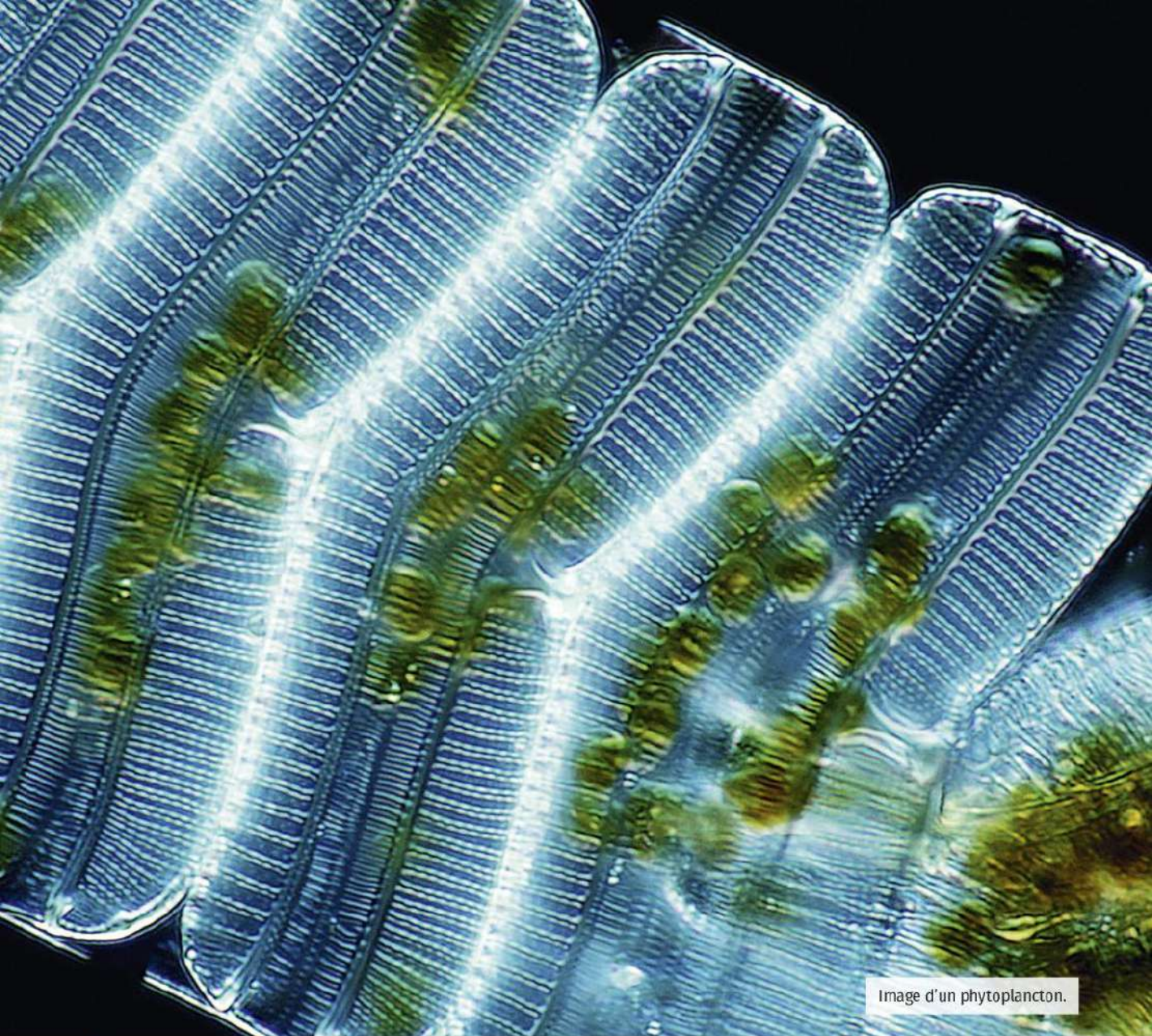


Image d'un phytoplancton.

En suspension dans l'eau de mer, le plancton végétal utilise le processus de photosynthèse.

→ **Comment le phytoplancton peut-il devenir un carburant du futur ?**

→ voir l'exercice 36, p. 206

À revoir pour bien commencer

- Savoir écrire l'équation de combustion du carbone et du méthane
- Les notions de transformations physiques exothermiques et endothermiques

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P189

Objectifs du chapitre

- ❑ Écrire l'équation de combustion des alcanes et des alcools
- ❑ Estimer l'énergie molaire de réaction d'une transformation
- ❑ Déterminer le pouvoir calorifique d'un combustible
- ❑ Connaître les applications d'une combustion et les risques associés

1 Le dihydrogène H_2 , un carburant vert ?

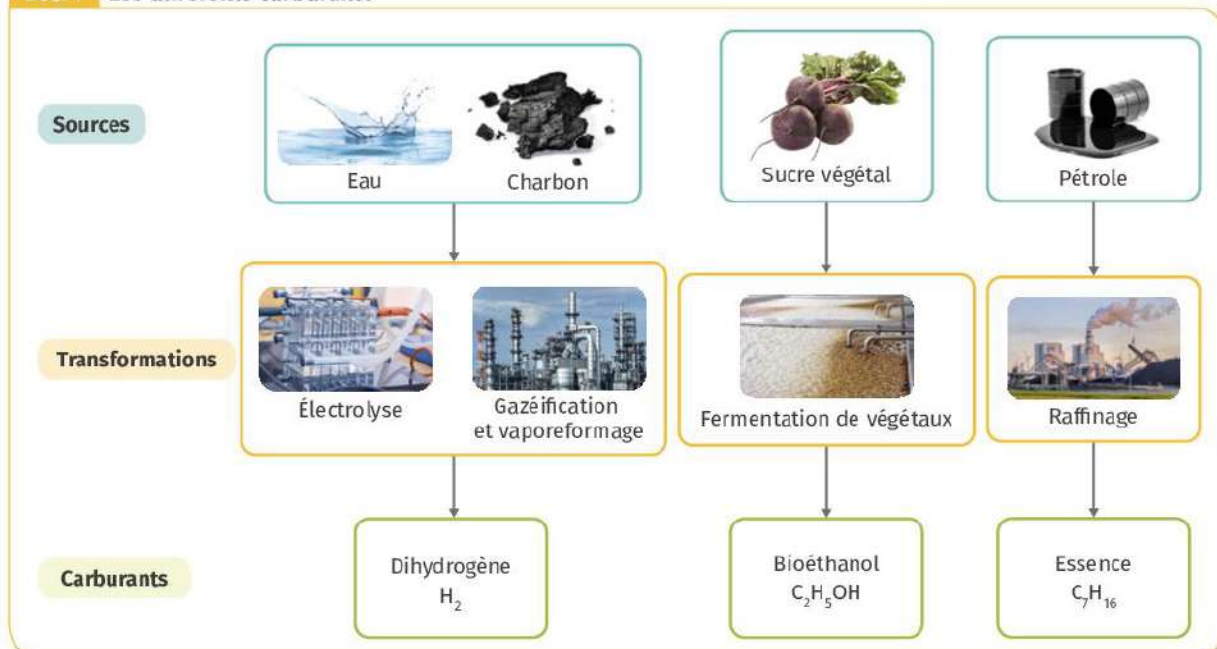
L'évolution des sources d'énergie a modifié considérablement le secteur automobile. Le dihydrogène est un carburant dit propre déjà utilisé dans certaines voitures à piles à combustible.

→ La combustion du dihydrogène est-elle écologique ?

Par intuition

Produire et exploiter une pile à dihydrogène est-il vraiment moins polluant que produire et consommer de l'essence classique ?

Doc. 1 Les différents carburants



Doc. 2 Les couples oxydant/réducteur

- Dihydrogène : $H_2O(l)/H_2(g)$;
- Éthanol : $CO_2(aq)/C_2H_5OH(aq)$;
- Essence : $CO_2(g)/C_7H_{16}(aq)$.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour en savoir plus sur le bilan énergétique et apprendre à comparer l'impact écologique de ces différentes voitures. LLS.fr/PC1P190

Compétence

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique

1. Doc. 2 Les combustions sont modélisables par des réactions d'oxydoréduction entre le carburant considéré et dioxygène O_2 . À partir du couple redox de chaque carburant et du couple $O_2(g)/H_2O(l)$, donner pour chaque combustion les demi-équations ainsi que l'équation modélisant la transformation.

2. Doc. 1 Écrire les équations de combustion complète de ces différents carburants.

3. Quel argument permet de qualifier le dihydrogène de « carburant vert » ?

Synthèse de l'activité

Pour une analyse des différentes sources d'énergie, des procédés de transformation et des produits rejetés, discuter du caractère plus ou moins écologique de chaque carburant.

2 Les déchets, sources d'énergie 60'

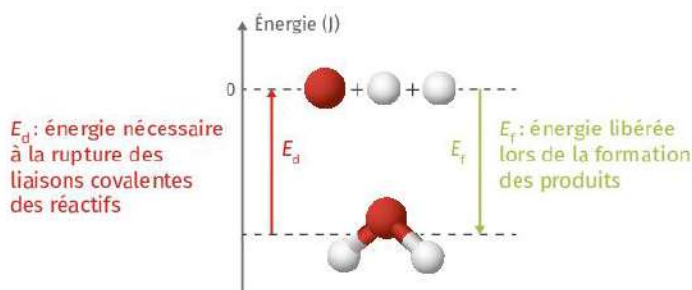
La méthanisation est une technique de recyclage des déchets organiques, à raison de 400 L de méthane récupéré par kilogramme de déchets organiques.

→ La méthanisation peut-elle subvenir à nos besoins énergétiques quotidiens ?

Par intuition

Quelle est la masse de déchets ménagers jetée par personne et par an ?

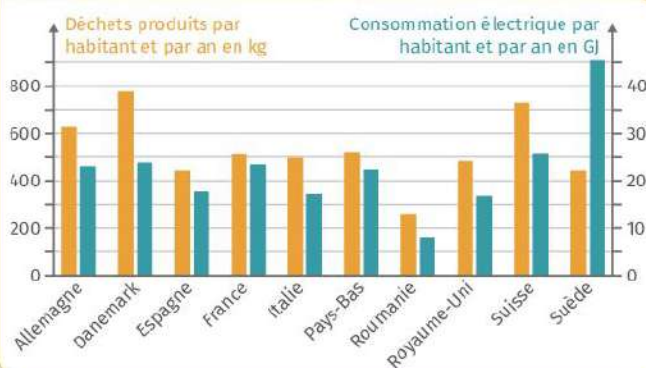
Doc. 1 Énergie de formation/dissociation de l'eau



Exemple : $E_d = E_f = 2 E_l(\text{O} - \text{H}) = 918 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Il faut fournir 918 kJ pour rompre toutes les liaisons d'une mole d'eau (flèche rouge), à l'inverse la formation de toutes les liaisons d'une mole d'eau à partir d'atomes isolés libère 918 kJ (flèche verte). Lors d'une réaction, l'énergie E_r consommée ou libérée correspond à la différence entre l'énergie de dissociation des réactifs et l'énergie de formation des produits.

$$E_r = E_d(\text{réactifs}) - E_f(\text{produits}).$$

Doc. 2 Consommation énergétique et déchets produits



Données

- $\rho(\text{CH}_4) = 0,403 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; • $M(\text{CH}_4) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- Énergies de liaisons :

Liaison	Énergie de liaison ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)
O - H	459
O = O	494
O - O	142
C = C	602
C - O	358
C = O	749
C - C	346
C - H	411

L'énergie de liaison est l'énergie qu'il faut fournir pour dissocier chaque atome d'une liaison.

Compétence

✓ RAI/MOD : Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie

1. Écrire l'équation de la réaction complète de combustion du méthane $\text{CH}_4(\text{g})$.
2. **Doc. 1 et 2** Avec l'aide des modèles moléculaires pour la combustion du méthane :
 - a. Estimer l'énergie de dissociation E_d (réactifs) pour une mole de méthane.
 - b. Estimer l'énergie de formation E_f (produits).
3. **Doc. 1** Déterminer l'énergie libérée lors de la combustion d'une mole de méthane.
4. Que représente en pourcentage l'énergie maximale récupérable par les 72 kg de déchets organiques d'un(e) Français(e) dans sa consommation annuelle énergétique ?

Synthèse de l'activité

La méthanisation est-elle une solution viable économiquement et écologiquement pour répondre aux besoins énergétiques ?

3 La mission Mars, un voyage écologique ?

La fusée Soyouz est une option pour le lancement de la mission Mars. Cette fusée utilise un mélange d'hydrocarbures en carburant, appelé kérosène. Ces hydrocarbures sont obtenus par raffinage du pétrole. Pour éviter la pénurie en combustibles fossiles, l'utilisation de biocarburant est envisagée.

→ Pourrait-on utiliser le bioéthanol lors d'une mission vers Mars ?

Par intuition

Tous les carburants disponibles sont-ils équivalents ?

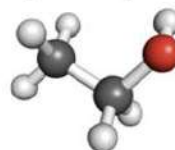
Doc. 1 Lancement d'une fusée Soyouz



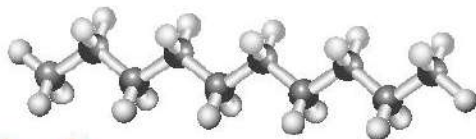
- Hauteur : 46 m ;
- Masse totale : 181,4 tonnes ;
- Carburant : 162,9 tonnes ;
- Masse à vide : 18,5 tonnes ;
- Diamètre maximal : 3,35 m ;
- Carburant : kérosène ;
- Premier lancement : 26 novembre 1966 ;
- Nombre de lancements : > 1 500 ;
- Poussée au décollage : 4 149 kN.

Doc. 3 Le bioéthanol

- Danger : 
- Masse volumique : $0,789 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$;
- Masse molaire moléculaire : $46,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- Énergie molaire de combustion : $E_r = 1\,367 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.



Doc. 2 $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$, composant principal du kérosène



- Danger :  
- Masse volumique : $0,727 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$;
- Masse molaire moléculaire : $142,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- Énergie molaire de combustion : $E_r \approx 7\,000 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Numérique

Retrouvez le décollage de Thomas Pesquet à bord d'une fusée Soyouz. [LLS.fr/PC1P192](https://lls.fr/PC1P192)

Compétence

✓ VAL : Effectuer une analyse comparative

1. **Doc. 1 et 2** Déterminer, à l'aide des indications sur le carburant, l'énergie libérée lors de la combustion la totalité du carburant embarqué dans fusée Soyouz.
2. **Doc. 3** Calculer la quantité d'éthanol en mole nécessaire pour libérer la même énergie.
3. **Doc. 1 et 3** Après avoir déterminé la masse et le volume de bioéthanol nécessaires, que peut-on penser de l'utilisation de ce combustible pour effectuer une mission vers Mars ?

Pour aller plus loin

En s'aidant de la table d'énergies des liaisons (p. 191), estimer l'énergie de réaction molaire de ces carburants et la comparer à celles indiquées.

Synthèse de l'activité

Quelles grandeurs physiques doit-on considérer pour choisir un carburant ?

4 L'amande, un aliment plein d'énergie

Le corps humain est le siège d'une combustion lente permanente puisque chaque jour 2 100 kilocalories sont « brûlées » en moyenne. Certains sportifs peuvent dépenser jusqu'à 8 000 kilocalories par jour. Pour cela, ils augmentent le nombre de repas ou ils se nourrissent avec des produits à forte densité énergétique comme les fruits à coques (amandes, noix, noisettes, etc.).

Lors du championnat du monde de handball 2017, les joueuses de l'équipe de France ont dû veiller à disposer de l'énergie nécessaire via leur alimentation.

→ **Combien d'amandes les joueuses auraient-elles dû consommer le jour de la finale ?**

Par intuition

Quelle quantité d'amandes faudrait-il manger par jour pour un apport énergétique suffisant ?

Doc. 1 La calorie

A. PHYS. Unité mesurant la quantité de chaleur nécessaire à 1 g d'eau pour élever sa température de 1 °C, sous la pression atmosphérique normale (cf. Grand., 1962).

B. PHYSIOL., ALIM. Unité mesurant la quantité moyenne de chaleur énergétique, fournie par la combustion dans le corps humain, d'une composante d'aliment (glucide, lipide, protide). (Larousse, 1953).

Doc. 3 Matériel disponible

- Papier d'aluminium ;
- Une balance ;
- Une cannette en aluminium ;
- Un thermomètre ;
- Une bougie ;
- Des amandes décortiquées ;
- Un briquet ;
- Un fil de fer et son support ;
- Une potence et des pinces fixées ;
- Une éprouvette graduée de 100 mL.

Doc. 2 Dépenses énergétiques

Sports	Énergie dépensée en une heure de sport en kcal
Course à pied	800-1 000
Natation	600-900
Handball	800-900
Escalade	550-750
Zumba	550-750
Rugby	650-700
Football	400-600
Ski de descente	300-650

Données

• **Pouvoir calorifique de l'amande :**

$$PC = 2,411 \times 10^4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} ;$$

$$\bullet 1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}.$$

Numérique

Retrouvez une vidéo de l'expérience en ligne.

[LLS.fr/PC1P193](https://lls.fr/PC1P193)

Compétences

- ✓ REA : Respecter les règles de sécurité
- ✓ REA : Mettre en œuvre un protocole
- ✓ VAL : Identifier et évaluer les sources d'erreurs

- 1. Doc. 1** Quelle est l'énergie totale dépensée par une joueuse de handball ayant effectué tout le match le jour de la finale, sachant qu'un match dure une heure ?
- 2. Doc. 1** Proposer une expérience permettant de déterminer l'énergie de combustion massique d'une amande. Quelles précautions doit-on prendre lors de cette expérience ?
- Après validation du protocole par le professeur, réaliser l'expérience afin de déterminer l'énergie libérée par cette combustion.
- Estimer à partir des mesures effectuées le pouvoir calorifique de l'amande.
- Comparer la valeur obtenue expérimentalement à celle donnée dans le **doc. 2**. Justifier cette différence en déterminant les sources d'incertitudes.

Synthèse de l'activité

Calculer le nombre théorique d'amandes que chaque joueuse doit consommer pour satisfaire aux besoins énergétiques pour jouer l'intégralité du match de la finale.

1 La réaction de combustion

A Ressources énergétiques

La réaction de combustion est très utilisée pour son caractère fortement exothermique. Les combustibles peuvent être classés en deux catégories.

- **Ressources renouvelables** (végétaux, déchets organiques) : ces combustibles se forment rapidement à l'échelle d'une vie humaine.
- **Ressources non renouvelables** (charbon, pétrole, etc.) : ces combustibles ne se reforment pas ou lentement à l'échelle d'une vie humaine.

B Équation de combustion

L'équation d'une combustion complète fait intervenir un combustible (éthanol, alcane, etc.) avec un comburant comme le dioxygène O_2 . Cette réaction produit du dioxyde de carbone CO_2 et en général de l'eau H_2O (sauf dans le cas du charbon).

➤ Ces réactions peuvent être modélisées par une réaction d'oxydo-réduction entre les couples oxydant/réducteur : CO_2 /combustible et O_2/H_2O .

Une réaction de combustion incomplète a lieu lorsque du monoxyde de carbone CO et/ou du carbone C se forment.

C Défis énergétiques et développement durable

La combustion d'hydrocarbures produit de grandes quantités de dioxyde de carbone CO_2 . Ce gaz participe à l'effet de serre et donc au réchauffement climatique actuel de la planète.

Les activités humaines (transport routier, industries, etc.) produisent la majorité du CO_2 dégagé dans l'atmosphère mais il existe également des gaz à effet de serre d'origine naturelle (méthane, vapeur d'eau, etc.). Des projets sont déjà mis en place pour réduire ces émissions de gaz ou les valoriser lors de procédés industriels (doc. 2). L'utilisation des combustibles renouvelables comme le méthane, l'huile de colza ou bioéthanol est également un point important de ces recherches.

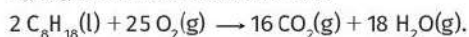
Application

Calculer la masse de CO_2 rejetée lors d'un trajet en voiture consommant un litre d'essence (C_8H_{18}).

Corrigé :

On a à l'état initial $n_0(\text{essence}) = \frac{\rho \cdot V}{M} = \frac{703 \times 1,00}{114} = 6,17 \text{ mol}$.

La réaction de combustion est :



La combustion est totale, on a donc en fin de réaction :

$$n(CO_2) = \frac{16}{2} n_0(\text{essence}) = 49,3 \text{ mol}.$$

Soit $m(CO_2) = n(CO_2) \cdot M(CO_2) = 49,3 \times 44,0 = 2\,171 \text{ g} = 2,17 \text{ kg}$.

La consommation d'un litre d'essence rejette 2,17 kg de CO_2 .

Doc. 1 Transformation de la biomasse



Vocabulaire

- **Combustible** : espèce chimique possédant une énergie chimique capable d'être libérée lors d'une combustion.

Doc. 2 Quelques valorisations du CO_2

- Production de biomasse et de micro-algues en particulier.
- Utilisation en tant que solvant ou réfrigérant.
- Injection dans le sous-sol pour la récupération d'hydrocarbures, ce qui contribue à le stocker.

Données

- $M_{\text{essence}} = 114,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\rho_{\text{essence}} = 700 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$;
- $M(CO_2) = 44,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Doc. 3 Divers pouvoirs calorifiques

Combustible	Pouvoir calorifique ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Dihydrogène	142,9
Butane	49,51
Essence	47,8
Diesel	44,8
Éthanol	29,7
Bois	15

2 Énergie de réaction d'une combustion

A Énergie chimique

➤ L'énergie chimique d'un composé est l'énergie stockée dans ce composé en raison des liaisons chimiques qui le constituent.

La formation de liaisons covalentes d'une molécule libère de l'énergie. Cette énergie E_f est appelée énergie de formation et dépend de la nature des liaisons formées (doc. 4).

À l'inverse, la rupture de liaisons covalentes d'une molécule nécessite un apport d'énergie. Cette énergie E_d est appelée énergie de dissociation et dépend de la nature des liaisons rompues.

B Énergie molaire de réaction

➤ Lors d'une réaction de combustion, des mécanismes réactionnels ont lieu avec des ruptures de liaisons covalentes suivies de la formation de nouvelles liaisons covalentes.

L'énergie molaire d'une réaction chimique est égale à la différence entre l'énergie de dissociation des réactifs et l'énergie de formation des produits : $E_r = E_d - E_f$.

L'énergie libérée lors de cette réaction est proportionnelle à la quantité de matière de combustible brûlé : $E = n \cdot E_r$.

C Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est une propriété des combustibles. Il s'agit de l'énergie libérée par la combustion d'un kilogramme de combustible (doc. 3).

➤ Les secteurs industriels et technologiques choisissent le combustible en fonction de son pouvoir calorifique. Plus le pouvoir calorifique d'un combustible est grand, plus la quantité de combustible nécessaire est faible.

Application

Calculer l'énergie libérée par 5 mol de propane (environ 200 mL de gaz). L'équation de la réaction de combustion complète du propane est : $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) + 5 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 3 \text{CO}_2(\text{g}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

Corrigé :

Calcul des énergies de dissociation, de formation et de réaction (doc. 5).

Énergie de dissociation : $E_d = 2 \times 347 + 8 \times 414 + 5 \times 502$
 $E_d = 6516 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Énergie de formation : $E_f = 6 \times 795 + 8 \times 464 = 8482 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Énergie de réaction : $E_r = 6516 - 8482 = -1966 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Soit une énergie libérée : $E = n(\text{C}_3\text{H}_8) \cdot E_r = 5 \times (-1966) = -9830 \text{ kJ}$.
 La combustion d'une cartouche de propane libère 9830 kJ sous forme de chaleur.

Doc. 4 Énergies moyennes de liaison

Liaison	Énergie de liaison ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)
O — H	459
O = O	494
O — O	142
C = C	602
C — O	358
C = O	749
C = O*	795
C — C	346
C — H	411
C — N	305
C — N	615
N — H	386
H — H	432

C = O* liaisons dans CO_2 .

Vocabulaire

• **Endothermique** : réaction chimique qui absorbe de l'énergie thermique, $E_r > 0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

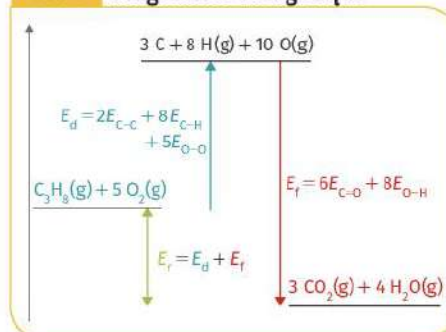
• **Exothermique** : réaction chimique qui libère de l'énergie thermique, $E_r < 0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

• **Athermique** : réaction chimique qui n'échange pas d'énergie thermique avec l'extérieur. $E_r = 0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

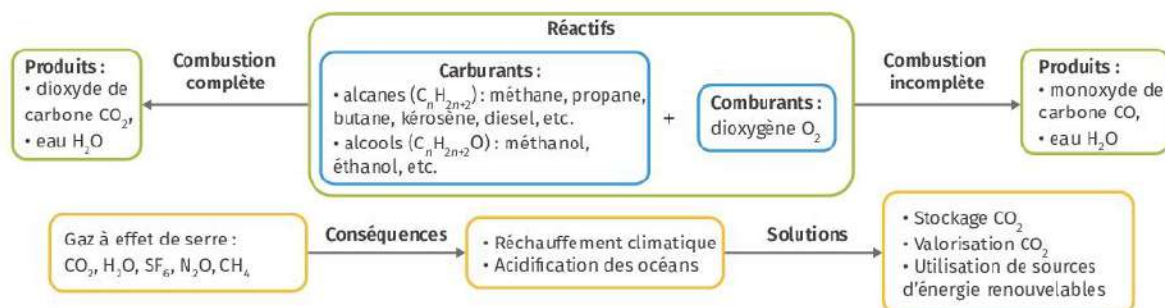
Éviter les erreurs

- Si un mélange réactionnel libère de l'énergie, l'énergie de réaction est négative ($E < 0$).
- Si un mélange réactionnel absorbe de l'énergie, l'énergie de réaction est positive ($E > 0$).

Doc. 5 Diagramme énergétique



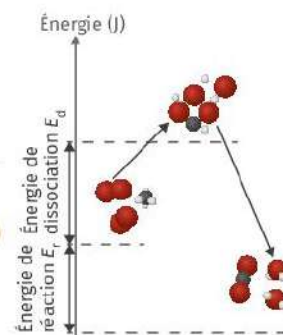
La combustion



Énergie molaire de réaction

ALCANES	Réactifs:	$C_n H_{2n+2} + \frac{(3n+1)}{2} O_2$	Produits: $n CO_2 + (n+1) H_2O$
	Énergies de dissociation	$E_d = (n-1)E_i(C-C) + (2n+2)E_i(C-H) + \frac{(3n+1)}{2}E_i(O=O)$	
ALCOOLS	Réactifs:	$C_n H_{2n+2} O + \frac{(3n)}{2} O_2$	Énergie de formation: $E_f = 2nE_f(C=O) + (2n+2)E_f(O-H)$
	Énergies de dissociation	$E_d = (n-1)E_i(C-C) + (2n+1)E_i(C-H) + \frac{(3n)}{2}E_i(O=O) + E_i(C-O) + E_i(O-H)$	

$E_r = E_d - E_f$ $E_r < 0$: Exothermique $E_r > 0$: Endothermique $E_r = 0$: Athermique



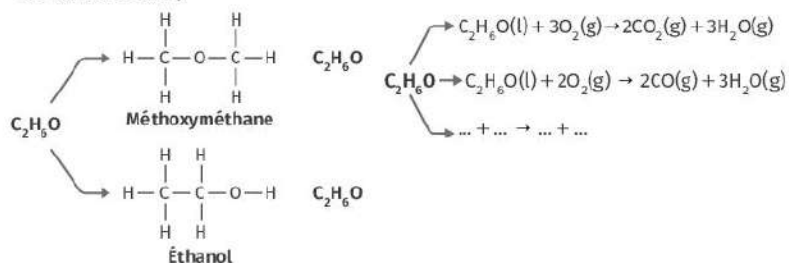
Les limites de la modélisation

Ce modèle permet de :

- estimer l'énergie libérée lors d'une réaction de combustion, quel que soit le carburant utilisé ;
- déterminer la quantité de produits formés et donc de faire un bilan écologique ;
- étudier la combustion quelle que soit son utilisation : mécanique, chauffage, besoins énergétiques, etc.

Mais il ne permet pas de :

- déterminer l'énergie molaire de réaction, dissociation ou formation à partir de la formule brute de la molécule ;
- prévoir si la réaction est complète, incomplète ou s'il existe plusieurs réactions simultanées ;
- faire l'étude d'un comburant autre que O_2 .



1 La réaction de combustion

	A	B	C
1. Quels sont les produits formés lors d'une combustion complète d'un alcool ?	Du monoxyde de carbone CO et de l'eau H ₂ O.	Du dioxyde de carbone CO ₂ et de l'eau H ₂ O.	Du dioxyde de carbone CO ₂ et du dihydrogène H ₂ .
2. La combustion complète d'une mole d'éthane C ₂ H ₆ produit :	une mole de CO ₂ .	deux moles de CO ₂ .	quatre moles de CO ₂ .
3. Parmi les gaz à effet de serre, on trouve :	l'eau H ₂ O, le dioxyde de carbone CO ₂ et le méthane CH ₄ .	le dioxyde de carbone CO ₂ , le dioxygène O ₂ et le protoxyde d'azote N ₂ O.	le diazote N ₂ , le dioxyde de carbone CO ₂ et le méthane CH ₄ .
4. Une combustion fait intervenir :	un combustible et un comburant.	un combusteur et un comburant.	un combustible et un comburant.

2 Énergie de réaction d'une combustion

1. Dans un carburant l'énergie est stockée sous forme :	chimique.	thermique.	électrique.
2. La réaction de combustion est une réaction :	exothermique.	athermique.	endothermique.
3. L'expression de l'énergie de réaction molaire E_r est :	$E_r = E_f - E_d$.	$E_r = E_f + E_d$.	$E_r = E_d - E_f$.
4. L'énergie de réaction molaire s'exprime en :	J·kg ⁻¹ .	J·mol ⁻¹ .	mol·J ⁻¹ .
5. Le pouvoir calorifique d'un combustible est :	l'énergie libérée par la combustion complète d'une mole de ce combustible.	l'énergie libérée par la combustion complète d'un kilogramme de ce combustible.	la quantité de CO ₂ produite lors de la combustion complète de ce combustible.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P197

3 Questions Jeopardy

- Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :
 - a. Son énergie s'appelle énergie chimique.
 - b. Cette énergie est appelée énergie de dissociation.

□ Écrire l'équation de combustion des alcanes et des alcools

11

13

□ Estimer l'énergie molaire de réaction d'une transformation

[DIF]

20

□ Déterminer le pouvoir calorifique d'un combustible

[DIF]

□ Connaître les applications d'une combustion

21

32

Pour s'échauffer

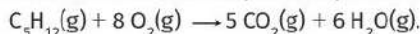
4 Transformation d'énergie

On brûle 1 L de pétrole.

- Donner le nom de la transformation chimique qui a lieu et citer les formes d'énergie initiales et finales.

5 Équation d'une combustion

L'équation de combustion complète du pentane s'écrit :



- Calculer la quantité de matière de CO_2 produite lors de la combustion d'une mole de pentane.

6 Énergie de dissociation

- Calculer l'énergie de dissociation du méthane CH_4 .

Données

- $E(\text{C} - \text{C}) = 346 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E(\text{C} - \text{O}) = 358 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E(\text{C} - \text{H}) = 411 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E(\text{O} - \text{H}) = 459 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

7 Énergie de dissociation

1. Donner les différents types de liaisons contenues dans le propan-1-ol $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$.
2. Calculer l'énergie de dissociation du propan-1-ol.

8 Énergie libérée

On brûle une bougie contenant 20 g d'acide stéarique.

1. Calculer la quantité de matière contenue dans cette bougie.
2. Calculer l'énergie libérée par la combustion de cette bougie.



Données

- Acide stéarique : $M(\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2) = 284,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- Énergie de réaction molaire : $E_f(\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2) = -10\,818 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

9 Pouvoir calorifique

La combustion de 2,5 kg de bois de chêne libère 29 600 kJ.

- Calculer le pouvoir calorifique du chêne.

10 Pouvoir calorifique

- Calculer l'énergie libérée par la combustion de 5,00 kg d'octane.

Donnée

- Le pouvoir calorifique de l'octane est de $48,1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Pour commencer

La réaction de combustion

11 Combustions complètes

✓ RAI/MOD : Ajuster une transformation chimique

- Recopier et ajuster les équations de combustions complètes suivantes.

- a. $\text{CH}_4(\text{g}) + \dots \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \dots \text{CO}_2(\text{g}) + \dots \text{H}_2\text{O}(\text{g}).$
- b. $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) + \dots \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \dots \text{CO}_2(\text{g}) + \dots \text{H}_2\text{O}(\text{g}).$
- c. $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}(\text{g}) + \dots \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \dots \text{CO}_2(\text{g}) + \dots \text{H}_2\text{O}(\text{g}).$
- d. $\text{C}_8\text{H}_{18}(\text{g}) + \dots \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \dots \text{CO}_2(\text{g}) + \dots \text{H}_2\text{O}(\text{g}).$

12 Consommation en O_2

✓ RAI/MOD : Décrire l'état initial et final d'une transformation chimique

L'équation de combustion complète du butanol s'écrit :



- Calculer la quantité de matière de O_2 consommée lors de la combustion de 2 moles de butanol.

13 Des combustibles variés

✓ RAI/MOD : Écrire l'équation d'une transformation chimique



Les combustibles suivants peuvent réagir avec du dioxygène : kérosène $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$, dihydrogène H_2 et méthanol CH_3O .

1. Écrire pour chaque combustible les demi-équations en milieu acide des couples oxydant/réducteur.

2. En déduire l'équation modélisant la réaction entre le combustible et le dioxygène dans chaque cas.

Données

Couples oxydant/réducteur :

- $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$;
- $\text{CO}_2(\text{g})/\text{C}_{10}\text{H}_{22}(\text{aq})$;
- $\text{CO}_2(\text{g})/\text{CH}_3\text{O}(\text{aq})$;
- $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{H}_2(\text{g}).$

14 Pots catalytiques

✓ REA : Respecter les règles de sécurité

Depuis 1993, les voitures à essence doivent être équipées d'un pot catalytique. Ce pot catalytique, placé entre le moteur et le pot d'échappement, assure la combustion complète des gaz d'échappement imbrûlés.

1. Écrire les combustions complète et incomplète (formant du monoxyde de carbone CO) de l'heptane C_7H_{16} , composant principal de l'essence.
2. Donner les significations des pictogrammes de sécurité des 2 produits carbonés formés.

Composés chimiques	Sécurité
Monoxyde de carbone CO	   
Dioxyde de carbone CO_2	

3. En déduire l'intérêt des pots catalytiques.

Énergie d'une réaction

15 Choisir son bois

✓ VAL : Effectuer une analyse comparative

Chaque année, 5 % des Français se chauffent au bois. La commande de stères de bois est un moment important pour choisir le type de bois à utiliser.

1. Calculer l'énergie libérée par un stère de chaque bois.
2. Conclure sur le bois à choisir.



Données

- 1 stère = 1 m^3 ;
- $\rho_{\text{hêtre}} = 0,710 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$; • $\rho_{\text{bouleau}} = 0,650 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$;
- Pouvoir calorifique du bouleau : $18,1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- Pouvoir calorifique du hêtre : $18,6 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Déterminer le pouvoir calorifique d'un combustible

16 Pouvoir calorifique de l'heptane

✓ RAI/MOD : Appliquer le principe de conservation de l'énergie

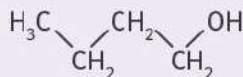
1. Calculer la quantité de matière contenue dans 2 kg d'heptane.
2. Calculer l'énergie libérée lors de cette combustion.
3. Calculer le pouvoir calorifique de l'heptane.

Données

- $E_f(C_7H_{16}) = -4\,817 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $M(C_7H_{16}) = 100,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

17 Pouvoir calorifique du butanol

✓ RAI/MOD : Appliquer le principe de conservation de l'énergie



1. Quelle est la fonction chimique présente dans la molécule de butanol ($C_4H_{10}O$) ?
2. Écrire l'équation de combustion complète du butanol.
3. Calculer l'énergie de dissociation des réactifs de cette réaction.
4. Calculer l'énergie de formation des produits de cette réaction.

5. Calculer l'énergie molaire de réaction de la combustion du butanol. Justifier le signe de cette énergie.

6. En déduire le pouvoir calorifique du butanol.

Données

- $M(C_4H_{10}O) = 74,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(O=O) = 494 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(C-H) = 411 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(C-O) = 358 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(C-C) = 346 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(O-H) = 459 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(C=O) = 795 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

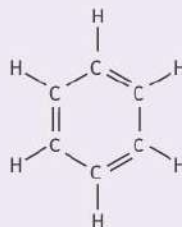
18 Pouvoir calorifique du benzène

✓ RAI/MOD : Appliquer le principe de conservation de l'énergie

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Le benzène est un composé organique appartenant à la famille des aromatiques.

- Déterminer le pouvoir calorifique du benzène.



Données

- $M(C_6H_6) = 78,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(C-C) = 346 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(C-H) = 411 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(C=C) = 602 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(O=O) = 494 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(C=O) = 795 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- $E_f(O-H) = 459 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Cheminée à l'éthanol

Énoncé

Les cheminées à l'éthanol s'installent progressivement dans les foyers français. Faciles à mettre en place et pratiques dans l'utilisation, elles permettent d'utiliser un biocarburant pour se chauffer.



1. Écrire l'équation de combustion complète de l'éthanol (C_2H_6O).
2. Calculer l'énergie de réaction molaire de combustion de ce carburant.
3. Quelle énergie peut-on libérer avec la combustion d'un réservoir plein ?
4. Ce système de cheminée est-il écologique ?

Solution rédigée

1. On trouve l'équation de combustion complète suivante :

$$C_2H_6O(l) + 3 O_2(g) \rightarrow 2 CO_2(g) + 3 H_2O(g).$$
2. On détermine l'énergie de réaction à l'aide de l'énergie de formation des produits et de l'énergie de dissociation des réactifs. Après avoir repéré les liaisons cassées et formées lors de la réaction on trouve :

$$E_d = E_l(C-C) + E_l(C-O) + E_l(O-H) + 5E_l(C-H) + 3E_l(O=O).$$

$$E_d = 346 + 358 + 459 + 5 \times 411 + 3 \times 494 = 4,70 \times 10^3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}.$$

$$E_f = 4E_f(C=O) + 6E_f(O-H) = 4 \times 749 + 6 \times 459 = 5,75 \times 10^3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}.$$
 Soit $E_r = E_d - E_f = 4,70 \times 10^3 - 5,75 \times 10^3 = -1050 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
3. La cheminée peut contenir 45,0 cL d'éthanol soit 0,450 L, ce qui représente une masse $m = \rho \cdot V = 0,789 \times 0,450 = 0,355 \text{ kg} = 355 \text{ g}$. La quantité de matière correspondante est $n = \frac{355}{46,1} = 7,70 \text{ mol}$. On a donc une énergie libérée :

$$E = n \cdot E_r = 7,70 \times (-1050) = -8085 \text{ kJ} = -8,08 \text{ MJ}.$$
 La cheminée peut libérer une énergie totale de 8,08 MJ.
4. Ce système n'est pas complètement écologique car il produit du dioxyde de carbone qui est un gaz à effet de serre qui participe au réchauffement climatique et à l'acidification des océans. Cependant il utilise l'éthanol comme source d'énergie qui est un carburant renouvelable.

DONNÉES

- $M(C_2H_6O) = 46,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $\rho(C_2H_6O) = 0,789 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$;
- **Capacité du réservoir d'alcool** : 45,0 cL ;
- $E_l(C-C) = 346 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_l(C-H) = 411 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_l(O-H) = 459 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_l(C-O) = 358 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_l(C=O) = 749 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_l(O=O) = 494 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Identifier les réactifs et les produits.
2. Quel lien existe-t-il entre l'énergie de réaction et les énergies des liaisons ?
3. Quelle relation existe-t-il entre l'énergie de réaction et l'énergie libérée ?
4. Rappeler les critères d'une réaction écologique.

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Commencer par ajuster les atomes de carbone à partir de CO_2 puis les atomes d'hydrogène avec H_2O et enfin les atomes d'oxygène avec O_2 .
2. Dessiner les formules développées des molécules et faire la liste de chaque liaison avant et après la transformation. Faire attention au sens de la formule, $E_r = E_d - E_f$ afin de ne pas faire d'erreur de signe.
3. Commencer par calculer la quantité de matière d'éthanol contenue dans le réservoir.
4. Faire un bilan des dangers de chaque produit et chaque réactif.

19 Mise en application

- En utilisant le même fonctionnement de cheminée, serait-il préférable d'utiliser du méthanol plutôt que de l'éthanol ?

Données

- $M(CH_4O) = 32,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $\rho(CH_4O) = 0,791 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Pour s'entraîner

20 Valorisation du CO_2

✓ RAI/ MOD : Réaliser une chaîne énergétique

Le processus de valorisation des déchets

L'usine de biomasse de Perpignan permet de récupérer chaque année environ 29,5 tonnes de méthane à partir de 90 tonnes de déchets organiques. Après combustion, l'énergie chimique du méthane est transformée en électricité.

Une valorisation possible du dioxyde de carbone CO_2 consiste à le capter en sortie d'usine pour le stocker et l'utiliser pour fabriquer des boissons gazeuses notamment.

1. Représenter la chaîne énergétique d'une telle centrale.
2. Écrire l'équation de combustion complète du méthane.
3. Calculer la masse de dioxyde de carbone CO_2 produite chaque année par cette centrale.
4. Combien de bouteilles d'un litre peut-on gazéifier après captage du CO_2 en sortie de cette centrale ?

Données

- $M(\text{CH}_4) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- Concentration en CO_2 par litre de soda : $7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

21 Des énergies variées en QCM

✓ RAI/ MOD : Faire le lien entre une grandeur macroscopique et un modèle microscopique

1. Le pouvoir calorifique du propan-2-ol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) est égal à :
 - a. $PC(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = -2\,569 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.
 - b. $PC(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = -154 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.
 - c. $PC(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = -42,8 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.
 - d. $PC(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = -154 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.
2. L'énergie de dissociation du pentane (C_5H_{12}) est égale à :
 - a. $E_d = 6\,316 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
 - b. $E_d = 88,3 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.
 - c. $E_d = 4\,968 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
3. L'énergie de réaction molaire de la combustion du dihydrogène H_2 est égale à :
 - a. $E_r = -571,6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
 - b. $E_r = -286 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
 - c. $E_r = 143 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Données

- $E_f(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = -2\,569 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_f(\text{C}-\text{H}) = 411 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_f(\text{C}-\text{C}) = 346 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- Pouvoir calorifique du dihydrogène : $142,9 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

22 Le briquet à gaz

✓ RAI/ MOD : Appliquer le principe de conservation de l'énergie

Le briquet à gaz est une invention du français Henry Pin-geot. Environ 9,0 mL de butane (C_4H_{10}) sont stockés dans

le briquet à l'état liquide et ce butane s'échappe du briquet à l'état gazeux avant de subir une combustion.



1. Nommer le changement d'état physique qui a lieu avant la combustion.
2. Calculer la quantité de matière de butane contenue dans le briquet.
3. Écrire l'équation de combustion complète du butane.
4. Calculer l'énergie maximale que peut libérer un briquet.

Données

- $M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 58,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $\rho(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0,573 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$;
- $E_f = 11\,000 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_d = 8\,122 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Comprendre les attendus

23 Jeux olympiques

✓ RAI/ MOD : Transformation chimique

La flamme olympique est un symbole des jeux, elle reste allumée tout au long de l'année et sa température est de l'ordre de 1000°C . Elle est alimentée par du propane qui arrive par un tuyau dans le manche de la torche qui alimente en continu la combustion de ce gaz.



1. Écrire l'équation de combustion complète du propane C_3H_8 .
2. Déterminer le volume de CO_2 produit pour 1 kg de propane consommé.
3. La flamme olympique participe-t-elle au réchauffement climatique ?
4. Rappeler ce qu'est l'effet de serre.

Données

- $M(\text{C}_3\text{H}_8) = 44,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $\rho(\text{CO}_2) = 1,87 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Détails du barème

TOTAL/5,5 pts

- | | |
|--|---------------|
| 1. Connaître les réactifs et produits d'une combustion complète. | 0,5 pt |
| Ajuster une équation chimique. | 0,5 pt |
| 2. Calculer la quantité de propane consommée. | 1 pt |
| Déduire la quantité de CO_2 formée et le volume de CO_2 correspondant. | 1 pt + 0,5 pt |
| 3. Identifier un gaz à effet de serre. | 1 pt |
| 4. Rédiger en employant le vocabulaire adapté. | 1 pt |

24 Mieux isoler pour économiser de l'énergie

✓ APP : Extraire l'information utile

Près de 29 % des Français se chauffent au fioul, un combustible composé essentiellement d'alcane de formule brute $C_{16}H_{34}$. La consommation annuelle d'énergie par m^2 pour se chauffer est de 250 kWh. Cette quantité d'énergie représente une réelle part du budget des Français. Pour diminuer la consommation en carburant, une solution est d'améliorer l'isolation des maisons.



A : le logement consomme moins de $50 kW \cdot h \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$.
 B : le logement consomme entre 51 et $90 kW \cdot h \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$.
 C : le logement consomme entre 91 et $150 kW \cdot h \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$.
 D : le logement consomme entre 151 et $230 kW \cdot h \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$.

E : le logement consomme entre 231 et $330 kW \cdot h \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$.
 F : le logement consomme entre 331 et $450 kW \cdot h \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$.
 G : le logement consomme plus de $450 kW \cdot h \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$.

- Déterminer l'énergie minimale A et maximale G consommée pour un logement de $50 m^2$ en une année.
- Écrire l'équation de combustion complète du fioul.
- Déterminer l'énergie molaire de réaction du fioul.
- Calculer la consommation par année de litres de fioul pour un logement de $50 m^2$ type A et G.
- L'isolation de l'habitat est-elle une vraie solution économique ?
- Déterminer le volume de CO_2 émis par ces deux logements de $50 m^2$ type A et G.
- Quel autre atout comporte l'isolation de l'habitat ?

Données

- Un alcane possède C_nH_{2n+2} possède $n - 1$ liaisons C - C et $2n + 2$ liaisons C - H ;
- $1 kWh = 3,6 MJ$;
- $M(C_{16}H_{34}) = 226,4 g \cdot mol^{-1}$;
- $M(CO_2) = 44,0 g \cdot mol^{-1}$;
- $\rho(CO_2) = 1,87 g \cdot L^{-1}$;
- $\rho(C_{16}H_{34}) = 0,773 kg \cdot L^{-1}$;
- $E_f(C-C) = 346 kJ \cdot mol^{-1}$;
- $E_f(C-H) = 411 kJ \cdot mol^{-1}$;
- $E_f(O-H) = 459 kJ \cdot mol^{-1}$;
- $E_f(C=O) = 749 kJ \cdot mol^{-1}$;
- $E_f(O=O) = 494 kJ \cdot mol^{-1}$;
- $V_m(CO_2) = 23,5 L \cdot mol^{-1}$.

25 La banane flambée

✓ RAI/MOD : Appliquer le principe de conservation de l'énergie.

La banane flambée est un dessert dans lequel une combustion complète de l'éthanol a lieu.

- Calculer la quantité de matière d'éthanol nécessaire à la recette de la banane flambée.
- Calculer l'énergie molaire de réaction de combustion complète de l'éthanol.
- En déduire l'énergie libérée par combustion lors de cette recette.

Doc. 1 Recette des bananes flambées



Ingrédients pour 5 personnes :

- 5 bananes ;
- 15 g de beurre ;
- 15 cL de rhum ;
- Un peu de jus de citron ;
- 4 cuillères à soupe de sucre roux ;
- 3 gouttes d'extrait de vanille.

Doc. 2 Le rhum

Le rhum est une boisson alcoolisée fabriquée à partir de la canne à sucre. Il contient de l'éthanol, sa concentration en éthanol est de 40 %vol.

%vol : rapport entre le volume d'alcool (éthanol) contenu dans le mélange et le volume total de ce mélange.

Données

- $M(C_2H_6O) = 46 g \cdot mol^{-1}$;
- $\rho(C_2H_6O) = 0,789 kg \cdot L^{-1}$;
- $E_f(C-C) = 346 kJ \cdot mol^{-1}$;
- $E_f(C-H) = 411 kJ \cdot mol^{-1}$;
- $E_f(O-H) = 459 kJ \cdot mol^{-1}$;
- $E_f(C=O) = 749 kJ \cdot mol^{-1}$;
- $E_f(C-O) = 358 kJ \cdot mol^{-1}$;
- $E_f(O=O) = 494 kJ \cdot mol^{-1}$.

26 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.

1. L'équation de combustion complète du pentan-1-ol ($C_5H_{12}O$) est :



2. L'équation de combustion complète du pentan-1-ol participe à l'effet de serre car il consomme du dioxygène.

3. L'énergie ~~massique~~ de dissociation de cette réaction est égale à :

$$E_d = 4E_f(C-C) + 12E_f(C-H) + E_f(O-C) + \frac{15}{2} E_f(O=O) = 10\,522 kJ \cdot mol^{-1}.$$

4. L'énergie molaire de ~~réaction~~ est égale à :

$$E_r = 5E_f(C=O) + 6E_f(O-H) = 13\,518 kJ \cdot mol^{-1}.$$

5. L'énergie molaire de réaction est égale à :

$$E_r = 2\,996 kJ \cdot kg^{-1}.$$

6. Cette réaction est dite ~~endothermique~~.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P202

27 Butane ou propane, lequel choisir ?

✓ VAL : Réaliser une analyse comparative

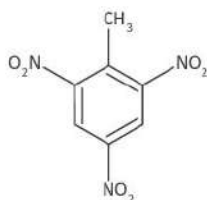
Environ 53 millions de bouteilles de gaz sont vendues chaque année en France auprès de 10 millions de clients. Le choix se fait essentiellement entre du propane et du butane. Comment savoir quel combustible choisir ?

1. Écrire les équations de combustions complètes de chaque gaz.
2. En vous aidant de la table d'énergies des liaisons p. 195, estimer l'énergie molaire de réaction pour la combustion de chacun de ces gaz.
3. Les bouteilles de gaz usuelles contenant 13 kg de combustible, déterminer l'énergie libérée par combustion pour chaque bouteille.
4. D'après les résultats, quelle bouteille de gaz faut-il privilégier ? Justifier par une phrase.
5.  Faire une recherche internet pour expliquer pourquoi deux types de combustibles existent dans le commerce.

28 TNT, une combustion explosive

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques

Le TNT ou 2,4,6-trinitrotoluène est un explosif découvert par le chimiste allemand Julius Wilbrand. Le TNT fut très utilisé lors de la Première Guerre mondiale, notamment pour la confection de torpilles. Selon les conditions opératoires, deux réactions différentes peuvent se produire à partir du TNT :



- a. $2 \text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 3 \text{N}_2(\text{g}) + 5 \text{H}_2(\text{g}) + 14 \text{CO}(\text{g})$.
 - b. $\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6(\text{s}) + 4 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 7 \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g})$.
1. Nommer chacune de ces réactions.
 2. La réaction b. ne se produit pratiquement pas, proposer une explication.
 3. En s'aidant des données, déterminer l'énergie libérée lors de la combustion de 2 kg de TNT et de 2 kg de sucre lors de leur combustion.
 4. Le résultat précédent est-il cohérent ? Proposer une explication.

Données

- $M_{\text{TNT}} = 227,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $M_{\text{sucre}} = 342,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_f(\text{TNT}) = 3,29 \text{ MJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_f(\text{sucre}) = 5,72 \text{ MJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

29 Efforts musculaires

✓ RÉA : Exploiter un ensemble de mesures

Martin Fourcade est quintuple champion olympique de biathlon et a été 11 fois champion du monde.



Ce sport nécessite à la fois endurance sur les skis et concentration lors des tirs de précision. Face à son grand rival, le Norvégien Johannes Bø (80 kg), Martin Fourcade (75 kg) gagne ses victoires au mental. Comment vérifier cette affirmation ?

1. Écrire les équations ajustées des processus aérobie (doc. 2) et anaérobie (doc. 3).
2. Lors d'une course d'une heure, quelle est la quantité de matière maximale de O_2 consommée par chaque biathlète ?
3. En considérant le dioxygène comme le réactif limitant de la réaction aérobie, quel athlète atteint le processus d'anaérobie le premier pour une même énergie dépensée par unité de temps ?
4. D'après vos résultats, justifier l'affirmation faite dans l'énoncé.

Doc. 1 $\text{VO}_2 \text{ max}$

Le Volume d'oxygène maximum ($\text{VO}_2 \text{ max}$) est la quantité maximale d'oxygène que le corps consomme lors d'un effort intense par unité de temps. Il s'exprime en millilitres par minute ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$).

Doc. 2 Aérobie

L'aérobie est un processus musculaire de combustion complète du glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ contenu dans l'organisme.

Doc. 3 Anaérobie

Lorsque la quantité de dioxygène n'est plus suffisante, le glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ se transforme en acide lactique $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$, qui peut déclencher des crampes.

Données

- $M(\text{O}_2) = 32,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $\text{VO}_2 \text{ max}$ (Martin Fourcade) = $82 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$;
- $\text{VO}_2 \text{ max}$ (Johannes Bø) = $87 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$;
- Volume molaire d'un gaz dans les CNTP : $V_m = 22,4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Pour aller plus loin

30 HISTOIRE DES SCIENCES

La théorie du phlogistique

✓ RAI/ANA : Formuler une problématique

La phlogistique (du grec *phlogos*, flamme) est une théorie portée par le chimiste allemand Georg Ernest Stahl (1659-1734). Cette théorie affirme que lorsqu'un corps brûle, il libère son phlogistique, une énergie sans masse. Bien que soutenant cette théorie, le chimiste français Antoine Lavoisier est



Jacques-Louis David, *Portrait de Monsieur de Lavoisier*, 1788.

étonné par le résultat de certaines expériences. En effet, certains métaux une fois chauffés voient leur masse augmenter.

En 1772, il met en place une expérience dans laquelle il décide de peser les espèces chimiques avant et après réaction dans un endroit fermé. Ses résultats montrent qu'à quelques approximations près, la perte de masse du combustible est compensée par une augmentation de masse de l'air. Il en conclut que l'air n'est pas constitué d'un seul mais de plusieurs éléments chimiques.

1. Quel problème physico-chimique trouve-t-on dans la théorie de la phlogistique ?
2. Faire un schéma de l'expérience de Lavoisier.
3. Citer les constituants gazeux produits lors de la réaction. Quels autres constituants trouve-t-on dans l'air ?
4. Quelle conclusion de Lavoisier permet de contredire la théorie phlogistique ? Quelle phrase célèbre est liée à cette découverte ?

31 PROPOSITION DE PROTOCOLE

Un régime d'écureuil

✓ RAI/ANA : Élaborer un protocole

✓ VAL : Identifier les sources d'erreurs



Lors d'un repas, Tic ne veut pas manger de noix de cajou trouvant cela trop peu calorique, il préfère manger une noisette. Tac lui répond qu'il se trompe et que la noisette est moins calorique.

1. Quel paramètre de ces aliments faut-il déterminer pour savoir qui de Tic ou de Tac a raison ?
2. Proposer un protocole expérimental détaillé avec un schéma légendé pour déterminer le paramètre précédent.
3. Quelles sont les sources d'erreurs prévisibles du montage ? Comment peut-on les réduire ?

32 La voiture à dihydrogène

✓ RAI/MOD : Modéliser une transformation chimique : décrire l'état initial et final

Caractéristiques des voitures à dihydrogène



La voiture à dihydrogène est un nouveau véhicule dit propre. En France on compte déjà une vingtaine de stations à dihydrogène qui permettent de remplir la voiture en moins de 5 minutes avec 3 kg de carburant sous une pression allant jusqu'à 700 bar. La voiture à dihydrogène peut rouler jusqu'à 100 km avec 1 kg de dihydrogène.

1. Écrire les demi-équations d'oxydoréduction du carburant et du comburant.
2. Écrire l'équation modélisant la réaction entre le carburant et le comburant.
3. Pourquoi ces véhicules sont-ils dits propres ?
4. Déterminer l'énergie de réaction molaire liée à la réaction précédente.
5. Calculer à pression atmosphérique le volume de dihydrogène contenu dans la voiture.
6. Comment fait-on pour remplir le réservoir avec le volume précédent de dihydrogène ? Cela présente-t-il des risques ?
7. Faire une recherche internet pour citer les différents modes de fabrication du dihydrogène.

Données

- $M(\text{H}_2) = 2,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $\rho(\text{H}_2) = 0,082 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$;
- $E_f(\text{H}-\text{H}) = 432 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_f(\text{O}-\text{H}) = 459 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $E_f(\text{O}=\text{O}) = 494 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

33 La forêt amazonienne, un poumon vert ?

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



La forêt amazonienne est décrite comme le poumon vert de la planète.

D'après WWF : « L'Amazonie est vitale pour la survie de la planète. C'est le poumon vert : elle fournit une partie de l'oxygène que nous respirons. »

• À l'aide des documents et de vos connaissances personnelles, présenter en une dizaine de lignes vos avis et vos arguments pour commenter cette affirmation et expliquer l'importance de la forêt amazonienne.

Doc. 1 La photosynthèse

Les végétaux chlorophylliens ont besoin de la photosynthèse pour se développer. Ce processus permet, grâce à l'énergie lumineuse, de produire de la cellulose qui est une macromolécule de glucose.

La réaction ajustée modélisant cette transformation est :



La cellulose est le constituant principal de l'arbre. Il est produit essentiellement lors de son développement.

Doc. 2 Une forêt de pins

Aux États-Unis, les forêts de pin peuvent stocker chaque année 3 à 10 tonnes de dioxyde de carbone par an et par hectare. Ce pic survient lors de la croissance des arbres, qui dure entre 20 ans et 80 ans. Ce stockage diminue ensuite rapidement jusqu'à la fin de leur croissance (150 ans) et devient pratiquement nul jusqu'à la mort du pin (500 ans). À sa mort, si le bois n'est pas exploité, le pin se décompose et relâche dans la nature le dioxyde de carbone stocké.

D'après « Un arbre combien de CO₂ ? », *ddmagazine.com*.

Doc. 3 Biodiversité

Située en Amérique du Sud, la forêt amazonienne s'étend sur plus de 4 millions de kilomètres carrés de végétation, couvrant ainsi à elle seule près du tiers des forêts tropicales de notre planète. Cette surface se réduit chaque année suite à la déforestation. Or, l'Amazonie abrite la plus grande biodiversité au monde, soit plus de 70 % de la biodiversité animale et végétale répertoriée dans le monde.

34 Transports écologiques

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

Pour diminuer la production de dioxyde de carbone CO₂ lors des déplacements motorisés, il est conseillé de faire du covoiturage ou d'utiliser des transports avec une faible empreinte carbone.

1. Des différents transports, lequel est le plus écologique ?
2. Quelle critique peut-on émettre sur les résultats obtenus ?

Doc. 1 Empreinte carbone

L'empreinte carbone permet de quantifier les émissions de gaz à effet de serre émises par une activité, une personne, un groupe ou une organisation.

D'après « Empreinte carbone », *wikipedia.org*.

Doc. 2 Divers transports

Transport	Nombre maximum de passagers	Carburant	Consommation pour 100 km
Avion A380	853	Kérosène (C ₁₀ H ₂₂)	3 241 L
Voiture	5	Essence (C ₈ H ₁₈)	7 L
Autobus	50	Gazole (C ₁₆ H ₃₄)	37 L

Doc. 3 Empreinte carbone

Sur le site *oui.sncf*, il est indiqué qu'un trajet en train de 100 km représente une empreinte carbone de 320 g de CO₂ émis par personne.

Données

$$\bullet \rho(\text{C}_{10}\text{H}_{22}) = 0,73 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1};$$

$$\bullet \rho(\text{C}_8\text{H}_{18}) = 0,70 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1};$$

$$\bullet \rho(\text{C}_{16}\text{H}_{34}) = 0,77 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}.$$

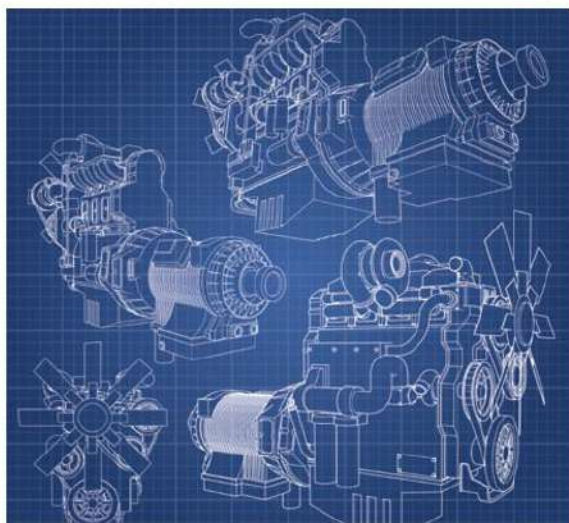
Doc. 4 Le train jaune sur le pont Séjourné



35 Diesel vs Essence

✓ RAI/ANA : Utiliser les documents

BAC



Le gazole $C_{16}H_{34}$ et l'essence C_8H_{18} sont deux carburants utilisés principalement dans l'automobile. Ils sont souvent mis en comparaison dans leur mode de fonctionnement mais aussi pour la pollution qu'ils produisent. On retrouve souvent l'information suivant laquelle les voitures fonctionnant au diesel sont plus polluantes que les voitures à essence. Mais est-ce bien la vérité ?

- Calculer la production de dioxyde de carbone CO_2 de chaque véhicule pour un trajet de 100 km, et corriger l'affirmation précédente si nécessaire.

Donnée

• Énergies de liaisons voir p. 195.

Doc. 1 Rendement d'un moteur

Les moteurs des voitures sont dits « à explosion », ce processus permet de transformer l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique.

Les ingénieurs en automobile travaillent à améliorer ce rendement afin d'utiliser le moins de carburant possible. Le rendement actuel des voitures est de 42 % pour les moteurs diesel et de 36 % pour ceux à l'essence.

D'après « Empreinte carbone », Wikipedia.org.

Doc. 2 L'énergie mécanique

L'énergie mécanique d'une voiture est l'énergie transmise aux roues par le moteur. Pour un trajet de 100 km à vitesse moyenne, les voitures doivent fournir une énergie mécanique de 89,3 MJ quel que soit le carburant utilisé.

Doc. 3 Les particules fines

Les particules fines sont des substances organiques qui pénètrent profondément dans les voies respiratoires et peuvent causer des maladies cardiovasculaires et respiratoires mais aussi le cancer des poumons. Tous les véhicules émettent des particules fines. Les voitures fonctionnant au diesel rejettent cependant plus de particules fines que les voitures à essence.

Retour sur la problématique du chapitre

36 Le phytoplancton, carburant du futur

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours



Les phytoplanctons sont des organismes végétaux microscopiques qui vivent en suspension dans l'eau. Tout au long de leur croissance, ils absorbent le dioxyde de carbone et le transforment en tissus organiques, tout en rejetant du dioxygène.

Doc. 1 Le phytoplancton en danger

L'augmentation de CO_2 dans l'atmosphère conduit à l'acidification des océans et à la disparition du phytoplancton. Or, le phytoplancton est un maillon essentiel de la chaîne alimentaire aquatique.

Doc. 2 Le biocarburant

La culture des phytoplanctons permet d'extraire leurs lipides. Ces derniers peuvent ensuite être utilisés dans les moteurs diesel tout comme les huiles végétales.

1. Comparer le fonctionnement du phytoplancton à celui des arbres.
2. Justifier en quoi l'exploitation du phytoplancton a un bilan carbone nul.

JEU
SÉRIEUX

Accident industriel

A Un accident dans la distillerie

Distillation dans la raffinerie

La raffinerie Pétrochoc® transforme chaque année plusieurs millions de tonnes de pétrole brut. La distillation qui est réalisée dans les colonnes est la première étape qui permet de récupérer les différentes coupes de pétrole : essence, kérosène, gazole, fioul, gaz, etc.

Au feu !

Mais ce matin, un grave incident s'est produit : le gaz

recupéré en haut de la colonne a pris feu. Fort heureusement, l'incendie a été rapidement maîtrisé par les pompiers.

Pétrole brut

La distillerie venait de traiter 10 tonnes de brut paraffinique, un pétrole à très haute valeur commerciale, qui est principalement constitué d'hydrocarbures linéaires. L'intégralité de la production de gaz a brûlé.

B Au rapport !

Des émanations dans l'atmosphère

La combustion a produit, entre autres, du dioxyde de carbone et de l'eau.

Comme après chaque accident, la société doit faire un rapport aux autorités. Marshall Ecens, l'opérateur de raffinerie, est chargé de rédiger le document.

Il doit estimer la quantité de gaz formée au cours de cet accident ainsi que l'énergie dégagée dans l'atmosphère.



Votre mission :

Aider Marshall à faire le bilan de l'accident.



Faire le jeu sérieux sur [LLS.fr/PC1P207](https://lls.fr/PC1P207) !

À vous de jouer !

Allez chercher les informations, répondez aux questions, récoltez les indices dans le plateau de jeu en suivant le lien ci-dessous.

À la fin de votre mission, vous découvrirez le quatrième et dernier indice qui vous aidera à résoudre l'énigme de cette année.



C Une mission, un métier



Le métier d'opérateur/rice de raffinerie

Au sein d'une unité pétrolière, l'opérateur/rice de raffinerie fait fonctionner et surveille les installations de production qui transforment le pétrole brut en différents produits : fioul, kérosène, essence, paraffine, etc. C'est ce que l'on appelle le raffinage.

D'après l'Onisep.



Retrouver la fiche métier sur [LLS.fr/PC10opérateurRaffinerie](https://lls.fr/PC10opérateurRaffinerie).

Le drame du lac Nyos

Énoncé

Le lac Nyos est un lac situé au Cameroun qui s'est formé dans le cratère d'un volcan. Ce type de lac présente la particularité de piéger dans les profondeurs les gaz émis, notamment le dioxyde de carbone CO_2 . Le 21 août 1986, un phénomène à l'origine encore indéterminée a entraîné la libération des gaz piégés. Un milliard de mètres cubes de CO_2 , plus dense que l'air, se sont déversés dans la vallée autour du lac. Cela a causé l'asphyxie de milliers d'animaux et d'êtres humains. Ce lac est toujours considéré aujourd'hui comme une bombe potentielle.



Photo du lac Nyos après la catastrophe. La couleur jaunâtre du lac serait due à la remontée en surface de sédiments et de particules métalliques.

1 Production du CO_2

Le $\text{CO}_2(\text{g})$ stocké au fond du lac proviendrait de la combustion de roches carbonées dans les profondeurs de la croûte terrestre.

- Proposer une équation de combustion à partir du carbone $\text{C}(\text{s})$ permettant la production de dioxyde de carbone $\text{CO}_2(\text{g})$.
- Déterminer l'énergie molaire de cette réaction.
- Cette réaction est-elle exothermique ou endothermique ?

2 Étude de la libération du dioxyde de carbone $\text{CO}_2(\text{g})$

- Déterminer le nombre d'électrons de valence des atomes de carbone et d'oxygène. Donner alors leurs structures de Lewis.
 - Quelle est la structure de Lewis de la molécule CO_2 ?
 - En déduire sa géométrie spatiale.
- La double liaison $\text{C}=\text{O}$ est-elle polarisée ? Justifier.
 - La molécule de CO_2 est-elle polaire ou apolaire ? Justifier.
 - Conclure sur la solubilité du CO_2 dans l'eau. Expliquer alors pourquoi, à la suite d'un phénomène perturbateur, le $\text{CO}_2(\text{g})$ s'est déversé dans la vallée plutôt que de rester piégé dans l'eau du lac.

3 Pourquoi le dioxyde de carbone a-t-il été piégé ?

Le dioxyde de carbone peut se dissoudre dans l'eau suivant une réaction acido-basique et donner de l'acide carbonique. À pH acide, l'acide carbonique est instable et se redécompose aussitôt en dioxyde de carbone. En revanche, si l'eau n'est pas acide, l'acide carbonique devient soluble dans l'eau.

- En utilisant les informations de l'exercice et les données ci-contre, déterminer si le lac était acide ou basique au moment du drame. Conclure.

DONNÉES

• Énergies de liaison :

$$E(\text{C}=\text{O}) = 708 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1};$$

$$E(\text{O}=\text{O}) = 494 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1};$$

- Solubilité du CO_2 : $s = 1,69 \text{ g}$ par kg d'eau à 25°C ;

- $\rho(\text{CO}_2) = 1,87 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

- $\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;

- Longueur du lac : $L = 2,0 \text{ km}$;

- Largeur du lac : $l = 1,2 \text{ km}$;

- Profondeur du lac : $h = 260 \text{ m}$;

- $V_{\text{lac}} = \frac{4\pi L \cdot l \cdot h}{6}$;

- Valeurs d'électronégativité χ selon Pauling pour quelques atomes :

H						
2,20						
Li	Be	B	C	N	O	F
0,98	1,57	2,04	2,55	3,04	3,44	3,98
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
0,93	1,31	1,61	1,90	2,19	2,58	3,16

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

- Donner la définition de l'énergie molaire de réaction.
- Quel est le signe de l'énergie molaire de la réaction ?
- Écrire la configuration électronique des atomes.
 - Quelles sont les étapes pour écrire une structure de Lewis ?
 - Déterminer le nombre de doublets non liants et le nombre de liaisons.
- Indiquer les électronégativités des atomes de carbone et d'oxygène.
- Quelle est la condition pour qu'un composé soit très soluble dans l'eau ?
- Quelle est la masse de CO_2 rejeté lors du drame ? Quelle masse de CO_2 le lac pourrait-il solubiliser ? Que conclure de la comparaison entre les différentes masses ?

Solution rédigée

1 Production du CO_2

1. L'équation bilan de la combustion du carbone est :
 $\text{C(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$.

2. L'énergie molaire de la réaction peut être définie par
 $E_r = E_d - E_f$
 avec : $E_d = E(\text{O}=\text{O}) = 494 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$;
 $E_f = 2 \times E(\text{C}=\text{O}) = 2 \times 708 = 1416 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
 Donc : $E_r = 494 - 1416 = -922 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

3. L'énergie molaire de la réaction est négative. La réaction est donc exothermique.

2 Étude de la libération du dioxyde de carbone CO_2

1. a. L'atome de carbone possède 6 électrons. Sa configuration électronique est $1s^2 2s^2 2p^2$. Il possède donc 4 électrons de valence. L'oxygène possède 8 électrons. Sa configuration électronique est $1s^2 2s^2 2p^4$. Il possède donc 6 électrons de valence.

b.

Molécule	CO_2		
Atomes	C	O	O
Configuration électronique	$1s^2 2s^2 2p^2$	$1s^2 2s^2 2p^4$	$1s^2 2s^2 2p^4$
Électrons de valence	4	6	6
Nombre d'électrons de valence manquants pour respecter l'octet	4	2	2
n_t	$4 + 2 + 2 = 8$		
Nombre de doublets	$\frac{8}{2} = 4$		
Répartition et nature des doublets	4 liaisons covalentes entre C et O et 4 doublets non liants sur les O		
Structure de Lewis	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$		

c. D'après la formule de Lewis, la molécule de CO_2 possède deux doubles liaisons qui partent du carbone et pas de doublets non liants sur celui-ci. Il s'agit donc d'une molécule linéaire.

2. D'après les données, $\chi(\text{O}) > \chi(\text{C})$. L'oxygène est plus électronégatif donc la liaison $\text{C}=\text{O}$ est polarisée.

3. La géométrie de la molécule de CO_2 implique que les charges créées par les liaisons $\text{C}=\text{O}$ sont symétriques par rapport à C. La molécule est donc apolaire.

4. Le dioxyde de carbone est apolaire alors que l'eau est une molécule polaire. Le CO_2 est donc peu soluble dans l'eau. Lorsque le dioxyde de carbone a été éjecté des profondeurs du lac, il ne s'est pas dissous dans l'eau. Il s'est déversé à l'extérieur du cratère, vers le sol car il est plus dense que l'air.

3 Acidité du lac

• Il faut déterminer la quantité d'eau contenue dans le lac du cratère pour pouvoir calculer la quantité de dioxyde de carbone qui peut y être dissous.

Le volume du lac est :

$$V_{\text{lac}} = \frac{4\pi L \cdot l \cdot h}{6} = \frac{4 \times \pi \times 2,0 \times 10^3 \times 1,2 \times 10^3 \times 260}{6} \\ = 1,3 \times 10^9 \text{ m}^3$$

La masse d'eau dans le lac est donc :

$$m = \rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot V_1 \\ = 1000 \times 1,3 \times 10^9 \\ = 1,3 \times 10^{12} \text{ kg}$$

La masse de dioxyde de carbone qui peut être dissous est donc $m = 1,69 \times 1,3 \times 10^{12} = 2,2 \times 10^{12} \text{ g}$.

Or la masse de dioxyde de carbone dégagé lors de la catastrophe est :

$$m(\text{CO}_2) = \rho(\text{CO}_2) \cdot V_{\text{dégagé}} \\ = 1,87 \times 1 \times 10^9 \\ = 1,87 \times 10^9 \text{ kg} \\ = 1,87 \times 10^{12} \text{ g}$$

Elle est inférieure à la masse de dioxyde de carbone qui peut être dissous dans le lac.

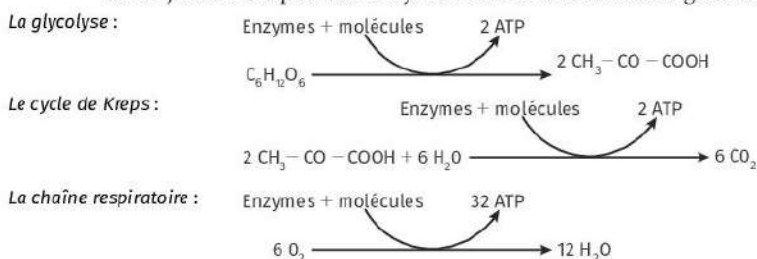
Si l'eau du lac avait été basique, le lac aurait pu dissoudre tout le dioxyde de carbone qui a été libéré. Comme ça n'a pas été le cas, on peut conclure que l'eau du lac était acide.

1 Peut-on « brûler » des calories ?

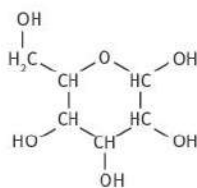
Doc. 1 L'énergie de l'organisme



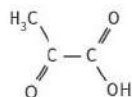
L'alimentation permet d'apporter à l'organisme des nutriments (glucides, protéides et lipides). Ceux-ci sont répartis dans notre corps, puis nos cellules. L'ensemble des processus du métabolisme cellulaire convertissant l'énergie chimique contenue dans ces nutriments est appelé respiration cellulaire. Elle permet la production d'adénosine triphosphate (ATP) dans les cellules, principalement à partir du glucose $C_6H_{12}O_6$. Ce sont de réactions enzymatiques et chimiques (réactions d'oxydoréduction) convertissant ces nutriments en énergie pour permettre au corps de fonctionner. L'alimentation, et donc les nutriments, constitue une source d'énergie qui peut être mesurée en calorie ou en joule. Il est possible de symboliser ces réactions en 3 grandes étapes :



Doc. 2 Représentation des molécules



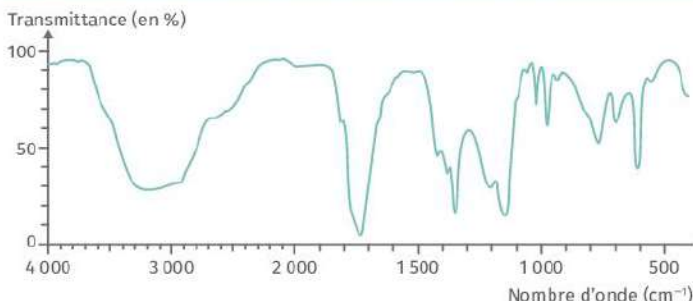
Glucose



Acide pyruvique

Formules semi-développées du glucose et de l'acide pyruvique.

Doc. 3 Spectre infrarouge d'une molécule inconnue



Questions

1 Autour de l'acide pyruvique

L'acide pyruvique est une des molécules clés intervenant dans la production d'énergie par notre organisme. Il est notamment à l'origine de l'acétyl-coenzyme A, qui intervient dans le cycle de Krebs.

1. Quelle est la formule brute de l'acide pyruvique ?
2. Identifier les groupes caractéristiques de l'acide pyruvique et du glucose.
3. Parmi les deux propositions suivantes, indiquer celle qui correspondrait à la nomenclature officielle de l'acide pyruvique : acide 2-cétopropanoïque ou 2-cétopropanol ➔ **Fiche méthode 17, p. 395.**
4. À quelle molécule (glucose ou acide pyruvique) appartient le spectre du **doc. 3** ? Justifier.

2 Réaction de respiration

1. En ne tenant compte que des espèces intervenant dans les équations de réaction horizontales proposées au **doc. 1**, établir l'équation bilan synthétisant ces trois étapes de la respiration cellulaire.
2. À quel type de réaction peut-on assimiler la respiration cellulaire ? Justifier alors l'expression « brûler » des calories.

2 Synthèse de l'acide pyruvique

Doc. 1 L'acide pyruvique

La biochimie est l'étude des processus chimiques qui ont lieu dans les êtres vivants comme l'être humain. Pour étudier pleinement ces phénomènes, les scientifiques reproduisent dans leurs laboratoires les structures qui nous constituent.

Ils ont notamment étudié les entités intervenant dans la respiration cellulaire, le mécanisme qui permet à nos cellules de produire de l'énergie. L'acide pyruvique est une molécule essentielle de ce mécanisme. Il est donc intéressant de savoir le synthétiser.

Données

Acide tartrique	Hydrogénosulfate de potassium	Acide pyruvique
$C_4H_6O_6$	$KHSO_4$	$C_3H_4O_3$
$M = 150,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$M = 136,2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$M = 88,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
		

Numérique

Retrouvez plus de sujets Bac en version numérique.

[LLS.fr/PC1P211](https://lls.fr/PC1P211)

Doc. 2 Protocole de synthèse de l'acide pyruvique

"An intimate mixture of 600 g of finely powdered, freshly fused potassium acid sulfate and 400 g of powdered tartaric acid, prepared by grinding them together in a mortar, is placed in a round-bottomed Pyrex flask connected with a condenser which is filled with water but does not have any water flowing through it. The mixture is heated by means of an oil bath maintained at a temperature between 210 and 220° until liquid no longer distils over. Some foaming takes place, but, if fused potassium acid sulfate is used and the temperature of the bath does not rise above 220°, it is not difficult to control. The distillate is then fractionated under reduced pressure. Pyruvic acid passes over at 75–80°."

J. W. Howard and W. A. Fraser, *Organic Syntheses*, vol. 4, 1925, p. 63.

Doc. 3 Matériel à disposition

- Acide tartrique, poudre ;
- Réfrigérant à eau ;
- Hydrogénosulfate de potassium, poudre ;
- Bain d'huile ;
- Mortier et pilon ;
- Erlenmeyer de 500 mL ;
- Ballon en pyrex de 3 L et chauffe-ballon ;
- Thermomètre ;
- Tête de distillation (raccord coudé).

Questions

1 Étude de l'hydrogénosulfate de potassium

1. L'hydrogénosulfate de potassium est-il un composé ionique ou moléculaire ?
2. Écrire son équation de dissolution dans l'eau.
3. Représenter la structure de Lewis de l'ion hydrogénosulfate SO_4^- sachant que l'atome d'hydrogène est lié à un atome d'oxygène et que le soufre est l'atome central (les quatre atomes d'oxygène sont liés au soufre S).
4. Quelle(s) précaution(s) doit prendre un expérimentateur qui manipule ce composé ?

2 Protocole de synthèse de l'acide pyruvique

1. Avec l'aide du protocole du **doc. 2** et de la liste de matériel du **doc. 3**, proposer un protocole pour la synthèse de l'acide pyruvique.
2. Représenter un schéma légendé du montage.
3. Quelles sont les précautions à prendre lors de cette synthèse ?
4. Quelle est la méthode de purification indiquée dans le protocole du **doc. 2** ?

3 Calcul du rendement

1. En considérant qu'une mole d'acide tartrique réagit avec une mole d'hydrogénosulfate de potassium, déterminer le réactif limitant dans les conditions expérimentales du **doc. 2**, c'est-à-dire à partir de 600 g d'hydrogénosulfate de potassium et 400 g d'acide tartrique.
2. La masse d'acide pyruvique obtenue est de 123 g. Calculer le rendement de la réaction. Commenter ce résultat.



Parcours d'orientation - Les CPGE autour de la Physique-Chimie

Spécialités suggérées en terminale :



+



ou



À la découverte de ce cursus

CPGE (CLASSES PRÉPARATOIRES AUX GRANDES ÉCOLES)/CLASSES PRÉPARATOIRES INTÉGRÉES

Lieu : Lycée/École d'ingénieur ou de commerce **Durée de la formation :** 2 ans, suivis de 3 ans d'études en école

La formation en classe préparatoire a pour objectif de fournir à l'élève l'ensemble des compétences nécessaires à la réussite de sa scolarité au sein des grandes écoles. Dans le cas des CPGE, elles préparent aux concours d'entrées dans ces écoles qui ont lieu à la fin de la seconde année.

CARACTÉRISTIQUES DE LA FORMATION

- ♦ Taux d'encadrement 
- ♦ Spécialisation 
- ♦ Professionnalisation 
- ♦ Passerelles possibles 

EXEMPLES DE CPGE

- ♦ CPGE scientifique : à découvrir sur [LLS.fr/PC1PrepaS](https://lls.fr/PC1PrepaS)
- ♦ CPGE économique : à découvrir sur [LLS.fr/PC1PrepaE](https://lls.fr/PC1PrepaE)
- ♦ CPGE littéraire : à découvrir sur [LLS.fr/PC1PrepaL](https://lls.fr/PC1PrepaL)

interactions

Compétences



Retrouver les fiches méthode compétences sur lelivrescolaire.fr (LLS.fr/PC1Methode).

INDICATEUR DE MAÎTRISE		chap. 11	chap. 12	chap. 13
RAI/ ANA	Construire un raisonnement, communiquer sur le chemin de résolution Utiliser des données pertinentes pour répondre à une problématique	✓		
REA	Effectuer des mesures/acquérir des données grâce à des capteurs		✓	
RAI/ MOD	Faire le bilan de forces		✓	✓
VAL	Précision et incertitudes/chiffres significatifs/identifier et évaluer les sources d'erreur		✓	
VAL	Traiter/exploiter/modéliser numériquement un ensemble de mesures		✓	✓
MATH	Utiliser un langage de programmation			✓
MATH	Calcul littéral (résoudre une équation)	✓		
MATH	Vecteurs, produit scalaire	✓		✓

Modélisation d'interactions fondamentales

ESPRIT SCIENTIFIQUE



Emily Patrick, *Palette et livres*, v. 1959.

L'étude de la constitution des atomes montre que la matière est lacunaire, c'est-à-dire essentiellement constituée de vide.

➤ Pourquoi dans ce cas un livre posé sur une table ne passe-t-il pas au travers ?

➔ voir l'exercice 37, p. 230

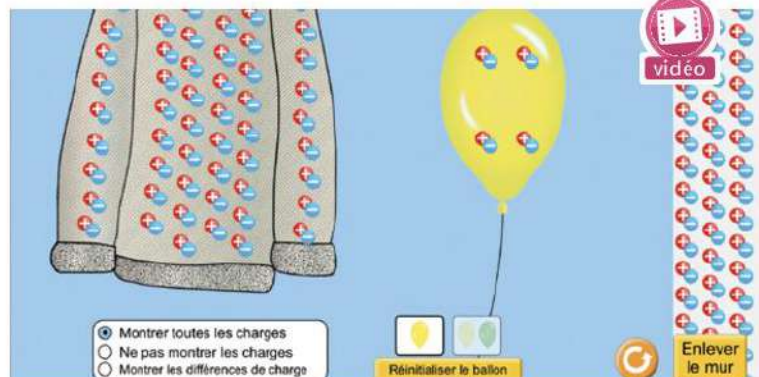
Travailler

autrement

CLASSE
INVERSEE

Découvrez les caractéristiques des interactions gravitationnelle et électrostatique en autonomie. [LLS.fr/PC1P214](https://lls.fr/PC1P214)

Voir p. 233





Lors des orages, les nuages accumulent des charges électriques. Lorsque leur nombre devient important, l'air devient conducteur. Les charges circulent alors et la foudre tombe.

→ **Comment expliquer que des charges électriques puissent ainsi agir sur des couches d'air avec lesquelles elles ne sont pas en contact ?**

→ voir l'exercice 43, p. 232

À revoir pour bien commencer

- › La modélisation d'une action mécanique par une force
- › Les expressions de la force gravitationnelle et celle du poids

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P215

Objectifs du chapitre

- ☐ Interpréter des expériences mettant en jeu l'interaction électrostatique et l'influence électrostatique
- ☐ Utiliser la loi de Coulomb
- ☐ Connaître et exploiter la force et le champ de gravitation
- ☐ Connaître et exploiter la force et le champ électrostatique

1 L'interaction électrostatique



Dès l'Antiquité, on observe que l'ambre après avoir été frotté contre de la laine acquiert la capacité d'attirer certains corps légers. Le terme électricité a été créé au XVII^e siècle d'après le mot grec *elektron*, ambre.

→ Comment modéliser un phénomène électrostatique ?

Une opinion ?

Pourquoi nos cheveux se dressent-ils lorsqu'on enlève un pull en laine ?

Doc. 1 Électrisation par influence, électrisation par contact

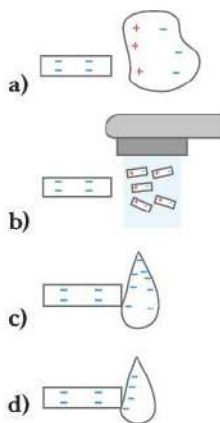
Selon leur composition, les corps ont des réponses différentes à l'influence de charges électriques :

a) on approche un matériau chargé d'un matériau conducteur : la répartition des charges est modifiée dans le conducteur ;

b) on l'approche d'une substance dipolaire : les dipôles s'orientent ;

c) on met en contact un objet chargé avec un objet conducteur : la charge électrique se répartit à la surface ;

d) on le met en contact avec un objet non conducteur : une partie de la charge est transférée à l'objet à l'endroit du contact puis les deux objets se repoussent.



Doc. 2 Force électrostatique, loi de Coulomb

La force électrostatique modélise l'action d'un corps chargé sur un autre.

Cette force est décrite par la loi énoncée par

$$F_e = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

où d est la distance entre les deux centres des objets en mètre (m), q_1 et q_2 sont les charges électriques portées par les objets 1 et 2 en coulomb (C) et $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$.

Doc. 3 Matériel nécessaire

- Un morceau de papier essuie-tout ;
- Deux pailles de plastique et une baguette en verre ;
- Une boule de papier aluminium suspendue à l'aide d'un fil.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour observer la réalisation d'un électroscope. [LLS.fr/PC1P216](https://lls.fr/PC1P216)

Compétences

- ✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés
- ✓ RAI/ANA : Utiliser des observations, des documents pour répondre à une problématique

1. Frotter l'une après l'autre deux pailles contre un morceau de papier essuie-tout. Approcher ensuite les deux pailles l'une de l'autre. Qu'observe-t-on ? Interpréter.
2. Frotter une baguette en verre contre un morceau de papier essuie-tout. Approcher ensuite la baguette de la paille. Qu'observe-t-on ? Interpréter.
3. Approcher la paille chargée d'une petite boule d'aluminium suspendue. Qu'observe-t-on dans un premier temps ? Interpréter. Mettre la paille en contact de la boule d'aluminium. Qu'observe-t-on l'instant suivant le contact ? Interpréter.
4. Défi : à l'aide du matériel à disposition, comment dévier sans contact un filet d'eau vers un verre placé à quelques centimètres de sa verticale ?
5. Expliquer pourquoi dans l'expérience précédente, le filet d'eau subit une force d'attraction et non de répulsion.
6. Après avoir rappelé l'expression de la force d'interaction gravitationnelle, identifier ses similitudes et ses différences avec la loi de Coulomb.

Synthèse de l'activité

Expliquer ce qui se passe lorsque nos cheveux montent en l'air après avoir enlevé un pull. Comment modélise-t-on cette interaction ?

2 Des champs en physique

Les interactions gravitationnelles et électrostatiques sont des interactions à distance.

→ Comment décrit-on ces interactions dans l'espace ?

Par intuition

Selon le physicien Maxwell, « le champ crée une toile à travers tout le ciel ». De quel champ peut-il bien s'agir ?

Doc. 1 La naissance de la notion de champ

Au milieu du XVIII^e siècle, Leonhard Euler (1707-1783) étudie le mouvement des fluides. Il attribue une vitesse à chaque point d'un liquide en mouvement. La notion de champ est née : elle correspond à l'attribution en chaque point de l'espace de la valeur unique d'une grandeur physique. Euler a répertorié des vitesses mais on peut aussi bien répertorier des températures, des pressions ou même des forces. Les champs sont dits « scalaires » si la grandeur mesurée est scalaire (valeur numérique + unité), ou « vectoriels » si la grandeur est représentée localement par un vecteur.

Doc. 2 Les champs gravitationnel et électrostatique

Une particule chargée A agit dans l'espace qui l'entoure sur toute particule B chargée qui s'y trouve. Il en est de même pour une masse A sur toute la masse présente B autour d'elle. Ces actions sont modélisées par des forces, desquelles on peut déduire les vecteurs champ $\vec{G}$ et $\vec{E}$:

$$\vec{F}_g(A/B) = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \cdot \vec{u}_{A \rightarrow B}$$

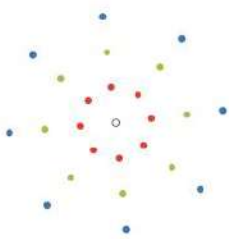
$\vec{G}$

$$\vec{F}_e(A/B) = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \cdot \vec{u}_{A \rightarrow B}$$

$\vec{E}$

Doc. 3 Cartographier un champ gravitationnel

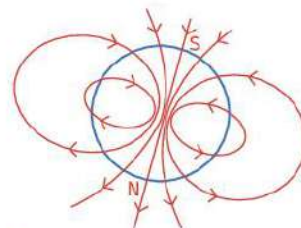
Afin de cartographier un champ gravitationnel créé par une masse M , on déplace une masse d'essai $m_e = 1$ kg dans la zone spatiale qui nous intéresse. La force gravitationnelle agissant sur m_e est proportionnelle au champ gravitationnel au niveau de la position de m_e .



Dans cette activité, on déplace la masse d'essai le long de cercles de rayons 1, 2 et 3 mètres. Chaque point représente une position de m_e , occupée tous les 45°.

Doc. 4 Lignes de champs

Les lignes de champs sont des courbes permettant de représenter les champs vectoriels. Elles sont en tout point tangentes aux vecteurs du champ et orientées dans le même sens que celui-ci.



Lignes de champ du champ magnétique terrestre.

Plus le champ est intense, plus les lignes seront proches les unes des autres.

Données

$$k = 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}; \quad G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}.$$

Compétence

✓ MATH : Vecteur

- 1. Doc. 3** Reproduire la carte des positions de la masse d'essai à l'échelle 3 cm pour 1 m.
- 2. Doc. 2 et 3** On place sur le point central une masse $M = 4,0$ kg. Après avoir calculé leurs valeurs, représenter les forces d'interaction gravitationnelle de M sur la masse d'essai m_e pour chacune des positions représentées. (Échelle : $1 \text{ cm} \rightarrow 1 \times 10^{-10} \text{ N}$.)
- 3. Doc. 2** Identifier le lien entre les forces d'interaction gravitationnelle exercées par M sur m_e et le champ gravitationnel créé par M .
- 4. Doc. 3 et 4** Tracer les lignes de champ du champ représenté. Commenter le dessin.

Synthèse de l'activité

Que représentent les champs gravitationnel et électrostatique ?
L'image de Maxwell est-elle confirmée par la représentation de champ dans l'activité ?

3 Le champ électrostatique d'un condensateur plan

40'

Un condensateur est un objet capable de stocker de l'énergie grâce aux charges accumulées sur ses armatures.

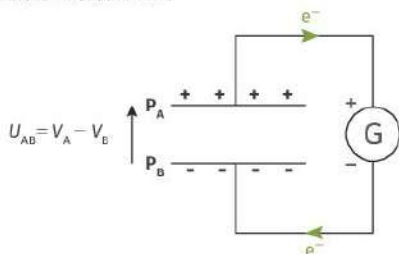
→ Comment décrire le champ électrostatique créé par le condensateur plan ?

Une opinion ?

La géométrie du condensateur nous donne-t-elle des indices sur le champ électrostatique ?

Doc. 1 Le condensateur plan

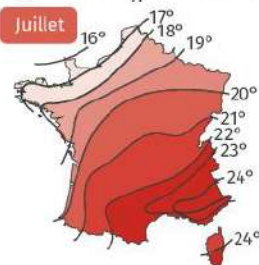
Un condensateur est constitué de deux armatures conductrices, entre lesquelles on applique une différence de potentiel ou tension. Les armatures, portées à deux potentiels différents, vont se charger suite à un déplacement d'électrons.



Doc. 2 Du potentiel au champ

La tension électrique U_{AB} entre deux points A et B est égale à la différence des potentiels électriques V_A et V_B de ces deux points, $U_{AB} = V_A - V_B$. Dans le montage du doc. 1, une plaque est reliée à la masse du générateur donc $V_B = 0$ V. La sonde mesure donc directement V_A . En reliant les points de même potentiel V_A , on trace les lignes équipotentielles.

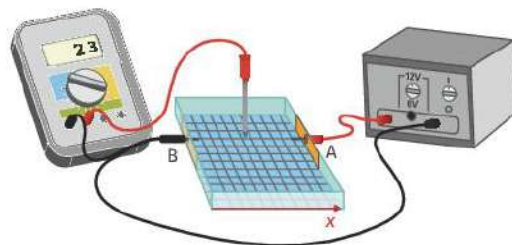
Ces équipotentielles sont perpendiculaires aux lignes de champs. Les lignes équipotentielles sont comparables aux lignes isothermes ou aux lignes isobares sur une carte météo par exemple.



Doc. 3 Matériel nécessaire

- Deux plaques de cuivre et deux pinces crocodiles ;
- Un voltmètre ;
- Trois fils électriques et une sonde ;
- Un générateur de tension continue de 6 V ;
- Une solution aqueuse de sulfate de cuivre (II) CuSO_4 ($0,01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) ;
- Une cuve rectangulaire disposant d'un quadrillage.

Doc. 4 Modélisation d'un condensateur plan



Compétences

- ✓ APP : Extraire l'information utile
- ✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

1. Doc. 4 Placer la sonde à différents endroits des deux plaques. Commenter les mesures.
2. Doc. 2 et 4 Élaborer un protocole permettant de cartographier les potentiels V .
3. Mettre en œuvre le protocole de manière à cartographier les équipotentielles égales à 0,5 V, 1 V, 1,5 V, ..., 5 V et 5,5 V.
4. Doc. 2 Tracer les équipotentielles puis en déduire les lignes de champ.
5. On peut calculer l'intensité du champ électrique E à partir du potentiel électrique à l'aide de la relation : $E = \frac{V}{x}$ où x est la distance à la plaque B. Calculer E à différents endroits.
6. Représenter les vecteurs $\vec{E}$ à différents points entre les plaques. Que constate-t-on ?

Synthèse de l'activité

Le vecteur champ électrostatique créé entre les deux plaques est uniforme. Donner une définition d'un champ uniforme.

4 Estimer la valeur du champ de pesanteur



Tout humain est soumis à l'attraction gravitationnelle de la Terre et il baigne par conséquent dans son champ gravitationnel.

→ Quelle est l'intensité du champ gravitationnel de la Terre ?

Par intuition

Existe-t-il un moyen simple de mesurer l'intensité de pesanteur g ?

Doc. 1 Le pendule simple

Un pendule est un système constitué d'une masse suspendue à l'aide d'un fil. On lui associe le terme simple dans le cas où on néglige la masse du fil devant la masse de l'objet suspendu et où on modélise la masse par un point.

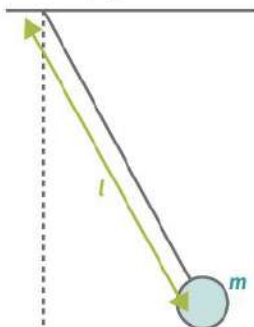
Au XVII^e siècle, Christian Huygens (1629-1695) met en équation le lien entre la période T des oscillations d'un pendule, la longueur l du pendule et le champ gravitationnel g dans lequel le pendule se trouve :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$



Attention cependant, cette relation n'est vraie que dans le cas d'oscillations de faibles amplitudes.

Retrouver une vidéo d'oscillations de pendules sur [LLS.fr/PC1P219](https://lls.fr/PC1P219).



Doc. 2 Matériel nécessaire

- Une potence ;
- Une masse (par exemple 50 g) ;
- Un fil ;
- Un chronomètre.

Doc. 3 Champ gravitationnel, champ de pesanteur

Une masse attire à elle toute autre masse située dans son champ d'action : elle crée un champ gravitationnel.

La planète Terre crée par sa masse un champ gravitationnel que nous subissons tous. À sa surface, ce champ est appelé champ de pesanteur terrestre. L'intensité de ce champ peut être déterminée grâce à la relation : $g = G \cdot \frac{m_{\text{Terre}}}{R_{\text{Terre}}^2}$.

Dans la vie courante, nous attribuons aussi un nom spécifique désignant la force d'attraction de la Terre sur un objet situé à sa surface : il s'agit du poids de cet objet. Le poids se calcule selon la relation $P = m \cdot g$.

Données

- $m_{\text{Terre}} = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- $R_{\text{Terre}} = 6\,367 \text{ km}$;
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.

Compétences

- ✓ APP : Identifier les paramètres de travail
- ✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement, communiquer sur les étapes

- Doc. 1** À partir de la relation de Huygens, donner l'expression de l en fonction T et g . Cette relation est-elle de la forme $y = g \cdot x$? Exprimer y et x en fonction de l et T .
- Doc. 1 et 2** Élaborer un protocole permettant de mesurer la période du pendule en fonction de sa longueur.
- Doc. 1 et 2** Mettre en œuvre le protocole. Déterminer g .
- Commenter l'expérience réalisée en mettant en avant les sources d'imprécisions en parallèle de solutions susceptibles d'améliorer l'expérience.
- Estimer les incertitudes des mesures réalisées.
- Doc. 3** Calculer la valeur théorique de g à la surface de la Terre.
- Calculer l'écart relatif entre les deux valeurs trouvées de g . Commenter cet écart.

Synthèse de l'activité

Décrire et commenter un moyen simple de déterminer la valeur de l'intensité de pesanteur expérimentalement.

1 Charge électrique, électrisation, loi de Coulomb

A La charge électrique

➤ Déjà dans l'Antiquité, on savait qu'en frottant un morceau d'ambre avec de la fourrure ou de la laine, il pouvait attirer à lui des objets légers. Cette attraction a pour origine les propriétés électriques de la matière.

Selon les matières mises en jeu, une attraction ou une répulsion peuvent être observées. Il existe deux caractères électriques, liés à deux types de charges électriques : positive et négative.

Des charges de même signe se repoussent alors que des charges de signes opposés s'attirent (doc. 2).

➤ Toute charge est égale à un multiple de la charge élémentaire $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C. L'unité du système international de la charge est le coulomb, noté C :

- un électron porte une charge de $-e$ et un proton une charge de $+e$;
- la cohésion de la matière est assurée par les charges des particules qui la constituent, même si la matière est lacunaire.

B Électrisation

1. Électrisation par frottement

Lors du frottement entre l'ambre et la laine, la laine donne certains de ses électrons à l'ambre. Les deux matériaux sont ici électrisés par frottement, l'ambre devient électriquement négatif et la laine électriquement positive.

2. Électrisation par contact

Un objet chargé électriquement, mis en contact avec un objet neutre, lui transfère une partie de sa charge (doc. 3). Si le matériau est :

- **conducteur**, alors la charge se répartit sur toute sa surface ;
- **isolant**, alors la charge reste au niveau de la zone de contact.

3. Électrisation par influence

Lorsque l'on approche un objet chargé :

- **d'un matériau conducteur** : la répartition des charges est modifiée dans le conducteur ;
- **d'une substance dipolaire** : les dipôles s'orientent dans le sens du champ électrostatique créé par l'objet (doc. 4).

C Loi de Coulomb

➤ Au XVIII^e siècle, Charles-Augustin Coulomb (1736-1806) effectue des mesures de forces électrostatiques sur des sphères chargées à l'aide d'une balance de torsion.

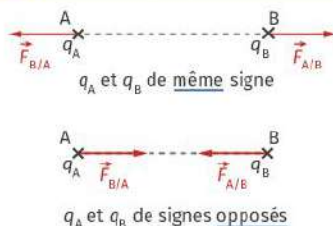
Il démontre que la valeur de cette force F_e est proportionnelle aux charges électriques mises en jeu, et proportionnelle à l'inverse du carré de la distance séparant le centre des sphères :

$$F_e = k \cdot \frac{|q_A \cdot q_B|}{d_{AB}^2}$$

Doc. 1 Table triboélectrique

+	Fourrure de lapin	Cette table permet de déterminer le matériau qui cède et celui qui reçoit les électrons lors d'une électrisation par frottement entre eux.
	Verre	
	Cheveux	
	Nylon	
	Laine	
	Aluminium	
	Papier	
	Acier	
	Ambre	
	Cuivre	
	Or	
	Polystyrène	
-	PVC	

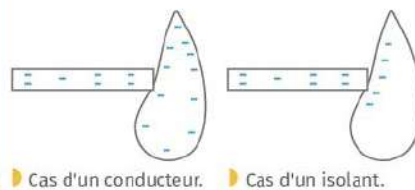
Doc. 2 Attraction, répulsion électrique



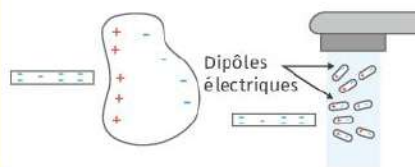
Vocabulaire

- **Charge électrique** : propriété de la matière lui permettant d'interagir avec un champ électromagnétique.

Doc. 3 Électrisation par contact



Doc. 4 Électrisation par influence



2 La force gravitationnelle et la force électrostatique

A De l'interaction à la force

Soit deux objets A et B qui agissent de manière réciproque l'un sur l'autre : A agit sur B et B agit sur A, on dit alors que **ces objets sont en interaction**.

Chaque action est modélisée par une force, elle-même représentée par un vecteur portant quatre caractéristiques : un sens, une direction, une intensité et un point d'application (**doc. 5**).

B La force gravitationnelle

Tous les corps qui ont une masse s'attirent les uns les autres : ce phénomène est appelé gravitation. Ces actions sont réciproques, on parle donc d'interaction gravitationnelle.

La force modélisant ces actions est appelée force d'attraction gravitationnelle, elle est décrite par la relation :

$$\vec{F}_g(A/B) = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \vec{e}_r$$

avec G la constante universelle de la gravitation ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$), m_A et m_B les masses (en kg) des corps A et B, et d la distance entre A et B exprimée en mètre (m).

$\vec{e}_r$ est le vecteur unitaire porté par la droite (AB), orienté de A vers B.

L'intensité de la force gravitationnelle est égale à la valeur absolue de la force précédente : $F_g = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$.

On remarque que l'action gravitationnelle d'un corps A sur un corps B est de même intensité que celle du corps B sur le corps A. Ainsi, la Terre attire autant à elle la Lune que la Lune attire à elle la Terre.

C La force électrostatique

Tous les corps possédant une charge électrique s'attirent ou se repoussent de manière réciproque.

La force modélisant ces actions est appelée force électrostatique, elle est décrite par la relation :

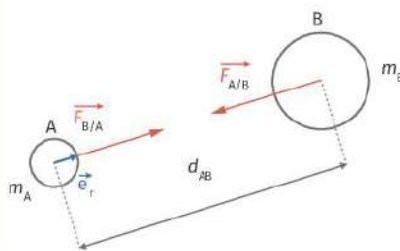
$$\vec{F}_e(A/B) = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \vec{e}_r$$

avec $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$, q_A et q_B les valeurs des charges électriques portées respectivement par les corps A et B et exprimées en coulomb (C), et d la distance entre A et B exprimée en mètre (m).

L'intensité de cette force est égale à la valeur absolue de la relation précédente : $F_e(A/B) = k \cdot \frac{|q_A \cdot q_B|}{d^2}$.

On remarque ici aussi que l'action électrostatique d'un corps A sur un corps B est de même intensité que celle du corps B sur le corps A (**doc. 7**).

Doc. 5 Représentation des forces



Éviter les erreurs

➔ Attention au référentiel choisi ! Habituellement, l'origine du repère spatial est prise au centre du corps de masse la plus grande.

Par exemple, lors de l'étude de l'interaction gravitationnelle entre le Soleil et la Terre, on se place généralement dans le référentiel héliocentrique, donc :

$$\vec{F}_g(\text{Soleil/Terre}) = -G \cdot \frac{m_{\text{Soleil}} \cdot m_{\text{Terre}}}{d^2} \vec{e}_r$$

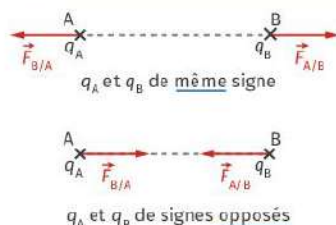
$$\vec{F}_g(\text{Terre/Soleil}) = G \cdot \frac{m_{\text{Soleil}} \cdot m_{\text{Terre}}}{d^2} \vec{e}_r$$

avec $\vec{e}_r$ vecteur unitaire orienté du Soleil vers la Terre.

Doc. 6 Mesure de G par Cavendish

John Cavendish (1732-1796), avec 4 masses, un fil, un miroir et un rayon lumineux, a mesuré la constante de gravité G avec une remarquable précision.

Doc. 7 Attraction, répulsion électrique



Éviter les erreurs

➔ Attention à bien vérifier le signe des charges, cela a une conséquence directe sur l'orientation des forces mises en jeu !

3 Le champ gravitationnel et le champ électrostatique

A Les champs

1. Généralités

Un champ représente la cartographie dans l'espace d'une grandeur physique.

On définit deux types de champs :

- **les champs scalaires** dont la grandeur cartographiée est scalaire, par exemple les champs de température et de pression ;
- **les champs vectoriels** dont la grandeur cartographiée est vectorielle, par exemple les champs de vitesse (vent), gravitationnel et électrostatique (**doc. 8**).

2. Étude d'un champ vectoriel

Pour dessiner un champ vectoriel, on représente dans l'espace les vecteurs des grandeurs qui nous intéressent.

Afin de mieux visualiser un champ vectoriel, on trace les lignes de champ. Ce sont les courbes qui suivent les vecteurs en respectant leur direction : elles sont tangentes en tout point au vecteur du champ.

Plus les lignes de champ sont proches les unes des autres, plus le champ est intense dans la zone considérée.

B Champ gravitationnel

➤ Tous les corps ayant une masse s'attirent les uns les autres.

Afin de décrire l'action gravitationnelle d'une masse en particulier dans une zone spatiale donnée, on fixe une masse et on représente le champ gravitationnel qu'elle crée.

La valeur du champ gravitationnel créé par une masse m peut être déterminée à partir de la relation $\vec{G} = G \cdot \frac{m}{d^2} \vec{e}_r$, G est la constante universelle de la gravitation ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$).

On appelle couramment « champ de pesanteur terrestre », le champ gravitationnel de la Terre à sa surface (**doc. 9**).

C Le champ électrostatique

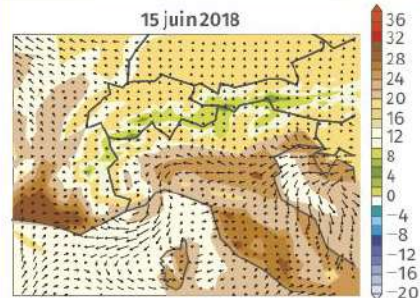
➤ Tous les objets portant une charge repoussent ou attirent tous les autres objets portant une charge électrique.

Afin de décrire l'action électrostatique d'une charge électrique dans une zone spatiale donnée, on se place du point de vue de cette charge et on représente le champ électrostatique créé (**doc. 10**).

La valeur du champ électrostatique créé par une charge q en un point peut être déterminée par la relation :

$$\vec{E} = k \cdot \frac{q}{d^2} \vec{e}_r \text{ où } k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}.$$

Doc. 8 Champ scalaire de température

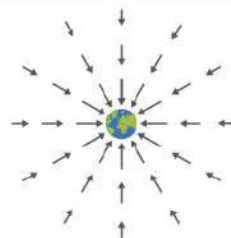


➤ Cette carte indique un champ scalaire de température en °C (en couleur) et un champ vectoriel de vitesse du vent (matérialisé par les flèches).

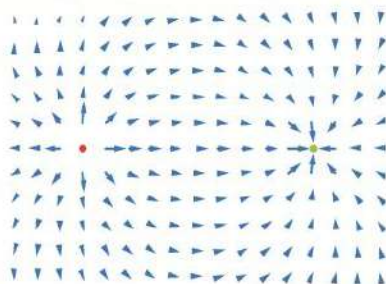
Vocabulaire

- **Champ** : cartographie des valeurs d'une grandeur dans l'espace.

Doc. 9 Champ gravitationnel



Doc. 10 Champ électrostatique créé par une charge électrique



➤ Positive à gauche, négative à droite.

Pas de malentendu



➔ L'unité d'un champ dépend de la grandeur cartographiée :

- l'unité de G est le newton par kilogramme $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$ ou en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- l'unité de E est le newton par coulomb $\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$ ou en $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$.

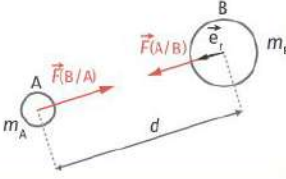
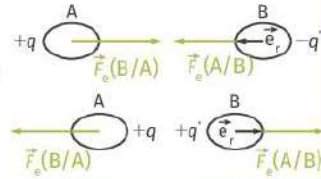
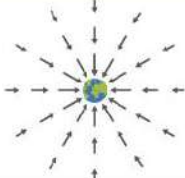
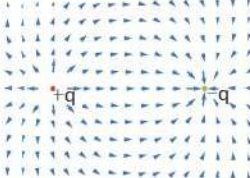
Les éléments essentiels de la modélisation

Une force :

- modélise l'action d'un objet sur un autre en un point de l'espace ;
- est représentée par un vecteur (direction, sens, norme, point d'application) ;
- a une valeur dont l'unité est le newton (N).

Un champ :

- cartographie une grandeur dans une zone de l'espace ;
- est scalaire si la grandeur cartographiée est numérique (ex. : champ de pression d'une carte météo) ;
- est vectoriel si la grandeur cartographiée est vectorielle (ex. : champ magnétique terrestre).

	Interaction gravitationnelle	Interaction électrostatique
Action sur	les masses	les charges électriques
Force	$\vec{F}_g(A/B) = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \vec{e}_r$ Force exclusivement attractive 	$\vec{F}_e(A/B) = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \vec{e}_r$ Force attractive ou répulsive 
Champ	$\vec{G} = G \cdot \frac{m}{d^2} \vec{e}_r$ 	$\vec{E} = k \cdot \frac{q}{d^2} \vec{e}_r$ 
Lien entre la force et le champ	$\vec{F}_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \vec{e}_r$ $\vec{F} = m_1 \cdot \vec{G}$ $\vec{G} = -G \cdot \frac{m_1}{d^2} \vec{e}_r$	$\vec{F}_e = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \vec{e}_r$ $\vec{F}_e = q_2 \cdot \vec{E}$ $\vec{E} = k \cdot \frac{q_1}{d^2} \vec{e}_r$

Les limites de la modélisation

➤ Pour les calculs liés à ces forces, on modélise les objets étudiés par des points fictifs qui concentrent toute la masse/charge et qui sont situés au niveau des centres de gravité/de charge des objets étudiés. Le seul objet non modélisé par un point et dont l'étude est possible ici est le condensateur plan.

➤ On constate des similitudes entre $\vec{F}_e$ et $\vec{F}_g$:

- forces proportionnelles aux grandeurs sur lesquelles elles agissent, respectivement q et m ;
- forces proportionnelles à l'inverse du carré de la distance séparant les deux corps.

Ne pas oublier toutefois que la force gravitationnelle n'est jamais répulsive !

➤ Enfin, l'interaction électrostatique ne permet pas d'expliquer le positionnement des électrons sur des couches spécifiques dans les atomes, comme étudié en seconde. Pour cela, nous avons besoin d'une modélisation plus complexe qui est proposée par la physique quantique.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour réaliser un schéma et reprendre les principales notions du chapitre ! LLS.fr/PC1P223

1 Électrisation

	A	B	C
1. L'électrisation par frottement est expliquée comme :	un transfert de protons d'un objet à l'autre.	un transfert d'électrons d'un objet à l'autre.	une transformation des électrons sous l'effet de la chaleur du frottement.
2. Lorsqu'on électrise par contact un objet conducteur, la charge électrique se répartit :	dans l'ensemble du volume de l'objet.	obligatoirement de manière uniforme à la surface de l'objet.	à la surface de l'objet, de manière plus concentrée sur les pointes de l'objet.
3. Lorsqu'on approche un objet chargé d'une substance dipolaire :	la substance s'éloigne de l'objet.	les molécules s'orientent dans un sens particulier.	il ne se passe rien.

2 Forces gravitationnelle et électrostatique

1. Les forces gravitationnelle et électrostatique sont proportionnelles :	à la distance séparant les objets.	au carré de la distance séparant les objets.	à l'inverse du carré de la distance séparant les objets.
2. La force électrostatique est donnée par la relation :	$\vec{F}_e(A/B) = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \vec{e}_r$	$\vec{F}_e(A/B) = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d} \vec{e}_r$	$\vec{F}_e(A/B) = \frac{q_A \cdot q_B}{k \cdot d} \vec{e}_r$
3. L'unité de la valeur de la force de la loi de Coulomb est :	le coulomb (C).	le newton (N).	le newton par coulomb (N/C).

3 Champs gravitationnel et électrostatique

1. Les champs gravitationnel et électrostatique sont donnés par les relations :	$\vec{G} = G \cdot \frac{m}{d^2} \vec{e}_r$ et $\vec{E} = k \cdot \frac{q}{d^2} \vec{e}_r$	$\vec{G} = G \cdot \frac{m}{d^2} \vec{e}_r$ et $\vec{E} = k \cdot \frac{q}{d^2} \vec{e}_r$	$\vec{G} = G \cdot \frac{d^2}{m} \vec{e}_r$ et $\vec{E} = k \cdot \frac{d^2}{q} \vec{e}_r$
2. Plus les lignes de champ sont proches les unes des autres :	moins le champ est intense.	plus le champ est intense.	plus les particules sont proches.

Numérique

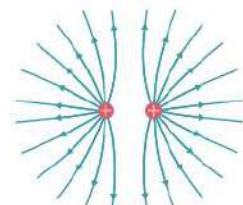
Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P224

4 Questions Jeopardy

♦ Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

a. Voir le schéma ci-contre.

b. $G = G \cdot \frac{M_{\text{Terre}}}{d^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24}}{(10^9)^2} = 3,98 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.



Savoir-faire - Parcours d'apprentissage (Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 405)

□ Charge électrique, interaction électrostatique

14

25

□ Loi de Coulomb

27

32

□ Force de gravitation et champ de gravitation

[Diff]

27

38

□ Force électrostatique et champ électrostatique

33

Pour s'échauffer

Données

- $m_{\text{électron}} = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$; • $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$;
- Charge élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$.



5 Électrisation par frottement

On frotte de l'ambre avec un morceau de laine.

- Identifier le signe de la charge électrique portée par l'ambre.

6 Force électrostatique

- Représenter sans souci d'échelle la force électrostatique d'un proton sur un électron. Même question pour un électron sur un autre électron.

7 Force gravitationnelle

- Représenter sans souci d'échelle la force d'attraction gravitationnelle d'un électron sur un autre électron.

8 Loi de Coulomb

- Calculer l'intensité de la force électrostatique d'un électron sur un autre électron situé à 1,0 mm de lui.

9 Force gravitationnelle

- Calculer l'intensité de la force gravitationnelle d'un électron sur un autre électron situé à 1,0 μm de lui.

10 Champ électrostatique

- Calculer l'intensité du champ électrostatique créé par un électron à 1,0 mm de lui.

11 Champ gravitationnel

- Calculer l'intensité du champ gravitationnel créé par un électron à 1,0 μm de lui.

12 De E à F_e

- Calculer la force électrostatique subie par un électron dans un champ électrostatique de $3,0 \times 10^{-15} \text{ N}\cdot\text{C}^{-1}$.

Pour commencer

Électrisation

13 De l'or et de la laine

- ✓ RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

On frotte un morceau de laine avec une bille d'or.

1. À l'aide de la table triboélectrique (Doc. 1, p. 220), identifier le sens dans lequel se fait l'échange d'électrons.
2. Schématiser la répartition des charges après ce frottement sur le morceau de laine et sur la bille en or.

14 Frottement et contact

- ✓ RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

On frotte un morceau de cuivre avec un morceau de laine. Ensuite on met en contact le morceau de cuivre avec une bille en aluminium.

1. À l'aide de la table triboélectrique (Doc. 1, p. 220), identifier la charge portée par le morceau de cuivre.
2. Représenter les répartitions des charges portées par le cuivre et par la bille d'aluminium.

15 Électrisation par influence

- ✓ RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

On approche une bille en cuivre chargée positivement d'une seconde bille en cuivre, sans que les deux billes se touchent.

- Représenter les répartitions des charges portées par les deux billes au moment où elles sont proches l'une de l'autre.

 F_g et F_e 16 Comprendre le vocabulaire lié à F_g

- ✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Indiquer en le justifiant si ces affirmations sont exactes.

- a. La force d'attraction gravitationnelle est une force répulsive.
- b. La force d'attraction gravitationnelle ne s'exerce qu'entre des corps possédant une masse.
- c. La force d'attraction gravitationnelle ne dépend pas de la distance entre les corps.

EXERCICES

17 Comprendre le vocabulaire lié à F_e

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Sans justifier, indiquer si ces affirmations sont exactes.
- a. La force électrostatique est une force qui peut être répulsive ou attractive.
- b. La force électrostatique ne peut s'exercer qu'entre des corps possédant une masse.
- c. La force électrostatique ne dépend pas de la distance entre les corps.
- d. La force électrostatique s'exerce entre deux corps électriquement neutres.

18 S'appropriier le vocabulaire

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Corriger ces affirmations.
- a. Lorsque deux corps s'éloignent, l'intensité des forces gravitationnelle et électrostatique qui s'exercent entre eux augmente.
- b. La force gravitationnelle exercée par le Soleil sur la Lune est plus petite que celle exercée par la Lune sur le Soleil.
- c. L'intensité de la force électrostatique s'exerçant entre deux protons est plus petite que celle s'exerçant entre deux électrons situés à une même distance.

Champs gravitationnel et électrostatique

19 S'appropriier le vocabulaire

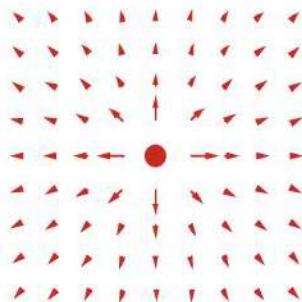
✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Corriger ces affirmations.
- a. Les champs gravitationnel et électrostatique sont des champs scalaires.
- b. Un champ électrostatique est toujours répulsif.
- c. Le champ gravitationnel créé par la Terre est un champ uniforme.
- d. Le champ gravitationnel de la Lune s'intensifie si on s'éloigne de la Lune.
- e. Les champs électrostatique et gravitationnel créés par un proton en un point X sont proportionnels à la distance qui sépare ce proton du point X.

20 Étude d'un champ électrostatique

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

1. À l'aide de l'orientation des vecteurs champs, identifier le signe de la charge à l'origine du champ représenté.
2. Identifier la zone où le champ est le plus intense.



Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Force et champ de gravitation

21 Champ gravitationnel du Soleil

✓ MATH : Utiliser le modèle vecteur

1. Représenter les lignes du champ gravitationnel du Soleil, puis le vecteur $\vec{g}_{\text{Soleil}}$ sur la Terre.
2. Donner l'expression de g_{Soleil} .
3. Calculer g_{Soleil} subi par la Terre, puis par Jupiter.
4. Comparer ces deux valeurs.

22 Champ gravitationnel du Soleil

✓ MATH : Utiliser le modèle vecteur

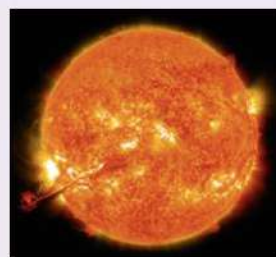
1. Représenter les lignes du champ gravitationnel du Soleil, puis le vecteur $\vec{g}_{\text{Soleil}}$ sur la Terre.
2. Donner l'expression de g_{Soleil} , puis calculer g_{Soleil} sur la Terre.
3. Réécrire l'expression de g_{Soleil} sous la forme $d = \dots$.

4. Déterminer la distance à laquelle la Terre doit s'éloigner du Soleil pour que le champ gravitationnel qu'elle subit soit un million de fois moins intense.

23 Champ gravitationnel du Soleil

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Déterminer la distance à laquelle la Terre doit s'éloigner du Soleil pour que le champ gravitationnel qu'elle subit soit trois millions de fois moins intense.



Données

- $m_{\text{Terre}} = 5,974 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- $d_{\text{Soleil/Terre}} = 1,496 \times 10^8 \text{ km}$;
- $m_{\text{Soleil}} = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$;
- $d_{\text{Soleil/Jupiter}} = 778,6 \times 10^6 \text{ km}$.

Soulever une bille ?

Énoncé

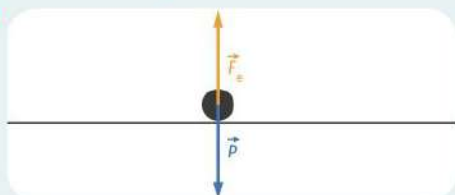
Une bille métallique de 40 g, portant une charge électrique égale à $-15e$, est posée sur une table. On approche, 10 cm au-dessus d'elle, une seconde bille métallique portant une charge électrique égale à $+10e$. L'interaction gravitationnelle entre les billes est négligée. Les charges électriques des deux billes sont-elles suffisantes pour que la seconde bille soulève la première ?



1. Sans souci d'échelle, schématiser la situation et les forces, subies par la bille supposée en lévitation au-dessus de la table.
2. Calculer l'intensité de la force électrostatique subie par la bille.
3. Calculer l'intensité de la force gravitationnelle exercée par la Terre sur la bille.
4. L'hypothèse de la question 1. est-elle justifiée ?
5. Reprendre les trois dernières questions avec des billes de charges un million de fois supérieures.

Solution rédigée

1.



$$2. F_e = k \cdot \frac{|q_{\text{bille1}} \cdot q_{\text{bille2}}|}{d^2} = k \cdot \frac{|-15e \cdot 10e|}{(10 \times 10^{-2})^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{150 \times (1,602 \times 10^{-19})^2}{(10 \times 10^{-2})^2} = 3,5 \times 10^{-24} \text{ N.}$$

$$3. F_g = P = m \cdot g = 40 \times 10^{-3} \times 9,81 = 3,9 \times 10^{-1} \text{ N.}$$

4. La bille restera immobile, car $F_g \gg F_e$.

$$5. F'_e = k \cdot \frac{|-15e \cdot 10e|}{d^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{15 \times 10^6 \times 10 \times 10^6 \times (1,602 \times 10^{-19})^2}{(10 \times 10^{-2})^2} = 3,5 \times 10^{-12} \text{ N.}$$

Le poids est toujours plus intense que la force électrostatique subie, la bille restera donc encore immobile.

DONNÉES

- $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$;
- $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. L'objectif d'un schéma est de représenter la situation, afin de donner plus de sens à la situation décrite, mais aussi aux calculs qui vont suivre.
2. Calculer l'intensité d'une force électrostatique avec la loi de Coulomb.
3. À la surface de la Terre, la force gravitationnelle est approximée par le poids : $P = m \cdot g$.
4. Quelle condition sur les forces doit-il y avoir pour que la bille s'élève ? pour que la bille reste immobile ?
5. Seules les charges changent, on a donc seulement besoin de recalculer F_e .

POUR BIEN RÉPONDRE

1. L'origine des vecteurs forces est située sur le récepteur de la force : ici les deux vecteurs partent donc de la bille qui subit les actions gravitationnelle de la Terre et électrostatique de la 2^e bille.
2. et 3. Lors d'un calcul, on écrit toujours en premier la formule de manière littérale, puis on la réécrit en introduisant les valeurs appropriées. Attention aux unités, il est important de travailler en unités SI.
4. Ici, il faut comparer les deux intensités des deux forces calculées et déterminer laquelle surpasse l'autre.
5. Seules les charges électriques sont modifiées, il suffit donc de recalculer F_e .

24 Mise en application

- Reprendre les deux situations décrites plus haut, mais cette fois sur la Lune.

Donnée

$$g_{\text{Lune}} = 1,62 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

Pour s'entraîner

25 Électroscope

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

L'abbé Nollet, au XVIII^e siècle, met au point un appareil capable de mettre en évidence la charge électrique d'un objet. Pour ce faire, on approche l'objet chargé du sommet de l'électroscope, sans le toucher. La partie conductrice de celui-ci s'électrise par influence et les deux feuilles métalliques s'écartent l'une de l'autre.



- Schématiser la répartition des charges dans la partie conductrice de l'électroscope lorsqu'on approche un objet chargé positivement du sommet de celui-ci.

26 Un électron qui tourne autour d'un noyau, une Lune qui tourne autour d'une planète

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



L'atome d'hydrogène est constitué d'un proton et d'un électron. Selon le modèle de l'atome établi par Rutherford, l'électron gravite autour du proton, à la manière de la Lune qui gravite autour de la Terre.

1. Identifier des arguments allant dans le sens du modèle planétaire de l'atome.
2. Identifier des arguments révoquant ce modèle.

27 Atome d'hélium, F_e et F_g

✓ MATH : Vecteur

Un atome d'hélium 4 est noté ${}^4_2\text{He}$.

1. Donner la composition de cet atome.

Un atome d'hélium possède un rayon approximatif de $r = 31 \text{ pm}$.

2. En considérant le noyau comme ponctuel, calculer l'intensité de la force électrostatique exercée par un proton du noyau sur un des électrons du cortège électronique.

3. Sans souci d'échelle, représenter cette force sur un schéma.
4. Calculer l'intensité de la force gravitationnelle de ce proton sur cet électron.
5. Calculer le rapport de ces deux intensités. Commenter.

Données

- $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$;
- $m_{\text{nuc}} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$;
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$;
- $m_{\text{électron}} = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$;

Comprendre les attendus

28 Un ion cuivre Cu^{2+}

✓ MATH : Calcul littéral

1. Donner la composition du noyau et du nuage électronique d'un ion cuivre Cu^{2+} .
2. Calculer la charge électrique portée par cet ion.
3. Représenter les lignes du champ électrostatique créé par cet ion, modélisé par un point.
4. Calculer l'intensité du champ électrostatique que cet ion engendre à $1,0 \text{ cm}$ de lui.
5. Calculer l'intensité du champ gravitationnel que cet ion engendre à $1,0 \text{ cm}$.



Données

- $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$;
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$
- $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- ${}^{63}_{29}\text{Cu}$;
- $m_{\text{nuc}} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$;
- $m_{\text{électron}} = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$;

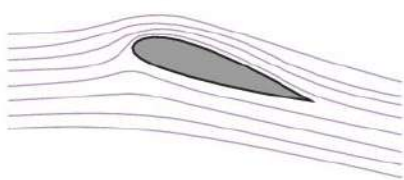
Détails du barème

TOTAL/7 pts

1. Identifier le nombre de protons et de neutrons à partir de Z et A . 1 pt
- Identifier le nombre d'électrons à partir de Z et de la formule de l'ion cuivre (II) Cu^{2+} . 1 pt
2. Identifier le calcul, le réaliser avec la bonne unité et le nombre correct de chiffres significatifs. 1 pt
3. Représenter correctement des lignes de champ, bien orientées. 1 pt
4. Identifier et utiliser la relation $E = k \cdot \frac{q}{d^2}$ avec la bonne unité et le nombre de chiffres significatifs corrects. 1,5 pt
5. Identifier et utiliser la relation $g = G \cdot \frac{m}{d^2}$ avec la bonne unité et le nombre de chiffres significatifs corrects. 1,5 pt

29 Envol d'un avion

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique



Les lignes de champ de vitesse autour d'une aile d'avion lors du vol

sont représentées ci-dessus. Plus la vitesse est grande dans une zone spatiale, plus la pression y est petite, et inversement.

- À l'aide des lignes de champ représentées, expliquer comment la forme d'une aile d'avion lui permet de voler.

30 Cartographie d'un champ électrostatique

✓ MATH : Vecteur

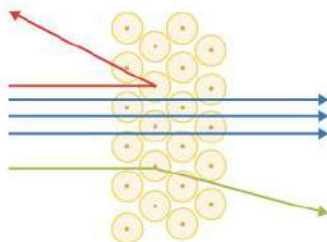
Soit un objet portant une charge électrique égale à $+45 \text{ C}$.

1. À l'aide du déplacement d'une charge d'essai $q_e = 1 \text{ C}$ à des endroits pertinents, cartographier le champ électrostatique créé par l'objet précédent dans un périmètre de 10 m . Représenter les lignes de champ.
2. Même question pour le champ créé par une charge électrique égale à -45 C .

31 Expérience de Rutherford

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

Lors d'une expérience célèbre, Ernest Rutherford envoie des particules α chargées positivement sur une fine feuille d'or. Il observe la répulsion violente d'un petit nombre d'entre elles vers l'arrière.



1. Représenter les forces électrostatiques mises en jeu au moment où une particule α s'approche d'un noyau d'atome d'or.
2. Identifier la propriété du noyau d'un atome identifiée ici par Rutherford.

32 Deux billes de cuivre en QCM

✓ MATH : Calcul littéral



Soit deux billes de cuivre portant toutes deux une charge électrique égale à $+100e$, séparées de 10 cm . Si on éloigne ces billes à 20 cm l'une de l'autre, les forces électrostatiques qu'elles exercent l'une sur l'autre vont :

- a. être multipliées par 2. b. être divisées par 2.
c. être multipliées par 4. d. être divisées par 4.

33 Vecteurs force et champ électrostatique

✓ MATH : Vecteur

Soit une petite bille de cuivre à laquelle on a réussi à enlever 150 électrons et une bille en verre à laquelle on a réussi à donner 50 électrons, situées à 10 cm l'une de l'autre. Dans cet exercice, on choisit d'orienter le vecteur unitaire de la bille de cuivre vers la bille de verre.

1. Sans souci d'échelle, schématiser la situation.
2. Déterminer les valeurs des forces électrostatiques F_e (cuivre/verre) et F_e (verre/cuivre).
3. Calculer E_{cuivre} (verre), l'intensité du champ électrostatique engendré par la bille de cuivre, à l'endroit où est située la bille de verre.

On déplace la bille en verre d'un angle de 35° vers le haut, de manière à ce que les deux billes soient toujours séparées de 10 cm .

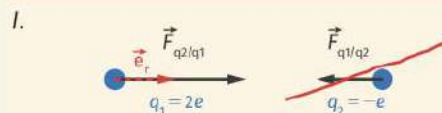
4. Que peut-on dire concernant F_e (cuivre/verre), F_e (verre/cuivre) et E_{cuivre} (verre) ?

Donnée

$$k = 8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} ; \quad e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}.$$

34 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.



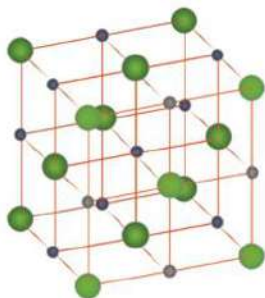
1. La force électrostatique de $q_1 = 2e$ sur $q_2 = -e$ est deux fois plus intense que la force électrostatique de q_2 sur q_1 .
2. La force électrostatique de $q_1 = 2e$ sur $q_2 = e$ est donnée par : $\vec{F}_e = k \cdot \frac{(2e)^2}{d^2} \vec{e}_x$.
3. Un exemple de champ vectoriel est un champ de température sur une carte météorologique.
4. Le rapport des intensités de la force gravitationnelle sur la force électrostatique peut être déterminé en faisant le calcul suivant : $\vec{F}_g(q_2/q_1) - \vec{F}_e(q_1/q_2)$.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P229

35 Cohésion d'un cristal de sel

✓ MATH : Calcul littéral



Le sel de cuisine est appelé en chimie solide ionique de chlorure de sodium. On parle de solide ionique, car les liaisons mises en jeu sont des liaisons ioniques et non covalentes. On peut donc considérer que le chlore et le sodium sont présents dans ce solide sous forme ionique, soit Cl^- et Na^+ .

Une maille de ce cristal est représentée ci-contre, les ions chlorure en vert et les ions sodium en bleu.

On remarque une alternance des ions sodium et chlorure : les voisins immédiats d'un ion sont de charge opposée.

1. À l'aide de cette dernière phrase, expliquer la cohésion d'un cristal ionique, engendrée par les forces électrostatiques mises en jeu.

On s'intéresse maintenant aux forces électrostatiques subies par un ion sodium.

2. Identifier le nombre d'ions chlorure les plus proches d'un ion sodium.
3. Identifier le nombre d'ions sodium les plus proches d'un ion sodium.
4. À l'aide de la maille représentée, calculer la distance $d_{\text{Na-Cl}}$ entre les centres d'un ion sodium et un ion chlorure.
5. Calculer la valeur de la force électrostatique $F(\text{Cl}^-/\text{Na}^+)$ exercée par un ion chlorure sur un ion sodium.
6. En appliquant le théorème de Pythagore, déterminer la distance $d_{\text{Na-Na}}$ séparant deux ions sodium, en fonction de a .
7. Calculer la valeur de la force $F(\text{Na}^+/\text{Na}^+)$ exercée par un ion sodium sur un autre ion sodium.
8. Les résultats des questions 5. et 7. confirment-ils la cohésion du cristal ?

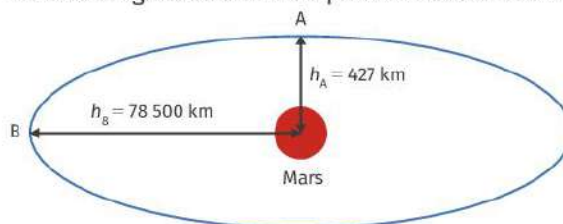
Données

- $r(\text{Na}^+) = 102 \text{ pm}$;
- $r(\text{Cl}^-) = 181 \text{ pm}$;
- $a = 564 \text{ pm}$;
- $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$.

36 Observer Mars

✓ MATH : Calcul littéral

Le satellite MOM (Mars Orbiter Mission) a été lancé en novembre 2013. Il a pour objectif d'étudier l'atmosphère de Mars ($R_{\text{Mars}} = 3,37 \times 10^3 \text{ m}$). Il possède une masse d'environ 1350 kg. Son orbite est représentée sur le schéma.



- Calculer la différence des intensités des forces gravitationnelles exercées par Mars sur le satellite MOM lorsque ce dernier passe du point A au point B.

37 La matière : du vide et des charges

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

La matière est lacunaire, c'est-à-dire majoritairement constituée de vide. De plus, elle est constituée de particules neutres, les neutrons, ainsi que de particules chargées, les protons et les électrons.

1. Expliquer la cohésion de la matière par les interactions électrostatiques.
2. À l'aide des positions respectives des électrons et des protons au sein de l'atome, expliquer qu'un livre posé sur une table ne passe pas au travers de celle-ci.

38 La Lune s'éloigne

✓ MATH : Calcul littéral



La Lune s'éloigne chaque année de 3,8 cm de la Terre.

1. Cet éloignement influence-t-il la valeur de la force gravitationnelle qui s'exerce entre les deux astres ?
2. De quelle distance la Lune se sera-t-elle éloignée de la Terre dans 10 000 ans ?
3. Quelle sera alors la valeur de la force gravitationnelle entre les deux astres ?

Données

- $m_{\text{Terre}} = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- $m_{\text{Lune}} = 7,3 \times 10^{22} \text{ kg}$;
- $d_{\text{Terre-Lune}} = 3,84 \times 10^5 \text{ km}$;
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$.

Pour aller plus loin

39 HISTOIRE DES SCIENCES

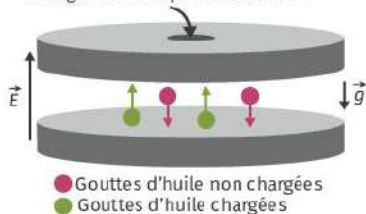
Expérience de Millikan

✓ RAI/ANA : Utiliser des mesures pour répondre à une problématique

Robert A. Millikan (1868-1953) a mesuré expérimentalement la valeur de la charge élémentaire e . Cette expérience lui valu le prix Nobel de physique de 1923.

À l'aide d'un pulvérisateur, Millikan réalise des petites billes d'huile, dont la plupart portent une ou plusieurs charges élec-

Introduction de gouttes d'huile chargées électriquement ou non



triques. Il introduit ces billes dans un champ électrique constant de $6\,000\text{ V}\cdot\text{cm}^{-1}$ créé par deux disques chargés, séparés de 1,6 cm. Il mesure :

- les durées de descente de billes sur 1,303 cm, sans $\vec{E}$;
- les durées de montée de billes sur 1,303 cm, avec $\vec{E}$.

Doc. 1 Résultats expérimentaux de Millikan

Time of fall 1.303 cm under gravity (sec)	Time of rise 1.303 cm in field (sec)	Mean times of rise in field (sec)
120.8	26.2	
121.0	11.9	
121.2	16.5	67.73
120.1	16.3	26.40
120.2	26.4	16.50
119.8	67.4	11.90
120.1	26.6	
-	16.6	
120.2	16.6	Mean of time of fall under gravity
-	16.4	
120.2	68.0	
119.9	67.8	
-	26.4	120.35

Extrait de Robert A. Millikan, « The Electron and the Light-quant from the Experimental Point of View », *Physics* 1922-1941, 1924.

Les billes non chargées descendent, elles sont soumises aux forces suivantes :

- leur poids : $\vec{P} = m \cdot \vec{g} = \rho_{\text{huile}} \cdot V \cdot \vec{g} = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{\text{huile}} \cdot \vec{g}$;
- la poussée d'Archimède : $\vec{A} = -\rho_{\text{air}} \cdot V \cdot \vec{g} = -\frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{\text{air}} \cdot \vec{g}$;
- une force liée à la résistance de l'air : $\vec{F}_r = -6\pi \cdot \eta_{\text{air}} \cdot r \cdot \vec{v}_{\text{descente}}$.

Les billes chargées montent, elles sont soumises aux forces :

- la force électrostatique $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$;

- leur poids : $\vec{P} = m \cdot \vec{g} = \rho_{\text{huile}} \cdot V \cdot \vec{g} = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{\text{huile}} \cdot \vec{g}$;
- la poussée d'Archimède : $\vec{A} = -\rho_{\text{air}} \cdot V \cdot \vec{g} = -\frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{\text{air}} \cdot \vec{g}$;
- une force liée à la résistance de l'air : $\vec{F}_r = -6\pi \cdot \eta_{\text{air}} \cdot r \cdot \vec{v}_{\text{montante}}$.

Lors des montées et descentes, une vitesse limite est très rapidement atteinte, on peut donc considérer que sur les 1,3 cm étudiés, la vitesse est constante.

Doc. 2 Le discours de Millikan



Lors du discours qu'il prononce à l'occasion de son prix Nobel, il présente les résultats suivants :
"The results of those changes in charge in a constant field [...] were:

- (1) that it was found possible to discharge the droplet completely [...] - it fell its centimeter undergravity, when the 6,000 volt electrical-field was on, in precisely the same time required to fall the same distance when there was no field;
- (2) that it could become endowed with a particular speed in the electrical field (corresponding to 67.7 sec in the particular case shown), which could be reproduced as often as desired [...];
- (3) that speeds exactly two times, three times, four times, five times, etc. [...] could be communicated to the droplet, but never any fraction of these speeds."

Extrait de Robert A. Millikan, *ibid.*

1. Identifier la phrase mettant en évidence la quantification de la charge électrique.
2. Identifier la durée moyenne mise par les particules chargées les plus lentes pour monter les 1,303 cm de l'expérience. Justifier qu'il s'agit des particules de charge la moins grande.
3. Nommer la loi que l'on peut appliquer pour étudier les mouvements des billes si l'on considère que leur vitesse est constante.
4. En modélisant une goutte par un point, représenter les forces agissant sur celle-ci lorsqu'elle n'est pas chargée, puis lorsqu'elle l'est.
5. Appliquer le principe d'inertie lors de la descente (1), puis de la montée (2), puis projeter ces deux relations sur un axe vertical orienté vers le haut.
6. À partir de la relation (1), déterminer le rayon moyen d'une bille.
7. Soustraire (1) à (2), puis déterminer q à partir de cette nouvelle relation.

Données

- $\rho_{\text{huile}} = 900\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- $\rho_{\text{air}} = 1,225\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- $\eta_{\text{air}} = 1,85 \times 10^{-5}\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$;
- $E = 6\,000\text{ V}\cdot\text{cm}^{-1}$.

40 Un morceau de charbon chargé

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



Soit un morceau de charbon dont la masse est égale à 100 g. On considère qu'il n'est constitué que d'atomes de carbone et qu'on lui a enlevé 1 % de ses électrons. Un électron est situé à 1,0 m de ce morceau de charbon.

- ♦ Déterminer la masse hypothétique nécessaire que devrait avoir l'électron pour que la force gravitationnelle qu'il subit compense la force électrostatique du morceau de charbon. Commenter votre résultat.

Données

• $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$;	• $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
• $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;	• $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$.
• $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$	

41 Lévitiation d'une bille métallique

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



Soit une bille métallique de masse égale à 20 g, de charge électrique égale à $q_b = +25e$, positionnée à la surface de la Terre, dans un champ électrostatique $\vec{E}$, vertical et orienté vers le haut.

- ♦ Schématiser la situation, puis déterminer l'intensité de E , telle que la bille soit immobile en l'air.

Données

• $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$;	• $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$.
---	---

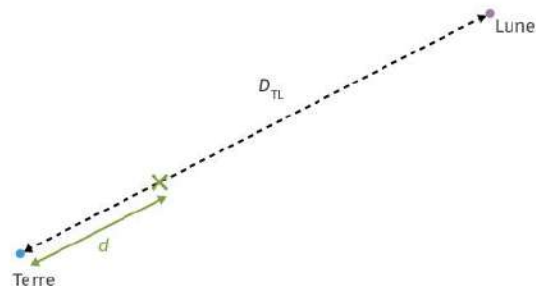
42 Champ gravitationnel de la Terre et de la Lune

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

- Déterminer la longueur d , telle qu'au point x les champs gravitationnels de la Lune et de la Terre soient de même intensité. d sera exprimée en fonction de la masse M_T de la Terre, de la masse M_L de la Lune et de la distance D_{TL} entre la Terre et la Lune.
- Comparer numériquement cette distance d à la distance Terre-Lune D_{TL} .

Données

• $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$;	• $M_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$;
• $D_{TL} = 384\,000 \text{ km}$.	



Retour sur la problématique du chapitre

43 Les orages

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

Lors d'un orage, les molécules constituant les nuages s'ionisent et des charges électriques apparaissent. Ces charges se séparent telles que la moyenne des charges en bas du nuage soit négative et celle en haut positive. Par l'influence de ces nuages, le sol se charge positivement.

- ♦ Expliquer l'action de ces charges sur l'air situé entre les nuages et le sol.



CLASS
INVERSE

Les interactions fondamentales

Objectifs :

- Préparer le cours en s'appropriant le vocabulaire et les notions concernant les interactions fondamentales.
- Réaliser un bilan synthétique des notions abordées sous la forme d'une présentation.

A Charges électriques et force électrostatique



Utiliser l'application « Ballons et électricité statique » sur LLS.fr/PC1ElectriciteStatique. Sélectionner le mode deux ballons en faisant apparaître les charges électriques. Tester l'application en faisant bouger les deux ballons et répondre aux questions.

1. Quels sont les deux types de charges électriques ?
2. Décrire l'interaction entre deux charges électriques du même type puis entre deux de différents types.



Utiliser l'application « Loi de Coulomb » sur LLS.fr/PC1LoiCoulomb avec l'échelle macroscopique.

3. Décrire les forces s'exerçant sur les charges électriques q_1 et q_2 selon les signes de q_1 et q_2 .
4. Comment évolue la valeur des forces électrostatiques quand on divise la valeur de l'une des charges électriques par 2 ? par 3 ? par 4 ?
5. Pour deux valeurs de charges électriques q_1 et q_2 , relever les valeurs des forces électrostatiques pour différentes distances séparant les centres des deux charges.
6. Représenter vos résultats en traçant les valeurs de la force en fonction de d , puis en fonction de $\frac{1}{d^2}$.

B Force gravitationnelle



vidéo



Utiliser l'application « Force de gravité » sur LLS.fr/PC1ForceDeGravite. Tester l'application avec différentes valeurs pour les masses m_1 et m_2 .

1. Quelle différence notable y a-t-il entre la force électrostatique et la force gravitationnelle ?
2. La valeur de la force d'interaction gravitationnelle que deux corps exercent l'un sur l'autre dépend de trois grandeurs physiques : la masse m_1 du corps 1, la masse m_2 du corps 2 et la distance d qui sépare les deux centres des corps. En utilisant l'animation, un logiciel tableur-grapheur et le modèle ci-contre,

créer 3 tableaux permettant d'étudier l'influence de chaque grandeur physique sur la valeur de la force gravitationnelle.

Grandeur 1	Valeur de F

Aide : Par exemple, saisir les valeur de F quand m_1 varie et que m_2 et d sont constantes.

3. À l'aide des fonctionnalités du logiciel, représenter l'évolution de F en fonction de m_1 , puis de m_2 et finalement de $\frac{1}{d^2}$.

C Synthèse

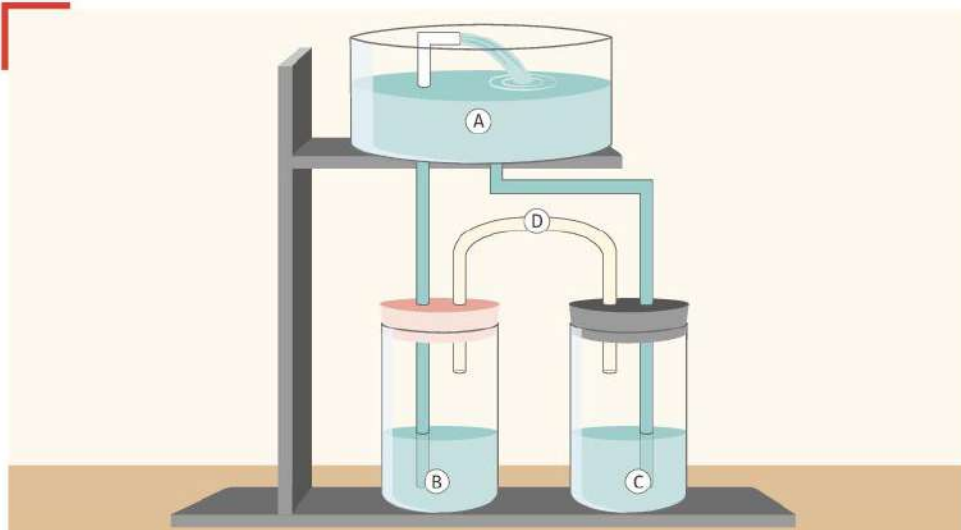


Réaliser un bilan synthétisant les notions principales abordées en utilisant un logiciel de présentation sur LLS.fr/PC1P233. La présentation doit inclure :

- une comparaison des caractéristiques des forces électrostatique et gravitationnelle sous la forme de schémas et d'un tableau ;
- une description illustrée par des graphiques, des grandeurs physiques dont dépendent les forces électrostatique et gravitationnelle ;
- des exemples de phénomènes impliquant individuellement chacune des forces.

Description d'un fluide au repos

DÉCONSTRUIRE LES IDÉES FAUSSES



La fontaine de Héron (d'après le nom de son inventeur Héron d'Alexandrie, I^{er} siècle) est un dispositif hydraulique repris par de nombreuses vidéos qui affirment que le jet d'eau ne s'arrête jamais.

➤ **Ce mouvement perpétuel sans apport d'énergie est-il possible ?**

→ voir l'exercice 38, p. 252

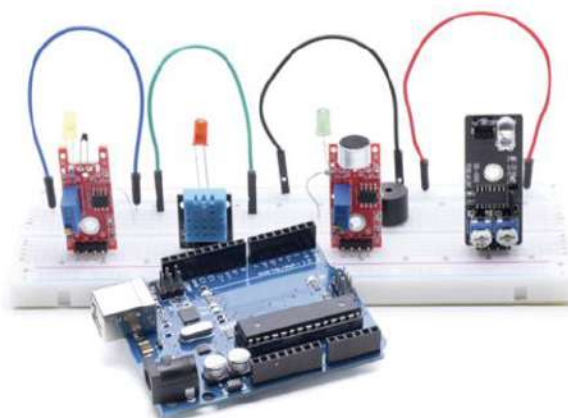
Travailler

autrement



Étudiez les propriétés de la pression grâce au microcontrôleur Arduino et au code disponible en fin de chapitre. [LLS.fr/PC1P234](https://lls.fr/PC1P234)

Voir p. 253





Les vérins hydrauliques fonctionnent grâce à un liquide sous pression.

→ Comment un fluide permet-il de soulever une voiture de plus d'une tonne ?

→ voir l'exercice 31, p. 250

À revoir pour bien commencer

- › Les états physiques et leurs modèles microscopiques
- › La modélisation d'une action mécanique par une force
- › La conversion des unités de surface et de volume

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P235

Objectifs du chapitre

- Modéliser microscopiquement des fluides
- Relier pression et force pressante
- Utiliser la loi fondamentale de la statique des fluides
- Relier les propriétés macroscopiques d'un fluide à sa modélisation microscopique
- Utiliser la loi de Boyle-Mariotte

1 Le modèle microscopique des fluides

La matière est composée d'entités microscopiques. Ces entités peuvent s'assembler pour former un solide, un gaz ou un liquide.

→ **La modélisation de la structure microscopique des fluides rend-elle compte de leurs propriétés macroscopiques ?**

Par intuition

La pression dans un récipient augmente-t-elle forcément quand le nombre de molécules augmente ?

Doc. 1 Comment modéliser les fluides ?



Un fluide est une substance à l'état liquide ou gazeux.

On modélise la structure microscopique d'un fluide :

- par des atomes (ou molécules) identiques pour un corps pur ;
- par des atomes de plusieurs sortes pour un mélange.

Dans tous les cas, les molécules sont en mouvement désordonné les unes par rapport aux autres. Dans un gaz, la distance entre les molécules est grande par rapport à la dimension d'une molécule. Dans un liquide, les distances entre les molécules sont du même ordre de grandeur que la dimension des molécules.

Rappel

La température en kelvin (K) est égale à :
 $T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273,15$ donc : $0^{\circ}C = 273,15 K$.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour découvrir la simulation « État de la matière » et observer le comportement des molécules. (LLS.fr/PC1EtatsMatiere)

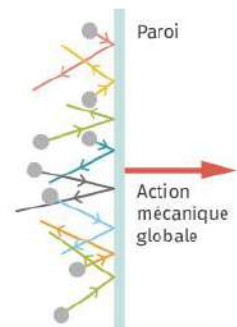
Compétence

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques

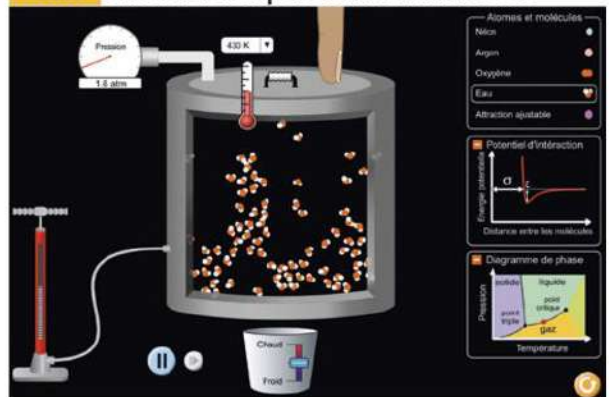
Doc. 2 Molécules et paroi : le choc !

Les chocs des molécules sur les parois correspondent à une action mécanique individuelle très faible. Cependant, les chocs étant très nombreux une action mécanique globale macroscopique apparaît.

C'est cette action mécanique sur une paroi qui permet de déterminer la pression d'un fluide.



Doc. 3 Simuler le comportement des molécules



1. **Doc. 1** Retrouver à partir de l'animation en ligne les caractéristiques des solides et des fluides dans le cas de l'eau H_2O .
2. Combien de paramètres (volume, température, etc.) peut-on faire varier en même temps pour l'étude du modèle proposé ?
3. **Doc. 2** Pourquoi, dans l'animation « État de la matière / changement de phase », la pression de l'enceinte est-elle nulle pour un état liquide ? Que faire pour que la pression soit mesurable dans l'enceinte ?

Synthèse de l'activité

Établir un tableau avec en regard les propriétés microscopiques du modèle et les propriétés macroscopiques de la matière.

2 Quels sont les effets de la pression ? 45'

→ Qu'est-ce que la pression et quels sont ses effets ?

Par intuition

Une canette vide tombant au fond de la mer est-elle écrasée par la pression de l'eau ?

Doc. 1 Matériel nécessaire

- Une pompe à vide ;
- Une cloche à vide ;
- Un ballon de baudruche ;
- Une bouteille d'eau en plastique ;
- Un outil pointu pour percer la bouteille.

Doc. 2 Qu'arrive-t-il à un ballon sous vide ?



Doc. 3 Une bouteille percée



Doc. 4 Un pot de cornichons



Doc. 5 Une canette vide



Compétences

- ✓ REA : Mettre en œuvre un protocole
- ✓ APP : Extraire l'information utile à partir d'expériences et supports variés

1. **Doc. 2** Que se passe-t-il dans la cloche lorsque la pompe à air fonctionne ? Quelle grandeur physique est modifiée ?
2. **Doc. 2** La pression de l'air dans la cloche étant très faible, comment expliquer les observations de la question 1. ?
3. **Doc. 3** Remplir une bouteille d'eau en plastique et la percer de plusieurs trous à des hauteurs différentes. La remplir d'eau. Que peut-on conclure de l'allure des jets d'eau ?
4. **Doc. 4** Comment interpréter qu'un pot initialement fermé à chaud est difficile à ouvrir ? Pourquoi passer le haut du pot sous un écoulement d'eau chaude quelques secondes permet de résoudre cette difficulté ?
5. **Doc. 5** Une canette en aluminium ouverte a été retrouvée sous plusieurs dizaines de mètres d'eau. Comment expliquer qu'elle n'ait pas subi les effets dus à la pression de l'eau ?

Synthèse de l'activité

Les situations des documents 2 à 5 montrent-elles les effets d'une pression absolue ou d'une différence de pression ? Justifier.

3 Loi de Boyle-Mariotte 60'

Dans un récipient fermé (un piston, un ballon, etc.) et rempli de gaz, la pression change quand on fait varier le volume.

→ Existe-t-il une relation entre la pression et le volume d'un gaz ?

Par intuition

Les variations de pression et de volume dans un contenant fermé sont-elles proportionnelles ?

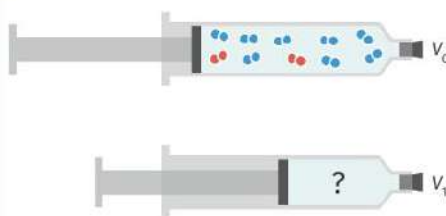
Doc. 1 Matériel de mesures simultanées de la pression et du volume d'un gaz



Doc. 2 Matériel nécessaire

- Une seringue graduée ;
- Un manomètre ;
- Un tube flexible court (volume interne du tube minimisé) ;
- De l'air !

Doc. 3 Une modélisation microscopique



Données

- Pression atmosphérique : $P_0 = 101\,325\text{ Pa}$;
- $1\text{ m}^3 = 10^6\text{ cm}^3$.

Compétences

- ✓ VAL : Traiter et exploiter numériquement un ensemble de mesures
- ✓ VAL : Précisions et incertitudes

- Doc. 1** Introduire un volume d'air dans la seringue puis la relier au manomètre.
- Faire varier le volume V et noter la pression P correspondante pour 5 ou 6 points de mesure. Estimer les incertitudes $U(P)$ et $U(V)$ sur les mesures de P et de V .
- Doc. 3** Recopier et compléter le schéma de la seringue. En quoi cette modélisation microscopique explique-t-elle la variation de pression observée ?
- Tracer l'évolution de P en fonction V et de $\frac{1}{V}$. Que remarque-t-on ?
- Traduire la relation entre P et V sous la forme $P \cdot V = \dots$
- Calculer l'incertitude $U(P \cdot V)$ sur le produit $P \cdot V$ à partir des incertitudes $U(P)$ et $U(V)$ et de la relation : $U(P \cdot V) = (P \cdot V) \sqrt{\left(\frac{U(P)}{P}\right)^2 + \left(\frac{U(V)}{V}\right)^2}$.

Synthèse de l'activité

La loi de Boyle-Mariotte exprime une relation entre la pression P et le volume V d'un gaz. Quelle est cette relation et pourquoi faut-il tenir compte des incertitudes pour la vérifier ?

4 Variation de la pression dans une colonne d'eau 80'

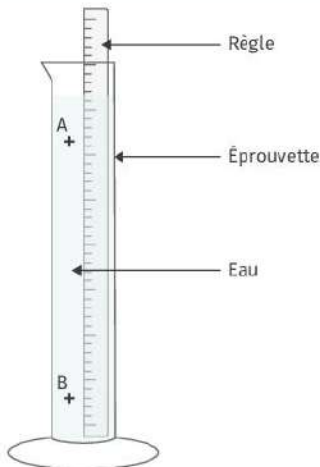
La pression ne dépend pas du volume d'eau environnant mais de la profondeur considérée.

→ Peut-on établir une relation entre la pression de l'eau et la profondeur ?

Par intuition

De quel paramètre la pression de l'eau en un point peut-elle dépendre ?

Doc. 1 La colonne d'eau



Données

- Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
- Intensité de la pesanteur à la surface de la Terre : $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- Pression atmosphérique : $P_0 = 101\,325 \text{ Pa}$.

Doc. 3 Manomètre avec une sonde



Doc. 2 Matériel nécessaire

- Un récipient d'une profondeur d'au moins 20 cm ;
- Un (double) décimètre ;
- Un manomètre avec un tube flexible et un tube en verre ;
- De l'eau !

Compétence

✓ VAL : Traiter/exploiter/modéliser numériquement un ensemble de mesures

- 1. Doc. 1** Proposer un protocole pour mesurer la variation de pression entre deux points A et B situés à des profondeurs différentes dans la colonne d'eau.
- 2. Doc. 2** À l'aide d'un tableur-grapheur, tracer les variations de pression $\Delta P = P_B - P_A$ en fonction des variations de profondeur $\Delta z = z_B - z_A$, soit : $\Delta P = f(\Delta z)$. Déterminer le type de relation qui existe entre ΔP et Δz .
- 3.** À l'aide du tableur-grapheur, modéliser cette série de points. Peut-on relier g et ρ à un coefficient de ce modèle ? → **Fiche méthode 9, en ligne** [LLS.fr/PC1FM9](https://lls.fr/PC1FM9)

Synthèse de l'activité

La loi fondamentale de la statique des fluides permet de relier ΔP et Δz . Exprimer cette loi en précisant les grandeurs et les unités. La pression de l'eau en un point dépend-elle de la profondeur du récipient ?

1 Pression et force pressante

A Force pressante d'un fluide

➤ Un fluide est un gaz ou un liquide. Tous les fluides exercent une action mécanique sur les parois ou les surfaces avec lesquelles ils sont en contact. Cette action mécanique est **modélisée** par une force, appelée **force pressante**.

La force pressante d'un fluide sur une surface est toujours normale (perpendiculaire) à la surface et son sens va du fluide vers la surface (**doc. 1**).

B Pression d'un fluide

➤ Il est souvent plus intéressant de considérer la pression d'un fluide plutôt que la force pressante qu'il exerce sur une paroi.

Si un fluide exerce une force pressante F sur une surface S , la pression P est définie par : $P = \frac{F}{S}$.

➤ La pression est donc une force par unité de surface. L'unité de pression du système international est le pascal (Pa) qui correspond à un newton par mètre carré. Une autre unité de pression usuelle est le bar, définie comme valant 10^5 Pa. On mesure la pression avec un manomètre.

➤ **Poussée d'Archimède** : un objet immergé dans un fluide subit une pression du fluide plus grande en bas. Il en résulte une force orientée du bas vers le haut, égale au poids du fluide déplacé, appelée force (ou poussée) d'Archimède (**doc. 2**). Cette force sera abordée plus en détail en terminale.

C La loi de Boyle-Mariotte

➤ La pression ne varie pas indépendamment des autres propriétés du fluide (volume, température, etc.). Une des premières relations à relier l'évolution de plusieurs propriétés d'un fluide est la loi de Boyle-Mariotte :

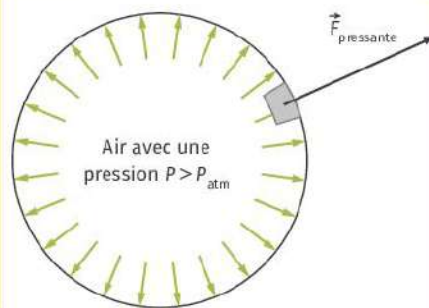
pour une quantité de gaz constante à température constante, le produit de la pression du gaz P par son volume V est constant.

$P \cdot V = \text{constante}$ (**doc. 3**).

La pression est exprimée en pascal (Pa) et le volume en mètre cube (m^3).

Attention : cette relation n'est valide que pour des pressions pas trop élevées (inférieures à 100 bars pour la plupart des gaz). Elle ne peut pas être appliquée à des liquides !

Doc. 1 Direction de la force pressante



Vocabulaire

• **Fluide** : désigne une substance, corps pur ou mélange, qui se trouve dans l'état liquide ou gazeux.

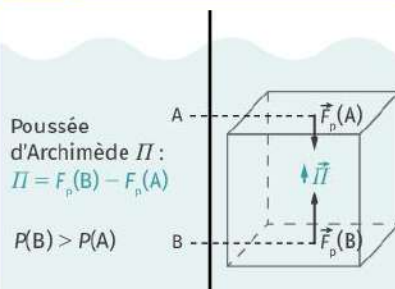
Pas de malentendu

➤ La pression se mesure en pascal, ce qui correspond à un newton par mètre carré. L'unité usuelle pour les météorologues est l'hectopascal (hPa). On utilise aussi le bar : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$.

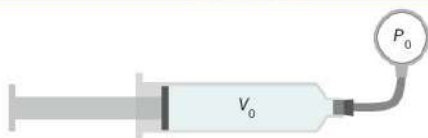
Éviter les erreurs

- Bien différencier le sens et la direction du vecteur force pressante.
- Faire bien attention aux unités des différentes grandeurs concernées.

Doc. 2 La poussée d'Archimède



Doc. 3 Loi de Mariotte : ici, $P_0 V_0 = P_1 V_1$



2 Modèle microscopique des fluides

A Comment modéliser un fluide à l'échelle microscopique ?

➤ Un fluide est composé à l'échelle microscopique de molécules, d'atomes ou d'ions en interaction.

Ces molécules sont séparées par du vide. Elles sont en mouvement constant et désordonné les unes par rapport aux autres :

- dans un liquide, les molécules se déplacent en restant au contact des molécules qui les entourent (les interactions entre molécules sont plus fortes) ;
- dans un gaz, les molécules sont très espacées. Elles se déplacent en ligne droite et ne changent de direction qu'après un choc avec un obstacle ou une autre molécule (**doc. 4**). Les interactions entre molécules sont plus faibles.

Cette modélisation est inexacte sur de nombreux points. Elle permet pourtant d'expliquer simplement certaines propriétés du fluide à l'échelle macroscopique.

B Le modèle microscopique et la pression

➤ La pression est une propriété macroscopique d'un fluide pouvant être expliquée par le modèle microscopique du fluide.

Les molécules du fluide sont en mouvement permanent : elles vont donc entrer en collision avec les parois. Si chaque choc n'a qu'une action très faible, en grand nombre, l'effet devient sensible à l'échelle macroscopique (**doc. 5**). C'est l'origine de la force pressante.

La force pressante varie avec le nombre de chocs mais aussi avec l'importance de chaque choc.

C Le modèle microscopique et la température

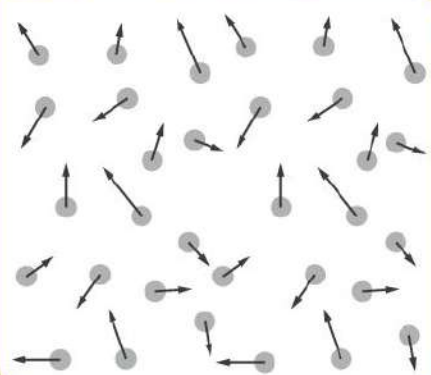
➤ La température mesurée avec un thermomètre est également une propriété macroscopique du fluide. Comment la relier aux propriétés des molécules composant le fluide ?

La température mesure l'agitation des molécules du fluide. Plus les molécules sont agitées, plus la température est élevée. On peut donc relier la température (macroscopique) d'un fluide à une vitesse de mouvement d'agitation moyenne des molécules (microscopique) qui le composent.

➤ L'unité de température du système international de température est le kelvin (K). Un écart de température a la même valeur, qu'il soit exprimé en kelvin (K) ou en degré (°C). Ainsi, les deux échelles sont équivalentes mais décalées telles que : $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$.

À la température de 0 K, appelée **zéro absolu**, la vitesse d'agitation thermique des molécules est nulle. Par définition, il ne peut donc pas exister de température plus basse.

Doc. 4 Molécules dans un gaz

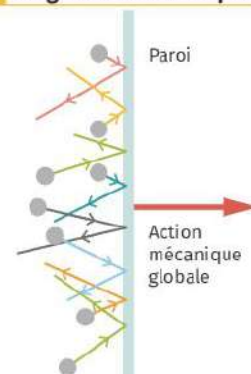


Pas de malentendu



➤ À des distances égales les interactions entre deux molécules restent identiques dans un gaz ou un liquide.

Doc. 5 Origine de la force pressante



Vocabulaire

• **Degré Celsius** : il est défini historiquement avec le 0 °C comme température de la glace fondante et 100 °C la température d'ébullition de l'eau à la pression atmosphérique.

• **Kelvin** : unité SI de la température. Symbole : K.

Pas de malentendu



➤ Les molécules composant l'air dans une pièce sont en mouvement désordonné à une vitesse de quelques dizaines de km/h. Pourtant l'air dans son ensemble ne bouge pas : globalement, tous ces mouvements de molécules dans des directions variées se compensent.

3 Loi fondamentale de la statique des fluides

A La loi fondamentale de la statique des fluides

➤ Dans un fluide au repos, la pression P n'est pas uniforme en tout point du fluide. La loi fondamentale de la statique des fluides permet de relier la variation de la pression d'un fluide à sa masse volumique ρ et au champ de gravité g .

Pour un fluide incompressible dans un champ de gravité uniforme, la loi fondamentale de la statique des fluides s'écrit :

$$P_A - P_B = \rho \cdot g \cdot (z_B - z_A)$$

avec P_A et P_B en pascal (Pa), ρ en kg/m^3 , g en N/kg et z_A et z_B en mètre (m).

On peut, dans la plupart des cas, faire l'approximation qu'un liquide est incompressible (c'est-à-dire de masse volumique constante), mais ce n'est pas le cas des gaz.

Pour des différences de hauteur de quelques dizaines de mètres, on peut considérer le champ de pesanteur terrestre comme uniforme.

B La masse volumique des fluides

➤ La masse volumique mesure la masse par unité de volume. La masse d'une unité de volume est la somme des masses des molécules qui s'y trouvent.

Dans un liquide, les molécules sont au contact les unes des autres : elles ne peuvent pas facilement s'éloigner ou se rapprocher les unes des autres, la masse volumique est constante. **Les liquides sont en général incompressibles.**

Dans un gaz, les molécules sont distantes les unes des autres, et cette distance peut varier. La masse volumique peut varier et **les gaz sont compressibles.**

Application

Quelle est la pression que subit un plongeur à 10 mètres de profondeur ?

Corrigé :

Avec la loi fondamentale de la statique des fluides :

$$P_{\text{plongeur}} - P_{\text{surface}} = \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot (z_{\text{surface}} - z_{\text{plongeur}}).$$

$$\text{Donc : } P_{\text{plongeur}} = \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot (z_{\text{surface}} - z_{\text{plongeur}}) + P_{\text{surface}}.$$

La pression à la surface de l'eau est égale à la pression atmosphérique normale. On a donc l'application numérique :

$$P_{\text{plongeur}} = 1000 \times 9,81 \times 10 + 101300 = 2,0 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

Le plongeur subit donc une pression presque deux fois plus forte à 10 mètres de profondeur qu'à la surface.

Numérique

Retrouvez une vidéo d'explication de la loi fondamentale de la statique des fluides. [LLS.fr/PC1P242](https://lls.fr/PC1P242)

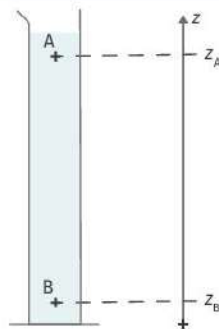
Éviter

les erreurs



- L'axe des altitudes est toujours dirigé vers le haut et, pour simplifier les calculs, il vaut mieux choisir pour origine de l'axe le point le plus bas possible du cadre d'étude.
- Attention à l'inversion entre les pressions et les hauteurs dans l'écriture de la loi.

Doc. 6 Schéma d'une colonne d'eau



Vocabulaire

- **Incompressible** : se dit d'un fluide si son volume demeure constant sous l'action d'une pression externe.
- **Au repos** : se dit d'un fluide globalement immobile par rapport aux parois et autres éléments en contact avec lui.

Pas de malentendu



- La relation fondamentale de la statique des fluides peut s'exprimer de manière plus générale mais son expression mathématique est alors plus complexe.

Données

• Masse volumique de l'eau :

$$\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3};$$

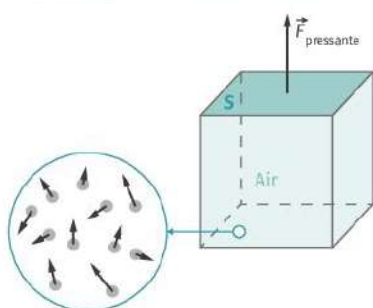
• Intensité de la pesanteur à la surface de la

$$\text{Terre : } g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1};$$

• Pression atmosphérique :

$$P_0 = 101325 \text{ Pa.}$$

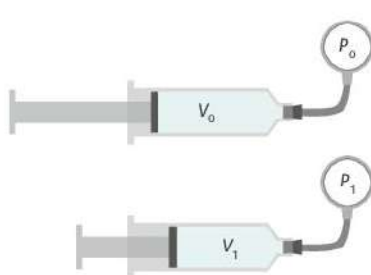
Principales notions



Force pressante d'un fluide sur une paroi de surface S :

$$F = P \cdot S$$

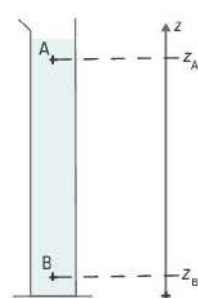
F est en newton (N) si P s'exprime en pascal (Pa) et S en m^2 .



Loi de Boyle-Mariotte (ou loi de Mariotte) :

$$P_1 \cdot V_1 = P_0 \cdot V_0 = \text{constante}$$

Valable pour un gaz, à température constante.



Loi fondamentale de la statique des fluides :

$$P_A - P_B = \rho \cdot g \cdot (z_B - z_A)$$

Les éléments essentiels de la modélisation

- Pour modéliser l'action d'un fluide sur un objet, on utilise **la force pressante** et **la pression** dont les valeurs sont reliées par la relation $P = \frac{F}{S}$. La force pressante $\vec{F}$ est perpendiculaire à la surface S et dirigée du fluide vers la paroi.
- On explique les propriétés des fluides par leur composition microscopique : on considère qu'ils sont composés de molécules en mouvement désordonné les unes par rapport aux autres. La pression et la force pressante sont deux manières d'exprimer l'action mécanique causée par les chocs des molécules sur les parois. **La température** est un indicateur de l'état d'agitation des molécules.
- Pour les gaz (compressibles), **la loi de Boyle-Mariotte** permet d'établir une relation entre pression et volume de ce gaz. Pour les liquides (incompressibles) : **la relation fondamentale de la statique des fluides** permet de déterminer la pression en un point dans un liquide en fonction de sa profondeur.

Les limites de la modélisation

- La modélisation présentée dans ce chapitre ne s'applique a priori qu'à des fluides au repos (immobiles par rapport aux parois du contenant). Les modèles de la pression et de la force pressante ne sont applicables sans modification que pour des surfaces planes.
 - Le modèle microscopique des fluides reste très simple et ne prend pas en compte les mouvements de rotation ou vibration des molécules, par exemple. S'il fonctionne très bien pour les températures et pressions habituelles, il devient invalide à très faible température ou à de trop fortes pressions.
- Ainsi, la loi de Boyle-Mariotte n'est plus valide au-delà d'une pression trop élevée, et ne s'applique pas si la quantité de gaz ou si la température varient.
- La relation fondamentale de la statique des fluides est vérifiée avec une bonne précision car la plupart des liquides sont très peu compressibles. Toutefois, si le champ de gravité n'est pas uniforme, cette relation n'est plus valide. Pour les liquides (incompressibles), la relation fondamentale de la statique des fluides permet de déterminer la pression en un point dans un liquide en fonction de sa profondeur.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour faire une carte mentale et reprendre les principales notions du chapitre. LLS.fr/PC1P243

1 Pression et force pressante

	A	B	C
1. La pression est définie par :	$P = \frac{F}{S}$.	$P = F \cdot S$.	$P = \frac{F}{S}$.
2. L'unité SI de pression est le pascal, ce qui est équivalent à :	un mètre carré par newton.	un newton · mètre carré.	un newton par mètre carré.
3. La pression augmente forcément :	quand la surface de la paroi augmente et la force pressante sur celle-ci aussi.	quand la surface de la paroi est constante et que la force pressante sur celle-ci augmente.	quand la surface de la paroi augmente et que la force pressante sur celle-ci diminue.

2 Modèle microscopique des fluides

1. La pression dans une seringue de volume fixe :	augmente si le nombre de molécules augmente.	augmente si le nombre de molécules diminue.	augmente si la température diminue.
2. Si la température d'un gaz diminue :	le nombre de chocs sur les parois diminue ou le volume augmente.	le nombre de chocs sur les parois augmente ou le volume augmente.	le nombre de chocs sur les parois diminue ou le volume diminue.
3. Les forces d'interactions entre les molécules d'eau liquide :	sont plus fortes que celles entre les molécules de vapeur d'eau.	sont moins fortes que celles entre les molécules de vapeur d'eau.	sont égales à celles entre les molécules de vapeur d'eau.

3 La relation fondamentale de la statique des fluides

1. La différence de pression entre deux points d'un liquide est :	proportionnelle à la différence de hauteur.	proportionnelle à la distance entre les points.	uniquement liée à la masse volumique du liquide.
2. La masse volumique d'un liquide incompressible :	varie peu avec la pression.	varie beaucoup avec la pression.	ne varie pas avec la pression.
3. Si la masse volumique d'un liquide augmente :	la pression n'augmente qu'au fond du liquide.	la pression augmente dans tout le liquide.	la pression ne change pas.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P244

Questions Jeopardy

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

a. Une des différences est que le premier est incompressible alors que le second est compressible.

b. Cela se produit car la pompe à vélo ajoute des molécules d'air dans la chambre à air.

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage (Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 404)

Relier pression et force pressante	10	20	31
Connaître et utiliser la loi de Boyle-Mariotte	10	[DIFF]	
Utiliser les caractéristiques microscopiques des fluides	13		30
Connaître la loi fondamentale de la statique des fluides	14	20	30

Pour s'échauffer

Données

- | | |
|--|---|
| • Masse volumique de l'air à pression atmosphérique :
$\rho_{\text{air}} = 1,22 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; | • Intensité de la pesanteur à la surface de la Terre :
$g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$; |
| • Masse volumique de l'eau :
$\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; | • Pression atmosphérique :
$P_0 = 101325 \text{ Pa}$. |

5 Pression

Un fluide exerce une pression de 800 pascals. Il est en contact avec une paroi de 4 m^2 .

- Calculer la force pressante exercée sur cette paroi.

6 Pression

Une paroi de 30 m^2 subit une force pressante de $3 \times 10^6 \text{ N}$.

- Calculer la valeur de cette pression.

7 Pression

Une paroi subit une force pressante de 1000 N, exercée par l'air ambiant.

- Calculer la surface de la paroi.

8 Loi de Boyle-Mariotte

On place 50 cm^3 d'air à pression atmosphérique dans une seringue fermée.

- Calculer la pression au sein de la seringue quand on comprime l'air à un volume de 30 cm^3 .

9 Loi de Boyle-Mariotte

On reprend la seringue de l'exercice 8 mais le piston est tiré jusqu'à un volume de 70 cm^3 .

- Calculer la pression dans la seringue.

Pour commencer

Pression et force pressante

10 Calculer une force pressante

✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces

La vitre de surface $S = 1 \text{ m}^2$ d'une porte vitrée subit une force pressante de l'air ambiant.

1. Quelle est la valeur de l'intensité de la force pressante F de l'air sur la vitre ?
2. Pourquoi la vitre ne risque-t-elle pas de casser ou de se desceller sous l'effet de cette force pressante ?

CONSEIL : Faire un schéma bilan des forces s'exerçant sur la vitre.

11 Calculer une force pressante... dans l'espace !

✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces



La station spatiale internationale est dotée de hublots. Le plus grand a une surface de $0,13 \text{ m}^2$ environ.

- Faire un schéma représentant la résultante des forces pressantes sur le hublot. Préciser les échelles choisies.

12 Lien entre pression et force pressante

✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces

Un matelas pneumatique est rempli d'air à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique.

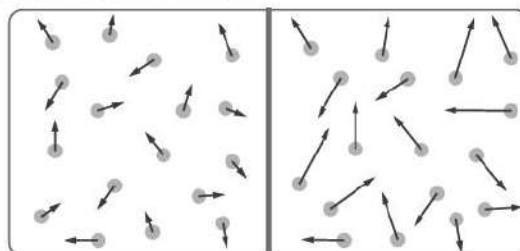
- Pourquoi lorsque l'on s'assoie sur le matelas on touche le sol alors que ce n'est plus le cas quand on s'allonge dessus ?

Modèle microscopique des fluides

13 Modéliser en gaz

✓ APP : Extraire l'information utile sur un schéma

La modélisation microscopique de deux volumes identiques d'un même gaz, formé de molécules identiques, est représentée ci-dessous.



- Dans quel volume la pression est-elle la plus forte ?

EXERCICES

Loi fondamentale de la statique des fluides

14 Calculer une pression à l'aide de la relation fondamentale de l'hydrostatique

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

En plongeant au fond de la piscine, on peut avoir mal aux oreilles, à cause de la pression exercée par l'eau sur nos tympans.

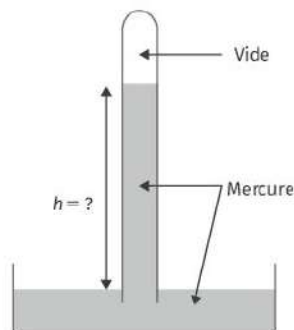
- Que vaut cette pression au fond d'une piscine de 4 m de profondeur ?



15 Calculer une pression à l'aide de la relation fondamentale de l'hydrostatique

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

On place un tube fermé rempli entièrement de mercure dans un cristalliseur contenant du mercure. Lorsqu'on retourne le tube, une partie du mercure s'écoule du tube dans le cristalliseur, laissant un vide. La situation finale correspond au schéma ci-contre.



- Utiliser la relation fondamentale de l'hydrostatique pour retrouver la hauteur h de la colonne de mercure.

Donnée

- Masse volumique du mercure : $\rho_m = 13,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Connaître et utiliser la loi de Boyle-Mariotte

16 Une bouteille, plusieurs volumes

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

Sur une bouteille d'hélium sous pression on peut lire « volume d'hélium : 52 litres », ce qui correspond au volume de l'hélium à pression atmosphérique normale.

1. Rappeler l'expression de la loi de Boyle-Mariotte.
2. En considérant que la loi de Boyle-Mariotte est valide pour cette situation, quelle égalité peut-on écrire ?
3. Calculer la pression P de l'hélium dans la bouteille.

Données

- Volume de la bouteille : $V_0 = 9,2 \text{ L}$;
- Volume d'hélium à pression atmosphérique : $V_1 = 52 \text{ L}$.

► Pourquoi l'hélium change-t-il la voix ?

L'hélium est moins dense que l'air ; ainsi, lorsqu'il remplace l'air dans les voies respiratoires et la cavité buccale, la vitesse du son devient plus élevée. Elle passe de 340 à $1\,020 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Les cordes vocales vibrent également plus vite et les sons produits se répercutent davantage à l'intérieur des voies respiratoires. Les sons qui sortent de la bouche présentent ainsi une fréquence plus élevée qu'à l'habitude. La voix devient plus aiguë.

D'après futura-sciences.com.

17 Une bouteille professionnelle

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

Sur une bouteille d'hélium pour professionnel, plus volumineuse, on peut lire « volume d'hélium : $5,21 \text{ m}^3$ ».

1. Calculer la pression de l'hélium dans cette bouteille.
2. Pourquoi cette bouteille présente-t-elle plus de risques ?

Données

- Volume de la bouteille : $V_0 = 2,98 \times 10^{-2} \text{ m}^3$;
- Volume d'hélium à pression atmosphérique : $V_1 = 5,21 \text{ m}^3$.

18 Le ballon stratosphérique

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

On utilise un ballon gonflé à l'hélium pour sonder la stratosphère. On considère que l'hélium est initialement à la pression atmosphérique. Le ballon éclate à 40 km d'altitude.



- Déterminer la pression de l'hélium à 40 km d'altitude.

Données

- Volume au décollage : $V_0 = 5,70 \text{ m}^3$;
- Volume à 40 km d'altitude : $V_1 = 429 \text{ m}^3$.

- ✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques
 ✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces

Un pont élévateur

Énoncé



Un pont élévateur hydraulique doit soulever une voiture. Il est composé d'un piston de surface S_1 dans lequel on peut faire varier la pression de l'air P_{air} à l'aide d'un compresseur. Le piston presse sur un fluide incompressible en contact avec le pont élévateur de surface S_2 .

1. À l'aide de la relation fondamentale de la statique des fluides, exprimer la pression P_{fluide} sur le pont en fonction de P_{air} .
2. Quelle valeur la force pressante exercée sur le pont élévateur $F_{\text{pressante/pont}}$ doit-elle atteindre pour qu'il puisse soulever la voiture ?
3. Quelle est alors la valeur de la force pressante $F_{\text{pressante/piston}}$?
4. En déduire la valeur minimale de P_{air} pour soulever voiture.

Solution rédigée

1. On écrit la relation fondamentale de la statique des fluides dans le réservoir de fluide, entre le piston et le pont élévateur :

$$P_{\text{fluide}} - P_{\text{air}} = \rho_{\text{fluide}} \cdot g \cdot (z_2 - z_1).$$

Le piston et le pont élévateur sont à la même altitude : $z_2 - z_1 = 0 \text{ m}$.

On en déduit que $P_{\text{fluide}} - P_{\text{air}} = 0 \text{ Pa}$, c'est-à-dire que $P_{\text{fluide}} = P_{\text{air}}$.

2. Pour que le pont élévateur puisse soulever la voiture, il faut que la force pressante $F_{\text{pressante/pont}}$ qui s'exerce sur lui soit au moins égale au poids de la voiture P_{voiture} .

$$\text{On a donc } F_{\text{pressante/pont}} = m_{\text{voiture}} \cdot g.$$

$$F_{\text{pressante/pont}} = 2,1 \times 10^3 \text{ kg} \times 9,81 \text{ N/kg} = 2,1 \times 10^4 \text{ N}.$$

3. $P_{\text{fluide}} = P_{\text{piston}}$. On exprime les pressions en fonction des forces

$$\text{pressantes et des surfaces : } \frac{F_{\text{pressante/piston}}}{S_1} = \frac{F_{\text{pressante/pont}}}{S_2}.$$

$$\text{On en déduit } F_{\text{pressante/piston}} = \frac{F_{\text{pressante/pont}} \cdot S_1}{S_2}.$$

$$F_{\text{pressante/piston}} = \frac{2,1 \times 10^4 \text{ N} \times 5,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{1,2 \text{ m}^2}.$$

4. $P_{\text{air}} = \frac{F_{\text{pressante/piston}}}{S_1} = \frac{8,6 \text{ N}}{5,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 1,7 \times 10^3 \text{ N}.$

DONNÉES

- $m_{\text{voiture}} = 2,1 \times 10^3 \text{ kg}$;
- $S_1 = 5,0 \text{ cm}^2$;
- $S_2 = 1,2 \text{ m}^2$;
- On considère la masse du piston et du pont élévateur comme négligeable devant celle de la voiture.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. La question indique la relation à utiliser. Il faut choisir judicieusement les deux points entre lesquels appliquer la relation.
2. Il s'agit ici de faire un bilan des forces, entre $F_{\text{pressante/pont}}$ et la force qui maintient la voiture et le pont élévateur au sol.
3. Cette question invite à considérer la réponse à la question 1, qui établit une relation entre P_{fluide} et P_{air} .
4. Faire un calcul avec $F = P \cdot S$.

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Il s'agit uniquement d'un calcul numérique. Il faut se rendre compte de l'égalité des altitudes.
2. Il n'y a que deux forces, de même direction mais de sens opposés.
3. L'égalité des pressions permet de relier les forces pressantes et les surfaces. Il faut penser à convertir en m^2 (mètre carré).
4. Il faut convertir correctement les unités de surface (cm^2 en m^2).

19 Mise en application

Mêmes questions pour une surface du pont élévateur $S_2 = 80 \text{ cm}^2$. Les autres valeurs restent identiques.

Pour s'entraîner

20 Sphère de Magdebourg

✓ RAI/MOD : Faire le bilan des forces

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

Les sphères de Magdebourg sont deux hémisphères s'emboîtant l'un dans l'autre, et dans lesquelles on peut faire le vide.

1. Pourquoi est-il très difficile, une fois le vide fait, de séparer les hémisphères ?
2. Calculer la force qu'il faudrait appliquer pour séparer deux hémisphères de rayon R .



Données

- Rayon de la sphère originale : $R = 28 \text{ cm}$.
- La force pressante sur un hémisphère est égale à la force pressante s'appliquant sur un disque de même rayon.



HISTOIRE DES SCIENCES

À partir de 1654, le bourgmestre de Magdebourg, Otto von Guericke (1602-1686), réalise de nombreuses démonstrations à l'aide de divers hémisphères dans lesquels il fait le vide. Trente chevaux n'arrivent pas à les séparer ! Ces démonstrations ont un grand succès et sont reproduites dans de nombreux endroits. Elles jouent un rôle important dans la confirmation de l'existence du vide et l'explication de la pression atmosphérique.

21 La statique des fluides spatiaux en QCM

✓ APP : Formuler le résultat attendu

Sur la Lune ($g_{\text{Lune}} = 1,62 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$), à l'intérieur d'une station remplie d'air terrestre, se trouve un réservoir d'eau de 3 mètres de haut. Une vanne de vidange se trouve au fond du réservoir. Comparer cette situation avec ce qu'il se passerait sur Terre.

1. Le poids de l'eau serait :
 - a. plus intense.
 - b. moins intense.
 - c. identique.
2. La pression de l'eau au fond du réservoir :
 - a. serait plus grande que sur la Terre.
 - b. aurait la même valeur que sur Terre.
 - c. serait moins grande que sur Terre.
3. Dans une zone de l'espace où l'intensité de pesanteur est supposée nulle :
 - a. l'eau s'écoulera avec le même débit que sur la Terre.
 - b. l'eau s'écoulera avec un débit plus faible que sur Terre.
 - c. l'eau ne s'écoulera pas du tout.

22 Convertir les degrés Celsius en kelvin

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

La température en kelvin (K) est notée T et celle en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) est notée θ . On note également qu'une variation de température a la même valeur dans les deux systèmes d'unités : $\Delta T = \Delta \theta$.

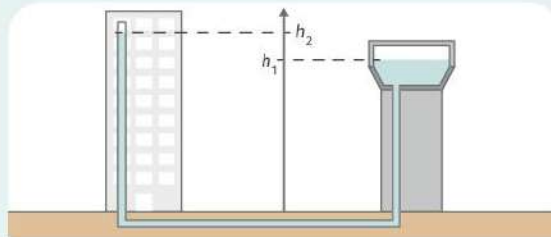
1. Exprimer la relation mathématique permettant de calculer une température en kelvin à partir d'une température en degré Celsius connue.
2. Exprimer la relation mathématique permettant de calculer une température en degré Celsius à partir d'une température en kelvin connue.
3. À l'aide des expressions précédentes, compléter le tableau de température suivant.

Température...	T (K)	θ ($^{\circ}\text{C}$)
du laboratoire		25
d'ébullition de l'azote	77,36	
de surface du Soleil	5 750	
de fusion du cyclohexane		6,5
du zéro absolu	0	
de la glace fondante		0

Comprendre les attendus

23 Problème d'eau courante

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux



Voici le schéma d'un château d'eau (réserve d'eau) relié à un immeuble par un tuyau.

- Déterminer la hauteur h_2 jusqu'à laquelle l'eau peut monter.

Détails du barème

TOTAL/6,5 pts

- ♦ Positionner deux points A et B situés sur les deux surfaces libres du fluide. 1 pt
- Vérifier que les pressions du fluide P_1 et P_2 soient égales à la pression atmosphérique. 2 pts
- Écrire la relation fondamentale de la statique des fluides avec les bonnes notations. 1 pt
- En raisonnant sur les pressions, trouver le lien entre h_1 et h_2 . 2 pts
- Conclure sur la question posée. 0,5 pt

24 Respirer au sommet

✓ VAL : Rechercher les sources d'erreur



Le Mont-Blanc est le plus haut sommet d'Europe, culminant à 4810 m d'altitude. À son sommet la pression atmosphérique moyenne mesurée n'est plus que de 554,6 hPa, ce qui rend la respiration plus difficile.

1. À l'aide de la relation fondamentale de la statique des fluides, calculer la pression P_{sommet} au sommet du Mont-Blanc.
2. Ce résultat correspond-il aux mesures ? Faire la liste des raisons qui peuvent expliquer cela.

Donnée

• Masse volumique de l'air à pression atmosphérique :

$$\rho_{\text{air}} = 1,22 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

25 Attention à la remontée !

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques



Les plongeurs utilisent de plus en plus des bouteilles de nitrox, il s'agit d'un mélange de dioxygène et de diazote. Il est stocké sous pression dans une bouteille et respiré à la pression de l'eau autour du plongeur.

1. Pourquoi est-il nécessaire que la pression du nitrox respiré soit la même que la pression de l'eau ?
2. Calculer le volume V_2 qu'occuperait à la surface le gaz inspiré à 5 m de profondeur.
3. Si le plongeur retenait sa respiration lors des 5 derniers mètres de la remontée, quel risque prendrait-il ?

INFORMATION : Les paliers de décompression que doivent respecter les plongeurs ne sont pas dus seulement à la pression du gaz dans les poumons. Le diazote respiré se dissout partiellement dans le sang et risque, en cas de remontée trop rapide, de former des bulles dans les vaisseaux sanguins bloquant la circulation du sang.

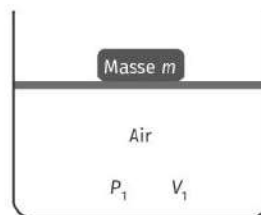
Données

- Volume de gaz dans les poumons : $V_1 = 5,0 \text{ L}$;
- Pression de l'eau à 5 m de profondeur : $P(5 \text{ m}) = 1,5 \text{ bar}$.

26 Piston sous pression

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

On pose une masse sur un piston contenant de l'air à la pression atmosphérique. L'air contenu dans le piston va se comprimer jusqu'à un point d'équilibre.



1. Faire le bilan des forces s'appliquant sur le piston.

2. Calculer le coefficient de compression $\gamma = \frac{V}{V_0}$.

3. Que se passe-t-il au niveau microscopique dans le piston ?

Données

• Volume du piston :

$$V = 200 \text{ cm}^3 ;$$

• Surface du piston :

$$S = 20 \text{ cm}^2 ;$$

• Masse : $m = 500 \text{ g}$.

27 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.

Énoncé : Un humain peut continuer à inspirer de l'air à pression atmosphérique ($P_0 = 1013 \text{ hPa}$) si la surpression subie sur sa cage thoracique ne dépasse pas 11000 Pa. Peut-on respirer sous l'eau avec un tuba de 2 mètres de long ? On rajoute 20 cm à cette longueur pour tenir compte de la distance bouche-poumons.

À deux mètres de profondeur, la pression de l'eau sur la cage thoracique sera plus grande qu'à la surface, en raison du principe fondamental de l'hydrostatique :

$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h.$$

$$\text{Avec : } g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} ; \rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$h = 2 \text{ m} + 0,2 \text{ m} ; P_0 = 1013 \text{ hPa}$$

D'où :

$$P = \cancel{1013 \text{ Pa}} + 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \times \cancel{2,02 \text{ m}} = \cancel{22600 \text{ Pa}}$$

À une ~~pression~~ supérieure à ~~11000 Pa~~ on ne peut pas expirer et la respiration devient impossible. ~~P étant supérieure à 11000 Pa, on ne pourra pas respirer avec un tuba de deux mètres de long.~~

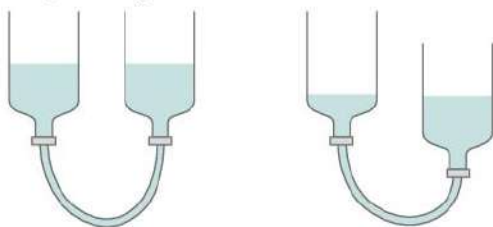
Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P249

28 Deux récipients remplis

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

Deux récipients sont partiellement remplis par un liquide et reliés par un tuyau.



- À l'aide du principe fondamental de l'hydrostatique, expliquer pourquoi la surface libre du liquide reste au même niveau dans les deux récipients même lorsqu'ils ne sont pas à la même hauteur.

29 L'air au sommet de l'Everest

✓ RAI/ANA : Faire le lien entre les modèles microscopiques et grandeurs macroscopiques

Au sommet de l'Everest la pression atmosphérique est si basse (31460 Pa) que la respiration est très difficile et qu'il n'est pas possible de survivre plus de quelques jours. On peut raisonner en considérant qu'une personne ne reçoit au sommet que 30 % de l'oxygène qu'elle reçoit au niveau de la mer.

- Au sommet de l'Everest, quel volume occuperait une quantité d'air dont le volume serait d'un litre au niveau de la mer ?
- Représenter deux volumes identiques, l'un contenant de l'air pris au niveau du sol et l'autre au niveau du sommet de l'Everest. Faire apparaître les différences au niveau microscopique.

30 Le tonneau de Pascal

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques



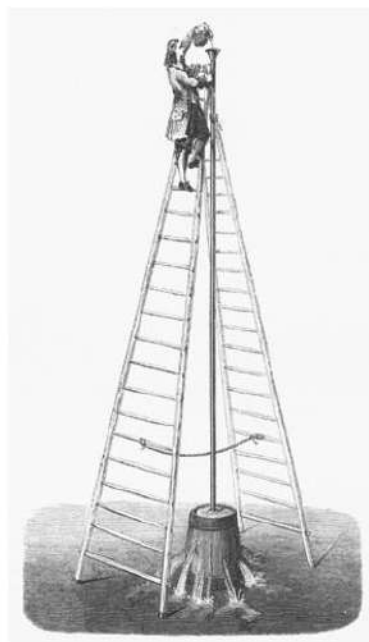
HISTOIRE DES SCIENCES

Cette expérience, appelée « crève-tonneau », a été menée pour la première fois par Blaise Pascal (1623-1662) en 1646. Elle est représentée sur l'image ci-après. C'est Pascal qui a également exprimé le principe fondamental de l'hydrostatique. Il a donné son nom à l'unité de pression du système international d'unités (Pa).

Soit un tonneau entièrement rempli d'eau. On y insère un tube de dix mètres de haut, que l'on remplit d'eau. Le tonneau se met à fuir, puis casse.

- À quelle pression est soumis le tonneau une fois le tube rempli ?
- Pourquoi le tonneau a-t-il cédé ?

- Quel doit être le diamètre du tube pour qu'un litre d'eau suffise à le remplir ? Dans ce cas, le tonneau cède-t-il ?



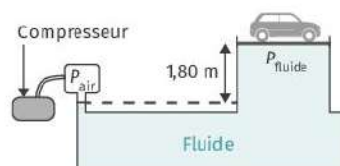
Donnée

- Surpression maximale supportable par le tonneau : $\Delta P = 5 \times 10^4$ Pa.

31 Deux récipients remplis

✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

Une voiture se trouve sur un pont élévateur (voir l'exercice résolu p. 247), mais cette fois à une hauteur h_1 au-dessus du sol.



- Choisir deux points pertinents et écrire la relation fondamentale de la statique entre ces deux points.
- Faire le bilan des forces s'appliquant sur le pont élévateur.
- Calculer la pression P_{air} fournie par le compresseur pour maintenir la voiture à cette hauteur.

Données

- $m_{\text{voiture}} = 2,1 \times 10^3$ kg ;
- $S_1 = 5,0$ cm² ;
- Le fluide utilisé est une huile hydraulique : $\rho_{\text{huile}} = 883$ kg·m⁻³ ;
- On considère la masse du piston et du pont élévateur comme négligeable.
- $h_1 = 1,80$ m ;
- $S_2 = 1,2$ m² ;

Pour aller plus loin

32 L'expérience de Torricelli et ses conséquences

- ✓ RAI/MOD : Faire le bilan des forces
- ✓ RAI/ANA : Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques

En 1644, Torricelli (1608-1647) réalise une expérience : il place sur un bain de mercure un tube rempli lui aussi de mercure, avec l'ouverture vers le bas. Quelle que soit la hauteur du tube ou son inclinaison, le mercure s'en écoule jusqu'à ce que le ménisque atteigne 76 cm au-dessus du bain.

1. Pourquoi le mercure s'écoule-t-il ?
2. Que contient le tube au-dessus du mercure ?

En 1648, Blaise Pascal fait l'expérience à Clermont-Ferrand où il obtient les mêmes résultats. Au sommet du puy de Dôme, en revanche, le niveau de Mercure descend en dessous de 76 cm.

3. Pourquoi le niveau de mercure est-il plus faible au sommet du puy de Dôme ?



HISTOIRE DES SCIENCES

Les conclusions que Blaise Pascal tire de l'expérience de 1648, dont l'existence du vide, restent controversées de son vivant. Des savants, en particulier René Descartes, s'y opposent. L'existence du vide renvoie à d'autres débats comme l'existence des atomes et a longtemps été un sujet de controverse.

On peut en effet proposer d'autres interprétations pour cette expérience, notamment supposer que la gravité est moins intense en altitude. L'existence du vide est aujourd'hui établie.

33 EXPÉRIENCE À LA MAISON



Bouchon de champagne

- ✓ RAI/MOD : Faire le bilan des forces
- ✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

Prendre une bouteille en plastique de 1,5 L vide. La boucher avec un bouchon en liège ou en silicone. Comprimer brutalement la bouteille. Le bouchon est projeté, éventuellement, à plusieurs mètres. (Attention : le bouchon peut faire des dégâts à l'impact).

1. Quelle loi s'applique ici ?
2. Expliquer cette expérience, en justifiant éventuellement par des schémas.
3. Un bouchon de champagne « saute » lorsque la pression à l'intérieur de la bouteille atteint environ 2,5 bars.

Est-il plausible dans cette expérience que la pression atteigne de telles valeurs ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$) ?

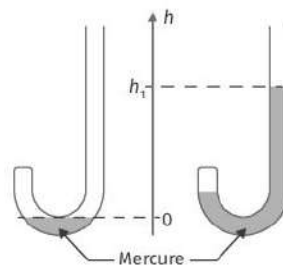
34 HISTOIRE DES SCIENCES



L'expérience de Mariotte

- ✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques
- ✓ RAI/ANA : Élaborer/justifier un protocole

La loi de Mariotte a été découverte indépendamment par le Français Edme Mariotte (1620-1684) et par l'Irlandais Robert Boyle (1627-1691). Pour établir cette loi, Boyle utilise un tube en J dans lequel il verse un peu de mercure. L'air piégé dans le tube a alors une pression P_0 et un volume V_0 . Il ajoute ensuite du mercure dans le tube. Il mesure le nouveau volume d'air V_1 et calcule la pression P_1 .



1. Comment peut-on calculer la pression P_1 sans utiliser la loi de Mariotte ?
2. Comment, à partir de plusieurs mesures de ce type, Boyle a-t-il pu établir la loi de Boyle-Mariotte ?

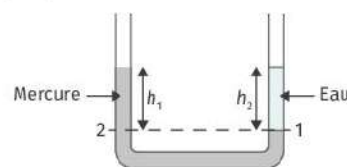
Données

- Volume d'air initial : $V_0 = 11 \text{ cm}^3$;
- $V_1 = 7,0 \text{ cm}^3$;
- $h_1 = 43,5 \times 10^{-2} \text{ m}$;
- Masse volumique du mercure : $\rho_m = 13,55 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

35 Des liquides au même niveau ?

- ✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

Soit un tube en U rempli partiellement de mercure. On ajoute un volume d'eau d'un côté du tube, sur une hauteur h_2 de 15 cm. L'eau et le mercure sont non miscibles.



1. À votre avis, la surface libre de l'eau et celle du mercure sont-elles à la même hauteur ($h_1 = h_2$) ? Pour le vérifier, il faut appliquer le principe fondamental de l'hydrostatique aux points 1 et 2, où la pression est identique.
2. Exprimer puis calculer h_1 .
3. À quelle condition h_1 et h_2 ont-elles la même valeur ?

Donnée

- Masse volumique du mercure : $\rho_{\text{mercure}} = 13,55 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

36 Plonger en autonomie

✓ RAI/ANA : Utiliser des informations pour résoudre une problématique

Les plongeurs sous-marins utilisent des bouteilles de nitrox, un mélange gazeux de diazote et d'oxygène. Ce mélange est sous pression dans la bouteille. Le plongeur le respire à une pression égale à la pression de l'eau autour de lui.



À partir du volume de la bouteille et de la pression du mélange, on peut calculer l'autonomie du plongeur, c'est-à-dire la durée qu'il peut passer sous l'eau avant de manquer de dioxygène. Cette autonomie diminue avec la profondeur à laquelle se trouve le plongeur.

- Expliquer pourquoi cette autonomie diminue et vérifier les valeurs données pour l'autonomie à différentes profondeurs. Donner la réponse sous la forme d'un compte rendu détaillant les résultats obtenus et éventuellement les hypothèses effectuées.

Données

- Consommation d'un plongeur : $20 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$;
- Volume de la bouteille : $15,0 \text{ L}$;
- Pression de la bouteille pleine : 200 bars ;
- Autonomie à une profondeur de 20 m : 37 min ;
- Autonomie à une profondeur de 50 m : 18 min ;
- On impose par sécurité une pression restante de 50 bars au moment où le plongeur refait surface.

37 L'énigme de Torricelli

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



Fontaine sur la terrasse du palais Pitti à Florence, XVII^e siècle.

Vers 1643, les fabricants de fontaines à Florence, en Italie, sont face à un problème : malgré les perfectionnements des pompes, impossible d'extraire l'eau du fleuve Arno à plus de 32 pieds de hauteur (10 mètres environ). Après des démarches infructueuses auprès de Galilée, ils demandent à Torricelli de se pencher sur ce problème incompréhensible.

1. Quelle est l'explication de ce phénomène ?
2. Comment faire pour pomper l'eau plus haut que 10 mètres ? Rédiger un compte rendu expliquant votre raisonnement et détaillant vos calculs.



HISTOIRE DES SCIENCES



Evangelista Torricelli (1608-1647) est un physicien et mathématicien italien. Il est nommé mathématicien du grand-duc de Toscane à la suite de Galilée lorsque celui-ci meurt en 1642. Il est notamment connu pour avoir inventé le baromètre, à la suite de ses travaux pour aider les fontainiers de Florence.

Une unité de pression (le torr) est nommée en son honneur, mais elle n'est presque plus utilisée aujourd'hui.

Retour sur l'ouverture du chapitre (déconstruire les idées fausses)

38 La fontaine de Héron

- ✓ RAI/ANA : Utiliser des résultats expérimentaux pour répondre à la problématique
- ✓ VAL : Identifier et évaluer les sources d'erreur

La fontaine de Héron est un dispositif connu depuis l'Antiquité.



Regarder la vidéo pour découvrir une fontaine perpétuelle basée sur le même principe. [LLS.fr/PC1P252](https://lls.fr/PC1P252)

1. À l'aide de la vidéo, expliquer le fonctionnement d'une fontaine de Héron, en réalisant un schéma et en utilisant les relations appropriées.
2. Pourquoi le deuxième dispositif est-il nécessairement faux ? Quel trucage a pu être utilisé ?



Loi de Mariotte et microcontrôleur

A Utiliser un microcontrôleur pour vérifier la loi de Mariotte

Dans cette activité on va chercher à vérifier la loi de Mariotte en dépression, pour un gaz pris dans une seringue. La loi de Mariotte établit la relation suivante entre le volume V et la pression P d'un gaz :

$$P \cdot V = \text{constante.}$$

Le principe

On mesure la pression d'un volume de gaz à l'aide d'un pressiomètre numérique connecté au microcontrôleur Arduino. En parallèle, on mesure les valeurs du volume de l'air dans la seringue.

Programme à créer ou télécharger

Le programme doit convertir la valeur de tension du capteur de pression en valeur de pression en hectopascal (hPa). Pour plus de stabilité sur la valeur affichée, on demande au microcontrôleur de faire la moyenne sur 10 mesures.



Seringue utilisée pour vérifier la loi de Mariotte.

Réalisation pratique

On relie la sortie analogique du pressiomètre à l'entrée analogique A0 de l'Arduino. On utilise le moniteur série de l'IDE Arduino pour afficher les valeurs reçues sur la borne A0, on peut faire une courbe d'étalonnage le cas échéant.



Retrouver le protocole d'étalonnage du capteur sur [LLS.fr/PC1P253](https://lls.fr/PC1P253).

B Analyse du capteur et réalisation des mesures

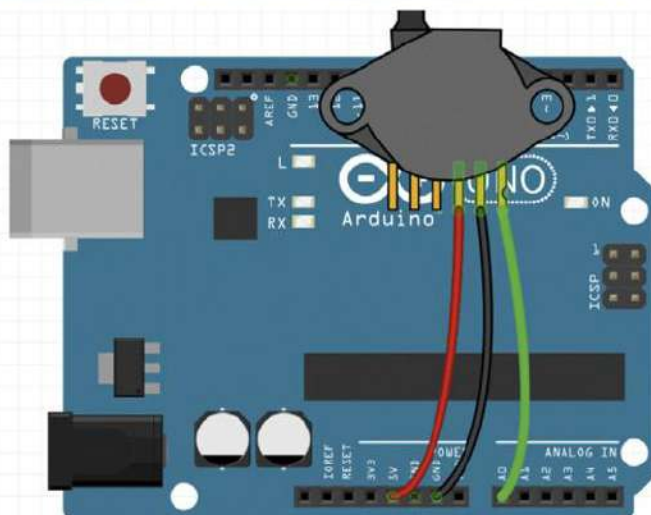
1. On va travailler sur des volumes V_0 et $\frac{V_0}{3}$. Sachant que la pression atmosphérique est de 1 bar. Quelle doit être la portée de mesure du capteur de pression (valeurs minimales et maximales) ?



Retrouver le code Arduino pour réaliser ces mesures sur [LLS.fr/PC1P253](https://lls.fr/PC1P253).

2. Réaliser les mesures de pression et de volume. La loi de Mariotte est-elle vérifiée dans ce cas ?

Montage du microcontrôleur Arduino Uno pour la mesure de pression.



Mouvement d'un système

ESPRIT SCIENTIFIQUE



Lors de la mission Apollo 15 en 1971, l'astronaute David Scott laisse tomber deux objets simultanément de la même hauteur : un marteau et une plume. À votre avis :

- a. le marteau touche le sol en premier.
- b. la plume touche le sol en premier.
- c. les deux objets touchent le sol au même moment.
- d. les deux objets n'atteignent jamais le sol.

→ voir l'exercice 12, p. 265

Travailler

autrement

PYTHON

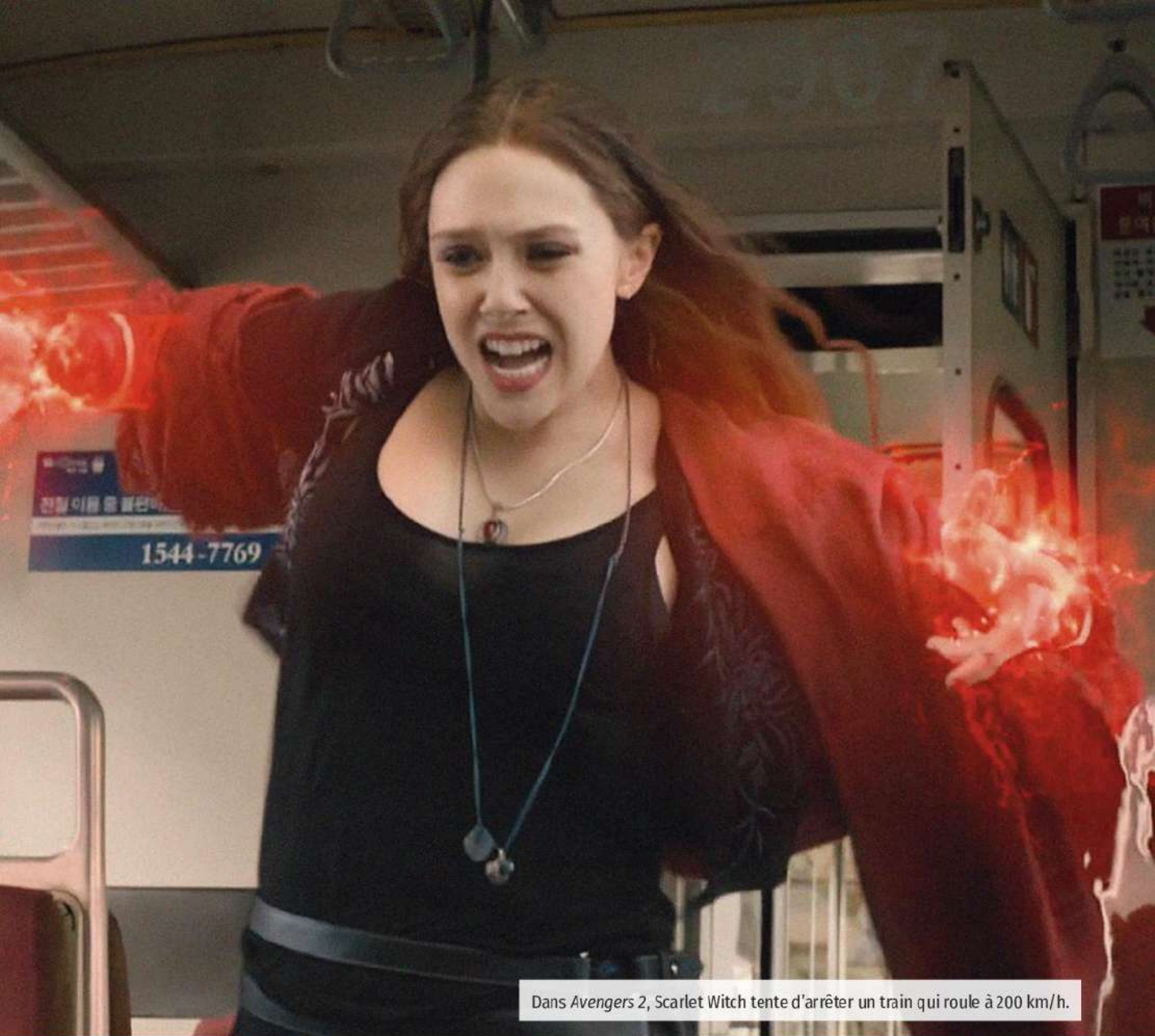
Tracez le vecteur variation vitesse à l'aide du langage Python avec le code à retrouver en fin de chapitre.

[LLS.fr/PC1P254](https://lls.fr/PC1P254)

Voir p. 271

LABO PYTHON

```
1 import matplotlib.pyplot as plt
2 x=[]
3 y=[]
4 plt.plot(x,y,'r+',ms=20.) # tracé des points, ms déte
5 plt.axis('equal')         # normalisation du repère.
6 def vitesse(x,y,i) :
7     # x et y sont des listes contenant les coordonnées,
8     # dont on affiche la vitesse.
9     plt.arrow(x[i],y[i],(x[i+1]-x[i]),(y[i+1]-y[i]), s
10     length_includes_head=True,rasterized=True, color =
11 vitesse(x,y,4)            # appel de la fonction, ici
12 plt.show()                # affichage du tracé.
```

Dans *Avengers 2*, Scarlet Witch tente d'arrêter un train qui roule à 200 km/h.

→ Quelle force Scarlet Witch doit-elle appliquer pour arrêter le train ?

→ voir l'exercice 28, p. 270

À revoir pour bien commencer

- Savoir tracer un vecteur vitesse
- Connaître les caractéristiques de la force de gravitation, la force électrostatique, le poids, la force exercée par un support
- Savoir appliquer le principe d'inertie et sa contraposée

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P255

Objectifs du chapitre

- ☐ Savoir tracer un vecteur variation de vitesse
- ☐ Savoir estimer la variation de vitesse d'un système connaissant sa masse et les forces qui s'exercent sur lui
- ☐ Savoir estimer les forces qui s'exercent sur un système connaissant son comportement cinématique
- ☐ Savoir que la variation du vecteur vitesse d'un système dépend de sa masse

1 Mouvements et forces

Pour mener à bien les missions spatiales, les scientifiques de la NASA doivent prévoir le mouvement des astres vers lesquels ils dirigent leur navette.

→ Comment peut-on prévoir le mouvement d'un objet ?

Par intuition

Peut-on prévoir le mouvement de la Lune ?

Doc. 1 Quelques mouvements



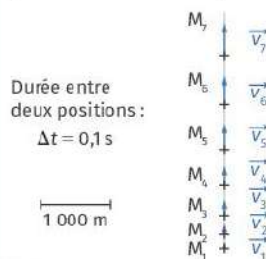
Situation n° 1. La fusée décolle grâce à la poussée des moteurs.



Situation n° 2. En première approximation, la Lune tourne autour de la Terre à vitesse constante selon une orbite circulaire.

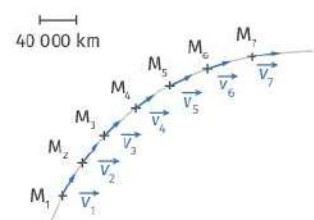
Doc. 2 Représentation des positions successives des systèmes

Pour chaque situation, on modélise le système étudié par un point matériel M . On a représenté les positions successivement occupées par le point matériel ainsi que le vecteur vitesse en différents points.



Situation n° 1. Positions successives de la fusée.

Durée entre deux positions : $\Delta t = 12 \text{ h}$



Situation n° 2. Positions successives de la Lune.

Télécharger ces tracés au format PDF [LLS.fr/PC1P256](https://lls.fr/PC1P256)

Doc. 3 Le vecteur variation de vitesse

Pour étudier la variation de vitesse entre deux positions successives, on trace le vecteur variation de vitesse. Le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}_2$ au point M_2 a pour expression :

$$\Delta \vec{v}_2 = \vec{v}_3 - \vec{v}_2$$

Il s'obtient graphiquement en ajoutant le vecteur $\vec{v}_3$ à l'opposé du vecteur $\vec{v}_2$ au point M_2 → **Fiche méthode 4, p. 385.**

Compétence

✓ MATH : Vecteurs

1. Pour chaque situation du **doc. 1**, définir le système et le référentiel d'étude.
2. Pour chaque situation, tracer les vecteurs variation de vitesse $\Delta \vec{v}_2$, $\Delta \vec{v}_4$ et $\Delta \vec{v}_6$ aux points M_2 , M_4 et M_6 .
3. Commenter la direction et le sens du vecteur variation de vitesse pour chaque situation.
4. Pour chaque système, quelles sont les forces appliquées ? Donner leur direction et leur sens et les schématiser aux points M_2 , M_4 et M_6 sans souci d'échelle.
5. Comparer le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ aux vecteurs des forces appliquées.

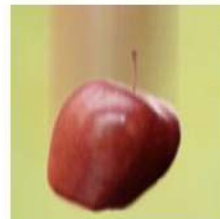
Synthèse de l'activité

Connaissant les forces qui s'exercent sur un objet, quelles informations peut-on en déduire quant à son mouvement ? À l'aide de la situation n° 2, proposer des limites à ce modèle.

2 Le champ de pesanteur 80'

Isaac Newton est connu pour ses recherches sur la gravitation et la chute des corps. La légende dit qu'en observant tomber une pomme depuis un arbre, il aurait développé sa théorie sur la gravitation.

→ **Comment déterminer l'intensité du champ de pesanteur terrestre en étudiant la chute d'un objet ?**



Doc. 1 Chute libre

Un objet est en chute libre s'il n'est soumis qu'à son poids. Dans le cas de la chute libre, en négligeant l'influence de l'air, la variation du vecteur vitesse $\vec{v}$ par rapport au temps est égale au champ de pesanteur $\vec{g}$:

$$\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{g}$$

En réalité, les objets sont soumis aux frottements de l'air. Dans le cas où les objets ne chutent pas dans le vide, on pourra tout de même négliger l'action de l'air sur un objet si son poids a une intensité bien supérieure à celle des forces de frottement et à la poussée d'Archimède. Ceci est réalisé pour des hauteurs de chute réduites car l'intensité des frottements de l'air augmente avec la vitesse.

Doc. 2 Matériel nécessaire

- Deux masselottes de masses différentes ;
- Une caméra ;
- Une balle de tennis ;
- Un logiciel de pointage vidéo ;
- Une balle de ping-pong ;
- Un tableur-grapheur.

Doc. 3 Calculer une vitesse en différents points

Pour un mouvement à une dimension selon (Oy), la vitesse en un point M_i a pour expression :

$$v_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{t_{i+1} - t_i}$$

$$f_x = (B4-B3)/(A4-A3)$$

	A	B	C
1	t (s)	z (m)	v (m/s)
2	0	0	0
3	0,01	0,04	$= (B4-B3)/(A4-A3)$
4	0,02	0,08	
5	0,03	0,2	
6	0,04	0,25	
7	0,05	0,3	

On étire ensuite le calcul pour toute la colonne.

Numérique

Retrouvez une vidéo en *slow motion* d'un service de tennis. [LLS.fr/PC1P257](https://lls.fr/PC1P257)

Compétences

- ✓ REA : Effectuer des mesures
- ✓ VAL : Identifier les sources d'erreurs
- ✓ VAL : Précisions et incertitudes

- Doc. 2** Parmi les objets proposés dans la liste du matériel, lesquels sont les plus adaptés pour étudier un mouvement de chute libre ? Justifier.
- Doc. 2** À partir d'une acquisition vidéo, disponible sur [LLS.fr/PC1P257](https://lls.fr/PC1P257), proposer un protocole expérimental permettant d'obtenir les coordonnées en fonction du temps de deux objets de masses différentes tombant en chute libre → **Fiche méthode 2, p. 397**.
- Doc. 3** Pour chacun de ces deux objets, calculer la valeur de la vitesse à chaque position relevée, puis calculer le rapport $\frac{\Delta v}{\Delta t}$.
- Pour chacun des deux objets, calculer la moyenne et l'écart-type des rapports $\frac{\Delta v}{\Delta t}$.
- Doc. 1** On donne $g_{\text{tabulée}} = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Comparer la valeur moyenne de $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ et $g_{\text{tabulée}}$ par un calcul d'écart relatif pour chaque objet tombé. L'égalité du **doc. 1** est-elle vérifiée dans chaque cas ?
- Identifier les sources d'erreurs pouvant justifier cet écart ?

Synthèse de l'activité

Quelles sont les caractéristiques du vecteur variation de vitesse lors d'une chute libre ? L'étude effectuée permet-elle de dire si ce vecteur variation de vitesse dépend de la masse de l'objet qui chute ?

3 Tirer des plans sur la comète 80'

Pour des intervalles de temps trop importants, dans le cas de mouvements autour d'un centre de gravitation, la variation du vecteur vitesse s'écarte assez rapidement du vecteur force appliqué à l'objet.

→ **Comment l'étude du vecteur variation de vitesse permet-il de remonter aux causes de la trajectoire de l'objet ?**

Par intuition

Le Soleil est-il au centre de l'orbite terrestre ?

Doc. 1 La première loi de Johannes Kepler

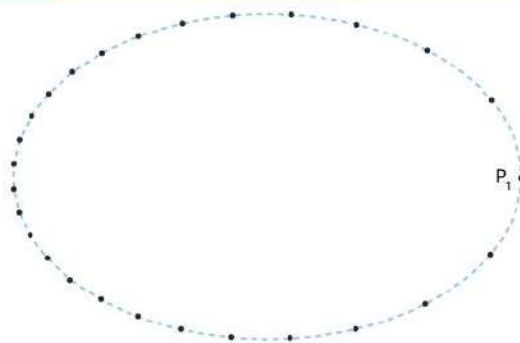
Kepler (1571-1630) est un astronome, précurseur de Newton. Ses trois lois ont été fondamentales pour la compréhension du mouvement des astres de notre système solaire.

La première loi, publiée en 1609 dans *Astronomia nova*, s'énonce ainsi : « Les astres décrivent des trajectoires elliptiques dont le Soleil occupe l'un des foyers. »



La comète 67P/C-G, nommée Tchouri, a une trajectoire elliptique très marquée dans notre système solaire. Sa période orbitale est d'environ 6,5 ans.

Doc. 2 Modélisation des positions orbitales



En s'appuyant sur les lois de Kepler, ce tracé modélise les positions d'un astre en orbite autour du Soleil à des intervalles de temps Δt constants.

Doc. 3 Matériel nécessaire

• Une règle et une équerre ;

Retrouver le doc. 2 en PDF sur [LLS.fr/PC1P258](https://lls.fr/PC1P258)

Compétences

- ✓ MATHS : Utiliser l'outil vectoriel
- ✓ RAI/MOD : Faire un bilan de forces

1. Doc. 2 En partant de la position initiale P_1 de l'astre sur sa trajectoire, numérototer toutes ses positions successives P_2, P_3 , etc., dans un sens de parcours anti-horaire.

2. Doc. 2 Le mouvement est-il uniforme ? Justifier.

En première approximation la vitesse $\vec{v}_2$ au point P_2 et $\vec{P}_1P_3$ ont même direction et même sens. Il en est de même pour $\vec{v}_4$ au point P_4 et $\vec{P}_3P_5$.

3. En déduire alors que le vecteur variation de vitesse au point P_3 $\Delta\vec{v} = \vec{v}_4 - \vec{v}_2$ a la même direction et le même sens que le vecteur $(\vec{P}_3P_5 - \vec{P}_1P_3)$.

4. Doc. 2 Tracer ce vecteur $(\vec{P}_3P_5 - \vec{P}_1P_3)$ nommé $k \cdot \Delta\vec{v}_3$.

5. Doc. 2 Reprendre les questions 3., 4. et 5. afin de tracer $k \cdot \Delta\vec{v}_{12}$ puis $k \cdot \Delta\vec{v}_{21}$.

6. Les droites supports des vecteurs $k \cdot \Delta\vec{v}_3$, $k \cdot \Delta\vec{v}_{12}$ et $k \cdot \Delta\vec{v}_{21}$ convergent-elles ?

7. Doc. 1 et 2 Le point de croisement théorique est l'un des foyers de l'ellipse, celui sur lequel se situe le Soleil. Positionner le Soleil sur le document de travail.

Synthèse de l'activité

Comparer les avantages et les inconvénients des méthodes de tracé de $\Delta\vec{v}$ de l'activité 1 et de l'activité 3.

1 Vecteur variation de vitesse

➤ Lors d'un mouvement, le vecteur vitesse instantanée peut varier en direction, en sens et en norme. On définit alors le vecteur variation de vitesse instantanée entre un instant t et un instant t' :

$$\Delta \vec{v} = \vec{v}' - \vec{v}.$$

➤ En pratique, on ne peut pas mesurer la vitesse d'un point à deux instants infiniment proches, séparés d'une durée Δt infiniment petite. Comme on mesure la vitesse moyenne entre deux points, on définit le vecteur variation de vitesse moyenne entre deux points.

Le vecteur variation de vitesse moyenne $\Delta \vec{v}_3$ au point M_3 a pour expression : $\Delta \vec{v}_3 = \vec{v}_4 - \vec{v}_3$.

Il s'obtient graphiquement en ajoutant le vecteur $\vec{v}_4$ à l'opposé du vecteur $\vec{v}_3$ au point M_3 ➔ **Fiche méthode 4, p. 385.**

Le vecteur variation de vitesse moyenne calculé entre deux points est, en première approximation, appelé vecteur variation de vitesse.

Remarque :

Pour des valeurs de Δt importantes, le calcul de la vitesse donne de meilleurs résultats en prenant les points M_{i-1} et M_{i+1} que les points M_i et M_i .

2 Effet d'une force sur le mouvement

A Résultante des forces

➤ Lorsque plusieurs forces s'exercent sur un système, on définit le vecteur résultante des forces $\vec{F}_{\text{résultante}}$.

Le vecteur résultante des forces $\vec{F}_{\text{résultante}}$ est égal à la somme des forces extérieures qui s'appliquent sur le système.

On peut donc aussi l'écrire plus simplement $\Sigma \vec{F}$.

B Effet d'une force sur un mouvement

➤ Alors que la cinématique est la science purement descriptive du mouvement, la dynamique est la science qui relie les caractéristiques du mouvement à ses causes. Dans ce chapitre, on modélise le système étudié par un point matériel situé en son centre de gravité.

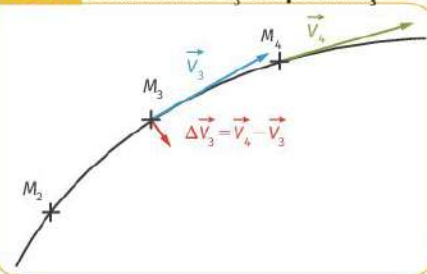
En l'absence de force, ou si les forces se compensent, le système est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme. C'est la première loi de Newton, appelée aussi principe d'inertie.

Si $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$, alors $\Delta \vec{v} = \vec{0}$.

Exemple :

Dans le film *Gravity*, après la rupture du câble qui la reliait à la station spatiale, l'astronaute Ryan Stone, jouée par Sandra Bullock, dérive en mouvement rectiligne uniforme dans le vide car soumise à aucune force (**doc. 3**).

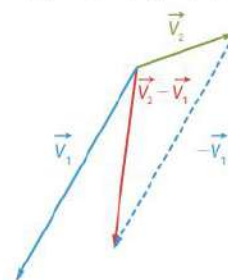
Doc. 1 Vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}_3$ au point M_3



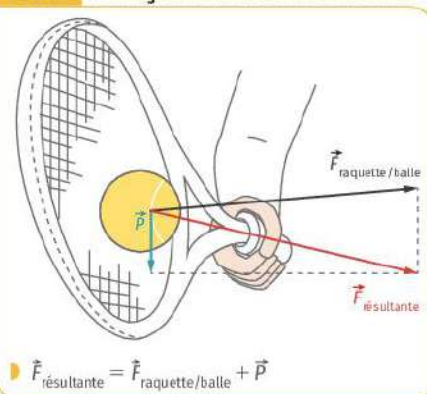
Éviter les erreurs

➔ La norme d'une somme de vecteurs n'est en général pas égale à la somme des normes, mais :

$$\|\vec{v}_2 - \vec{v}_1\| \geq \|\vec{v}_2\| - \|\vec{v}_1\|.$$



Doc. 2 Résultante des forces s'exerçant sur une balle de tennis



$$\vec{F}_{\text{résultante}} = \vec{F}_{\text{raquette/balle}} + \vec{p}$$

Doc. 3 Une astronaute dans l'espace



➔ Loin de tout corps environnant, une astronaute a un mouvement rectiligne uniforme.

➤ Au contraire, l'action d'une force permet de sortir un objet de son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme.

➤ Lors d'un service au tennis (**doc. 4**), la balle est lancée verticalement vers le haut. La force exercée par la raquette sur la balle modifie sa trajectoire et accélère son mouvement, le vecteur vitesse de la balle varie : $\Delta \vec{v} \neq \vec{0}$.

Ainsi, une force a pour effet de modifier la trajectoire et/ou la valeur de la vitesse d'un objet.

Un ensemble de forces dont la résultante $\Sigma \vec{F}$ est non nulle est responsable de la variation du vecteur vitesse $\vec{v}$ du système.

Si $\Sigma \vec{F} \neq \vec{0}$, alors $\Delta \vec{v} \neq \vec{0}$.

C Référentiel galiléen

➤ Les lois de Newton s'appliquent dans des référentiels dits galiléens uniquement.

Un référentiel est dit galiléen si le principe d'inertie est vérifié dans celui-ci.

Le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléen pour des études de mouvement de durée faible par rapport à la durée de rotation complète de la Terre (24 h).

3 Approche de la deuxième loi de Newton

A Variation de vitesse et résultante des forces

➤ On peut relier la variation de la vitesse d'un système par rapport au temps à la somme des forces qui agissent sur lui.

➤ Soit un point matériel M animé d'une vitesse $\vec{v}$, soumis à un ensemble de forces dont la somme vaut $\Sigma \vec{F}$ à un instant t . Les forces appliquées au point matériel induisent un changement de vitesse.

La variation de vitesse instantanée d'un système par rapport au temps est proportionnelle à la résultante des forces qui s'appliquent sur lui : $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = k \cdot \Sigma \vec{F}$ où k est un réel positif normal.

En pratique, pour obtenir la résultante des forces qui s'exercent sur le point matériel à la date t_2 , on mesure la variation de vitesse entre deux dates proches, t_2 et t_3 .

Exemple :

Doc. 5 La variation de vitesse au point M_2 par rapport au temps est proportionnelle à la résultante des forces appliquées au point M_2 .

$$\frac{\Delta \vec{v}_2}{t_3 - t_2} = k \cdot \Sigma \vec{F}.$$

Pas de malentendu



➤ Une force n'est pas nécessaire pour maintenir un objet en mouvement. D'après le principe d'inertie, en l'absence de forces ou si les forces se compensent, l'objet est au repos ou en mouvement rectiligne uniforme.

Vocabulaire

• **Point matériel** : point modèle contenant la masse du système, situé en son centre de gravité.

Doc. 4 Service au tennis



➤ Roger Federer, champion de tennis, avril 2008.

Lors d'un service, la force exercée par le joueur sur la balle modifie la direction et la valeur de sa vitesse.

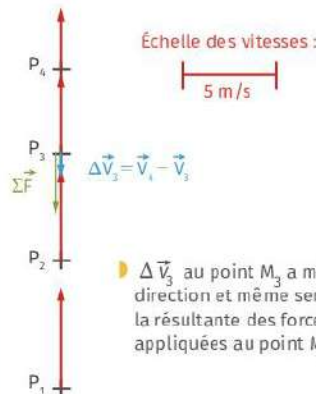
Éviter les erreurs



➤ t_2 et t_1 sont des dates tandis que τ est une durée. La durée est définie comme le temps séparant deux dates, par exemple : $\Delta t = t_2 - t_1$.

➤ La durée séparant deux positions sur une chronophotographie est souvent notée τ .

Doc. 5 Le vecteur variation de vitesse et force résultante



Par conséquent, le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}_2$ au point M_2 est de même direction et de même sens que la résultante des forces $\Sigma \vec{F}$ s'appliquant au système à l'instant t_2 et sa valeur Δv_2 est proportionnelle à l'intensité de $\Sigma \vec{F}$.

Numérique

Retrouvez une vidéo sur le tracé d'un vecteur variation de vitesse.

LLS.fr/PC1P261

B Rôle de la masse

On définit l'inertie comme la tendance d'un corps à conserver sa vitesse. Plus la masse d'un objet est importante, plus son inertie est grande. La force qu'il faut fournir à un objet pour le porter d'une vitesse v_1 à une vitesse v_2 est, en un intervalle de temps Δt donné, proportionnelle à la masse de l'objet (doc. 6).

Cette force résultante $\Sigma \vec{F}$ qui est proportionnelle à $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ est aussi proportionnelle à la masse m de l'objet.

C Relation approchée de la deuxième loi de Newton

Cette relation réunit les considérations précédentes (cf. A. et B.) :

$$m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \Sigma \vec{F}$$

avec $\Sigma \vec{F}$ en N, $\Delta \vec{v}$ en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, Δt en s et m en kg.

Connaissant la masse et le vecteur variation de vitesse d'un système à un instant donné, cette relation permet de déduire la direction, le sens et l'intensité de la résultante des forces qui s'appliquent à cet instant, et réciproquement.

Remarque :

$\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ est donc inversement proportionnel à la masse : $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{1}{m} \Sigma \vec{F}$.

D Cas d'une chute libre

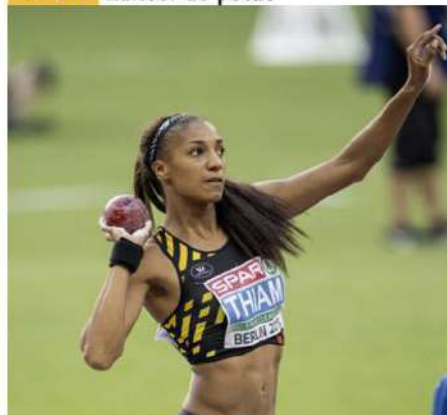
On dit qu'un objet est en chute libre s'il est soumis uniquement à son poids $\vec{P}$.

Comme $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$, alors la relation approchée de la deuxième loi de Newton s'écrit : $m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = m \cdot \vec{g}$ soit $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{g}$.

Ainsi, dans le cas d'une chute libre, la variation du vecteur vitesse par rapport au temps $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ est égale au champ de pesanteur $\vec{g}$.

Le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ d'un système en chute libre est vertical, dirigé vers le bas et sa valeur ne dépend pas de sa masse.

Doc. 6 Lancer de poids



Nafissatou Thiam, championne du monde d'heptathlon 2017, effectuant un lancer de poids.

Plus la masse de la boule à lancer est élevée, plus la force exercée par l'athlète doit être élevée pour la porter à une vitesse donnée.

Analyse dimensionnelle

$\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ s'exprime en $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \cdot \text{s}^{-1}$ donc en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.
D'après la relation approchée de la deuxième loi de Newton, la valeur de la force résultante qui s'exprime en N peut aussi s'exprimer en $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.
Ces unités sont donc équivalentes. $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Pas de malentendu

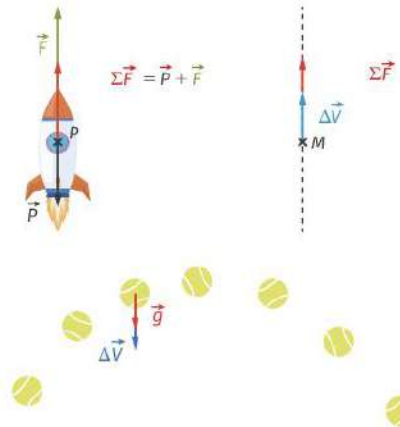
En parachutisme, l'expression chute libre désigne la phase de la chute précédant l'ouverture du parachute. En réalité, durant cette phase, le parachutiste est soumis, non seulement à son poids, mais aussi aux frottements de l'air qui ne sont pas négligeables puisque le parachutiste cesse d'accélérer et atteint une vitesse limite de $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Doc. 7 Saut en parachute



Principales notions

- Relation approchée de la deuxième loi de Newton : $m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \Sigma \vec{F}$.
 - Le vecteur variation de vitesse du système $\Delta \vec{v}$ est de même direction et même sens que la résultante des forces appliquées $\Sigma \vec{F}$.
 - La valeur du vecteur variation de vitesse du système Δv est inversement proportionnelle à la masse m du système.
- Dans le cas d'une chute libre, le système est par définition soumis seulement à son poids $\vec{P}$: $m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = m \cdot \vec{g} \Rightarrow \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{g}$.
 - Le vecteur variation de vitesse du système $\Delta \vec{v}$ est vertical, orienté vers le bas et il ne dépend pas de la masse du système.



Les éléments essentiels de la modélisation

• Le point matériel

Pour étudier simplement le mouvement d'un système, on le modélise par un point contenant toute sa masse et situé en son centre de gravité.

La dynamique du point matériel permet d'expliquer le mouvement du centre de gravité de l'objet.

• Du comportement cinématique au bilan des forces

La connaissance du vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ d'un système pendant un intervalle de temps Δt ainsi que sa masse permettent de connaître la direction, le sens et la valeur de la résultante des forces $\Sigma \vec{F}$ appliquées.

• La chute libre

Le modèle de chute libre permet de simplifier l'étude du mouvement d'un système car les forces de frottement de l'air sont négligées par rapport au poids.

Les limites de la modélisation

› Le point matériel

- Le modèle du point matériel ne permet pas d'expliquer le mouvement des systèmes en rotation sur eux-mêmes (effets sur une balle de tennis, etc.).

› Le référentiel galiléen

- Les lois de Newton s'appliquent dans un référentiel galiléen. Le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléen pour des études de mouvement de durée restreinte. Tout référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport à un référentiel galiléen est aussi galiléen. Si on souhaite étudier les mouvements dans un référentiel non galiléen, il faut utiliser des pseudo-forces.

› Comportement cinématique et bilan des forces

- L'étude cinématique permet de déterminer le bilan des forces mais pas le détail de chacune d'elles.
- On ne peut pas connaître la force à l'origine du mouvement rectiligne uniforme d'un système si on n'en connaît que sa vitesse.
- L'expression approchée de la deuxième loi de Newton s'applique pour une durée Δt petite. Elle serait d'autant plus précise si la durée Δt tendait vers zéro. L'étude de cette limite sera abordée en terminale seulement.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour faire une carte mentale et reprendre les principales notions du chapitre. LLS.fr/PC1P262

1 Vecteur variation de vitesse

	A	B	C
1. Le vecteur variation de vitesse moyenne au point M_6 a pour expression :	$\Delta \vec{v}_6 = \vec{v}_5 - \vec{v}_6$	$\Delta \vec{v}_6 = \frac{\vec{v}_7 - \vec{v}_6}{t_7 - t_6}$	$\Delta \vec{v}_6 = \vec{v}_7 - \vec{v}_6$
2. Lors d'un mouvement rectiligne accéléré :	la direction du vecteur variation de vitesse est constante.	la direction et le sens du vecteur variation de vitesse sont constants.	la direction, le sens et la valeur du vecteur variation de vitesse sont constants.

2 Effet d'une force sur le mouvement

1. La résultante des forces est :	la force de plus grande intensité.	la force de plus faible intensité.	la somme des forces appliquées sur le système.
2. Si le vecteur variation de vitesse est nul :	le système est immobile.	le système est immobile ou en mouvement uniforme.	le système est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme.
3. Lors d'un mouvement rectiligne uniforme d'un système :	aucune force ne s'applique.	la résultante des forces est nulle.	la résultante des forces est constante.

3 Approche de la deuxième loi de Newton

1. La résultante des forces est :	de même direction et même sens que $\vec{v}$.	de même direction et même sens que $\Delta \vec{v}$.	de même direction, même sens et même valeur que $\Delta \vec{v}$.
2. Pour une même résultante des forces, plus la masse du système est élevée :	plus la variation de vitesse est faible.	plus la variation de vitesse est importante.	plus l'inertie est faible.
3. Lors d'une chute libre, $\Delta \vec{v}$ est :	horizontal.	vertical vers le haut.	vertical vers le bas.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P263

Questions Jeopardy ?

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

- a. Il est de même direction et même sens que la résultante des forces. b. La chute libre.

(Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 406)

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage

□ Savoir estimer la variation de vitesse d'un système connaissant sa masse et les forces qui s'exercent sur lui

18

19

22

□ Savoir estimer les forces qui s'exercent sur un système connaissant son comportement cinématique

13

[DIFF]

17

□ Savoir que la variation du vecteur vitesse dépend de la masse

13

21

Pour s'échauffer

5 Curling

Un palet de curling glisse selon une trajectoire rectiligne, sans perdre de vitesse.

1. Quelles forces s'exercent sur le palet ?
2. Que peut-on dire de la résultante des forces ?

6 Chute libre

Un enfant laisse tomber une bille en verre verticalement. On néglige l'action de l'air sur la bille.

1. Quelle force s'exerce sur la bille ? Donner ses caractéristiques.
2. Donner la direction et le sens du vecteur variation de vitesse.

7 Électron

Un électron se trouve dans un champ électrique $\vec{E}$ horizontal.

1. Quelle force s'applique sur l'électron ?
2. D'après la deuxième loi de Newton, donner les caractéristiques du vecteur variation de vitesse.

8 Ouverture du parachute

Lors de l'ouverture du parachute, le parachutiste décélère.

1. Quelles sont les caractéristiques du vecteur variation de vitesse ?
2. En déduire la direction et le sens de la résultante des forces qui s'appliquent sur le système {parachutiste + parachute}.

9 Mario Kart

Sur un forum du jeu vidéo Mario Kart, on lit que Toad, le champignon, est plus facile à diriger que Donkey Kong, le gorille.

• Expliquer.



Pour commencer

Vecteur variation de vitesse

10 Connaître les propriétés du vecteur variation de vitesse

✓ MATH : Utiliser le modèle du vecteur en physique

On a représenté les positions successivement occupées par un système à intervalle de temps régulier.

• Dans chaque cas, choisir la bonne proposition. Justifier.

	Proposition A	Proposition B
Cas 1		
	Proposition A	Proposition B
Cas 2		

	Proposition A	Proposition B
Cas 3		

Effet d'une force sur le mouvement

11 Cycliste

✓ MATH : Utiliser le modèle du vecteur en physique

✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces

Lors d'une descente, un cycliste accélère en ligne droite, dans le référentiel terrestre.

1. Quelles forces s'exercent sur le système {cycliste + vélo} ?
2. Quelles sont les caractéristiques du vecteur variation de vitesse ?
3. En déduire la direction et le sens de la résultante de ces forces.

Approche de la deuxième loi de Newton

12 Expérience lunaire

- ✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours
- ✓ MATH : Calcul littéral

En 1971, David Scott réalise une expérience à la surface de la Lune. Il laisse tomber un marteau (1,32 kg) et une plume de faucon (0,03 kg), en même temps, depuis la même hauteur. Les deux objets atteignent le sol au même moment.

1. Pourquoi peut-on affirmer que chaque objet est en chute libre ?
2. Montrer que, pour un objet en chute libre, la variation de vitesse ne dépend pas de sa masse.
3. Expliquer alors pourquoi les deux objets atteignent le sol au même moment.

Numérique

Retrouvez la vidéo historique de l'expérience réalisée par David Scott. [LLS.fr/PC1P265](https://www.lls.fr/PC1P265)

13 Falcon Heavy

- ✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces
- ✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

Le 6 février 2018, la Falcon Heavy, la fusée la plus puissante du monde, a été lancée depuis le centre spatial Kennedy en Floride. Les 27 moteurs fusées sont mis à feu et exercent une poussée $F = 22\,800\text{ kN}$.



1. Quelles forces s'exercent sur la fusée ?
2. Les représenter à l'échelle 1 cm $\leftrightarrow$ 10 000 kN.
3. Calculer la valeur de la résultante des forces.
4. En appliquant la deuxième loi de Newton, calculer la variation de la vitesse lors de la première seconde du décollage.

Données

- Masse de la fusée : $m = 1\,420\text{ tonnes}$;
- Intensité de pesanteur : $g = 9,81\text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Savoir estimer les forces qui s'exercent sur un système connaissant son comportement cinématique

14 Hockey sur glace

- ✓ VAL : Comparer deux résultats numériques

On étudie le mouvement d'un palet de hockey lors d'un tir. À l'instant initial, le palet est immobile. À l'issue du tir, la vitesse du palet atteint $140\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. La force exercée par le joueur sur le palet lors du tir s'exerce pendant une durée $\Delta t = 0,10\text{ s}$. On néglige les forces de frottement et le poids.

1. À l'aide de la deuxième loi de Newton, déterminer la force exercée par le joueur sur le palet lors du tir.
2. Vérifier que le poids du palet est négligeable par rapport à la force exercée par le joueur.

Données

- Masse du palet : $m = 170\text{ g}$;
- Intensité de pesanteur : $g = 9,81\text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

15 Chute d'un grêlon

- ✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces

On étudie la chute d'un grêlon. À l'instant $t_2 = 1,0\text{ s}$, le grêlon a une vitesse $v_2 = 13,8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. À l'instant $t_3 = 2,0\text{ s}$, le grêlon a une vitesse $v_3 = 15,0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1. Calculer la valeur du vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}_2$ à l'instant $t_2 = 1,0\text{ s}$.

2. À l'aide de la deuxième loi de Newton, calculer la résultante des forces s'appliquant au grêlon à l'instant t_2 .
3. Quelles sont les forces qui s'exercent sur le grêlon à l'instant t_2 ? Donner leur direction et leur sens.
4. Calculer l'intensité de chacune des forces.

Donnée

- Masse du grêlon : $m = 20\text{ mg}$.

16 Chute d'une goutte d'eau

- ✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces

On étudie la chute d'une goutte de pluie. On a déterminé la valeur de la vitesse à différentes dates.

$t\text{ (s)}$	3,0	3,2	3,4
$v_G\text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})$	19,6	20,3	21,0

1. À l'aide de la deuxième loi de Newton, déterminer l'intensité de la résultante des forces à $t = 3,2\text{ s}$.
2. Quelles sont les forces qui s'appliquent sur la goutte ? Donner leurs caractéristiques.

Données

- Volume de la goutte : $V = 0,05\text{ cm}^3$;
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

- ✓ REA : Effectuer des mesures
- ✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques
- ✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces

Saut en parachute

Énoncé

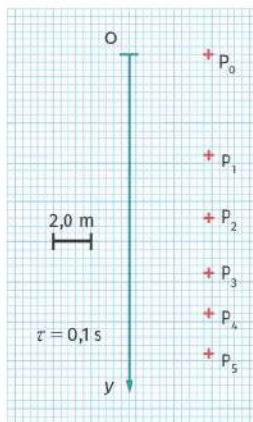
On a représenté les vecteurs vitesse d'une parachutiste munie de son parachute, pour chacune de ses positions successives, à partir de l'instant où elle ouvre son parachute (t_0). Dans cette étude, le système {parachutiste + parachute} est assimilé à un point matériel P.

Étude cinématique

1. Calculer les valeurs de v_1 et v_2 et tracer le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}_1$ au point P_1 . Donner ses caractéristiques.

Étude dynamique

2. Quelles sont les forces qui s'appliquent sur le système {parachutiste + parachute} ? Donner leur direction et leur sens.
3. En appliquant la deuxième loi de Newton, calculer la résultante des forces appliquées au point P_1 . Donner son sens et sa direction.
4. En déduire l'intensité de la force exercée par l'air au point P_1 .



DONNÉES

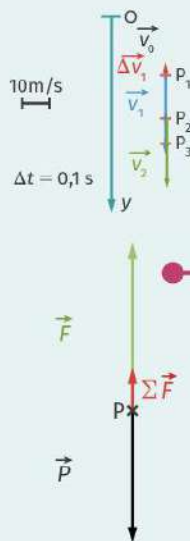
- Masse du système : $m = 90 \text{ kg}$;
- Intensité de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Donner la direction, le sens et la longueur du vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}_1$?
2. Identifier les forces qui s'appliquent sur le système {parachutiste + parachute} et leurs caractéristiques.
3. Écrire la deuxième loi de Newton au point P_1 entre les instants t_1 et t_2 .
4. Écrire la relation entre $\Sigma \vec{F}$, le poids $\vec{P}$ et la force de freinage $\vec{F}$.

Solution rédigée

1. $P_1P_2 = 8 \text{ carreaux} = \frac{8 \times 2}{5} = 3,2 \text{ m}$;
 $v_1 = \frac{P_1P_2}{\tau} = 32 \text{ m/s}$. De même :
 $P_2P_3 = 2,8 \text{ m}$; $v_2 = \frac{P_2P_3}{\tau} = 28 \text{ m/s}$
 $\Delta v_1 = |v_2 - v_1| = |28 - 32| = 4,0 \text{ m/s}$
 $\Delta \vec{v}_1$ est vertical vers le haut.
2. Les forces qui s'appliquent sur le système sont :
 - le poids $\vec{P}$ vertical vers le bas ;
 - la force de freinage du parachute $\vec{F}$ verticale vers le haut.
3. D'après la deuxième loi de Newton, appliquée au point matériel P à l'instant t_1 : $m \cdot \frac{\Delta \vec{v}_1}{\tau} = \Sigma \vec{F}$.
 $\Sigma \vec{F}$ est de même direction et même sens que $\Delta \vec{v}_1$: vertical vers le haut, et a pour intensité :
 $\Sigma F = m \cdot \frac{\Delta v_1}{\tau} = 90 \times \frac{4,0}{0,1} = 3\,600 \text{ N (1)}$.
4. Par projection sur l'axe vertical, $\Sigma F = F - P$:
 $F = \Sigma F + P = \Sigma F + m \cdot g = 3\,600 + 90 \times 9,81 = 4,5 \times 10^3 \text{ N}$.



POUR BIEN RÉPONDRE

1. Le vecteur $\Delta \vec{v}_1$ se construit en reportant le vecteur $\vec{v}_2$ au point P_1 , puis l'opposé du vecteur $\vec{v}_1$ à l'extrémité du vecteur $\vec{v}_2$.
2. Le système est soumis à l'action de la Terre et à l'action de l'air.
3. Écrire la relation vectorielle puis scalaire entre $\Delta \vec{v}_1$ et $\Sigma \vec{F}$. Réaliser l'application numérique en faisant attention aux unités et en respectant le nombre de chiffres significatifs.
4. Schématiser $\Sigma \vec{F}$, le poids $\vec{P}$ et la force de freinage $\vec{F}$ et en déduire la relation liant l'intensité de ces forces.

17 Mise en application

Avant l'ouverture du parachute, la variation de vitesse entre l'instant $t_1 = 1 \text{ s}$ et $t_2 = 3 \text{ s}$ vaut $\Delta v_1 = 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Calculer la résultante des forces s'exerçant sur le système {parachutiste + parachute} à l'instant $t_1 = 1 \text{ s}$.
2. En déduire l'intensité de la force exercée par l'air.

Pour s'entraîner

Données Pour tous les exercices du chapitre

• Intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

18 Contrôle technique

- ✓ VAL : Comparer deux valeurs numériques
- ✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques
- ✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces

Lors d'un contrôle technique, on étudie le freinage d'une voiture de poids $P = 9,6 \text{ kN}$. La force de freinage totale (avant et arrière) mesurée vaut $F = 8,92 \text{ kN}$.

1. Quelles sont les forces qui s'appliquent sur la voiture ? Les schématiser à l'échelle.
2. Donner les caractéristiques de la résultante des forces.
3. Calculer la variation de vitesse de la voiture en 1 seconde lors du freinage en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ puis en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

19 Swing de golf

- ✓ REA : Effectuer des mesures
- ✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces

Au golf, le *swing* est le mouvement effectué pour déplacer la balle jusqu'à la distance souhaitée. La chrono-photographie ci-dessous a été réalisée avec une balle de 46 g, un club de 120 cm et un réglage de 100 images par seconde. Dans cette étude, on assimile la balle à un point matériel B.



1. Lorsque la balle se situe à la position B_0 , quelles forces s'exercent sur elle ? Les représenter sur un schéma, avec une échelle appropriée.
2. Quelle force permet la mise en mouvement de la balle entre B_0 et B_1 ?
3. Calculer la valeur de la vitesse au point B_1 .

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P267

Comprendre les attendus

20 Les drones

✓ MATH : Utiliser les vecteurs

Un drone est un petit avion télécommandé sans équipage. Bien qu'il puisse avoir un usage militaire, il est devenu un objet connecté à la mode.



Il permet de réaliser des figures acrobatiques ou des photos et vidéos prises en hauteur grâce à une caméra embarquée. On étudie ici l'ascension verticale du drone.

1. Après 1 seconde de mise en marche, le drone atteint une vitesse de $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Donner les caractéristiques du vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ entre les instants $t_0 = 0 \text{ s}$ et $t_1 = 1 \text{ s}$.
2. À l'aide de la deuxième loi de Newton, déterminer les caractéristiques de la résultante des forces appliquées au drone pendant $\Delta t = t_1 - t_0$.
3. Quelles forces s'exercent sur le drone entre ces deux instants ? Donner leurs caractéristiques.
4. Schématiser ces forces à l'échelle.
5. On ajoute à bord du drone une caméra. Quelle doit être la valeur de la force de poussée pour maintenir le drone à sa position précédente ?

Données

• Masse du drone : 500 g ; • Masse de la caméra : 60 g.

Détails du barème

TOTAL/11 pts

1. Indiquer la direction et le sens. Donner l'expression littérale puis l'application numérique. Exprimer le résultat en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. 2 pts
2. Indiquer la direction et le sens. Donner l'expression de la deuxième loi de Newton puis l'application numérique. Exprimer le résultat en N. 2 pts
3. Indiquer pour le poids : direction, sens et intensité ; pour la force de poussée : direction, sens et intensité. 3 pts
4. Vérifier la direction et le respect du sens. Choisir et respecter une échelle de représentation. 2 pts
5. Justifier clairement la démarche. Faire l'application numérique en prenant en compte le surplus de masse apporté par la caméra. 2 pts

21 Le bobsleigh

- ✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces
- ✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

Au départ d'une compétition, deux athlètes poussent leur bobsleigh sur une portion de piste glacée horizontale sur une durée de 3 s, avant de prendre place à l'intérieur. On suppose que le bobsleigh glisse sans frottement.



Équipe de bobsleigh allemande, championne du monde 2018.

1. Quelles sont les forces qui s'appliquent sur le système {bobsleigh + athlètes} à l'instant initial ? Les représenter sur un schéma à l'échelle.
2. Quelle force est responsable de la mise en mouvement du bobsleigh ? La représenter sur le schéma réalisé sans souci d'échelle.
3. La vitesse acquise à l'issue de la phase de poussée vaut $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. En supposant que la deuxième loi de Newton s'applique lors de la durée de cette phase, déterminer l'intensité de la force de poussée exercée par l'athlète.

Donnée

- Masse du {bobsleigh + athlètes} : $m = 630 \text{ kg}$.

22 Découverte de l'électron

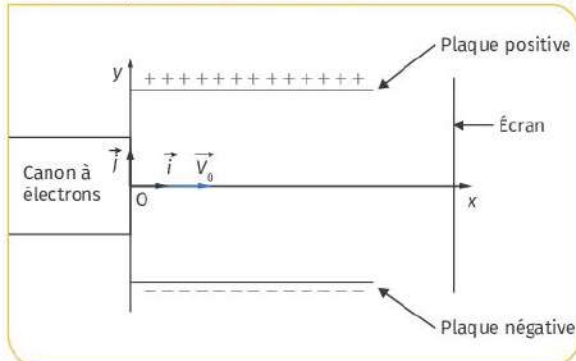
- ✓ RAI/MOD : Faire un bilan des forces
- ✓ VAL : Comparer observations expérimentales et résultats théoriques

En 1897, le physicien britannique Joseph Thomson découvre l'existence de l'électron. Il utilise un tube à vide, où les électrons sont émis au niveau de la cathode puis accélérés rectilignement. Le faisceau passe ensuite entre deux plaques de charges électriques opposées. Il observe alors la déviation du faisceau d'électrons vers la plaque chargée positivement grâce à un écran muni d'une plaque phosphorescente. Il en déduit que les électrons sont chargés négativement.

1. Reproduire le schéma et représenter le champ électrique $\vec{E}$ entre les deux plaques sans souci d'échelle.
2. Montrer que le poids de l'électron est négligeable devant la force électrique.
3. Appliquer la deuxième loi de Newton.

4. Donner le sens et la direction du vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$.
5. Tracer l'allure de la trajectoire de l'électron sur le schéma après l'avoir reproduit.
6. En déduire que les observations expérimentales sont conformes à la théorie.

Schéma simplifié d'un canon à électrons.



Données

- Intensité du champ électrique : $E = 15,0 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$;
- Masse de l'électron : $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$;
- Charge élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Numérique

Retrouvez une vidéo expliquant l'expérience de Thomson. [LLS.fr/PC1P268](https://lls.fr/PC1P268)

23 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur. Les questions sont indépendantes.

1. D'après la deuxième loi de Newton :

$$m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{t} = \sum \vec{F}$$

2. Lors d'une chute libre le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ est vertical, vers le bas et a pour valeur g .

3. Lors d'un lancer franc, les forces qui s'exercent sur le ballon sont :

- son poids,
- la force de lancer.

4. Lors d'une chute, la plume est soumise :

- aux frottements exercés par l'air $\vec{f}$,
- au poids $\vec{P}$.

La résultante des forces a pour intensité :

$$\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{f}$$

Pour aller plus loin

24 Satellite franco-chinois

✓ MATH : Calcul littéral

✓ APP : Extraire l'information sur supports variés

BAC

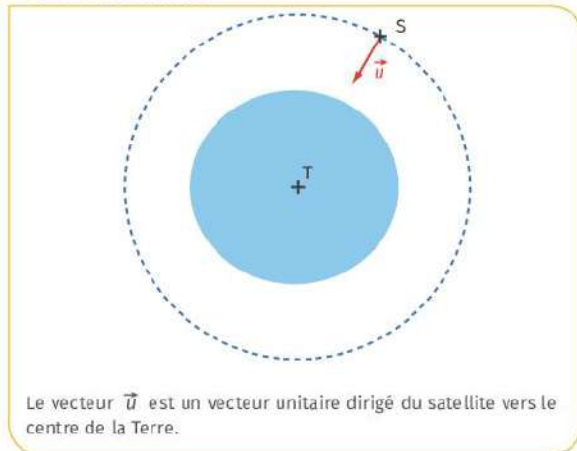
Le 29 octobre 2018, les agences spatiales française et chinoise ont placé un satellite CFOSAT en orbite à $h = 520$ km d'altitude autour de la Terre. Ce satellite a pour mission d'observer les océans et de prévoir les effets du réchauffement climatique.

1. Quelle force s'exerce sur le satellite lorsqu'il est en orbite autour de la Terre ? Donner son expression vectorielle.
2. Reproduire le schéma et représenter cette force en définissant une échelle.
3. Dans le référentiel géocentrique, il est en mouvement circulaire uniforme. Donner la direction et le sens du vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$. Le représenter sur la figure.
4. Lors du mouvement circulaire uniforme du satellite, la variation de sa vitesse v par rapport au temps vaut : $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{R}$ avec R le rayon de l'orbite. Appliquer la deuxième loi de Newton et montrer que la vitesse du satellite a pour valeur :

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R_T + h}}$$

5. Calculer v en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Schéma de la situation



Données

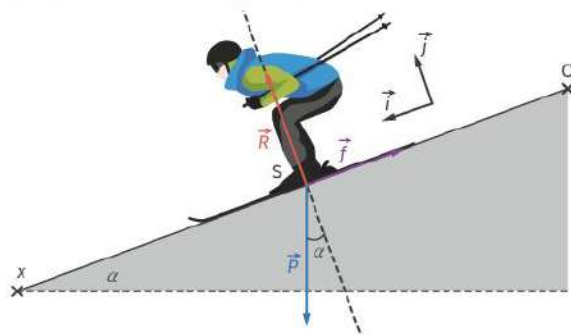
- Masse du satellite : $m = 650$ kg ;
- Masse de la Terre : $M = 5,974 \times 10^{24}$ kg ;
- Rayon de la Terre : $R_T = 6370$ km ;
- Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ USI.

25 Descente de ski

✓ MATH : Le modèle du vecteur en physique

Une skieuse descend une piste inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale. Le mouvement du système {skieuse + skis} est rectiligne uniforme. On appelle $\vec{R}$

la réaction du support, $\vec{P}$ le poids et $\vec{f}$ les forces de frottement. Voir schéma ci-après.



1. Choisir la bonne relation :

- a. $R - m \cdot g \cdot \sin(\alpha) = 0$. b. $R + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) = 0$.
c. $R - m \cdot g \cdot \cos(\alpha) = 0$. d. $R + m \cdot g \cdot \cos(\alpha) = 0$.

2. Choisir la bonne relation :

- a. $f + m \cdot g \cdot \cos(\alpha) = 0$. b. $f - m \cdot g \cdot \cos(\alpha) = 0$.
c. $f + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) = 0$. d. $f - m \cdot g \cdot \sin(\alpha) = 0$.

26 Saut à moto

✓ VAL : Précision et incertitudes

✓ VAL : Commenter un résultat numérique

BAC

Le cascadeur Robbie Maddison a établi un nouveau record en sautant pour la première fois en 2010 au-dessus du canal de Corinthe en Grèce. Il a quitté le tremplin à 125 km/h et il a dépassé les 95 mètres de hauteur au-dessus de l'eau.

D'après le sujet Bac S, Pondichéry, 2017.



1. À l'aide de la chronophotographie ci-dessous, montrer que le mouvement selon (Ox) est uniforme.



2. On a mesuré la vitesse horizontale v_x pour chaque position du système.

$v_x (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	28,3	29,1	28,7	29,0	27,7	29,0
--------------------------------------	------	------	------	------	------	------

Donner le résultat des mesures sous la forme :

$v_x = \overline{v_x} \pm U(v_x)$, où $\overline{v_x}$ est la valeur moyenne des N mesures et $U(v_x)$ l'incertitude avec un niveau de confiance à 95 % telle que : $U(v_x) = \frac{1,41}{\sqrt{N}}$.

3. La vitesse annoncée en sortie de tremplin $v_0 = 125$ km/h est-elle vérifiée sachant que l'inclinaison en sortie de tremplin vaut $\alpha = 34,5^\circ$?

27 Viscosité d'une huile essentielle

- ✓ RAI/ANA : Utiliser des mesures et des documents pour répondre à une problématique
- ✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques
- ✓ VAL : Identifier les sources d'erreurs

La viscosité d'un fluide, notée η , caractérise sa capacité à s'écouler. Dans l'industrie pharmaceutique, il est essentiel de contrôler la viscosité des huiles essentielles pour que celle-ci ait la même texture à chaque fabrication.



Questions préliminaires

1. D'après le **doc. 1**, caractériser le mouvement de la bille à partir de 0,33 s.
2. Quelle information en déduire quant aux forces qui s'exercent sur la bille ?

Problème

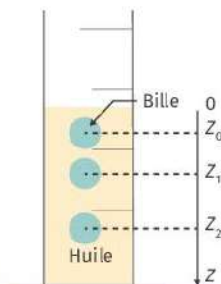
3. Déterminer la viscosité de l'huile essentielle étudiée. Évaluer les possibles erreurs dues au protocole mis en œuvre.

Données

- Masse volumique de l'huile essentielle : $\rho_{\text{huile}} = 860 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- Masse volumique de la bille : $\rho_{\text{bille}} = 4\,490 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
- Masse de la bille : $m = 4,7 \text{ g}$;
- Rayon de la bille : $r = 6,3 \text{ mm}$;
- Volume de la bille : $V = 1,05 \times 10^{-6} \text{ m}^3$;
- Intensité de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Doc. 1 Expérience réalisée

On étudie la chute d'une bille dans une éprouvette graduée remplie d'huile essentielle. À partir d'un pointage vidéo, on mesure la vitesse de la bille à intervalles de temps réguliers.



t(s)	$v_x(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
0	0,165
0,33	0,414
0,66	0,517
0,99	0,598
1,32	0,724
1,65	0,785
1,98	0,912
2,31	0,955
2,64	0,985
2,97	1,02
3,3	1,02
3,63	1,02
3,96	1,03
4,29	1,02

Doc. 2 Forces exercées par un fluide

Lors du mouvement d'un objet sphérique dans un fluide, il s'exerce sur l'objet :

- la poussée d'Archimède : $\vec{P} = -\rho_{\text{fluide}} \cdot V \cdot \vec{g}$ avec :
 - ρ_{fluide} la masse volumique du fluide en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
 - V le volume de l'objet immergé dans le fluide en m^3 ;
 - $\vec{g}$ le champ de pesanteur.
- la force de frottements fluides : $\vec{f} = -6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot \vec{v}$ avec :
 - η la viscosité du fluide en $\text{Pa} \cdot \text{s}$;
 - r le rayon de l'objet sphérique en m ;
 - v la vitesse de l'objet en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Retour sur la problématique du chapitre

28 Scarlet Witch et le train de la mort

- ✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement
- ✓ REA : Effectuer des calculs littéraux et numériques

Dans le deuxième volet d'*Avengers*, Scarlet Witch utilise ses super pouvoirs pour stopper, en 15 secondes, le train de la mort, un train aux commandes désactivées. Au moment où Scarlet met en application son super pouvoir, le train se déplace à $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Numérique

Retrouvez l'extrait vidéo du film. [LLS.fr/PC1P270](https://lls.fr/PC1P270)

- Déterminer l'intensité de la force exercée par l'héroïne pour arrêter le train.

Hypothèses :

- on suppose que le train se déplace en ligne droite pendant toute la durée de la scène ;
- la durée de la manœuvre est supposée suffisamment courte pour appliquer la deuxième loi de Newton ;
- la force appliquée par Scarlet a les mêmes caractéristiques tout au long du mouvement ;
- les frottements de l'air sont négligeables par rapport à la force exercée par Scarlet.

Donnée

- Masse du train : $m = 400 \text{ tonnes}$.

PYTHON

Tracer un vecteur variation de vitesse

A Afficher le vecteur vitesse d'un point matériel sur la trajectoire

Objectif de l'activité : on utilise le script ci-contre ([LLS.fr/PC1P271](https://lls.fr/PC1P271)) pour afficher la trajectoire d'un point mobile et le vecteur vitesse moyenne de ce point à une date donnée.

1. Rappeler la formule du vecteur vitesse au point M_3 , approximé au vecteur vitesse moyenne entre M_2 et M_3 . Quelle différence observe-t-on dans le calcul des coordonnées du vecteur vitesse dans le script ?

```
1 import matplotlib.pyplot as plt
2 x=[]
3 y=[]
4 plt.plot(x,y,'r+',ms=20.) # tracé des points, ms détermine la taille des marqueurs.
5 plt.axis('equal')          # normalisation du repère.
6 def vitesse(x,y,i) :
7     # x et y sont des listes contenant les coordonnées, i le numéro du point
8     # dont on affiche la vitesse.
9     plt.arrow(x[i],y[i],(x[i+1]-x[i]),(y[i+1]-y[i]), shape='full', lw=1,
10             length_includes_head=True,rasterized=True, color = 'c', head_width=.05,fc='c')
11 vitesse(x,y,4)              # appel de la fonction, ici au point 5 (4+1).
12 plt.show()                  # affichage du tracé.
```

Analyse du problème

Le vecteur vitesse moyenne est colinéaire au vecteur déplacement avec un facteur $\frac{1}{\Delta t}$.

Dans cette activité, on souhaite uniquement observer la direction du vecteur vitesse et du vecteur variation de vitesse, il n'est donc pas nécessaire de prendre en compte ce facteur multiplicatif.

Les coordonnées doivent être rentrées dans des listes pour que la fonction aille chercher les coordonnées x_i et x_{i+1} ainsi que y_i et y_{i+1} .

B Tracer le vecteur variation de vitesse

LABO
PYTHON

Objectif : À partir du script précédent, ajouter les lignes de code permettant de faire apparaître le vecteur vitesse moyenne au point M_{i+1} $\vec{v}_{i+1}$ puis le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}_i = \vec{v}_{i+1} - \vec{v}_i$.

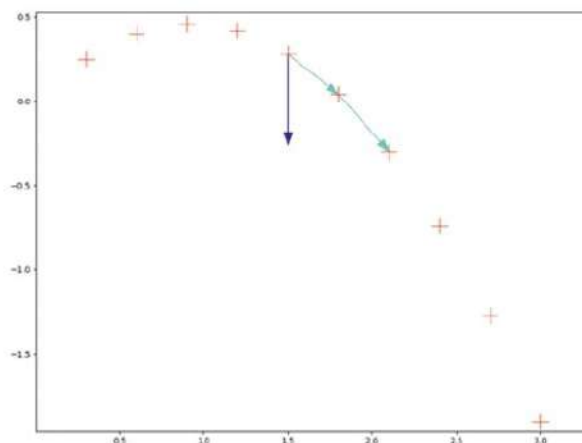
Analyse du problème

On n'effectue pas les calculs complets du vecteur variation de vitesse. On se contente de faire la différence des vecteurs déplacement afin de pouvoir trouver la direction du vecteur variation de vitesse.

Mise en œuvre : Effectuer le tracé du vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}_i$ pour plusieurs points de la trajectoire suivante qui correspond au mouvement d'une balle à la surface de la Terre.

$$M_1 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}; M_2 \begin{pmatrix} 0,3 \\ 0,25 \end{pmatrix}; M_3 \begin{pmatrix} 0,6 \\ 0,40 \end{pmatrix}; M_4 \begin{pmatrix} 0,9 \\ 0,46 \end{pmatrix}; M_5 \begin{pmatrix} 1,2 \\ 0,42 \end{pmatrix};$$

$$M_6 \begin{pmatrix} 1,5 \\ 0,28 \end{pmatrix}; M_7 \begin{pmatrix} 1,8 \\ 0,04 \end{pmatrix}; M_8 \begin{pmatrix} 2,1 \\ -0,30 \end{pmatrix}; M_9 \begin{pmatrix} 2,4 \\ -0,74 \end{pmatrix}.$$



Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour vous entraîner à programmer en langage Python sur le labo d'algo en ligne. ([LLS.fr/Python](https://lls.fr/Python))

L'encre électronique

Énoncé

Les liseuses ont fait leur apparition à la toute fin du XX^e siècle. Elles ont connu un grand succès depuis, notamment grâce à leur importante capacité de stockage de livres, mais aussi grâce à leur affichage : le papier électronique.

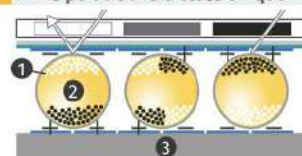
Une feuille de papier électronique est constituée de millions de microcapsules (voir **doc. 1**), dont le diamètre est environ celui d'un cheveu. Ces microcapsules contiennent de l'huile (2) dans laquelle sont plongés des pigments noirs chargés négativement et des pigments blancs chargés positivement. Ces microcapsules sont positionnées entre deux électrodes. L'intensité du champ créé entre ces électrodes peut être calculée à l'aide de la relation $E = \frac{U}{d}$ où U est la tension entre les deux électrodes et d la distance entre ces deux électrodes.

1. Pour que la liseuse soit entièrement blanche, quels doivent être les signes des charges portées respectivement par les deux électrodes ?
2. Schématiser les deux électrodes précédentes, puis représenter le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ engendré entre ces électrodes, sans souci d'échelle.
3. Représenter les forces électrostatiques $\vec{F}_{e/bl}$ et $\vec{F}_{e/no}$ auxquelles sont respectivement soumis un pigment blanc et un pigment noir, situés entre ces électrodes.
4. On suppose que la tension de 3,7 V créée par la batterie est directement induite aux électrodes, séparées de 70 μm . Calculer l'intensité du champ électrostatique $\vec{E}$ créé alors.
5. Soit un pigment blanc dont la masse est $m_b = 1,8 \times 10^{-14}$ kg. Calculer son poids P_b .
6. Déterminer la charge électrique q que doit porter ce pigment pour que la force électrostatique F_e subie soit dix fois supérieure à P_b .

DONNÉE

$$g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

Doc. 1 Principe de l'encre électronique



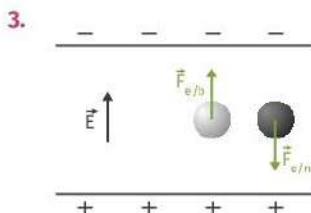
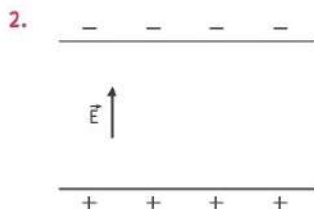
- 1 Microcapsules transparentes
- 2 Huile transparente
- 3 Couche de support inférieure

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Identifier les conditions sur les pigments pour que la liseuse soit blanche.
2. Rappeler la caractéristique d'un champ électrostatique créé entre deux plaques.
3. Quelle relation lie le champ électrostatique aux forces électrostatiques subies ?
4. Utiliser la relation liant E et U .
5. Rappeler la relation liant P_b et m_b .
6. Quelle relation lie q et F_e ? Comment traduire la condition : F_e dix fois supérieure à P_b ? Comment en déduire q ?

Solution rédigée

1. Les pigments blancs sont chargés positivement, ils sont donc attirés par une électrode chargée négativement. L'électrode supérieure doit donc être chargée négativement et celle inférieure positivement.



$$4. E = \frac{U}{d} = \frac{3,7}{70 \times 10^{-6}} = 5,3 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}.$$

$$5. P_b = m_b \cdot g = 1,8 \times 10^{-14} \times 9,81 = 1,8 \times 10^{-13} \text{ N}.$$

$$6. F_e = q \cdot E = 10P_b, \text{ donc } q = \frac{10P_b}{E} = \frac{10 \times 1,8 \times 10^{-13}}{5,3 \times 10^4} = 3,4 \times 10^{-17} \text{ C}.$$

1 La descente du Terrible

Doc. 1 Le Terrible, un sous-marin français

La France possède actuellement 10 sous-marins dont le Terrible, le dernier à avoir été mis en service le 20 septembre 2010. Celui-ci peut descendre à une profondeur de 400 m en emportant à son bord 111 hommes. Il fait 138 m de longueur et a une masse de 12 640 tonnes lorsqu'il est en surface. Il déplace $1,43 \times 10^4 \text{ m}^3$ d'eau lorsqu'il est totalement immergé. Sa coque est fabriquée dans un acier pouvant supporter 1 000 N par mm^2 .



Doc. 2 La poussée d'Archimède

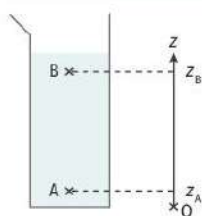
Un sous-marin au repos est soumis à deux forces verticales : son poids et la poussée d'Archimède. La poussée d'Archimède est une force orientée vers le haut, engendrée par la différence de pression de l'eau entre le bas et le haut du sous-marin. Son intensité Π est égale au produit de la masse d'eau déplacée par l'intensité de la pesanteur g :

$$\Pi = m_{\text{eau déplacée}} \cdot g.$$

Un sous-marin peut modifier sa masse en introduisant de l'eau dans ses ballasts. Lorsque le sous-marin est immergé, il remplit ses ballasts pour que la poussée d'Archimède soit de même intensité que son poids, afin de ne pas couler directement au fond de l'eau. On dit qu'il flotte entre deux eaux.

Pour remonter, le sous-marin introduit de l'air dans les ballasts afin de chasser une partie de son eau. Sa masse diminue alors.

Doc. 3 Loi fondamentale de la statique des fluides



Dans un champ de pesanteur g uniforme, la différence de pression P entre deux points A et B vaut $P_A - P_B = \rho \cdot g \cdot (z_B - z_A)$ où P est en pascal (Pa), la masse volumique du fluide ρ en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, et z en mètre (m).



Données

- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 1,000 \text{ atm} = 1013 \text{ hPa}$; $1,00 \text{ bar} = 100 \times 10^3 \text{ Pa}$;
- $\rho(\text{CO}_2) = 1,87 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

- $\rho(\text{eau de mer}) = 1,0359 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$;
- $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Questions

1 Le Terrible au repos en profondeur

1. Représenter sur un schéma le poids du Terrible ainsi que la poussée d'Archimède qu'il subit lorsque ces deux forces se compensent.
2. Que peut-on dire du vecteur variation de vitesse ?
3. Déterminer la masse d'eau de mer que le Terrible doit introduire dans ses ballasts pour que son poids soit de même intensité que la poussée d'Archimède qu'il subit.

2 Une Terrible pression ?

1. À l'aide de la loi fondamentale de la statique des fluides, calculer la pression de l'eau entourant le sous-marin lorsque celui-ci est immergé à 350 m de profondeur.
2. Calculer l'intensité de la force de pression de l'eau agissant sur $1,5 \text{ m}^2$ de la coque du sous-marin.
3. Sachant que l'intérieur d'un sous-marin est laissé à 1,00 atm, calculer l'intensité de la force de pression de l'air sur $1,5 \text{ m}^2$ de sa coque.
4. Représenter ces deux forces sur un schéma à l'échelle 2 cm pour $1 \times 10^6 \text{ N}$.
5. Calculer la résultante de ces forces.
6. La coque supportera-t-elle cette force pressante ? Décrire le raisonnement.



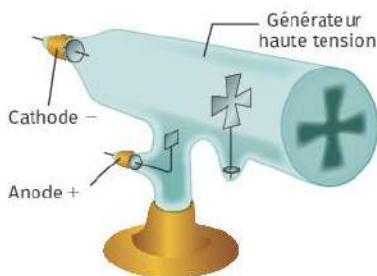
Retrouver plus de questions sur [LLS.fr/PC1P273](https://lls.fr/PC1P273)

2 Découverte de l'électron

Doc. 1 Du tube de Crookes à la découverte de l'électron par Thomson

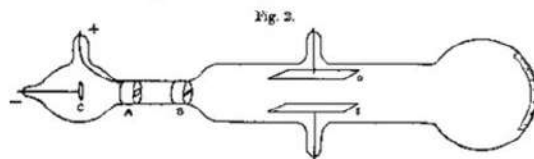
À la fin du XIX^e siècle, William Crookes (1832-1919) découvre que si on place deux électrodes sous tension dans un milieu à faible pression, la cathode (électrode chargée négativement) émet des radiations détectées sur le fond du tube par un matériau fluorescent. Ces rayons ont été appelés « rayons cathodiques ».

Quelques années plus tard, en 1897, Joseph Thomson (1856-1940) reprend ce tube en introduisant deux systèmes d'électrodes A/B et C/D. Les rayons cathodiques produits passent au travers des fentes des électrodes A et B, puis sont déviés lors de leur passage entre les électrodes D et E séparées de 1,5 cm.



Thomson observa :

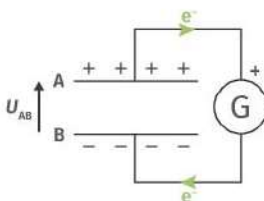
"The rays were depressed when the upper plate was connected with the negative pole of the battery, the lower with the positive, and raised when the upper plate was connected with the positive, the lower with the negative pole. The deflexion was proportional to the difference of potential between the plates, and I could detect the deflection when the potential-difference was as small as two volts."



Par la suite, Thomson réalise une nouvelle expérience en déviant les rayons cathodiques non plus par un champ électrostatique mais par un champ magnétique $\vec{B}$. Il détermina alors le rapport $\frac{e}{m}$ des électrons constituant les rayons cathodiques.

Doc. 2 Le condensateur plan

Un condensateur plan est constitué de deux plaques métalliques entre lesquelles on induit une différence de potentiel, aussi appelée tension électrique U . Cette tension engendre un champ électrostatique uniforme $\vec{E}_{\text{elec}}$ entre les deux plaques, dont on peut déterminer l'intensité à l'aide de la relation : $E_{\text{elec}} = \frac{U}{d}$ (d est la distance entre les deux plaques en mètre avec U en volt (V) et E en newton par coulomb ($\text{N}\cdot\text{C}^{-1}$)).



Données

- $m_{\text{électron}} = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$;
- $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Numérique

Retrouvez plus de sujets
Bac en version numérique.

[LLS.fr/PC1P274](https://lls.fr/PC1P274)

Questions

1 Déviation des électrons

1. Reproduire le schéma du doc. 2 en représentant un vecteur champ électrostatique $\vec{E}_{\text{elec}}$ entre les deux plaques.
2. Calculer l'intensité du champ E_{elec} créé entre les deux plaques D et E de l'expérience de Thomson, pour la tension minimale pour laquelle il observe une déviation des rayons cathodiques.
3. Dédire des observations de Thomson que les rayons cathodiques sont chargés négativement.
4. Par la suite, Thomson déduit que les rayons cathodiques sont constitués d'un faisceau d'électrons. Calculer l'intensité de la force électrique subie par un électron de ce faisceau, lorsqu'il est situé entre les deux plaques.
5. Les électrons sont aussi soumis à leur poids, bien que celui-ci soit de trop faible intensité pour qu'on puisse en observer les effets. Déterminer la masse qu'un électron devrait avoir pour que son poids engendre la même déviation que la force électrostatique calculée précédemment.

2 Accélération des électrons

1. Le système d'électrodes A et B peut permettre d'accélérer les électrons envoyés par la cathode. Identifier le signe des charges électriques portées par ces plaques A et B.

3 Tir parabolique

Doc. 1 Aux origines du mouvement

Depuis très longtemps, on a cherché à comprendre les mouvements que l'on observait, que ce soit ceux des astres ou bien des objets qui nous entourent.

Aristote a défini deux types de mouvements :

- les mouvements naturels où les objets cherchent à retourner à leur place propre ;
- les mouvements violents qui sont des mouvements forcés, où les objets s'éloignent de leur place propre.

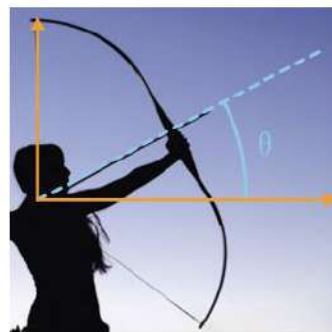
Durant le Moyen Âge, un nouveau concept est introduit, l'*impetus*. Lorsqu'un objet est mis en mouvement, il reçoit de l'*impetus* et c'est cet *impetus* qui lui permet de maintenir son mouvement.



Au XVII^e siècle, Galilée introduit la notion d'inertie : un corps persévère naturellement dans son mouvement rectiligne uniforme, sauf s'il

subit une contrainte qui l'en dévierait. Ainsi un objet envoyé en l'air continuerait son mouvement en ligne droite à la même vitesse, s'il ne subissait pas une contrainte qui modifierait sa trajectoire.

Doc. 2 Le tir à l'arc



Lors de l'épreuve olympique de tir à l'arc en extérieur, les tireurs doivent atteindre une cible qui se trouve à 70 mètres. Lors de ce lancer, la trajectoire de la flèche est parabolique, elle dépend de l'angle avec lequel la flèche est tirée, ainsi que de sa vitesse de lancement.

La distance maximale parcourue par la flèche est appelée portée. Si on néglige les frottements de l'air et que l'on prend pour origine du repère la position initiale de la flèche, on peut calculer cette distance à l'aide de la relation :

$$D = \frac{v^2}{g} \cdot \sin(2\theta)$$

avec v la vitesse de lancer de la flèche et g l'intensité de la pesanteur terrestre.

Données

- $m_{\text{Lune}} = 7,3477 \times 10^{22} \text{ kg}$;
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$;
- $R_{\text{Lune}} = 1\,737 \text{ km}$;
- $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Questions

1. Pour Aristote l'endroit naturel des objets solides est le sol. Interpréter alors le mouvement de la flèche d'après la théorie d'Aristote.
2. D'après le modèle établi par Galilée, quel devrait être le mouvement de la flèche une fois lancée si elle ne subissait aucune action ?
3. Identifier l'action exercée sur la flèche expliquant son mouvement parabolique.

Une flèche est lancée à une vitesse de $300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ avec un angle de 5° par rapport à l'horizontale.

4. Calculer la distance D_1 qu'elle va parcourir.
5. Exprimer θ à partir de la relation donnée dans le doc. 2.

Une nouvelle flèche est également lancée à $300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ et parcourt une distance de $D_2 = 70 \text{ m}$.

6. Calculer l'angle d'inclinaison avec lequel elle a été envoyée.

L'intensité de pesanteur g_{astre} à la surface d'un astre est liée à sa masse m et à son rayon R par la relation :

$$g_{\text{astre}} = G \cdot \frac{m}{R^2}$$

7. Calculer g_{Lune} avec les chiffres significatifs appropriés.

On imagine maintenant que le tireur est sur la Lune et lance sa flèche avec les mêmes conditions initiales qu'à la question 4., la flèche parcourt une distance D_{Lune} .

8. Déterminer la relation entre les grandeurs g , g_{Lune} , D_1 et D_{Lune} . Calculer la valeur de la distance D_{Lune} .

L'énergie : conversions

Parcours d'orientation - Les DUT autour de la Physique-Chimie

Spécialités suggérées en terminale :



+



ou



À la découverte de ce cursus

DUT (DIPLOME UNIVERSITAIRE DE TECHNICIEN)

Lieu : Université Durée de la formation : 2 ans

Au sein des universités, la formation en IUT a pour objectif de former des techniciens employables dès l'obtention de leur diplôme. Les élèves souhaitant poursuivre leur scolarité peuvent se spécialiser en licence professionnelle ou continuer sur un cursus plus long en licence ou en école d'ingénieur.

CARACTÉRISTIQUES DE LA FORMATION

- ♦ Taux d'encadrement ■■■■
- ♦ Spécialisation ■■■■
- ♦ Professionnalisation ■■■■
- ♦ Passe-relles possibles ■■■■

EXEMPLES DE DUT

- ♦ DUT mesures physiques : à découvrir sur [LLS.fr/PC1MesuresPhy](https://lls.fr/PC1MesuresPhy)
- ♦ DUT chimie : à découvrir sur [LLS.fr/PC1Chimie](https://lls.fr/PC1Chimie)
- ♦ DUT informatique : à découvrir sur [LLS.fr/PC1Info](https://lls.fr/PC1Info)

et transferts

Compétences



Retrouver les fiches méthode compétences sur lelivrescolaire.fr LLS.fr/PC1Methode.

INDICATEUR DE MAÎTRISE		chap. 14	chap. 15
RAI/ ANA	Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques	✓	
RAI/ ANA	Associer les unités de mesure à leurs grandeurs correspondantes Utiliser une analyse dimensionnelle		✓
REA	Agir de façon responsable/respecter les règles de sécurité	✓	
RAI/ MOD	Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie : discerner ressource et énergie/source et transfert/faire une chaîne d'énergie/appliquer le principe de conservation de l'énergie	✓	
RAI/ MOD	Faire le bilan de forces		✓
VAL	Traiter/exploiter/modéliser numériquement un ensemble de mesures		✓
VAL	Évaluer et connaître des ordres de grandeurs	✓	
MATH	Utiliser un langage de programmation		✓
MATH	Vecteurs, produit scalaire		✓
MATH	Utiliser des outils mathématiques : valeur absolue/grandeurs algébriques/fonction périodique ou affine	✓	

Études énergétiques en électricité

ESPRIT SCIENTIFIQUE



« Les appareils électriques en veille consomment très peu d'énergie. »

➤ Cette affirmation courante peut-elle être vérifiée ?

→ voir l'exercice 30, p. 294



Travailler

autrement

CLASSE
INVERSEE

Visionnez des capsules vidéo pour travailler sur les notions de puissance et d'énergie en électricité en autonomie. [LLS.fr/PC1P278](https://lls.fr/PC1P278)

Voir p. 295





→ De quels paramètres dépend la durée de rechargement de la batterie d'une voiture électrique ?

→ voir l'exercice 26, p. 292

À revoir pour bien commencer

- › Savoir exploiter la loi des mailles et la loi des nœuds
- › Savoir exploiter la caractéristique d'un dipôle
- › Savoir utiliser la loi d'Ohm

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P279

Objectifs du chapitre

- ☐ Relier intensité d'un courant continu et débit de charges
- ☐ Exploiter les notions de puissance et énergie
- ☐ Déterminer une dissipation par effet Joule
- ☐ Évaluer le rendement d'un dispositif

1 La tension aux bornes d'une pile dépend-elle du nombre de dipôles alimentés ? 80'

Émilie utilise une pile de 9 V pour faire briller des lampes associées en dérivation. Elle constate que la tension aux bornes de la pile diminue quand le nombre de lampes augmente.

→ Qu'est-ce que la caractéristique $U = f(I)$ d'une source réelle de tension ?

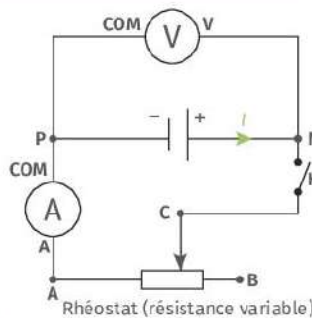
Par intuition

La tension aux bornes d'une pile plate de 4,5 V est-elle variable ?

Doc. 1 Comment tracer la caractéristique d'un générateur ?

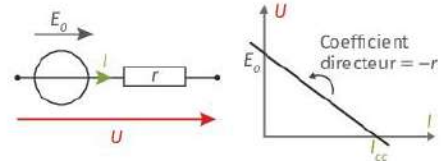
Pour obtenir la caractéristique $U = f(I)$ d'un générateur, il faut le connecter à une résistance R réglable. En modifiant la valeur de R , on ajuste l'intensité I du courant à la valeur désirée.

 **Retrouver le tracé** de la caractéristique d'un générateur en vidéo. [LLS.fr/PC1P280](https://lls.fr/PC1P280)



Doc. 2 Sources de tension continue

- Une source idéale de tension est un générateur parfait, caractérisé par une tension E_0 à ses bornes qui reste constante.
- Une source réelle de tension peut être modélisée par une source idéale de tension en série avec une résistance r appelée résistance interne de la source. La tension aux bornes de la source réelle a pour équation : $U = E_0 - r \cdot I$.



La tension aux bornes de la source varie en fonction de l'intensité du courant qui la traverse :

- E_0 est la tension à vide ;
- I_{cc} est l'intensité du courant de court-circuit, c'est-à-dire l'intensité du courant lorsque la source de tension est en court-circuit (ses deux bornes sont reliées par un fil).

Doc. 3 Matériel nécessaire

- | | |
|-----------------------------------|---|
| • Logiciel tableur-grapheur ; | • Rhéostat (ou potentiomètre) de 100Ω ; |
| • Pile de 4,5 ou de 9 V (6LR61) ; | • Fils de connexion ; |
| • Ampèremètre ; | • Interrupteur. |
| • Voltmètre ; | |

Compétence

✓ VAL : Modéliser numériquement un ensemble de mesures

1. Schématiser le montage effectué par Émilie avec une pile et trois lampes.
2. **Doc. 1** On souhaite tracer la caractéristique d'une pile similaire. Câbler le montage présenté en choisissant un calibre adapté pour le voltmètre et l'ampèremètre.
3. Effectuer les mesures nécessaires de U et de I en faisant varier la valeur de la résistance du rhéostat. Tracer la caractéristique $U = f(I)$ à l'aide d'un logiciel tableur-grapheur.
4. Modéliser cette caractéristique par une régression linéaire. Relever les valeurs du coefficient directeur de la droite et son ordonnée à l'origine, puis à l'aide du **doc. 2** en déduire les valeurs numériques des paramètres E_0 et r de la pile.
5. Quelle est la valeur de l'intensité de court-circuit I_{cc} pour le générateur réel ($U = 0$ V dans ce cas) ?

Synthèse de l'activité

La tension aux bornes d'un générateur réel de tension est-elle constante ? Si non, de quel(s) paramètre(s) dépend-elle ?

2 Bilan de puissance dans un montage électrique

80'

Le bilan de puissance d'une installation électrique permet d'identifier les appareils électriques les plus énergivores.

→ **Comment effectuer un bilan de puissance dans un circuit destiné à alimenter les phares à LED (DEL en français) d'une voiture ?**

Par intuition

Comment évolue la puissance délivrée par un générateur quand on allume plus de lampes dans le circuit ?

Doc. 1 Caractéristiques et protection d'une diode

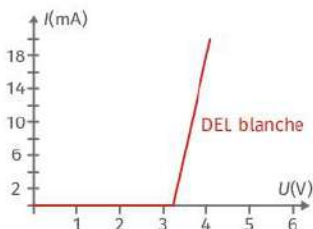
La propriété essentielle d'une diode est de ne laisser passer le courant électrique que dans un seul sens (le sens passant). Lorsqu'elle émet un rayonnement dans le visible, on l'appelle diode électroluminescente ou DEL.

Sa caractéristique est tracée ci-contre.

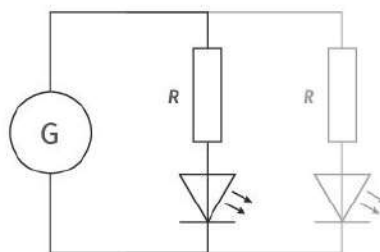
La diode est un dispositif fragile. L'intensité du courant qui la traverse ne doit pas dépasser 20 mA.

Pour cette raison, on ajoute un résistor de protection en série avec la diode.

Les diodes sont très utilisées dans le secteur automobile car leur puissance réduite et leur fort rendement permettent de réduire considérablement la consommation énergétique.



Doc. 2 Schéma du montage à réaliser



Partie A. Placer une seule diode et son résistor de protection.

Partie B. Ajouter la deuxième partie du circuit (en grisé sur le schéma).

Doc. 3 La puissance de transfert électrique

C'est le produit de la tension U en volt (V) aux bornes d'un dipôle par l'intensité électrique I en ampère (A) qui le traverse : $P = U \cdot I$. La puissance P s'exprime en watt (W).

Doc. 4 Matériel nécessaire

- Générateur de tension continue 5 V ;
- Deux DEL blanches ;
- Deux résistors de résistance 220Ω ;
- Deux multimètres (voltmètre, ampèremètre, ohmmètre) ;
- Fils de connexion.

Compétence

✓ RAI/MOD : Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie

1. **Doc. 1** À l'aide de la caractéristique de la diode, indiquer la tension aux bornes de la DEL lorsqu'elle est traversée par un courant maximal de 20 mA.
2. À l'aide de la loi des mailles et de la loi d'Ohm, calculer la valeur minimale de la résistance de protection à placer en série avec la DEL pour une tension d'alimentation de 5 V.
3. Câbler le montage avec une seule DEL et sa résistance de protection. Après vérification par le professeur, déterminer la puissance de chaque dipôle dans le circuit.
4. Trouver une relation entre ces puissances, appelée « bilan de puissance ».
5. Câbler le montage complet du **doc. 2** et refaire les mesures de la question 3.
6. Trouver une relation mathématique entre ces différentes puissances. Conclure.

Synthèse de l'activité

En utilisant les résultats des questions 4. et 6., indiquer comment évolue la puissance du générateur quand on augmente le nombre de dipôles dans le circuit.

3 Comment évaluer le rendement énergétique d'un dispositif ?

Certains véhicules de secours sont équipés d'un treuil permettant de tirer ou soulever une charge lourde.

→ Comment calculer le rendement énergétique d'un tel dispositif ?

Par intuition

Le rendement d'un dispositif de levage dépend-il de la charge soulevée ?

Doc. 1 Aide au protocole expérimental

L'expérience consiste à déterminer le rendement d'un dispositif de levage. Partant en position basse, la mise en action du moteur va permettre de soulever une charge de masse m , d'une hauteur h pendant la durée Δt .

L'expérimentateur doit :

- apporter un soin particulier pour mesurer la durée Δt du levage ;
- réaliser plusieurs expériences successives afin de valider les résultats expérimentaux ;
- faire varier au moins deux paramètres expérimentaux afin d'étudier leur influence sur la valeur du rendement ;
- veiller à ce que l'intensité du courant et la tension aux bornes du moteur soient constantes au cours de la montée.

Doc. 3 Le treuil

Le moteur monte-charge ci-dessous possède un réducteur, qui permet de réduire la vitesse de rotation du moteur. La masse est ainsi soulevée lentement.



Doc. 2 Matériel nécessaire

- | | |
|--|---|
| • Générateur de tension continue adapté au monte-charge ; | • Potence, ficelle et crochet ; |
| • Moteur monte-charge avec réducteur (environ 400 tours/minute) et interrupteur marche/arrêt ; | • Plusieurs masses à suspendre de 100 g ; |
| | • Voltmètre, ampèremètre ; |
| | • Chronomètre ; |
| | • Mètre mesureur. |

Doc. 4 Quelques grandeurs et unités utiles

- Énergie potentielle de pesanteur à une altitude z : $E_{pp} = m \cdot g \cdot z$ avec m en kg, z en m, E_{pp} en J et $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- Énergie de transfert électrique : $E_{elec} = U \cdot I \cdot \Delta t$ avec U en V, I en A, Δt en s et E_{elec} en J ;
- Rendement : $\eta = \frac{E_{pp}}{E_{elec}}$.

Compétence

✓ VAL : Modéliser numériquement un ensemble de mesures

1. Exprimer le rendement expérimental du dispositif en fonction de m , U , I , g , z et de la durée Δt de levage.
2. Proposer un protocole permettant de déterminer la valeur expérimentale du rendement.
3. Émettre et vérifier des hypothèses sur l'influence de différents facteurs sur le rendement du moteur.

Synthèse de l'activité

La charge soulevée a-t-elle une influence sur le rendement énergétique du dispositif ?

1 Le courant continu

A Nature des porteurs de charge

On appelle courant continu un courant électrique dont l'intensité ne varie pas au cours du temps (**doc. 1**). Par convention, le courant électrique se déplace dans le circuit de la borne + du générateur vers la borne -.

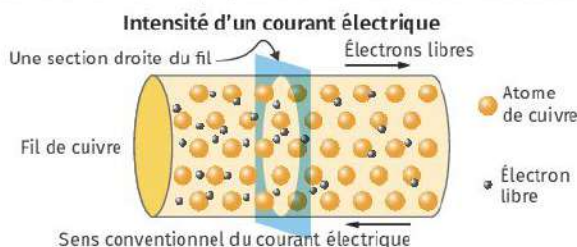
Le courant électrique est un déplacement de particules chargées appelées porteurs de charge.

Dans les métaux, les porteurs de charge sont les électrons chargés négativement, et dans les liquides, les porteurs de charge sont des ions, positifs ou négatifs.

Chaque porteur de charge est caractérisé par sa masse (exprimée en kilogramme) et sa charge électrique (exprimée en coulomb, symbole C).

B Débit de charges et intensité d'un courant continu

Pour un courant continu, l'intensité du courant circulant à travers un conducteur de section S est égale à la charge électrique Δq traversant la surface S par unité de temps Δt . On peut parler de débit de charges. Au niveau microscopique, l'atome métallique possède un ou plusieurs électrons dits « libres » qui peuvent se mettre en mouvement.



L'intensité est exprimée en ampère, unité équivalente à Cs^{-1} . Ces trois grandeurs I , Δq et Δt sont liées par la relation :

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

avec I en ampère (A), Δq en coulomb (C) et Δt en seconde (s).

C Le générateur réel de tension continue

Le courant continu est généré par un générateur (on emploie souvent le mot source) de tension continue, comme les piles ou les accumulateurs (batteries).

On distingue deux types de générateurs de tension continue :

- la source idéale, caractérisée par sa tension à vide E_0 (en V). La tension à ses bornes est constante : $U = E_0$ (**doc. 2**) ;
- la source réelle, que l'on modélise en série d'une source idéale de tension à vide E_0 et d'une résistance interne r en ohm (Ω) en série. La tension à ses bornes dépend de l'intensité I du courant débité : $U = E_0 - r \cdot I$ (**doc. 3**).

Doc. 1 Source de courant continu

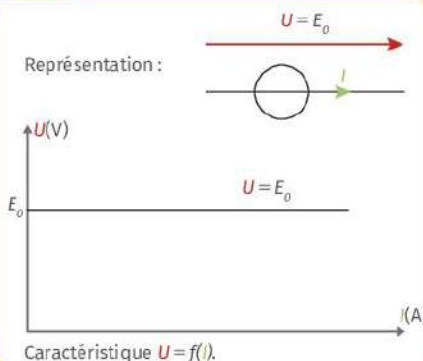


Éviter les erreurs

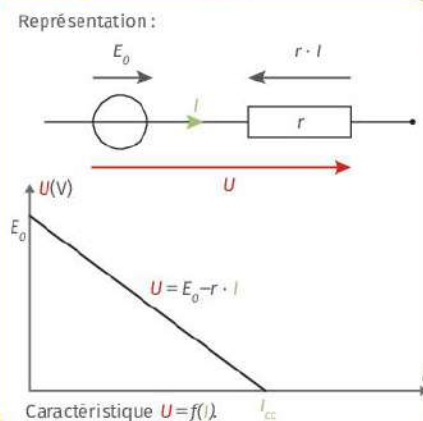
Attention : le courant va du pôle + vers le - du générateur mais les électrons (chargés négativement) vont du pôle - vers le + !



Doc. 2 Source idéale de tension



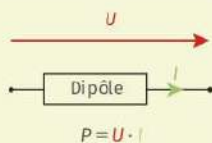
Doc. 3 Source réelle de tension



2 Puissance et énergie transférée

A Puissance électrique

La puissance convertie par un dipôle électrique est notée P et s'exprime en watt (W). Pour un dipôle soumis à une tension U entre ses bornes et parcouru par un courant d'intensité I , on peut écrire : $P = U \cdot I$.



Exemple : les bornes de recharge d'une voiture électrique ont des puissances qui varient de 2 kW à 7 kW. La durée de recharge est plus courte pour une borne plus puissante, mais elle sera plus onéreuse car, à tension égale, sa structure doit pouvoir supporter des courants électriques plus importants.

Exemples de puissance d'appareils courants :

Appareil	Puissance	Appareil	Puissance
Veilleuse d'appareil	1 W	Fer à repasser	1200 W
Lampe	30 W	Lave-linge	2500 W
Chauffage électrique	750 W	Four	3000 W
Téléviseur	150 W	Plaque de cuisson	6000 W

B Relation entre puissance et énergie

L'énergie convertie par un appareil électrique fonctionnant pendant une durée Δt est égale à $E = P \cdot \Delta t = U \cdot I \cdot \Delta t$, avec E en joule (J), P en watt (W), Δt en seconde (s), U en volt (V) et I en ampère (A).

L'énergie convertie par un appareil électrique est donc proportionnelle à la puissance P de l'appareil électrique et à la durée d'utilisation Δt .

C Cas des dipôles ohmiques : l'effet Joule

Le dipôle ohmique est caractérisé par sa résistance R et vérifie la loi d'Ohm $U = R \cdot I$.

Sa puissance P s'exprime donc : $P = U \cdot I = (R \cdot I) \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$ avec P en watt (W), R en ohm (Ω) et I en ampère (A).

Au niveau microscopique, les interactions entre les électrons libres et leur support de déplacement peuvent être modélisées par une force de frottement. Le matériau s'échauffe : c'est l'effet Joule. Le matériau s'échauffe d'autant plus que le courant électrique est important.

L'énergie E (J) convertie en énergie thermique par effet Joule s'exprime par : $E = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$.

L'effet Joule peut poser des problèmes de dépense énergétique à minimiser ou encore de surchauffe (doc. 5), d'autant plus si l'intensité du courant est électrique est importante, mais l'effet Joule peut aussi être exploité (doc. 6).

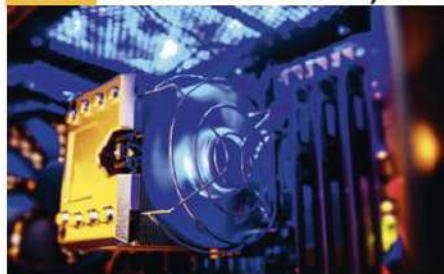
Doc. 4 Borne de recharge de voiture



Éviter les erreurs

- L'unité usuelle d'énergie de transfert électrique (factures, etc.) est le kWh, avec la puissance exprimée en kW et la durée en h.
- $1 \text{ W} \cdot \text{h} = 3600 \text{ J}$.
- $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$.

Doc. 5 Les contraintes de l'effet Joule



Cet ordinateur ultraperformant doit être équipé de ventilateurs optimisés pour limiter la surchauffe de ses microprocesseurs.

Doc. 6 Une utilisation de l'effet Joule



La formation de givre entraîne l'arrêt d'une éolienne. Une peinture antigivre conductrice du courant électrique permet de dégeler l'éolienne par l'effet Joule.

D Bilan de puissance dans un circuit

➤ Soit un circuit composé d'un générateur et de plusieurs dipôles D_1 , D_2 , D_3 et D_4 (doc. 7). Comme l'énergie totale du circuit se conserve, on peut établir une relation entre l'énergie délivrée par le générateur et les énergies converties par les différents dipôles :

$$E_{\text{générateur}} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4.$$

En divisant cette relation par la durée Δt , on obtient une relation entre les différentes puissances :

$$P_{\text{générateur}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4.$$

Cette relation s'appelle le bilan de puissance.

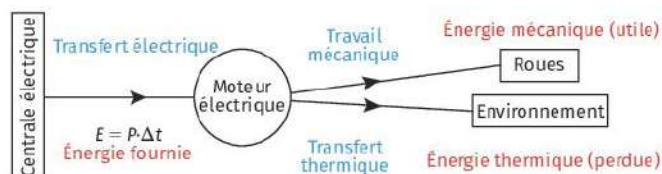
Elle permet de calculer le rendement d'un dispositif en identifiant la puissance utile et la puissance fournie au circuit.

3 Rendement d'un convertisseur

A Définition du rendement d'un convertisseur

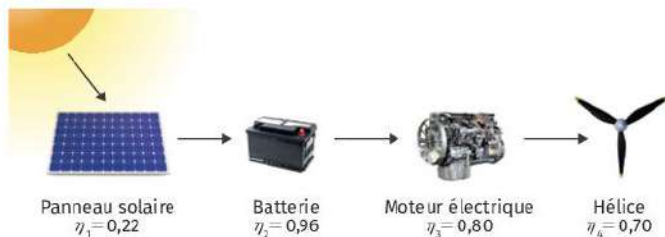
➤ L'énergie ne se produit pas, mais elle peut être convertie et transférée d'un système à un autre. C'est un convertisseur d'énergie qui effectue cette transformation. Le rendement η (êta) d'un convertisseur est égal à :

$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{fournie}}} = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{fournie}}}$$



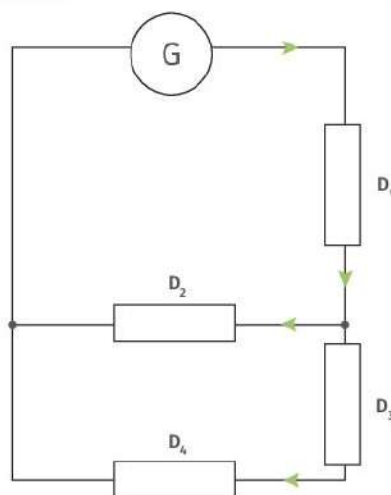
B Rendement global d'une chaîne énergétique

➤ Dans le cas d'une chaîne comportant plusieurs convertisseurs, le rendement global est égal au produit des rendements individuels de chaque élément.



$$\eta_{\text{tot}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 = 0,22 \times 0,96 \times 0,80 \times 0,70 = 0,12 = 12 \, \%.$$

Doc. 7 Exemple de circuit



Éviter les erreurs

➤ Un rendement a une valeur toujours comprise entre 0 et 1.

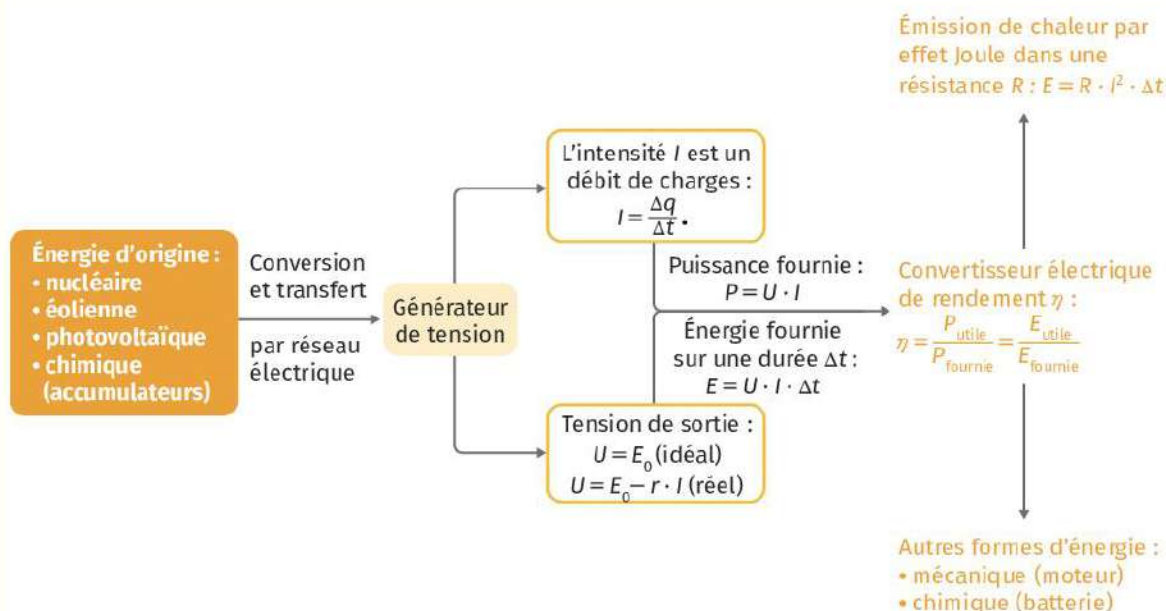
Pas de malentendu

➤ Il existe différentes formes d'énergie : mécanique, nucléaire ou chimique par exemple. En électricité, on préfère le terme d'énergie de transfert électrique à celui d'énergie électrique car l'électricité ne permet pas de stockage de l'énergie. L'énergie peut aussi se transmettre par transfert thermique ou radiatif.

Doc. 8 Quelques convertisseurs d'énergie



Les éléments essentiels de la modélisation



➤ Rendement d'une chaîne énergétique

Pour des convertisseurs successifs, le rendement global η est égal au produit des rendements de chaque convertisseur : $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n$.

Sachant qu'un rendement a une valeur positive inférieure à 1, on en déduit qu'à chaque convertisseur ajouté dans la chaîne énergétique, le rendement global η diminue, ce qui correspond à une perte d'énergie utile.

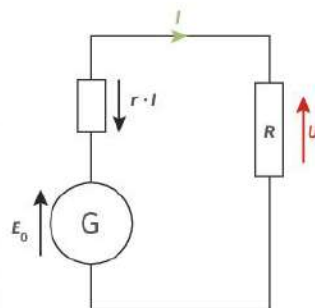
Les limites de la modélisation

De nombreuses simplifications sont à effectuer lors de la mise en application des notions abordées dans ce chapitre. En voici quelques-unes :

- on considère en général qu'un générateur est une source idéale de tension. En pratique, le générateur a une résistance interne r qui ne peut être négligée dans le cas où sa valeur est significative par rapport à la résistance totale dans le circuit ;
- la température peut modifier les caractéristiques des dipôles électriques, phénomène qui n'a pas été pris en compte ici ;
- on considère que la résistance des fils conducteurs est nulle, ce qui est une approximation. Pour des fils

de grandes longueurs, la dissipation énergétique par effet Joule peut ne pas être négligeable ;

- lors du calcul du rendement théorique d'un convertisseur, de faibles pertes d'énergie sont volontairement oubliées (frottement, rayonnement, échauffement) afin de rendre les calculs plus faciles.



Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour faire une carte mentale et reprendre les principales notions du chapitre. LLS.fr/PC1P286

1 Conduction électrique

	A	B	C
1. Si on ferme l'interrupteur d'un circuit électrique, les électrons :	se mettent en mouvement vers la borne négative.	circulent dans le sens inverse de celui du courant électrique.	stoppent leur mouvement.
2. Dans une solution ionique, le courant est dû :	à un déplacement d'électrons.	à un déplacement d'ions positifs et négatifs.	à un déplacement d'ions négatifs uniquement.

2 Source réelle de tension continue (E_0, r)

1. Une source réelle de tension continue est :	une source idéale E_0 .	équivalente à une source idéale E_0 associée à une résistance r en dérivation.	équivalente à une source idéale E_0 associée à une résistance r en série.
2. Quand l'intensité délivrée par une source de tension réelle augmente, la tension à ses bornes :	reste constante.	diminue.	augmente.
3. La caractéristique $U = f(I)$ d'une source réelle de tension :	est une droite passant par l'origine du repère.	est une droite de coefficient directeur égal à r .	est une droite de coefficient directeur égal à $-r$.

3 Puissance électrique

Un résistor de résistance $R = 100 \, \Omega$ est traversé par un courant d'intensité 50 mA.

1. La tension à ses bornes est :	500 mV.	5 V.	50 V.
2. La puissance dissipée par effet Joule vaut :	250 mW.	5 W.	250 kW.
3. Si l'on double la tension à ses bornes, la puissance par effet Joule :	est multipliée par 4.	est multipliée par 2.	est divisée par 2.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P287

4 Questions Jeopardy

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

a. L'expression de cette grandeur est : $U \cdot I \cdot \Delta t$.

b. On doit multiplier les rendements entre eux.

EXERCICES

(Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 407)

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage

Relier intensité d'un courant et débit de charges

14

Exploiter les notions de puissance et d'énergie

12

[DIFF]

24

Déterminer une dissipation par effet Joule

16

Évaluer le rendement d'un dispositif

23

Pour s'échauffer

5 Analogie débit d'un fleuve - débit d'électrons



La Garonne a un débit moyen de 650 m^3 par seconde.

- Quelle durée faudrait-il pour remplir une piscine olympique de dimensions $50,0 \text{ m} \times 21,0 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$?

6 Utilisation de la relation $\Delta q = I \cdot \Delta t$

- Calculer la charge électrique traversant chaque seconde une section de conducteur pour un courant d'intensité 1 A .
- En déduire le nombre d'électrons traversant cette section droite chaque seconde.

Donnée

• Charge de l'électron : $q(e^-) = -e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

7 Puissance électrique

- Calculer la puissance convertie par un moteur à courant continu traversé par un courant de $0,50 \text{ A}$ et soumis à une tension de $5,0 \text{ V}$.

8 Énergie d'un moteur

- Calculer l'énergie convertie par un moteur de 12 W pendant exactement 1 minute .

9 Effet Joule

- Calculer la puissance dissipée par effet Joule par un résistor de 100Ω alimenté par un courant de 60 mA . En déduire l'énergie convertie en 10 s . Exprimer le résultat en joule.

10 Rendement d'un moteur électrique

Un moteur électrique de puissance 1000 W fait tourner une roue avec un rendement énergétique de 90% .

- Calculer la puissance transmise à la roue.

Pour commencer

Porteurs de charge

11 Modéliser le courant électrique

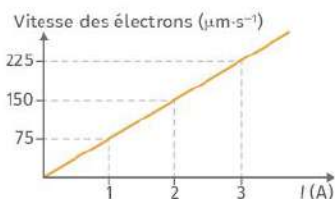
- RAI/ANA : Faire le lien entre un modèle microscopique et une grandeur macroscopique

Schématiser un circuit comportant un générateur et un résistor.

- Indiquer sur ce schéma le sens de déplacement des électrons et celui du courant électrique d'intensité I .

12 Calculer une vitesse de déplacement des électrons

- RAI/ANA : Faire le lien entre un modèle microscopique et une grandeur macroscopique



Le graphique ci-contre représente l'évolution de la vitesse de déplacement global des électrons dans le cuivre en fonction de

l'intensité du courant, pour une section de conducteur de 1 mm^2 .

- En utilisant le graphique, donner la valeur de la vitesse de déplacement des électrons pour un courant d'intensité $I = 1,5 \text{ A}$.
- Que devient cette vitesse si l'intensité du courant double ?
- Traduire le lien entre vitesse des électrons et intensité du courant à l'aide d'une équation mathématique.
- Calculer la distance moyenne parcourue par les électrons en $1,0 \text{ minute}$ pour $I = 1,5 \text{ A}$.

13 Vitesse de déplacement du signal électrique

- RAI/ANA : Faire le lien entre un modèle microscopique et une grandeur macroscopique

Information A : Quand on allume une lampe, la lumière jaillit quasi instantanément.

Information B : Les électrons se déplacent très lentement dans le métal (voir exercice 12).

- Expliquer en quoi il y a *a priori* contradiction entre ces deux informations.

2. Pour proposer une explication, imaginer la situation suivante : une file de voitures est arrêtée à un feu rouge. Le feu passe au vert. Chaque seconde, une voiture commence à avancer à la vitesse de $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.



Calculer la vitesse de déplacement de l'ordre d'avancer vers l'avant. Comparer cette vitesse à celle d'une seule voiture. En électricité, le signal électrique se déplace environ à la vitesse de $200\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Commenter.

Puissance électrique et effet Joule

14 Puissance électrique d'un microprocesseur

✓ RAI/MOD : Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie

Un microprocesseur de smartphone est traversé par un courant d'intensité 150 mA . La tension électrique mesurée entre ses bornes vaut $5,0 \text{ V}$.

1. Convertir l'intensité en A.
2. Calculer la puissance électrique du microprocesseur et exprimer le résultat en W et en mW.

15 Utiliser la loi d'Ohm

✓ MATH : Calcul littéral

Utiliser l'image ci-contre.



1. Calculer la résistance R d'un résistor traversé par un courant d'intensité 5 mA et ayant une tension de 5 V entre ses bornes.

2. ✎ Vérifier par le moyen de votre choix que la valeur de la résistance calculée à la question 1. correspond aux anneaux de couleur de la photo (marron-noir-rouge).

16 Déterminer une dissipation par effet Joule

✓ VAL : Analyser un résultat numérique

Lorsque qu'un résistor est traversé par un courant électrique, il s'échauffe : c'est l'effet Joule. Tantôt recherché (cas d'un grille-pain) ou minimisé (cas d'un smartphone), on peut déterminer l'expression de la puissance dissipée par effet Joule, pour un conducteur ohmique.

1. Rappeler l'expression de la loi d'Ohm, valable pour un conducteur ohmique de résistance R , ainsi que les unités de mesure associées.
2. Rappeler la relation permettant de calculer la puissance électrique d'un dipôle.
3. En déduire l'expression de la puissance dissipée par effet Joule par le conducteur ohmique de résistance R , en fonction de R et de l'intensité I du courant qui le traverse.
4. Calculer cette puissance pour un résistor de $100 \, \Omega$ traversé par un courant d'intensité 100 mA .

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Exploiter les notions de puissance et d'énergie

17 Le four à micro-ondes

✓ RAI/MOD : Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie

Zoé veut préparer du thé. Elle place sa tasse remplie d'eau dans le four micro-ondes à la puissance de 1200 W pendant une durée de 60 s .

1. Exprimer l'intensité du courant électrique en fonction de la puissance et de la tension.
2. Calculer cette intensité du courant entrant dans le four.
3. Exprimer la charge électrique entrant dans le four micro-ondes, en coulomb.
4. Calculer la charge électrique circulant dans le four.
5. Exprimer l'énergie convertie en fonction de la puissance et de la durée de fonctionnement.
6. Calculer l'énergie fournie au four en J.

Donnée

• Tension d'une installation domestique : $U = 230 \text{ V}$.

18 La télévision

✓ RAI/MOD : Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie

En moyenne, les Français regardent la télévision 4 h par jour. La puissance d'une télévision en veille est de 5 W et de 200 W en fonctionnement.

- Calculer l'énergie fournie à la télévision en une journée.

19 La machine à laver le linge

✓ RAI/MOD : Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie

Un cycle de lavage d'une machine à laver dure $52,5 \text{ min}$ dont $7,5 \text{ min}$ sont réservées à l'essorage. La machine à laver est composée de 2 éléments principaux, un moteur et une résistance électrique pour chauffer l'eau. La résistance dissipe une puissance de $2\,000 \text{ W}$ et le moteur développe une puissance de 100 W pour le lavage et 300 W pour l'essorage.

- Calculer l'énergie fournie à la machine à laver pendant un cycle de lavage.

Fonctionnement d'un ballon d'eau chaude

Énoncé

Un chauffe-eau électrique, ou ballon d'eau chaude, est un dispositif domestique permettant de chauffer de l'eau. Une résistance électrique est plongée dans l'eau, le passage d'un courant électrique permet ainsi de chauffer l'eau. La cuve étant isolée thermiquement, l'eau peut donc être maintenue chaude.

Un appartement dispose d'un ballon d'eau chaude de 150 L de puissance électrique 1600 W. L'eau entrant dans le ballon est à l'origine à 20 °C et est chauffée jusqu'à 65 °C. La durée de chauffe est de 6,0 h. La variation d'énergie thermique de l'eau est proportionnelle à la variation de température et à la masse d'eau $\Delta E_{th} = m_{eau} \cdot c_p(eau) \cdot \Delta T$.

1. Quel phénomène physique permet à l'eau de chauffer ?
2. Calculer la valeur de la résistance chauffante.
3. Calculer l'énergie fournie à la résistance par travail électrique pendant 6,0 h de chauffe.
4. Calculer la variation d'énergie thermique fournie à l'eau pour la chauffer.
5. En déduire le rendement du chauffe-eau.

Solution rédigée

1. Le phénomène physique permettant à l'eau de chauffer est l'effet Joule.
2. La valeur de la résistance chauffante est :
 $P = U \cdot I$ et $U = R \cdot I$ donc $I = \frac{U}{R}$ et $P = \frac{U^2}{R}$.
 On en déduit : $R = \frac{U^2}{P}$
 AN : $R = \frac{230^2}{1600} = 33,1 \Omega$.
3. L'énergie fournie à la résistance est :
 $E = P \cdot \Delta t = 1600 \times 6,0 = 9600 \text{ W} \cdot \text{h} = 9,6 \text{ kW} \cdot \text{h}$.
 Et en joule : $E = P \cdot \Delta t = 1600 \times 6,0 \times 3600 = 3,5 \times 10^7 \text{ J} = 35 \text{ MJ}$.
4. L'énergie thermique ΔE_{th} fournie à l'eau pour la chauffer est :
 $\Delta E_{th} = m_{eau} \cdot c_p(eau) \cdot \Delta T = \rho_{eau} \cdot V \cdot c_p(eau) \cdot \Delta T$
 AN : $\Delta E_{th} = 1,00 \times 150 \times 4180 \times (65 - 20) = 2,8 \times 10^7 \text{ J} = 28 \text{ MJ}$.
5. Le rendement du chauffe-eau est :
 $\eta = \frac{\Delta E_{th}}{E} = \frac{28}{35} = 0,80 = 80\%$.

DONNÉES

- Tension d'une installation domestique :
 $U = 230 \text{ V}$;
- Capacité thermique massique de l'eau :
 $c_p(eau) = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- Masse volumique de l'eau :
 $\rho_{eau} = 1,00 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Analyser le dispositif pour trouver la source de chaleur.
2. Utiliser les données de l'énoncé pour ne pas avoir plusieurs inconnues.
3. Faire un calcul, exprimer l'énergie en joule facilite la réponse à la question 5.
4. Les unités peuvent permettre de retrouver une formule.
5. Utiliser les réponses aux questions précédentes.

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Le passage du courant dans un conducteur électrique entraîne toujours un dégagement de chaleur.
2. Utiliser la loi d'Ohm pour exprimer l'intensité dans l'expression de la puissance.
3. Ne pas oublier l'expression littérale et faire attention aux unités et aux conversions.
4. Identifier l'unité de la capacité thermique massique de l'eau pour utiliser la formule de l'énergie thermique.
5. Pour le rendement, il est préférable de donner à la fin le résultat en pourcentage.

20 Mise en application

Le ballon d'eau chaude d'une maison de 300 L a une puissance de 3000 W. Il reçoit de l'eau à 18 °C et celle-ci est chauffée jusqu'à 65 °C. La durée de chauffe est de 5 h 45 min.

- Reprendre les questions précédentes avec ces nouvelles valeurs.

Pour s'entraîner

21 Coût de revient d'une partie de jeu vidéo

✓ MATH : Réaliser un calcul littéral



Matéo joue avec sa console de jeu connectée à un téléviseur. Les puissances de la console et du téléviseur sont respectivement 310 W et 70 W.

1. Calculer la puissance totale de l'ensemble {console + TV}.
2. Calculer l'énergie électrique consommée pour une durée de jeu de deux heures. L'exprimer en joule puis en watt-heure.
3. Calculer en euro le coût de ce temps de jeu (hors abonnement) si 1 kW·h coûte 0,15 €.

22 Les chargeurs nomades

✓ VAL : Analyser un résultat numérique



Les chargeurs nomades (sources réelles de tension) sont très utilisés pour recharger les téléphones portables. Sur l'un d'entre eux, on peut lire les caractéristiques suivantes : 5,0 V – 2,1 A ; 5 000 mA·h. La tension aux bornes d'une batterie de téléphone portable est de 4,7 V.

1. Calculer la durée au bout de laquelle le chargeur est complètement déchargé.
2. Calculer la résistance interne du chargeur nomade.
3. Comparer quantitativement la tension à vide et la tension réelle, et conclure si pour une incertitude des mesures de tension inférieure à 10 %, le générateur peut être considéré comme idéal.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P291

Comprendre les attendus

23 Fonctionnement d'une dynamo

✓ VAL : Analyser un résultat numérique

Lors d'un trek, Frédéric emporte dans son sac à dos une lampe de secours fonctionnant sans pile, composée d'une dynamo et d'une batterie rechargeable qui alimente une DEL. La lampe est déchargée. Frédéric veut s'éclairer et tourne la manivelle pendant une minute avec une puissance égale à 50 W, ce qui lui permet d'avoir une autonomie de cinq minutes.



1. Proposer une chaîne énergétique composée de 3 réservoirs d'énergie (utilisateur, batterie, environnement) et de 2 convertisseurs d'énergie.
2. Calculer l'énergie dépensée par Frédéric. L'exprimer en joule.
3. Sachant que la DEL a une puissance nominale de 1 W, calculer, en joule puis en watt-heure, l'énergie lumineuse fournie pendant les 5 minutes d'éclairage.
4. Calculer le rendement global η de la lampe, défini par :

$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{dépensée}}}$$
5. En proposant une chaîne énergétique, expliquer pourquoi le rendement est si faible.
6. Que doit faire Frédéric pour s'éclairer plus longtemps ?

Données

- Autonomie maximum : $t = 10 \text{ min}$;
- La dynamo dispose d'une batterie interne rechargeable en tournant la manivelle ;
- Masse : $m = 25 \text{ g}$.

Détails du barème

TOTAL/6 pts

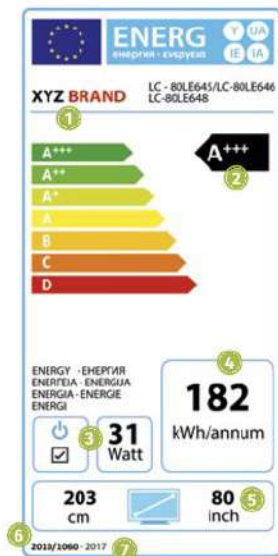
- | | |
|---|--------|
| 1. Schématiser une chaîne énergétique. | 1,5 pt |
| 2. Utiliser $E = P \cdot \Delta t$ et respecter les unités de mesure. | 1 pt |
| 3. Convertir correctement les unités. | 1 pt |
| 4. Savoir utiliser la relation donnée et les données du texte. | 1 pt |
| 5. Envisager des pertes d'énergie dans les convertisseurs d'énergie. | 1 pt |
| 6. Apporter une solution. | 0,5 pt |

24 Consommation électrique d'un téléviseur

✓ RAI/MOD : Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie

On peut lire sur l'étiquette d'un téléviseur les informations suivantes.

1. Quelle est la puissance électrique du téléviseur ?
2. Que signifie l'information : 182 kWh/annum ?
3. Estimer la durée annuelle d'utilisation correspondant à cette consommation annuelle. En déduire la durée journalière moyenne d'utilisation. Commenter le résultat obtenu.



25 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.

1. La puissance du moteur vaut 500 ~~J~~.
2. Sachant que la tension aux bornes du moteur est égale à 36 V, l'intensité du courant est $I = P \cdot U = 500 \times 36 = 18\,000 \text{ mA} = 18 \text{ A}$.
3. Le moteur fonctionne pendant 30 min. L'énergie dépensée est : $E = P \cdot \Delta t = 500 \times 30 = 15\,000 \text{ J}$.
4. Je convertis cette énergie en W · h : $E = 15\,000 \times 3\,600 = 54\,000\,000 \text{ W} \cdot \text{h} = 54 \text{ MW} \cdot \text{h}$.

26 La voiture électrique au quotidien

✓ VAL : Analyser un résultat numérique



Un particulier vient d'acheter une voiture. Sa batterie est peut stocker une énergie de 40 kW·h. Il souhaite l'utiliser pour ses déplacements quotidiens et envisage de l'utiliser pour les vacances.

A. Recharger la batterie

1. **Doc. 1** En faisant l'hypothèse que la puissance de charge d'une prise domestique est constante, calculer la durée nécessaire pour recharger la batterie à 100 %. Comparer la valeur trouvée avec celle du tableau. La puissance de charge est-elle constante au cours de la charge ?
2. **Doc. 2** Quelle est la durée de recharge nécessaire pour une charge à 80 % avec une borne publique Wallbox ?

B. Se déplacer au quotidien

3. Quelle information utile pour l'utilisateur révèle le **doc. 3** ?
4. Par analogie avec une voiture à moteur thermique, quelle est la valeur de la consommation électrique à une vitesse de 90 km·h⁻¹ ?
5. Quelle est l'autonomie du véhicule à une vitesse stabilisée de 90 km·h⁻¹ ? et sur autoroute à 130 km·h⁻¹ ?

C. Partir en voyage

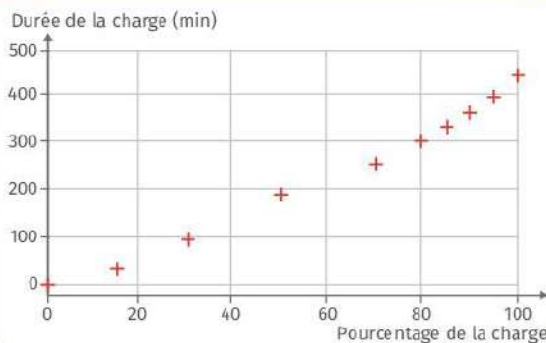
Le particulier souhaite partir en vacances à une distance de 600 km de son domicile.

6. Sachant qu'il existe deux bornes publiques Wallbox de recharge sur le trajet, situées tous les 200 km, indiquer comment rendre ce voyage possible. Par sécurité, il est préférable de ne jamais descendre en dessous de 15 % de la charge de la batterie.
7. Estimer par un calcul la durée du voyage aller.

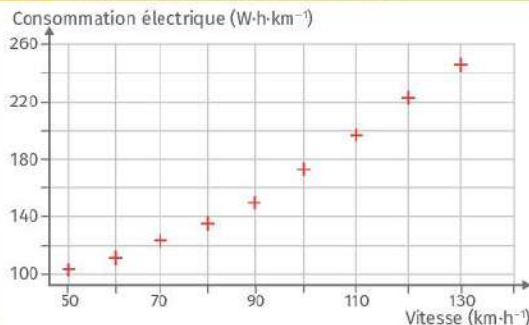
Doc. 1 Temps de recharge de la voiture

Modèle	Durée de recharge à 70 %	Durée de recharge à 100 %
Prise domestique 2,3 kW, 10 A	17 h 30	25 h
Wallbox borne publique 7,4 kW, 32 A	4 h 15	7 h 18
Charge rapide 43 kW (3 × 62 A)	1 h 25	2 h 40

Doc. 2 Durée de recharge en fonction du % de charge



Doc. 3 Consommation kilométrique du véhicule



Pour aller plus loin

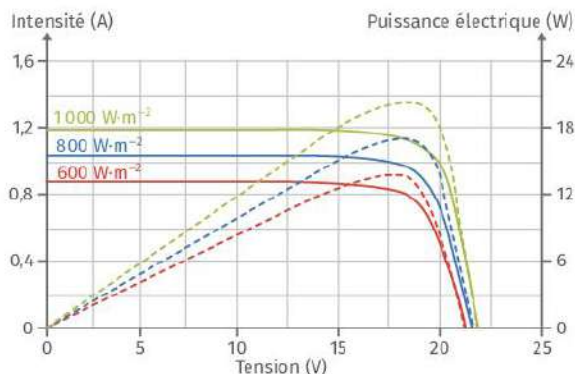
27 DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

Un panneau solaire photovoltaïque

✓ APP : Extraire l'information utile d'un graphique

On souhaite déterminer la puissance électrique maximale d'un panneau solaire, ainsi que son rendement.

1. Formuler des hypothèses pour répondre à la question suivante : de quels paramètres dépend la puissance d'un panneau solaire photovoltaïque ?
2. On a relevé expérimentalement le couple de valeurs (U, I) et on a tracé les trois caractéristiques suivantes (en trait plein).



Quel paramètre expérimental a-t-on fait varier pour obtenir chacune des trois courbes rouge, verte, bleue ?

3. Pour une puissance solaire surfacique (ensoleillement) de $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, quelle est l'intensité qui traverse le panneau, pour une tension de 10 V ? Calculer la puissance électrique du panneau solaire correspondante. Le résultat obtenu est-il en accord avec la courbe de puissance (en pointillé) ?
4. Même question pour une tension de 18,5 V. Quelle particularité présente cette tension ?
5. En utilisant les résultats des questions 3. et 4., conclure quant à l'existence d'un couple (U, I) optimal, permettant d'exploiter tout le potentiel du panneau solaire.
6. En déduire la puissance maximale du panneau solaire pour chacun des trois ensoleillements proposés. Conclure quant à la validité d'un des paramètres formulés à la question 1.
7. Indiquer une plage de tension électrique pour laquelle le panneau solaire fonctionne de manière optimale, c'est-à-dire avec une puissance supérieure ou égale à 90 % de sa puissance maximale.
8. Sachant que la surface du panneau solaire est égale à $1,0 \text{ m}^2$, calculer le rendement maximal du panneau solaire pour un ensoleillement de $600 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

28 Découverte de la loi Betz

✓ COM : Écrire un compte rendu avec un vocabulaire scientifique rigoureux

En 1919, le physicien allemand Albert Betz (1885-1968), pionnier des technologies éoliennes et hydroliennes, publie une étude sur les éoliennes. Il montre que la puissance maximale de l'éolienne ne dépend que de la masse volumique ρ de l'air, de la vitesse du vent devant l'éolienne et de l'aire de la surface balayée par les pales, selon la relation : $P_{\text{max}} = 0,36 S v^3$ où 0,36 est la valeur d'un coefficient qui dépend de la masse volumique du fluide (air ou eau), S la surface balayée par le rotor de l'éolienne en m^2 et v la vitesse du vent en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.



1. En effectuant des calculs simples, justifier l'affirmation suivante : « En pratique, une éolienne produit quatre fois plus d'énergie si la pale est deux fois plus longue et huit fois plus d'énergie si la vitesse du vent double. »

Un particulier souhaite installer une petite éolienne dans son jardin (il n'a pas de voisins). En voici les caractéristiques :

- puissance nominale : 420 W ;
- puissance maxi : 450 W ;
- tension : 12 V ;
- nombre de pales : 3 ;
- diamètre du rotor : 1030 mm ;
- corps de l'éolienne : aluminium ;
- mode de survie par vent fort : ralentit automatiquement la turbine ;
- vitesse du vent de démarrage : $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- prix : 630 € sans le mât.

Les performances obtenues en laboratoire sont les suivantes :

- de 29 à 38 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$: $P = 200 \text{ W}$;
- de 50 à 61 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$: $P = 400 \text{ W}$.

2. En supposant que l'éolienne suive le modèle mathématique de la loi de Betz et en utilisant les caractéristiques techniques de l'éolienne, rédiger un paragraphe argumenté, accompagné de calculs, afin de rassurer ce particulier sur la validité des résultats obtenus en laboratoire.

29 Le défi Solar Impulse

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



Le 26 juillet 2016, l'avion Solar Impulse a accompli le premier tour du monde sans escale et sans une seule goutte de carburant.

L'expérience Solar Impulse est une prouesse à la fois scientifique et technologique.

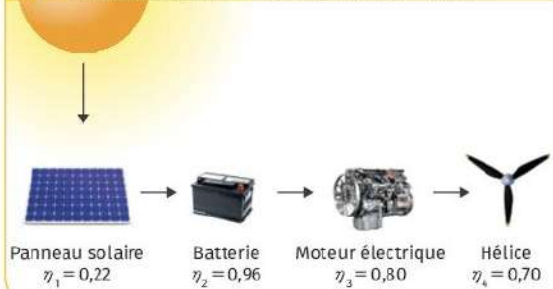
Données

- **Densité énergétique des accumulateurs** : $260 \text{ W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- **Masse totale des accumulateurs** : 400 kg ;
- **Moteurs électriques** : 4 moteurs de $17,5 \text{ cv}$ (cv : cheval).
- **Conversion** : $1 \text{ cv} = 0,736 \text{ kW}$;
- **Surface de panneaux solaires** : $269,5 \text{ m}^2$;
- Entre Le Caire et Abou Dhabi la puissance solaire moyenne en juillet est de $380 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Le soleil brille en moyenne 14 h par jour ;
- L'avion vole à une vitesse de $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ de jour, et $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ de nuit.

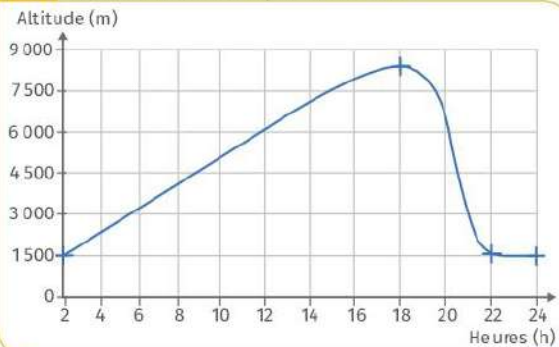
Doc. 1 Le premier tour du monde aérien sans carburant

Ce n'était ni l'étape la plus longue, ni la plus difficile, encore moins la plus spectaculaire. Pourtant, c'est bien ce dix-septième et dernier vol qui restera dans l'histoire, celui dont le monde se souviendra. Mardi 26 juillet, l'avion solaire Solar Impulse 2 a bouclé le premier tour du monde aérien, près de $40\,000$ kilomètres, sans la moindre goutte de carburant.

Doc. 2 Chaîne énergétique simplifiée de Solar Impulse 2



Doc. 3 Profil de vol de Solar Impulse durant 24 h



1. Quel est l'obstacle majeur au défi Solar Impulse ?
2. Calculer l'énergie maximale pouvant être stockée dans les accumulateurs.
3. Utiliser vos connaissances et les documents à votre disposition pour déterminer si l'avion Solar Impulse 2 dispose de suffisamment d'autonomie pour relever son défi de tour du monde sans une seule goutte de carburant.

Retour sur l'ouverture du chapitre (esprit scientifique)

30 « Les appareils électriques en veille consomment très peu d'énergie »

✓ VAL : Analyser un résultat numérique

Peut-on montrer que la mise en veille des appareils électriques du quotidien a un coût énergétique réel et un impact écologique non négligeable ? En faisant l'hypothèse que chaque appareil électrique mis en veille a une puissance de 1 W , calculer :

1. la puissance électrique totale de l'ensemble des appareils mis en veille en France ;
2. la consommation électrique totale mensuelle, exprimée en $\text{TW}\cdot\text{h}$;
3. le nombre de réacteurs nucléaires devant rester en fonctionnement pour produire l'énergie

nécessaire à la mise en veille de tous ces appareils ;

4. le résultat numérique obtenu à la question 3. est-il en accord avec l'affirmation suivante : « Les appareils en veille consomment très peu d'énergie ? »

Données

- 15 à 50 appareils en veille par logement (source ADEME) ;
- **Nombre de logements en France** : 35,7 millions de logements (source INSEE, janvier 2017) ;
- Un réacteur nucléaire de puissance $P = 900 \text{ MW}$ produit en moyenne chaque mois $500\,000 \text{ MW}\cdot\text{h}$, ce qui correspond à la consommation de $400\,000$ ménages environ (source edf.fr).

CLASS
INVERSE

La notion de puissance électrique

A Puissance et énergie électrique



Visionner la capsule vidéo « La relation entre puissance et énergie » sur [LLS.fr/PC1P295](https://lls.fr/PC1P295).

1. En utilisant le tableau ci-contre, vérifier pour chaque puissance donnée d'une lampe à incandescence (40, 60 ou 75 W) les valeurs des énergies consommées par an.

	INCANDESCENCE	ÉCO-HALOGÈNE	FLUOCOMPACTE	LED
Lampes de faible éclairage	40 W 14,6 kWh/an	28 W 10,22 kWh/an	9 W 3,28 kWh/an	6 W 2,19 kWh/an
Lampes d'éclairage moyen	60 W 21,9 kWh/an	48 W 17,52 kWh/an	13 W 4,74 kWh/an	9 W 2,92 kWh/an
Lampes de grand éclairage	75 W 14,6 kWh/an	55 W 20,07 kWh/an	15 W 5,47 kWh/an	12 W 3,65 kWh/an

3. Calculer l'énergie consommée par chaque type de lampe au cours de sa durée de vie moyenne.
4. Au cours de sa durée de vie, à combien de lampes fluocompactes, éco-halogènes et à incandescence une LED correspond-elle ?

B Rendement d'un convertisseur



Visionner la capsule vidéo « Conversion d'énergie » disponible sur [LLS.fr/PC1P295](https://lls.fr/PC1P295).

1. Une ampoule est un convertisseur d'énergie, elle convertit de l'énergie reçue par transfert électrique depuis un réservoir en énergies lumineuse et thermique transmises à l'environnement. Construire le diagramme énergétique d'une ampoule en s'aidant du cours page 285.
2. Le rendement énergétique d'une ampoule à incandescence est d'environ 0,05 alors que celui d'une ampoule à LED est proche de 0,80. Calculer la puissance utile pour une ampoule à incandescence et une ampoule à LED de 15 W.
3. Si on compare les puissances utiles, à combien d'ampoules à incandescence correspond une ampoule LED ?
4. Quelle autre grandeur physique est utilisée pour comparer les différents types d'ampoules ?

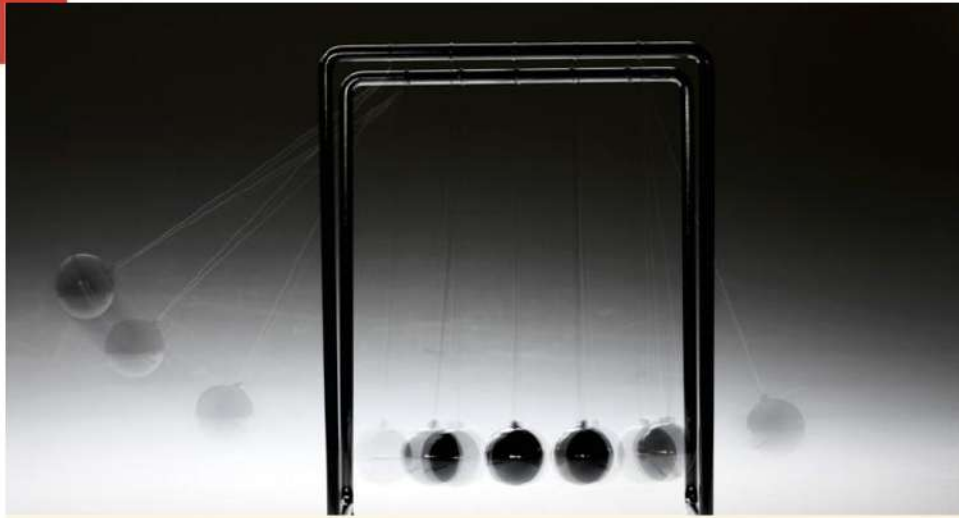
C Synthèse

Réaliser un bilan synthétisant les notions principales abordées sous la forme d'un débat opposant un(e) pro-incandescence à un(e) anti-incandescence. Les arguments doivent porter sur :

- les caractéristiques énergétiques des ampoules (consommation, rendement, etc.) ;
- le coût financier lié à l'utilisation de chaque ampoule ;
- la durée de vie des ampoules ;
- l'impact environnemental de chaque ampoule.

Études énergétiques en mécanique

ESPRIT SCIENTIFIQUE



Le célèbre pendule de Newton donne illusion d'un possible mouvement perpétuel.

➤ **Peut-il osciller indéfiniment ?**

➔ voir l'exercice 28, p. 312

Travailler

autrement

CLASSE
INVERSEE

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour visionner des capsules vidéo et découvrir le principe d'étude énergétique en mécanique en autonomie. LLS.fr/PC1P296

Voir p. 315



Représentation de l'expérience de Galilée sur la chute des poids de masses différentes.



vidéo



Renaud Lavillenie lors du saut à la perche record de 6,16 m en 2014 à Donetsk, Ukraine.

→ Quelle hauteur théorique un humain peut-il espérer atteindre en saut à la perche ?

→ voir l'exercice 35, p. 314

À revoir pour bien commencer

- › Connaître l'expression de l'énergie cinétique
- › Connaître les unités associées à chaque grandeur dans les expressions des différentes énergies
- › Connaître le principe de conversion de l'énergie d'une forme en une autre

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne !

LLS.fr/PC1P297

Objectifs du chapitre

- ☐ Calculer une énergie cinétique ou potentielle
- ☐ Calculer le travail d'une force de frottement
- ☐ Exploiter le théorème de l'énergie cinétique
- ☐ Exploiter la conservation ou non-conservation de l'énergie mécanique

1 Un peu de sensation dans les montagnes russes !

Les montagnes russes sont des manèges à sensations fortes. Elles fonctionnent par un enchaînement de montées et de descentes rapides.

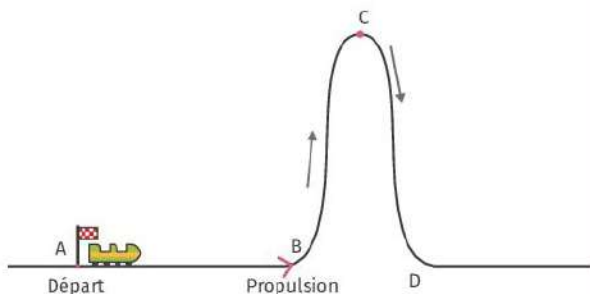
→ Avec quelle vitesse minimale le wagon doit-il être propulsé pour atteindre le point le plus haut du parcours ?

Par intuition

De quel(s) paramètre(s) dépend la vitesse d'un wagon ?

Doc. 1 Caractéristique du parcours

Kingda Ka est un circuit de montagnes russes situé au parc Six Flags Great Adventure aux États-Unis. Il intègre le *top hat* le plus haut du monde puisqu'il culmine à 139 m ! Ce *top hat* constitue le premier élément sensationnel du circuit. Il s'agit d'une bosse avec une montée et une descente quasi verticales.



Doc. 2 Le top hat du circuit Kingda Ka



Doc. 3 L'énergie mécanique en détail

• L'énergie qu'un système de masse m possède du fait de son mouvement s'appelle l'énergie cinétique. Elle s'exprime par la relation :

$$E_c = \frac{1}{2} \underbrace{m}_{\text{kg}} \cdot \underbrace{v^2}_{\text{m/s}^2}$$

• L'énergie potentielle de pesanteur est liée à son altitude où g est l'intensité du champ de pesanteur. Elle s'exprime par la relation :

$$E_{pp} = \underbrace{m}_{\text{kg}} \cdot \underbrace{g}_{\text{N/kg}} \cdot \underbrace{h}_{\text{m}}$$

La position et la vitesse permettent d'attribuer au système une énergie mécanique qui est définie comme la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle de pesanteur. Dans la situation étudiée, en négligeant les forces de frottement, l'énergie mécanique se conserve :

$$E_m(A) = E_m(B)$$

Compétence

✓ RAI/MOD : Appliquer le principe de conservation de l'énergie

1. Doc. 1 Définir le système et le référentiel d'étude.

2. Doc. 2 Donner l'expression littérale de l'énergie mécanique du système en n'importe quel point.

3. Simplifier cette expression au point B, origine des hauteurs.

4. Exprimer l'énergie mécanique du système au point C, sommet de la trajectoire.

5. En utilisant les expressions obtenues aux questions 2. et 3., répondre à la problématique.

6. En réalité la vitesse à communiquer au système pour atteindre le point culminant est de 206 km·h⁻¹. Conclure.

Synthèse de l'activité

Déterminer quels sont les paramètres à prendre en compte pour trouver la vitesse de propulsion la plus adaptée.

2 Le lancer de boîtes d'allumettes 90'

Sébastien et Emma souhaitent créer la Fédération internationale du lancer de boîtes d'allumettes (FILBA). Le jeu consiste à lancer à plat une boîte d'allumettes depuis le bout d'une longue table pour s'approcher le plus près possible de l'autre extrémité de la table sans qu'elle tombe.

→ Quel est le lien entre la vitesse initiale à donner à la boîte et la distance qu'elle parcourt sur la table ?



Par intuition

Les forces de frottement sur la table dépendent-elles de la vitesse initiale ?

Doc. 1 Travail d'une force

Le travail $W_{AB}(\vec{F})$ d'une force constante $\vec{F}$ de même direction qu'un déplacement $\overrightarrow{AB}$ s'exprime par :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = \pm AB \cdot F$$

avec $W_{AB}(\vec{F})$ en joule (J), $\vec{F}$ la force, $\overrightarrow{AB}$ le vecteur déplacement et AB la distance entre A et B en mètre.

Le poids $\vec{P}$ et la force de frottement solide $\vec{f}$ sont des exemples de forces constantes.

Doc. 2 Théorème de l'énergie cinétique

La variation de l'énergie cinétique d'un système de masse m entre un point A et un point B est égale à la somme du travail des forces extérieures agissant sur le système :

$$\Delta E_c(A \rightarrow B) = E_c(B) - E_c(A) = \sum W_{AB}(\vec{F})$$

avec E_c et $W_{AB}(\vec{F})$ en joule (J).

Doc. 3 Matériel nécessaire

- Des boîtes d'allumettes ;
- Une caméra ;
- Un mètre étalon ;
- Un ordinateur doté d'un logiciel d'acquisition vidéo ;
- Un logiciel tableur-grapheur.

Doc. 4 Extraits du règlement officiel de la FILBA

Une partie se joue en 12 lancers, pour chacun des deux joueurs, répartis ainsi : 4 lancers à 1,00 m de l'extrémité de la table, 4 lancers à 1,50 m et 4 lancers à 2,00 m. Au moment du lancer, la main de lancer du joueur ne doit pas dépasser la ligne qui repère ces trois distances. Les boîtes d'allumettes doivent être identiques. Le joueur dont la boîte est la plus proche de l'extrémité de la table marque un point ; si la boîte tombe, il est pénalisé d'un point.



Retrouver des acquisitions vidéo des lancers

[LLS.fr/PC1P299](https://lls.fr/PC1P299)

Compétences

- ✓ RAI/MOD : Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie
- ✓ MATH : Utiliser le produit scalaire
- ✓ MATH : Utiliser un langage de programmation

1. Définir le système et le référentiel de l'étude. Établir le bilan des forces s'appliquant sur le système et les représenter sur un schéma (on néglige toute action de l'air sur la boîte).
2. **Doc. 1** Quelle force $\vec{f}$ permet à la boîte de s'arrêter ? Donner sa direction, son sens et l'expression du travail de cette force sur une distance d .
3. **Doc. 2** En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, exprimer la distance d parcourue en fonction de la vitesse v_0 de lancer de la boîte, sa masse m et la valeur de la force $\vec{f}$.
4. Procéder à une acquisition vidéo de 7 ou 8 lancers avec une caméra placée en vue de dessus et avec un mètre étalon posé sur la table. Relever la distance parcourue par la boîte à chaque lancer.
5. Proposer un protocole pour déterminer, grâce au logiciel de pointage vidéo et au logiciel tableur-grapheur appropriés, les vitesses de lancer de chaque enregistrement.
6. Tracer la courbe $d = f(v_0^2)$ et faire une modélisation de cette courbe.

Synthèse de l'activité

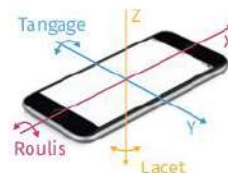
Pour une distance qui serait doublée, par quel coefficient faut-il multiplier la vitesse de lancer pour que la boîte s'arrête au même point de la table ?

3 Étude d'un pendule avec un smartphone

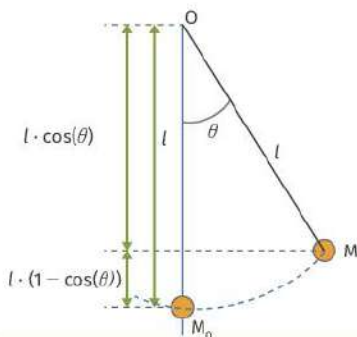


Un smartphone est doté de multiples capteurs. L'un d'entre eux, le gyromètre, permet de déterminer très précisément les vitesses angulaires de l'appareil autour de trois axes.

→ Comment exploiter ce capteur pour l'étude des oscillations d'un pendule ?



Doc. 1 Le modèle du pendule simple



Un pendule simple est une masse suspendue à un fil supposé inextensible et dont on néglige la masse, et qui oscille autour de sa position d'équilibre M_0 , point le plus bas de sa trajectoire. L'étude énergétique du pendule simple nécessite de déterminer à chaque instant :

- l'énergie potentielle $E_p = m \cdot g \cdot z$ de l'objet suspendu, z étant à un instant donné l'altitude de l'objet de masse m par rapport à M_0 ;
- l'énergie cinétique $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$;
- v étant la vitesse de cet objet.

La relation entre vitesse angulaire ω ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$) et la vitesse linéaire v ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) est donnée par : $v = \omega \cdot l$ avec la longueur du fil (m).

Doc. 2 Application avec Phyphox

Suspendre un smartphone en position verticale et faire l'acquisition de sa vitesse angulaire ω . Une acquisition de qualité exige d'éviter tout mouvement de rotation de l'appareil sur lui-même. Utiliser la fonction « gyroscope » de Phyphox. Dans les « paramètres », cocher la case « départ retardé » et prendre une durée de mesures de 10 à 15 s environ. L'exportation des données se fait au format CSV, tabulation, virgule décimale.

Retrouver l'application sur LLS.fr/PC1Phyphox.

Doc. 3 L'exploitation des données sous Regressi

- Repérer l'axe de rotation principal (ω_x , ω_y ou ω_z).
- Détermination de l'angle de rotation θ : l'angle de rotation θ a une valeur nulle quand le smartphone passe au plus bas de sa trajectoire à l'instant où la vitesse angulaire passe par un maximum. Une fois cet instant repéré, supprimer toutes les données qui le précèdent. Créer alors la grandeur calculée θ (cocher la méthode d'Euler exprimée en radian) :
 $\theta(i) = \theta(i-1) + (\omega) \cdot (\text{Time}[i] - \text{Time}[i-1])$ avec $\theta(0) = 0$.
- Il est dès lors possible de créer les grandeurs E_c et E_{pp} , et de tracer leur courbe représentative en fonction du temps.

Télécharger le logiciel sur LLS.fr/PC1Regressi.

Compétences

- ✓ REA : Acquérir des données grâce à des capteurs
- ✓ VAL : Traiter, exploiter, modéliser numériquement un ensemble de mesures

Synthèse de l'activité

- 1. Doc. 1** Exprimer l'énergie cinétique E_c d'un pendule en fonction de la masse suspendue m , de la longueur l et de la vitesse angulaire ω . Exprimer l'énergie potentielle E_{pp} en fonction de m , l et de l'intensité du champ de pesanteur g .
- 2. Doc. 2** Proposer un montage permettant de faire l'acquisition de la vitesse angulaire du pendule à partir d'un smartphone. Après validation, faire cette acquisition.
- 3. Doc. 3** Ouvrir le fichier des données sous Regressi et créer les grandeurs énergie cinétique E_c , angle de rotation θ , énergie potentielle E_{pp} et énergie mécanique $E_m = E_c + E_p$, puis visualiser leurs représentations graphiques en fonction du temps.
- 4.** L'énergie mécanique est-elle conservée au cours du temps ? Justifier.

Quels sont les atouts d'un smartphone pour faire l'acquisition des données dans l'étude énergétique d'un pendule ?

1 Énergie cinétique d'un système

A Définition de l'énergie cinétique

Dans un référentiel donné, l'énergie cinétique E_c d'un système s'exprime par la relation :

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

avec E_c : l'énergie cinétique en joule (J) ;

m : la masse du système en kilogramme (kg) ;

v : la vitesse du système en mètre par seconde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Application

Calculer l'énergie cinétique d'une voiture de 1,0 tonne roulant à la vitesse maximale autorisée sur une route départementale, soit $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Quelle était l'énergie de cette voiture lorsque la limitation était de $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$?

Corrigé : L'énergie cinétique de la voiture de $1,0 \text{ t} = 1,0 \times 10^3 \text{ kg}$ est :

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \times 1,0 \times 10^3 \times \left(\frac{80}{3,6}\right)^2 = 2,5 \times 10^5 \text{ J.}$$

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \times 1,0 \times 10^3 \times \left(\frac{90}{3,6}\right)^2 = 3,1 \times 10^5 \text{ J.}$$

B Travail d'une force

Le travail d'une force est une grandeur physique permettant d'évaluer l'effet de cette force sur l'énergie cinétique d'un système au cours d'un mouvement.

Le travail $W_{AB}(\vec{F})$ d'une force constante $\vec{F}$ dont le point d'application se déplace de A vers B s'exprime par la relation scalaire :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos(\alpha)$$

avec $W_{AB}(\vec{F})$: le travail de la force $\vec{F}$ en joule (J) ;

F : la valeur de la force en newton (N) ;

AB : le déplacement en mètre (m) ;

α : l'angle entre la direction de la force $\vec{F}$ et celle du déplacement $\vec{AB}$.

C Théorème de l'énergie cinétique

Dans un référentiel galiléen tel que le référentiel terrestre, la variation de l'énergie cinétique d'un système de masse m entre un point A et un point B est égale à la somme des travaux des forces $\vec{F}$ agissant sur le système :

$$\Delta E_c(A \rightarrow B) = E_c(B) - E_c(A) = \sum W_{AB}(\vec{F}).$$

Les termes de cette relation s'expriment tous en joule.

Numérique

Découvrez le théorème de l'énergie cinétique en vidéo. [LLS.fr/PC1P301](https://lls.fr/PC1P301)

Éviter les erreurs

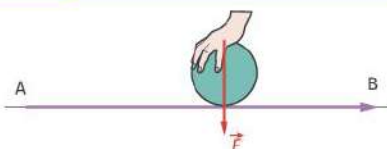
➔ Bien exprimer la vitesse en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, la masse en kg.

$$1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = \frac{1000 \text{ km}}{3600 \text{ h}} = \frac{3600}{1000} \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}.$$

Pas de malentendu

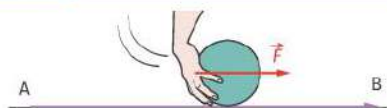
➔ Une force est dite constante lorsque sa valeur, son sens et sa direction ne varient pas au cours du temps.

Cas n° 1



La force $\vec{F}$ ne travaille pas : $\vec{F}$ et $\vec{AB}$ sont orthogonaux. $W_{AB}(\vec{F}) = 0 \text{ J}$.

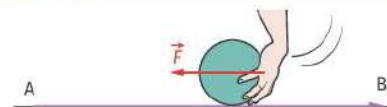
Cas n° 2



La force $\vec{F}$ travaille et ce travail est dit moteur car :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos(0) > 0 \text{ J.}$$

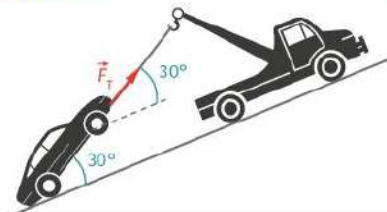
Cas n° 3



La force $\vec{F}$ travaille et ce travail est dit résistant car :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos(180) < 0 \text{ J.}$$

Cas n° 4



Angle quelconque, le travail est moteur (angle inférieur à 90°) :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos(30) > 0 \text{ J.}$$

2 Énergie potentielle de pesanteur d'un système

A Définition de l'énergie potentielle de pesanteur

➤ Dans un référentiel donné, en orientant l'axe des altitudes vers le haut, l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} d'un système s'exprime par la relation :

$$E_{pp} = m \cdot g \cdot z$$

avec E_{pp} : l'énergie potentielle de pesanteur en joule (J) ;
 m : la masse du système en kilogramme (kg) ;
 g : l'intensité du champ de pesanteur ($\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$) ;
 z : l'altitude par rapport à la référence en mètre (m).

B Force conservative : l'exemple du poids

Tout corps de masse m , placé dans un champ de pesanteur uniforme $\vec{g}$ est soumis à son propre poids $\vec{P}$. Lorsque l'objet se déplace d'un point A à un point B, le travail du poids s'exprime par la relation :

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = P \cdot AB \cdot \cos(\alpha).$$

Exemple :

D'après le doc. 1, $\cos(\alpha) = \frac{z_A - z_B}{AB}$.

Ainsi : $W_{AB}(\vec{P}) = P \cdot AB \cdot \frac{z_A - z_B}{AB} = P \cdot (z_A - z_B) = m \cdot g \cdot (z_A - z_B)$

avec $W_{AB}(\vec{P})$: le travail du poids en joule (J) ;
 m : la masse de l'objet en kilogramme (kg) ;
 g : l'intensité du champ de pesanteur ($\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$) ;
 $(z_A - z_B)$: la différence d'altitude entre A et B repérés sur un axe (Oz) vertical orienté vers le haut, en mètre (m).

Le travail du poids ne dépend que des altitudes de départ et d'arrivée, il ne dépend pas du chemin suivi par le système. On parle dans ce cas de force conservative.

C Travail d'une force non conservative : exemple de la force de frottement

Lors d'un **déplacement rectiligne** de longueur AB, le travail de la force de frottement $W_{AB}(\vec{f})$ est donné par la relation :

$$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB}.$$

La force de frottement s'opposant généralement au mouvement du système, le travail s'écrit alors :

$$W_{AB}(\vec{f}) = f \cdot AB \cdot \cos(180^\circ) = -f \cdot AB < 0 \text{ J}.$$

Ce travail est résistant.

Le travail de la force de frottement dépend du chemin suivi. On parle dans ce cas de force non conservative.

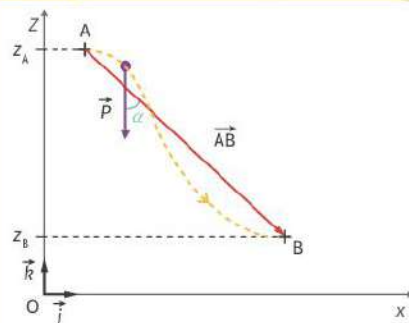
Éviter

les erreurs



➤ Il est impératif de définir une référence des altitudes avant de déterminer l'énergie potentielle de pesanteur. Pour une chute, il est commode de choisir le point le plus bas de la trajectoire (le sol en général) pour lequel $z = 0$.

Doc. 1 Travail et chemin parcouru



➤ Le poids $\vec{P}$ d'un enfant se déplaçant entre A à B sur le toboggan ne dépend pas du parcours dans ce toboggan. $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB}$.

Éviter

les erreurs



➤ Le produit scalaire : il est le produit de deux vecteurs mais c'est une valeur numérique. Attention à bien se relire pour vérifier que le symbole d'un produit scalaire n'est pas coiffé d'une flèche et qu'il a bien une unité associée !

Doc. 2 Toboggan aquatique



3 Énergie mécanique d'un système

A Définition de l'énergie mécanique

► Dans un référentiel donné, on associe à un système plongé dans un champ de pesanteur une énergie mécanique notée E_m , telle que :

$$E_m = E_c + E_{pp}$$

avec E_m : l'énergie mécanique en J ;

E_c : l'énergie cinétique en J ;

E_{pp} : l'énergie potentielle de pesanteur en J.

B Conservation de l'énergie mécanique

Lorsqu'un système est soumis uniquement à des forces conservatives ou à des forces dont le travail est nul, alors son énergie mécanique se conserve. On peut écrire :

$$\Delta E_m(A \rightarrow B) = E_m(B) - E_m(A) = 0 \Leftrightarrow E_m(B) = E_m(A).$$

De plus, comme $\Delta E_m(A \rightarrow B) = \Delta E_c(A \rightarrow B) + \Delta E_{pp}(A \rightarrow B)$,

on a : $\Delta E_c(A \rightarrow B) = -\Delta E_{pp}(A \rightarrow B)$.

Dans le cas où l'énergie mécanique d'un système se conserve, alors toute l'énergie cinétique perdue est convertie en énergie potentielle et inversement (doc. 4).

C Non-conservation de l'énergie mécanique

Lorsqu'un système est soumis à des forces non conservatives qui travaillent, alors son énergie mécanique ne se conserve pas. On peut écrire :

$$\Delta E_m(A \rightarrow B) = E_m(B) - E_m(A) = \sum W_{AB}(\vec{F}_{nc})$$

avec $\sum W(\vec{F}_{nc})$: la somme des travaux des forces non conservatives s'appliquant sur le système (frottements par exemple).

Dans le cas où l'énergie mécanique d'un système ne se conserve pas, alors l'énergie cinétique du système est partiellement convertie en énergie potentielle et inversement (doc. 5).

Application

En supposant les forces de frottement négligeables, utiliser le théorème de l'énergie cinétique pour calculer l'altitude maximale atteinte par une balle de tennis lancée à la vitesse v_A verticalement depuis 2,0 m au-dessus du sol.

Corrigé : Comme les frottements de l'air sont négligés, la balle n'est soumise qu'à son poids. L'énergie mécanique de la balle se conserve. D'après le théorème de l'énergie cinétique, on a :

$$\Delta E_c(A \rightarrow B) = W_{AB}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (z_A - z_B)$$

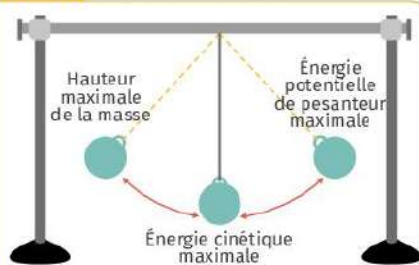
$$\Delta E_c(A \rightarrow B) = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 = m \cdot g \cdot (z_A - z_B).$$

Or, $v_B = 0$ en haut de la trajectoire donc en simplifiant on trouve :

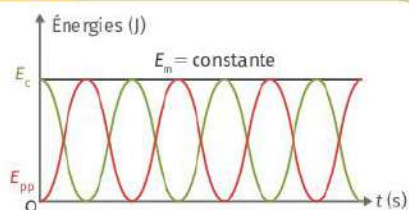
$$z_B = z_A + \frac{v_A^2}{2g}.$$

$$\text{AN : } z_B = 2,0 + \frac{7,0^2}{2 \times 9,81} = 4,5 \text{ m.}$$

Doc. 3 Le pendule simple

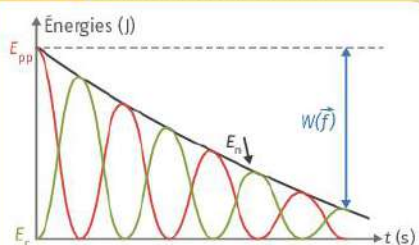


Doc. 4 Oscillations non amorties



► L'énergie mécanique se conserve, le mouvement se prolonge indéfiniment (cas idéal).

Doc. 5 Oscillations amorties



► L'énergie mécanique diminue au cours du temps à cause des frottements, le mouvement finit par s'arrêter (cas réel).

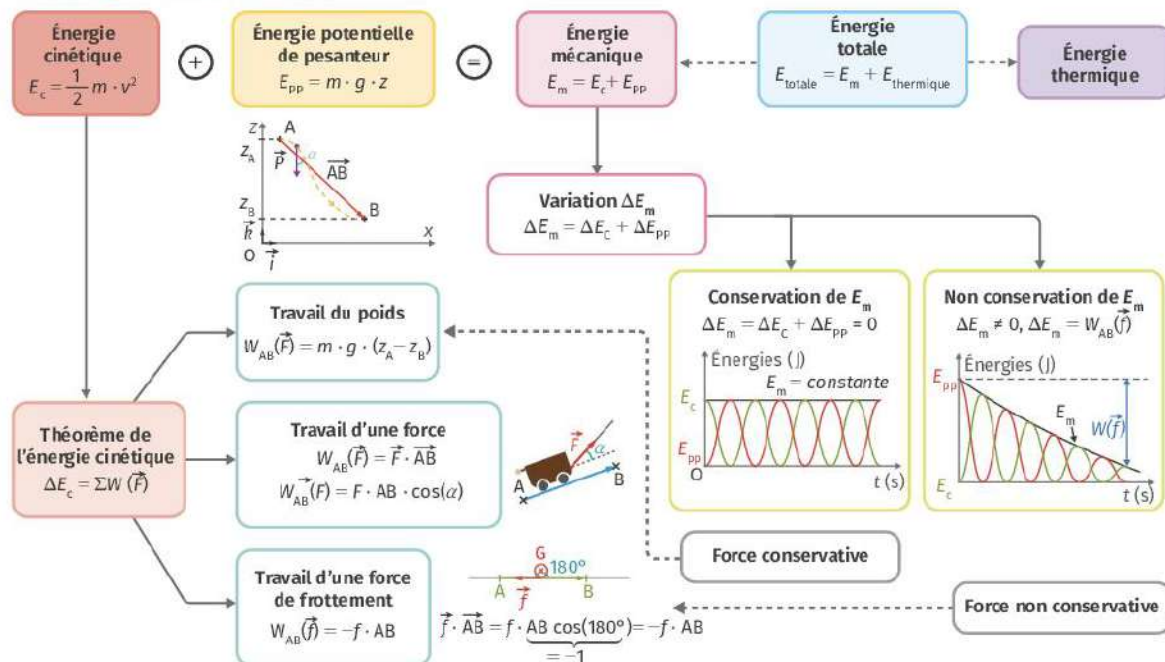
Doc. 6 Service au tennis



Données

- Masse de la balle de tennis : 57 g ;
- Vitesse initiale de la balle : $v_A = 7,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Principales notions



Les éléments essentiels de la modélisation

En mécanique, une étude énergétique peut se réaliser :

- soit en négligeant la présence de forces dissipatives (ex. : les frottements fluides). Dans ce cas, l'énergie mécanique se conserve et il est possible d'estimer la position et/ou la vitesse du système à n'importe quel instant de son mouvement ;

- soit en tenant compte des forces de frottement. Dans ce cas, l'énergie mécanique ne se conserve pas.

Cette non-conservation peut être exploitée en déterminant le travail d'une force dissipative ou l'intensité de cette force.

Les limites de la modélisation

Le théorème de l'énergie cinétique exige de préciser le référentiel dans lequel se fait l'étude. Il est valable dans le référentiel terrestre pour des vitesses de déplacement suffisamment petites, mais il n'est pas valable pour certains référentiels non galiléens comme un manège en rotation par exemple.

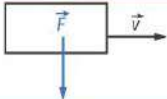
➤ L'étude ne porte ici que sur des forces constantes. Dans le cas de forces variables dans le temps, l'expression mathématique du travail fait appel à des intégrations, elle est donc plus complexe.

➤ Enfin, l'énergie de rotation propre au corps en mouvement est négligée par souci de simplification dans les calculs. Dans le cas d'une balle de tennis tapée avec un effet par exemple, elle peut pourtant être non négligeable dans un bilan énergétique.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour faire une carte mentale et reprendre les principales notions du chapitre. LLS.fr/PC1P304

1 Énergie cinétique et travail d'une force

	A	B	C
1. L'énergie cinétique d'une balle de golf de masse $m = 100 \text{ g}$ et d'une vitesse de $36,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ vaut :	5,00 J.	$5,00 \times 10^3 \text{ J}$.	64,8 J.
2. Une force est dite conservative si :	le travail de cette force est nul.	le travail de cette force est indépendant du chemin suivi par le système.	le travail de cette force est indépendant de l'état final du système.
3. Le travail de la force $\vec{F}$ est moteur dans le cas :			
4. La variation d'énergie cinétique d'un système se déplaçant d'un point A à un point B s'écrit :	$\Delta E_c = \sum W_{AB}(\vec{F}_{nc})$.	$\Delta E_c = \sum W_{AB}(\vec{F}_{nc}) - W_{AB}(\vec{P})$.	$\Delta E_c = \sum W_{AB}(\vec{F})$.

2 Énergie potentielle de pesanteur

1. L'énergie potentielle de pesanteur d'un plongeur de masse $m = 100 \text{ kg}$ situé à 20 m sous le niveau de la mer, en prenant le niveau de la mer pour référence des énergies potentielles, vaut :	$-2,0 \times 10^4 \text{ J}$.	$2,0 \times 10^4 \text{ J}$.	$2,0 \times 10^3 \text{ J}$.
2. L'énergie potentielle de pesanteur est nulle :	au niveau de la mer.	à une hauteur de référence arbitrairement choisie.	obligatoirement au plus bas d'une trajectoire.

3 Énergie mécanique

1. Lorsque l'énergie mécanique d'un système se conserve alors :	$W(\vec{F}_{nc}) = 0 \text{ J}$.	$\Delta E_m = 0 \text{ J}$.	le système est soumis à des forces de frottement.
2. La variation d'énergie mécanique d'une balle chutant du dernier étage d'un immeuble haut de 80,0 m vaut $\Delta E_m = -904 \text{ J}$.	L'énergie mécanique de la balle se conserve.	$\sum W(\vec{F}_{nc}) = -450 \text{ J}$.	l'intensité des forces de frottement est égale à $f = 11,3 \text{ N}$.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P305

4 Questions Jeopardy

- Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :
 - Il s'agit d'une force dont le travail ne dépend pas du chemin parcouru, par exemple le poids.
 - Cette grandeur physique quadruple quand la vitesse est doublée.

EXERCICES

(Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 407)

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage

□ Savoir calculer une énergie cinétique ou potentielle

13

□ Savoir calculer le travail d'une force de frottement

17

□ Exploiter le théorème de l'énergie cinétique

11

17

31

□ Exploiter la conservation ou non-conservation de l'énergie mécanique

13

[DIFF]

17

20

Pour s'échauffer

Données

- Origine des énergies potentielles : niveau de la mer ;
- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

5 Énergie cinétique

- Calculer l'énergie cinétique du footballeur Kylian Mbappé, dont la masse est de $m = 78 \text{ kg}$, lorsqu'il atteint sa vitesse maximale de $32,4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

6 Énergie cinétique

- Calculer la vitesse d'un train de masse $m = 19 \text{ tonnes}$ ayant une énergie cinétique de $1\,450 \text{ MJ}$.

7 Énergie potentielle de pesanteur

- Calculer l'énergie potentielle de pesanteur d'un moineau de masse $m = 20 \text{ g}$ placé sur une ligne haute tension située à 30 m du sol.

8 Énergie mécanique

- Calculer l'énergie mécanique d'un dromadaire de masse $m = 350 \text{ kg}$ se déplaçant à la vitesse de $2,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ sur une dune de sable haute de 100 m .



9 Travail d'une force

- Calculer le travail du poids d'un alpiniste de 80 kg lorsqu'il gravit l'Everest haut de $8\,848 \text{ m}$ depuis le camp de base à $5\,150 \text{ m}$.

10 Travail d'une force

- Calculer le travail fourni par un système soumis à une force motrice constante de 120 N et se déplaçant en ligne droite sur une distance de $2,0 \text{ km}$.

Pour commencer

Énergie mécanique, cinétique et potentielle

11 Calculer une variation d'énergie cinétique

✓ MATH : Calcul littéral (résoudre une équation)



Une balle de baseball d'une masse de 120 g est lancée avec une vitesse de $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Au cours de son mouvement, sa vitesse diminue progressivement jusqu'à $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et son altitude ne varie pas.

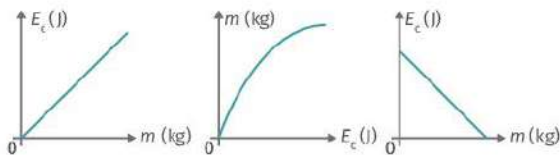
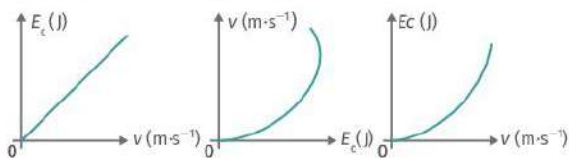
1. Calculer la variation d'énergie cinétique de la balle.
2. En déduire le travail des forces de frottement.

12 Décrire l'évolution d'une grandeur physique

✓ RAI/ANA : Associer les unités de mesure à leur grandeur

Pour un corps de masse m en mouvement à la vitesse v :

1. Choisir, parmi les graphiques proposés, celui qui correspond à l'évolution de l'énergie cinétique en fonction de la vitesse. Justifier.



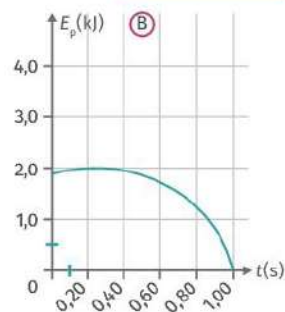
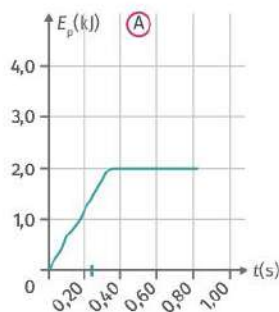
2. Lequel correspond à l'évolution de l'énergie cinétique en fonction de la masse m ? Justifier.

13 Exploiter un graphique pour identifier une inconnue

✓ VAL : Exploiter numériquement un ensemble de mesures

Une plongeuse de 50 kg, assimilée à un point matériel, saute depuis un tremplin dans une piscine. Des mesures ont été effectuées afin de représenter l'évolution au cours du temps de l'énergie potentielle de pesanteur de la plongeuse par rapport à la surface de l'eau, l'altitude de cette surface sera donc prise comme référence.

- Parmi les deux graphiques proposés, lequel correspond à l'évolution de l'énergie potentielle de pesanteur de la plongeuse au cours du temps ? Justifier.
- Déterminer la hauteur du plongeur.



Donnée

• Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

□ Savoir-faire : Exploiter la conservation ou non-conservation de l'énergie mécanique

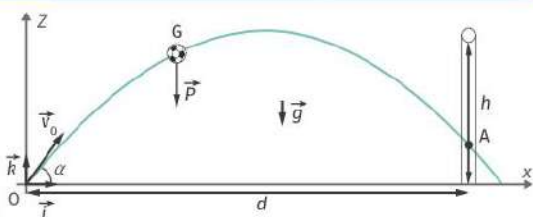
Au point de penalty situé à $d = 11 \text{ m}$ de la ligne de but, le joueur tape le ballon en direction du centre du but avec une vitesse initiale $v_0 = 11,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Pour remporter le point, le ballon doit franchir la ligne de but en A ($d ; z_A$). La référence de l'énergie potentielle de pesanteur est prise à l'origine du repère et l'intensité du champ de pesanteur est égale à $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$. Le ballon a une masse $m = 650 \text{ g}$.

D'après un sujet Bac S, 2015.

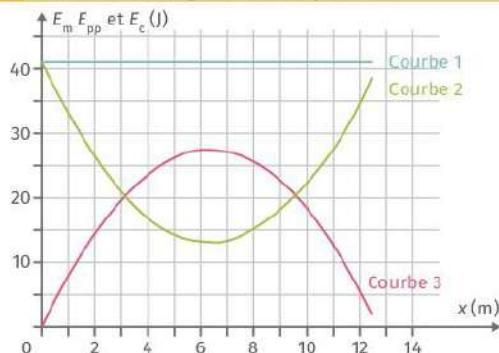
Doc. 1 La panenka

Antonin Panenka est un footballeur tchécoslovaque qui a donné son nom à une technique de tir de penalty : la panenka. Le ballon est frappé doucement pour prendre une trajectoire en cloche.

Doc. 2 Trajectoire du ballon lors d'une panenka



Doc. 3 Évolution des énergies lors du tir panenka



Évolution des énergies mécanique, cinétique et potentielle de pesanteur du ballon lors du tir.

14 La panenka (1)

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

- Doc. 3 Associer à chaque courbe la forme d'énergie correspondante. Justifier.
- L'énergie mécanique se conserve-t-elle ? Justifier.
- a. Déterminer graphiquement la valeur de $E_{pp}(A)$, énergie potentielle de pesanteur du ballon en A.
b. En déduire la valeur de z_A .
- a. À partir des réponses aux questions 2. et 3., montrer que $v_A = \sqrt{v_0^2 - 2g \cdot z_A}$.
b. En déduire la valeur v_A de la vitesse du ballon lorsqu'il franchit la ligne de but.

15 La panenka (2)

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

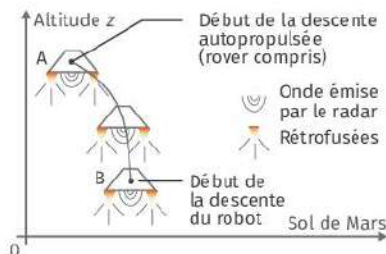
- Le ballon est-il soumis à des forces de frottement ?
- Exprimer la valeur de v_A en fonction de v_0 , de l'énergie $E_{pp}(A)$ et de la masse du ballon. Estimer sa valeur.

16 La panenka (3)

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

- À partir des documents et de vos connaissances, exprimer la vitesse v_A du ballon en fonction de la vitesse initiale v_0 et des énergies cinétique $E_c(0)$ et potentielle de pesanteur $E_{pp}(A)$. Estimer sa valeur.

Un atterrissage réussi !



Énoncé

Curiosity, robot mobile de la NASA, a atterri avec succès sur Mars le 6 août 2012.

Le véhicule dispose de 75 kg d'équipements scientifiques. À 2,00 km d'altitude et à une vitesse de $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, débute la descente autopropulsée

puis à 20 m du sol, avec une vitesse de $75 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ seulement, l'étape de descente commence à descendre le robot au bout de trois filins de 7,50 mètres pour déposer Curiosity en douceur.

D'après le sujet Bac S, Centres étrangers, 2014.

1. Déterminer le travail du poids entre A et B et commenter.
2. Montrer que l'énergie mécanique du rover ne se conserve pas entre A et B. Justifier cette non-conservation.
3. Dédire des deux questions précédentes l'intensité de la force de frottement de l'air $\vec{f}$ supposée constante. On assimile la trajectoire du rover à une droite.

Solution rédigée

1. Le travail du poids s'écrit : $W_{AB}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (z_A - z_B)$. Le rover débute sa descente à $z_A = 2,00 \text{ km}$ d'altitude pour atteindre le point B en $z_B = 20 \text{ m}$.
 $W_{AB}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (z_A - z_B) = 2,0 \times 10^3 \times 3,7 \times (2,00 \times 10^3 - 20) = 1,5 \times 10^7 \text{ J}$.
Ainsi $W_{AB}(\vec{P}) > 0$. Le travail du poids est donc moteur.
2. $E_m(A) = E_c(A) + E_p(A) = \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 + m \cdot g \cdot z_A = 2,5 \times 10^7 \text{ J}$.
 $E_m(B) = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 + m \cdot g \cdot z_B = 1,5 \times 10^5 \text{ J}$.
Ainsi $E_m(A) \neq E_m(B)$. L'énergie mécanique du système ne se conserve pas. Il existe donc des forces dissipatives.
3. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au système, on obtient : $E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{f})$, soit :
 $W_{AB}(\vec{f}) = E_c(B) - E_c(A) - W_{AB}(\vec{P})$
 $W_{AB}(\vec{f}) = \frac{1}{2} \times 2,00 \times 10^3 (0,75^2 - 100^2) - 1,5 \times 10^7 = -2,5 \times 10^7 \text{ J}$.
Enfin $W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{AB}$ donc $f = \frac{W_{AB}(\vec{f})}{z_B - z_A} = \frac{-2,5 \times 10^7}{-1,98 \times 10^3} = 1,3 \times 10^4 \text{ N}$.

17 Mise en application

Le 12 novembre 2014, le robot explorateur spatial Philae, de masse $m = 100 \text{ kg}$, s'est posé sur le noyau de la comète Tchouri, à plus de $500 \times 10^6 \text{ km}$ de la Terre. Après avoir été largué sans vitesse initiale par la sonde spatiale Rosetta en orbite à 20 km de la surface de la comète, Philae a chuté en ligne droite pendant 7 h en direction de la comète avant d'atteindre la surface de Tchouri à la vitesse de $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- Reprendre les trois questions de l'exercice précédent pour la chute du robot Philae sur Tchouri.

DONNÉES

- Intensité du champ de pesanteur sur Mars :
 $g_{\text{mars}} = 3,7 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- Masse de l'étage de descente + rover :
 $m = 2,0 \times 10^3 \text{ kg}$;
- Intensité du champ de pesanteur sur Tchouri (considérée comme uniforme) :
 $g_{\text{Tchouri}} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Rappeler la formule du travail du poids. Identifier les valeurs de l'altitude z_A de A et z_B de B.
2. Montrer que $E_m(A) = E_m(B)$ sur le graphique.
3. Faire un bilan des forces s'appliquant sur le rover. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique pour en déduire l'expression de $W_{AB}(\vec{f})$. Exprimer le travail $W_{AB}(\vec{f})$ en fonction de f , z_A et z_B .

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Les grandeurs m et g possèdent 2 chiffres significatifs, $z_A - z_B$ en possède 3. Le résultat doit donc en comporter 2.
2. Calculer et comparer l'énergie mécanique du rover à deux endroits différents de sa trajectoire.
3. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique $\Sigma(W_{AB}(\vec{F})) = \Delta E_c$, puis utiliser la définition du travail d'une force constante s'appliquant sur le rover en admettant que sa trajectoire est rectiligne : $W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overrightarrow{AB}$.

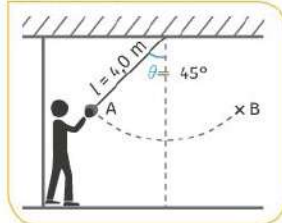
Pour s'entraîner

18 Risquer sa vie !

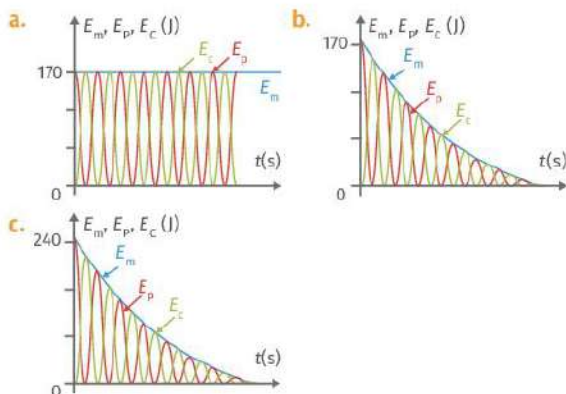
✓ RAI / MOD : Appliquer le principe de conservation de l'énergie

Dans son cours, dédié à la conservation de l'énergie mécanique, l'astrophysicien Walter Lewin souhaite montrer à son public qu'un pendule relâché à une certaine hauteur ne pourra jamais atteindre un point plus haut que son point de départ.

Schéma de la scène



- À l'aide du schéma et de ses connaissances, montrer que la hauteur h entre le point A et le point le plus bas de la trajectoire vaut $h = l \cdot (1 - \cos(\theta))$.
- En déduire alors l'énergie potentielle de pesanteur du pendule E_{pp} à l'instant initial.
- Quel graphique représenterait au mieux la situation proposée par ce professeur à ses étudiants ? Justifier.



Données

- $l = 4,0 \text{ m}$; $\theta = 45^\circ$; $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- $E_{pp} = 0 \text{ J}$ lorsque la boule est au plus bas de sa trajectoire.

19 Interpréter une variation d'énergie mécanique

✓ RAI / ANA : Utiliser des mesures pour répondre à une problématique

Le 14 octobre 2012, Felix Baumgartner a réalisé un saut historique en battant trois records : celui de la plus haute altitude atteinte par un homme en ballon soit 39 045 m d'altitude, le record du plus haut saut en chute libre et le record de vitesse en chute libre soit 1341,9 km·h⁻¹. L'étude est réalisée dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

D'après le sujet Bac S, Métropole, 2015.



Felix Baumgartner lors du saut du 14 octobre 2012.

- Calculer l'énergie mécanique de Felix Baumgartner au moment où il se laisse tomber du ballon sonde initialement à l'arrêt.
- Baumgartner atteint sa vitesse maximale à 27,5 km du sol terrestre. Calculer son énergie mécanique à cet instant.
- En déduire la variation d'énergie mécanique de Baumgartner entre les deux moments évoqués précédemment.
- Expliquer cette perte d'énergie mécanique.

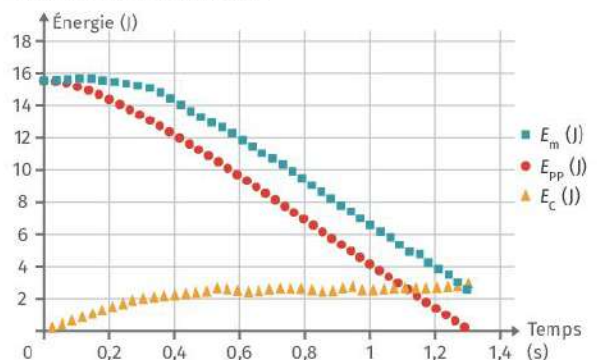
Données

- Masse de Felix Baumgartner et de son équipement : $m = 120 \text{ kg}$;
- Intensité du champ de pesanteur entre 28 et 39 km d'altitude : $g = 9,7 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

20 Exploiter un graphique

✓ RAI / MOD : Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie

Au laboratoire, pour étudier le mouvement de chute d'une boule de pétanque accrochée à un parachute, des élèves de lycée ont effectué des mesures afin d'obtenir le graphique ci-dessous.



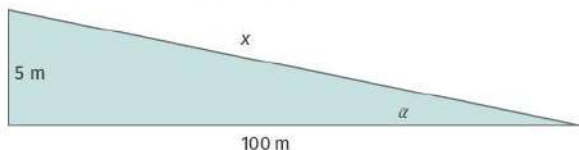
- À partir du graphique, déterminer la valeur de l'énergie mécanique de la boule de pétanque lorsqu'elle touche le sol.
- Peut-on appliquer le principe de conservation de l'énergie mécanique à la boule de pétanque ? Justifier.

EXERCICES

21 Déterminer le travail d'une force

✓ RAI/MOD : faire un bilan de forces

Un automobiliste se déplace sur une route horizontale à vitesse constante pendant 10 km puis arrive en bas d'une pente de 5 % qu'il gravit sur 2 000 m. Les forces de frottement sont considérées constantes et égales à 2 000 N sur l'ensemble du parcours.



Une pente de 5 % indique que la dénivellation est de 5 m tous les 100 m.

1. Faire un schéma de la situation proposée sur lequel apparaîtront les forces mises en jeu.
2. Calculer le travail du poids de la voiture sur l'ensemble du parcours.
3. Calculer le travail de la force de frottement sur l'ensemble du parcours.

Données

- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- Masse de la voiture : $m = 1,0 \times 10^3 \text{ kg}$.

22 Réaliser une analyse dimensionnelle

✓ RAI/MOD : Utiliser une analyse dimensionnelle

- En procédant à une analyse dimensionnelle, justifier que seule l'expression a. du travail, d'une force $\vec{F}$ constante s'appliquant sur un système parcourant un trajet rectiligne AB, est correcte.

a. $W_{AB}(\vec{F}) = F \cdot AB$. b. $W_{AB}(\vec{F}) = \frac{F}{AB}$. c. $W_{AB}(\vec{F}) = F + AB$.

23 Exploiter le théorème de l'énergie cinétique

✓ RAI/MOD : Appliquer le principe de conservation de l'énergie

L'abaissement de la vitesse de 90 à 80 km/h mis en place en juillet 2018 a permis de diminuer l'énergie cinétique des véhicules légers sur les routes de quelques dizaines de milliers de joules.



1. Calculer la variation d'énergie cinétique d'une voiture citadine d'une tonne dont la vitesse passe de 90 km/h à 80 km/h lors du freinage.
2. Que vaut le travail du poids de la voiture dans le cas d'un déplacement sur une route horizontale ?
3. En supposant que la distance de freinage soit de 41 m à 90 km·h⁻¹, déterminer le travail puis la valeur des forces de frottement (supposées constantes) lors du freinage. En déduire la distance de freinage à 80 km·h⁻¹.

24 Exploiter la non-conservation de l'énergie mécanique

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

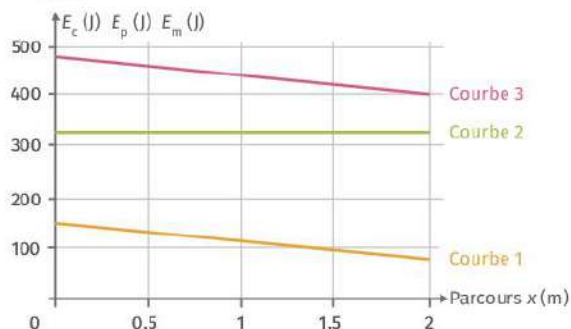
BAC

En skate, afin de réaliser un *grind*, le skateur qui avance d'abord en ligne droite à vitesse constante accède à un rail et glisse alors sur les axes de roues. On étudie le mouvement du système $S = \{\text{skateur} + \text{planche}\}$ qui glisse sans rouler sur le rail horizontal, d'un point A à un point B. Les forces de frottement ne sont pas négligeables, elles sont assimilables à une force $\vec{f}$ unique, constante et opposée au sens du mouvement.

D'après le sujet Bac S, Antilles, 2017.



1. À partir du graphique, identifier l'énergie mécanique, l'énergie cinétique et l'énergie potentielle de pesanteur.



Évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique du système S entre les points A et B.

2. À partir de ses connaissances, rappeler l'expression littérale du travail de la force $\vec{f}$ le long du parcours AB.
3. En utilisant le théorème de l'énergie mécanique, calculer le travail de la force $\vec{f}$ ainsi que son intensité.

Données

- Longueur du trajet sur le rail horizontal : $L = AB = 2,0 \text{ m}$;
- Masse du système S {skateur + planche} : $m = 80 \text{ kg}$;
- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P310

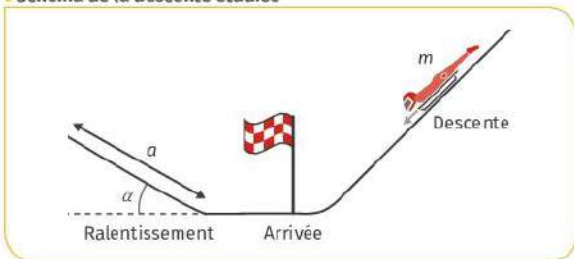
25 Ralentir un skeleton

✓ MATH : Résoudre une équation

Le skeleton est un sport d'hiver qui se pratique sur une planche, dans un couloir de glace en pente. Le sportif s'allonge sur son engin à plat ventre, la tête en avant et glisse sur la glace. Après avoir franchi la ligne d'arrivée à la vitesse v_f , le système {skeleton + coureur} ralentit en montant une pente comme indiqué sur la figure suivante. La hauteur atteinte par le skeleton s'exprime selon la formule : $h = a \cdot \sin(\alpha)$. Dans cet exercice, les frottements sont négligés.



Schéma de la descente étudiée



Données

- $\alpha = 3,0^\circ$;
- $m = 100 \text{ kg}$;
- $v_f = 108 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

1. En appliquant le principe de conservation de l'énergie mécanique au système, montrer que :

$$a = \frac{v_f^2}{2g \cdot \sin(\alpha)}$$

2. Effectuer l'application numérique de a . Commenter.
3. En réalité, la longueur nécessaire à l'arrêt complet du skeleton est de 70 m. En déduire la valeur de la force de frottement s'exerçant sur le système après avoir franchi la ligne d'arrivée.

26 Flyboard en QCM

✓ RAI/ANA : Associer les unités de mesure à leurs grandeurs correspondantes

Le flyboard est un sport nautique où le pilote se tient debout sur une planche à propulsion. En moyenne, un flyboarder monte à une altitude maximale de 6,0 m et atteint une vitesse de $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ au sommet de sa trajectoire verticale. On prend le niveau de la mer comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur. Choisir, en la justifiant, la bonne réponse :



1. L'énergie potentielle lorsque le pilote est à la surface de l'eau est de :
a. 4800 m. b. 0 m. c. 0 J.
d. 4800 J.
2. Lorsque le flyboarder est au sommet de son ascension, l'énergie cinétique du système est égale à :
a. 0 m/s. b. 0 J. c. $1,9 \times 10^3 \text{ J}$.
d. $3,9 \times 10^3 \text{ J}$. e. $3,85 \times 10^3 \text{ J}$.
3. La variation de l'énergie cinétique du flyboarder lors de son ascension vaut :
a. 0 J. b. $1,5 \times 10^3 \text{ J}$. c. $3,0 \times 10^3 \text{ J}$.
d. $-1,5 \times 10^3 \text{ J}$.
4. La valeur de la force de frottement exercé par l'air sur le système est :
a. 220 J. b. 16000 N. c. 220 N.
d. $2,0 \times 10^3 \text{ J}$. e. $1,6 \times 10^4 \text{ J}$.

Données

- La vitesse initiale du flyboarder est de $12,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$;
- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- La masse du système {flyboard + équipement + flyboarder} est d'environ 160 kg ;
- La force motrice F exercée par les moteurs assurant ainsi l'ascension vaut environ 1600 N.

27 Copie d'élève à commenter

- ♦ Proposer une justification pour chaque erreur dans les réponses aux questions ci-dessous.

1. Quelle est la vitesse d'une goutte de pluie de 10 mg supposée en chute libre (goutte non soumise à des forces de frottement) juste avant de percuter le sol ?
2. En réalité, la vitesse limite atteinte par une goutte est de 40 km. Expliquer la différence avec le résultat obtenu précédemment.

1. Commençons par définir l'état initial et l'état final dans lesquels se trouve la goutte lors de sa chute.

État initial A : vitesse : $v = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. altitude : celle d'un cumulonimbus $h = 1,0 \text{ km}$.

État final B : vitesse : ? altitude : 0 m.

En utilisant le principe de conservation de l'énergie cinétique, on peut écrire :

$$E_m(A) + E_p(B) = 0$$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$v = \frac{g \cdot h}{2m}$$

$$v = 142 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

La goutte touche le sol avec une vitesse d'environ 40 km/h.

2. La différence vient des erreurs de calcul.

28 Exécution d'un putt au golf

✓ RAI/MOD : faire un bilan des forces

Après un lancer, lorsque la balle atterrit à proximité du trou, la joueuse doit réaliser un putt consistant à taper la balle avec le club de golf, la faisant rouler sur le green jusqu'au trou. Lors de son mouvement rectiligne jusqu'au trou, la balle, assimilée à un point matériel de masse $m = 46 \text{ g}$, est soumise à une force de frottement constante de valeur 50 mN et parcourt $2,5 \text{ m}$.



1. Faire un bilan des forces s'appliquant sur la balle lors de son mouvement et les représenter sur un schéma.
2. L'énergie mécanique de la balle se conserve-t-elle au cours de son mouvement ? Justifier.
3. En déduire la valeur du travail de chaque force s'appliquant sur la balle lors du mouvement.
4. En supposant que la balle soit initialement frappée avec une vitesse de $4,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, calculer la valeur de sa vitesse lorsqu'elle atteint le trou.

Donnée

- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

29 Chute dans l'atmosphère de Jakku

✓ RAI/MOD : Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie

Dans l'épisode VII de la saga *Star Wars*, lors de leur entrée en catastrophe dans l'atmosphère de Jakku, le vaisseau de Finn et Poe Dameron prend feu, montrant qu'il a été soumis à des échanges thermiques importants.



1. Calculer l'énergie mécanique du vaisseau à l'entrée dans l'atmosphère et au niveau du sol.
2. En déduire la valeur de l'énergie thermique Q dispersée lors de la rentrée dans l'atmosphère.

Données

- On suppose $g_{\text{Jakku}} = 7,2 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- Vitesse d'entrée du vaisseau dans l'atmosphère : $v_e = 50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- Masse du vaisseau + équipage : $m = 10,0 \text{ t}$;
- Épaisseur de l'atmosphère : 30 km ;
- Vitesse lors du 1^{er} contact au sol : $v_{\text{sol}} = 60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Comprendre les attendus

BAC

30 Hauteur d'un jet d'eau

✓ MATH : Pratiquer le calcul littéral

Sur le lac Léman à Genève, le jet d'eau haut de 140 m est l'emblème de la ville. Des vacanciers veulent vérifier si la hauteur du jet annoncée par la fiche touristique de la ville est correcte. Dans cet exercice, toute force de frottement sera négligée.



1. Établir l'expression de l'énergie mécanique d'un volume d'eau de masse m assimilé à un point :
 - a. lorsqu'elle est à la surface du lac.
 - b. lorsqu'elle atteint le point culminant de sa trajectoire.
2. Montrer alors que l'expression littérale de la hauteur maximale h atteinte par le jet d'eau peut s'écrire $h = \frac{v^2}{2g}$ avec v la vitesse d'éjection de l'eau et $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ l'intensité du champ de pesanteur terrestre.
3. a. À partir des informations ci-dessous et des résultats précédents, calculer h .
b. En quoi le résultat obtenu diffère-t-il de la valeur réelle ? Justifier.

Le jet d'eau en chiffres :

- 140 mètres de hauteur ;
- La vitesse de sortie de l'eau est de $200 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- $0,5 \text{ m}^3$ d'eau est projetée chaque seconde.

Détails du barème

TOTAL/7 pts

- | | |
|--|-------------------------|
| 1. Citer les conditions d'application du principe de conservation de l'énergie mécanique.
Donner l'expression de l'énergie mécanique d'un objet de masse m se déplaçant à la vitesse v d'un point bien défini à un autre. | 1 pt
1 pt (2 x 0,5) |
| 2. Appliquer le principe de conservation de l'énergie mécanique.
Exploiter une relation littérale. | 1 pt
1 pt |
| 3. Réaliser un calcul numérique.
Commenter le résultat obtenu à la valeur indiquée dans l'énoncé. | 2 pts (4 x 0,5)
1 pt |

Pour aller plus loin

31 Match de curling

✓ REA : Mettre en œuvre un protocole

BAC

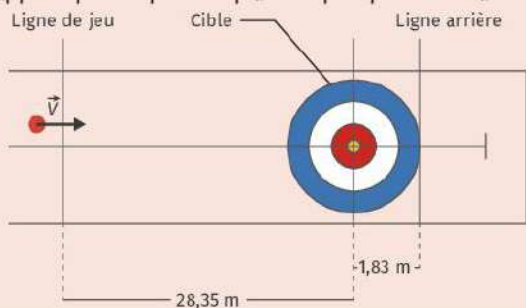
L'équipe de Tom et celle de Jasmine s'affrontent lors d'un match de curling. Le match arrive à son terme et les équipes sont *ex æquo*. C'est la dernière pierre de l'équipe de Jasmine. Pour gagner, il faut sortir la pierre de l'équipe de Tom de la cible. Deux balayeurs sont mobilisés devant la pierre et espèrent lui faire atteindre la cible. Lors de leur dernier lancer, l'équipe de Jasmine parvient à placer la pierre au cœur de la cible en lui impulsant une vitesse de $2,56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sur la ligne de jeu.

1. Définir le système et le référentiel d'étude. Établir le bilan des forces s'appliquant sur le système et les représenter sur un schéma.
2. Sans faire de calcul, montrer que seul le travail d'une force est non nul. Identifier cette force.
3. **Doc. 1** Calculer le travail de cette force s'appliquant sur le système pour le lancer de l'équipe de Jasmine.
4. **Doc. 1** En déduire l'intensité de cette force.
5. **Doc. 2** Quelle est l'utilité du balayage devant la pierre ?

Doc. 1 Règles du jeu

Le curling est un sport qui se pratique sur une patinoire horizontale, sur laquelle sont dessinées des cibles circulaires appelées cibles.

Le but est de lancer les objets circulaires de 20 kg appelés pierres pour les placer le plus proche de la cible.



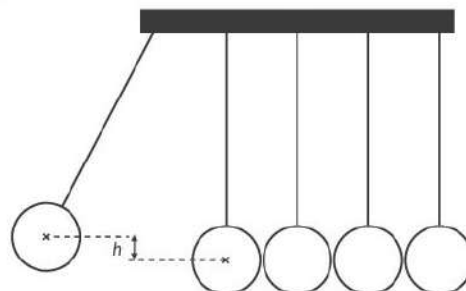
Doc. 2 Le curling



32 Le pendule de Newton

✓ RAI/MOD : Appliquer le principe de conservation de l'énergie

Le pendule de Newton est composé de cinq billes suspendues par des fils. Lorsqu'on écarte la première bille de la position d'équilibre et qu'on la lâche, elle perd de l'altitude et vient frapper la deuxième bille. Son énergie cinétique est transférée jusqu'à la dernière bille et la met en mouvement. Le système entre alors en oscillation. Chaque bille a une masse de 100 g.



1. La première bille est déplacée de sa position d'équilibre d'une hauteur $h = 5,0 \text{ cm}$ (voir schéma ci-dessus). En déduire l'énergie potentielle de pesanteur acquise par la bille. Une fois la bille lâchée, quelle conversion d'énergie est mise en jeu ?
2. Déterminer la vitesse v_1 de la première bille lorsqu'elle touche la deuxième.
3. En supposant que l'énergie cinétique se conserve intégralement, à quelle vitesse la cinquième bille quitte-t-elle la quatrième ? Justifier.
4. On peut constater que les hauteurs atteintes successivement par les billes des extrémités ont tendance à diminuer légèrement à chaque oscillation. Citer les deux causes principales pouvant expliquer ce phénomène.
5. Quelles conditions expérimentales permettraient d'augmenter le nombre total des oscillations ?
6. Le mouvement perpétuel du pendule serait-il alors envisageable ? Justifier.

Donnée

• Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

33 Un alpiniste en péril

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

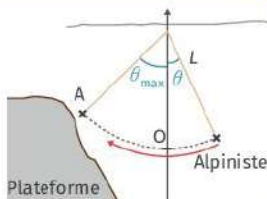
Suite à une chute, un alpiniste se retrouve suspendu au bout d'une corde de longueur L et espère atteindre une plateforme voisine. L'angle θ que fait la corde avec la verticale dépend de l'agitation de l'alpiniste et doit atteindre $\theta_{\max} = 40^\circ$ pour que l'alpiniste rejoigne la plateforme. La corde ne supporte que des tensions inférieures à 3500 N.



- L'alpiniste peut-il rejoindre la plateforme sans risque ?

Doc. 1 Description de la scène

L'énergie potentielle est prise nulle au point O.
 L : longueur de la corde.
 θ : valeur de l'angle que fait la corde avec la verticale.



Doc. 2 Schéma de la situation

Par application de la deuxième loi de Newton à l'alpiniste, on peut montrer que la tension de la corde s'exprime par la relation : $T = m \cdot g \cdot \cos(\theta) + \frac{m \cdot v^2}{L}$ avec v la vitesse de l'alpiniste en un point de sa trajectoire en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, et L la longueur de la corde en m.

Données

- Masse de l'alpiniste et son équipement : $m = 85 \text{ kg}$;
- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

34 Le cheeseburger parfait

✓ RAI/ANA : Communiquer sur les étapes

Dans le film *Tempête de boulettes géantes*, Flint Lockwood est un inventeur un peu loufoque. Alors que sa ville est une des plus grandes productrices de boîtes de sardines au monde, plus personne ne veut en acheter et les habitants n'ont plus que ça à manger. Flint trouve une solution pour permettre aux habitants de sa ville de manger autre chose. Il crée une machine pour transformer l'eau de pluie en cheeseburgers.



On précise que l'énergie thermique Q permettant le réchauffement d'un corps de masse m est égale à : $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$ avec c la capacité thermique massique du corps et $\Delta\theta$ l'écart en température.

1. Après avoir proposé une vitesse maximale à laquelle doit arriver un cheeseburger pour pouvoir l'attraper sans dommage et la masse de celui-ci, déterminer l'énergie perdue par frottement durant sa chute.
2. Cette énergie peut-elle être suffisante pour réchauffer le cheeseburger à la bonne température ?

Données

- Le cheeseburger provient d'un nuage situé à 1 km ;
- Capacité thermique massique de l'eau : $c = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$.

Retour sur la problématique du chapitre

35 Limite théorique en saut à la perche

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Renaud Lavillénie détient le record du monde avec un saut à 6,16 m réalisé à Donetsk en 2014.

1. En supposant dans un premier temps que le corps du perchiste est modélisé par un point matériel situé au centre de gravité du perchiste, déterminer par une analyse énergétique quelle serait la hauteur atteinte par ce point pour une vitesse d'élan au sol égale à la vitesse de course moyenne d'Usain Bolt sur 100 m.

2. Au sommet de la trajectoire, estimer à quelle hauteur supplémentaire le corps peut être propulsé grâce à l'impulsion des bras afin de dépasser la barre.
3. Conclure alors sur la hauteur limite théorique infranchissable pour un humain. Cette hauteur est-elle éloignée du record de Renaud Lavillénie ?

Données

- Temps du record du monde du 100 m détenu par Usain Bolt : 9,58 s ;
- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.



Découvrir l'énergie mécanique

Objectifs

- ➔ Préparer le cours en s'appropriant le vocabulaire et les notions concernant l'énergie d'un système en mouvement.
- ➔ Réaliser un bilan synthétique des notions abordées sous la forme d'une présentation orale.



vidéo

A Chute libre sans frottement



Visionner les capsules vidéo « L'énergie cinétique » et « L'énergie potentielle » sur [LLS.fr/PC1P315](https://lls.fr/PC1P315).



Utiliser l'animation « Chute libre verticale » sur [LLS.fr/PC1ChuteLibre](https://lls.fr/PC1ChuteLibre). La masse de la balle est de 0,100 kg.

1. Rechercher la définition physique d'un mouvement de chute libre.
2. Pour six positions différentes de la balle au cours de son mouvement de chute libre, relever la valeur de la distance d parcourue et de la vitesse v . À l'aide d'un logiciel tableur-grapheur, saisir ces valeurs dans un tableau à deux colonnes.
3. Ajouter deux nouvelles colonnes au tableau et calculer les valeurs de l'énergie cinétique E_c et de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} de l'objet pour les six positions relevées.

Aide : Pour calculer l'énergie potentielle de pesanteur, l'altitude est $z = 1 - d$. La valeur de l'intensité du champ de pesanteur est : $g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

4. Ajouter une cinquième colonne au tableau et calculer les valeurs de l'énergie mécanique de l'objet pour les six positions relevées.

Aide : L'énergie mécanique d'un système en chute verticale est la somme des énergies cinétique et potentielle de pesanteur. $E_m = E_c + E_{pp}$.

5. Représenter sur un même graphique l'évolution des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique en fonction de la distance d parcourue.

B Chute libre avec frottements



Utiliser l'animation « Chute libre verticale avec frottements » sur [LLS.fr/PC1ChuteFrottements](https://lls.fr/PC1ChuteFrottements). La masse du cône en papier est de 50 g = 0,050 kg.

1. Reprendre les questions 2. à 5. de la partie A pour l'étude du mouvement du cône.

Aide : Pour calculer l'énergie potentielle de pesanteur, l'altitude est $z = 1,8 - d$.

2. À partir de l'étude comparée des graphiques des deux mouvements, que peut-on conclure concernant la conservation ou non de l'énergie mécanique d'un objet en chute verticale ?

C Synthèse



En utilisant les notions principales abordées précédemment, préparer une présentation orale n'excédant pas 5 minutes permettant d'interpréter les deux capsules vidéo suivantes : « Hammer vs Feather » et « Bowling ball vs Feather » disponibles sur [LLS.fr/PC1P315](https://lls.fr/PC1P315). La présentation orale doit inclure :

- un support visuel (présentation, vidéos, animations, etc.) ;
- une expérience très simple illustrant le propos.



Trottinette électrique

Énoncé

Les trottinettes sont très utilisées en ville, elles permettent de parcourir rapidement de courtes distances. Afin d'augmenter la vitesse de déplacement et de diminuer l'effort nécessaire pour les faire avancer, on peut leur associer un moteur électrique lui-même alimenté par une batterie.

Une trottinette possède les caractéristiques suivantes :

- puissance du moteur : 250 W ;
- alimentation moteur : 36 V ;
- batterie lithium-ion : 7,8 Ah $\rightarrow$ 280 W·h ;
- rendement de la batterie Li-ion : 90,0 % ;
- temps de charge maximum : 3 heures ;
- masse de la trottinette : 10,5 kg ;
- vitesse maximale : 25 km·h⁻¹ ;
- autonomie de 20 km (mesurée à vitesse constante de 20 km·h⁻¹, avec un utilisateur de 65 kg).

1. Réaliser la chaîne énergétique décrivant les conversions et transferts d'énergie lorsque la trottinette roule.
2. À partir du rendement η de la batterie, calculer l'énergie totale qui doit être transférée à la batterie pour la charger complètement, en W·h et en J.
3. Lorsque la trottinette roule à 20 km·h⁻¹, son moteur fonctionne à une puissance de 220 W. Calculer l'énergie transférée de la batterie à la trottinette lorsqu'elle roule pendant 1,00 h, en W·h et en joule.
4. Comparer cette énergie avec celle stockée dans la batterie.
5. Calculer l'énergie perdue.
6. On suppose que toute cette perte d'énergie est engendrée par une force constante de même direction que le mouvement rectiligne, mais de sens opposé. Calculer l'intensité de cette force.



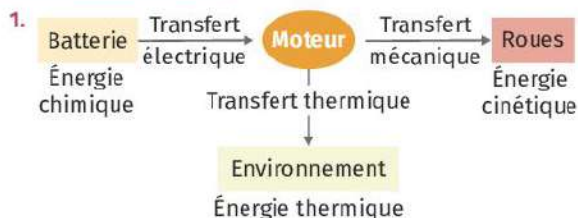
DONNÉE

- 1,000 W·h = 3 600 J.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Identifier les convertisseurs, les formes d'énergie et les transferts mis en jeu.
2. Appliquer la relation liant le rendement aux énergies stockées dans la batterie et fournies par celle-ci.
3. Quelle relation lie la puissance, l'énergie transférée et la durée du transfert ?
4. De ces énergies, identifier la plus grande.
5. À quoi correspond l'énergie perdue ?
6. Quelle relation lie une énergie (un travail) à une force ?

Solution rédigée



2. $\eta = \frac{E_{\text{batterie}}}{E_{\text{fournie}}}$, d'où

$$E_{\text{fournie}} = \frac{E_{\text{batterie}}}{\eta} = \frac{280}{0,900} = 311 \text{ W}\cdot\text{h} = 1,12 \times 10^6 \text{ J.}$$

3. $E = P \cdot \Delta t = 220 \times 1 = 220 \text{ W}\cdot\text{h} = 7,92 \times 10^5 \text{ J.}$

4. L'énergie transférée de la batterie à la trottinette est inférieure à celle contenue dans la batterie.

5. $\Delta E = 11,2 \times 10^5 - 7,92 \times 10^5 = -3,3 \times 10^5 \text{ J.}$ La variation d'énergie est bien négative, l'énergie est perdue.

6. Le travail W de cette force est égal à la variation d'énergie de la trottinette : $W = \Delta E$.

De plus, ce travail W est égal au produit de la force par la distance parcourue : $W = -F \cdot d$.

Finalemt $\Delta E = -F \cdot d$, d'où

$$F = \frac{-\Delta E}{d} = \frac{3,30 \times 10^5}{20 \times 10^3} = 16 \text{ N.}$$

1 Frottements, perte d'énergie et freinage

Doc. 1 Les frottements, une source de perte d'énergie

Lorsqu'une voiture se déplace, elle est ralentie par le frottement fluide de l'air, appelé ici force de traînée, ainsi que par les frottements du sol. Les molécules qui constituent l'air entrent en collision avec la voiture et les roues adhèrent plus ou moins au sol à cause des forces de contact entre les roues et le sol.

Une partie de l'énergie cinétique de la voiture est convertie lors de ces frottements en énergie thermique et finalement perdue par la voiture. Celle-ci doit alors fournir plus d'énergie pour atteindre une même vitesse. Ce qui est vrai ici pour une voiture l'est aussi pour un vélo, une fusée ou un skieur.

Doc. 2 Quelques caractéristiques d'une voiture



Une voiture citadine du commerce possède les caractéristiques suivantes :

- masse : 1 200 kg ;
- moteur : 110 ch ;
- vitesse de pointe : $194 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
- couple : $240 \text{ N}\cdot\text{m}$ à $1\,800 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$;
- dimensions : $4\,062 \times 1\,731 \times 1\,448 \text{ mm}$.

Un test effectué avec cette voiture indique qu'elle met 11 s pour atteindre $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ et qu'elle a besoin de 9,8 m pour s'arrêter si elle roulait à $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Doc. 3 Principe d'une voiture hybride

Une voiture hybride électrique associe en général un moteur électrique à un moteur thermique à essence pour permettre le mouvement. Le moteur électrique est réversible et permet une récupération d'une partie de l'énergie cinétique du véhicule lors du freinage du véhicule. Le freinage est dit régénératif, il permet de recharger les batteries de traction lors des ralentissements. L'énergie récupérée est exploitée pour déplacer le véhicule, permettant jusqu'à 25 % d'économie de carburant en diminuant d'autant les émissions de gaz polluants.

Donnée

$$1 \text{ ch} = 745,70 \text{ W.}$$

Numérique

Retrouvez plus de sujets Bac en version numérique.

[LLS.fr/PC1P317](https://lls.fr/PC1P317)

Questions

1. Déterminer l'énergie cinétique que doit acquérir la voiture décrite pour atteindre la vitesse de $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
2. Convertir en watt (W) la puissance de la voiture fournie par le constructeur.
3. En déduire la durée nécessaire à la voiture pour atteindre la vitesse de $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, en supposant qu'elle n'est soumise à aucun frottement.
4. En comparant cette durée avec celle que met réellement la voiture pour atteindre $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, identifier s'il y a conservation de l'énergie mécanique.
5. Calculer l'énergie perdue par la voiture à cause des frottements.
6. Sachant que pour fournir une énergie de 44,8 kJ, un moteur thermique doit brûler 1,0 kg de gazole, calculer la masse de gazole perdu à cause des frottements.
7. Lors du test de freinage effectué sur la voiture du **doc. 2**, calculer l'énergie dissipée par chaque frein en supposant une égale répartition des forces de freinage sur chaque roue.
8. Faire un schéma résumant quels types de transferts d'énergie sont mis en jeu dans une voiture hybride pour récupérer de l'énergie lors d'un freinage.



Retrouver des questions pour aller plus loin en ligne. [LLS.fr/PC1P317](https://lls.fr/PC1P317)

Ondes et signaux

Parcours d'orientation - Les licences autour de la Physique-Chimie

Spécialités suggérées en terminale :



+



ou



À la découverte de ce cursus

LICENCE

Lieu : Université Durée de la formation : 3 ans

Dispensé au sein des universités, l'enseignement en licence a vocation à préparer les acteurs du monde de la recherche de demain. Un diplôme en licence doit souvent s'accompagner d'une poursuite d'étude soit en licence professionnelle, soit en master voire en doctorat.

CARACTÉRISTIQUES DE LA FORMATION

- ♦ Taux d'encadrement
- ♦ Spécialisation
- ♦ Professionnalisation
- ♦ Passerelles possibles

EXEMPLES DE LICENCE

- ♦ Licence de physique-chimie : à découvrir sur [LLS.fr/PC1LicencePC](https://lls.fr/PC1LicencePC)
- ♦ Licence de biologie : à découvrir sur [LLS.fr/PC1LicenceBio](https://lls.fr/PC1LicenceBio)
- ♦ Licence de sciences de l'ingénieur : à découvrir sur [LLS.fr/PC1LicenceSI](https://lls.fr/PC1LicenceSI)

Compétences



Retrouver les fiches méthode compétences sur lelivrescolaire.fr LLS.fr/PC1Methode.

INDICATEUR DE MAÎTRISE		chap. 16	chap. 17	chap. 18
APP	Faire un brouillon comprenant schéma, données et notions Extraire l'information utile sur supports variés		✓	
APP	Formuler une problématique ou le résultat attendu Identifier le paramètre de travail, lien avec les capteurs	✓		
RAI/ ANA	Choisir/Élaborer/Justifier un protocole	✓		
RAI/ ANA	Construire un raisonnement, communiquer sur les étapes/chemin de résolution Utiliser des observations/des mesures/des documents pour répondre à une problématique		✓	
RAI/ ANA	Associer les unités de mesure à leurs grandeurs correspondantes Utiliser une analyse dimensionnelle			✓
REA	Effectuer des mesures/acquérir des données grâce à des capteurs	✓		
RAI/ MOD	Utiliser avec rigueur le modèle de l'énergie : discerner ressource et énergie/source et transfert/faire une chaîne d'énergie/appliquer le principe de conservation de l'énergie			✓
VAL	Précision et incertitudes/chiffres significatifs/ identifier et évaluer les sources d'erreur	✓		
VAL	Évaluer et connaître des ordres de grandeurs			✓
VAL	Analyser un résultat numérique : valeur/unité/chiffres significatifs/analyse comparative		✓	
MATH	Calcul littéral (résoudre une équation)		✓	
MATH	Utiliser des outils mathématiques : valeur absolue/grandeurs algébriques/fonction périodique ou affine	✓	✓	

Ondes mécaniques

ESPRIT SCIENTIFIQUE



Roman Nogin, *Sounds of Jazz*.

Les sons, les séismes, les vagues, tous ces phénomènes semblent bien différents.

➤ Quelles propriétés physiques ont-ils pourtant en commun ?

➔ voir l'exercice 39, p. 338

Travailler

autrement

LABO
PYTHON

PYTHON

Réalisez une étude
des incertitudes de
mesure avec Python !

LLS.fr/PC1P320

Voir p. 339

```
3 import os
4 import simpleknn
5 from bigfile import BigFile
6
7 if __name__ == "__main__":
8     trainCollection = 'toydata'
9     nimages = 2
10    feature = 'f1'
11    dim = 3
12
13    testCollection = trainCollection
14    testset = testCollection
15
16    # chemin complet vers le fichier de données
17    filepath = os.path.join(rootpath, trainCollection,
```




Le mot onde vient du latin *unda*, qui signifie eau qui court. En anglais, *wave* signifie à la fois onde et vague. L'eau est un matériau privilégié pour étudier les ondes.

→ Quelles informations sur les ondes peut-on extraire de l'étude des vagues ?

→ voir l'exercice corrigé et l'exercice 23, p. 333

À revoir pour bien commencer

- › La constitution de la matière : atomes, molécules
- › Phénomènes périodiques, période, fréquence
- › Célérité d'une onde : définition, valeur de la célérité du son dans l'air

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne !

LLS.fr/PC1P321

Objectifs du chapitre

- ▣ Décrire et expliquer la propagation d'une perturbation mécanique dans un milieu
- ▣ Exploiter la relation entre durée de propagation, distance parcourue et célérité
- ▣ Exploiter la notion de longueur d'onde
- ▣ Distinguer et exploiter les représentations spatiale et temporelle d'une onde mécanique périodique
- ▣ Représenter et simuler un signal périodique et la propagation d'une onde périodique

1 Des ondes bien différentes

En classe de seconde, les ondes sonores et les ondes lumineuses ont été étudiées. Parmi ces deux exemples d'ondes, une seule est qualifiée de mécanique.

→ Quelles sont les caractéristiques d'une onde mécanique ?

Par intuition

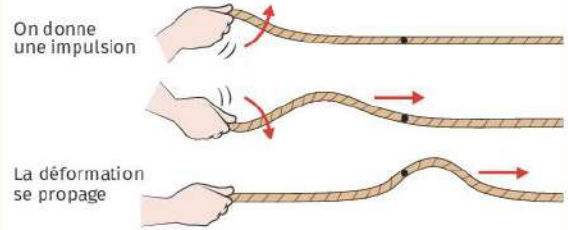
Qu'est-ce qui permet d'affirmer qu'une onde est mécanique ?

Doc. 1 Une onde à la surface de l'eau



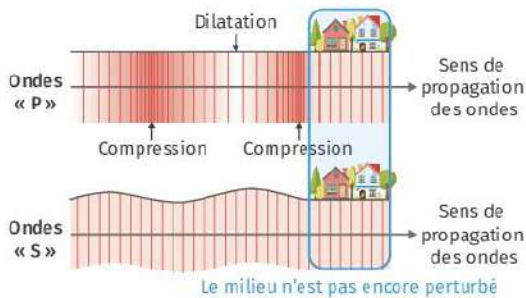
On fait des ricochets sur la surface plane et calme d'un étang. Cette photo montre l'évolution de la perturbation générée.

Doc. 2 Une onde le long d'une corde



Une petite impulsion est donnée sur l'extrémité d'une corde tendue au repos. Les trois schémas représentent la corde à trois instants successifs.

Doc. 3 Des ondes sismiques



Deux ondes parmi celles qui sont produites lors d'un tremblement de terre : les ondes de surface P et S.

Doc. 4 Un flotteur de pêche



Un flotteur ou bouchon subit la houle.

Compétences

- ✓ APP : Extraire l'information utile
- ✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

- 1. Doc. 1** Pourquoi dit-on que le caillou crée une perturbation à la surface de l'eau ?
- 2.** Pour quelle raison dit-on que l'onde se propage ? (L'onde est alors dite progressive.)
- 3. Doc. 2 et 3** Quelles sont les perturbations qui se propagent sur ces deux exemples ?
- 4. Doc. 4** Les vagues ne ramènent pas le bouchon sur la rive. Pourquoi ?
- 5.** Les ondes décrites dans les **doc. 1, 2 et 3**, ainsi que les ondes sonores, sont des ondes mécaniques. Les ondes qui contiennent les données envoyées par un satellite jusqu'à la Terre sont, quant à elles, des ondes électromagnétiques. Quelle est la différence entre ces deux situations ?

Synthèse de l'activité

Proposer une définition d'une onde mécanique.

2 Deux smartphones pour mesurer une célérité 55'

La technologie intégrée dans les téléphones portables actuels et l'offre des applications permettent de réaliser des expérimentations qui nécessitaient, il y a quelques années, un matériel plus complexe.

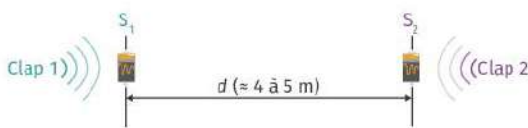
→ Comment mesurer la vitesse du son dans l'air avec deux smartphones ou tablettes ?



Doc. 1 Matériel nécessaire

- Deux smartphones (nommés S_1 et S_2 par la suite) ;
- L'application gratuite *PhyPhox* à télécharger en ligne LLS.fr/PC1PhyPhox ;
- Un décimètre.

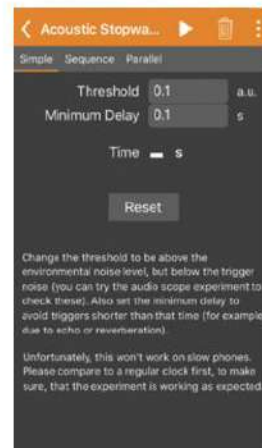
Doc. 3 Schéma du dispositif



Doc. 2 Le module Acoustic Stopwatch

On utilise le module *Acoustic Stopwatch*.

Le chronomètre se déclenche lorsque le microphone de l'appareil détecte un son. La sensibilité est ajustable dans le champ *Threshold* : plus la valeur est élevée, plus le son qui déclenche le chronomètre doit être intense. Il s'arrête lorsqu'il perçoit un deuxième son de niveau suffisant.



Doc. 4 Protocole

- 1) chaque expérimentateur se place derrière un smartphone ;
- 2) l'expérimentateur 1 tape dans ses mains, tout près de S_1 , ce qui déclenche les deux chronomètres décalés ;
- 3) l'expérimentateur 2 tape ensuite dans ses mains pour arrêter les chronomètres.



Retrouver une vidéo et les résultats de l'expérience sur LLS.fr/PC1P323.

Compétences

- ✓ RÉA : Mettre en œuvre un protocole
- ✓ VAL : Analyser un résultat numérique

1. Doc. 2, 3 et 4 Mettre en œuvre le protocole.

2. Doc. 4 En s'aidant de la chronologie (où les échelles ne sont pas respectées), exprimer à quelle durée correspond la mesure donnée par le smartphone S_1 en fonction de la célérité du son c et de la distance d . Faire de même pour la durée de S_2 .

3. Que représente la différence entre ces deux durées ?

4. En déduire la célérité du son dans les conditions de l'expérience.

5. La valeur attendue est proche de $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Proposer des explications aux écarts éventuellement obtenus. Quelles améliorations pourraient être envisagées ?

Synthèse de l'activité

Faire un bilan résumant la méthode employée et les conditions expérimentales à respecter pour des mesures de qualité.

3 Modéliser une onde mécanique avec Python 30'

Un langage de programmation permet de simuler la propagation d'une onde mécanique périodique progressive.

→ Quels sont les paramètres qui influencent la représentation d'une onde mécanique progressive périodique ?



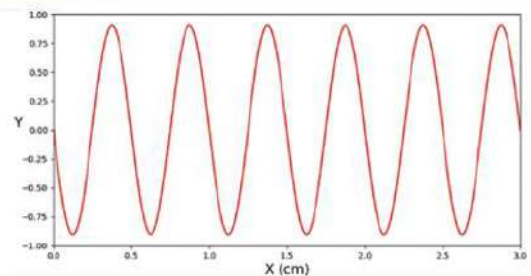
Doc. 1 Matériel nécessaire

- Un ordinateur avec Python 3 installé ;
- Un éditeur de programme (comme IDLE, PYZO, EduPython, etc.) avec les bibliothèques matplotlib et numpy installées.

Doc. 2 Code Python

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 from matplotlib.animation import FuncAnimation
4
5 fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 5))
6 ax.set(xlim=(0,3), ylim=(-1, 1))
7 plt.xlabel('X (cm)', fontsize=16)
8 plt.ylabel('Y', fontsize=16, rotation='horizontal')
9 x = np.linspace(0, 3, 300)
10 t = np.linspace(1, 2, 300)
11 X2, T2 = np.meshgrid(x, t)
12
13 #Paramètres de l'onde
14 A = 0.9
15 v = 2
16 T = 0.25
17 k = 2*np.pi/(v*T) # vecteur d'onde
18
19 F = A*np.sin(2*np.pi*(T2-k*X2)) # F fct de 2 variables
20 line = ax.plot(x, F[0,:], color='r', lw=2)[0]
21
22 def animate(i):
23     line.set_ydata(F[i,:])
24     line.set_xdata(x)
25 anim = FuncAnimation(fig, animate, interval=50, frames=300)
26 plt.show()
```

Doc. 3 Capture d'écran de l'onde simulée



Cette animation est constituée d'une suite d'images (tel un dessin animé) espacées de 50 ms.

Doc. 4 Capacité mathématique

Une onde sinusoïdale se propageant dans le sens des x croissants à la célérité v peut être représentée par la fonction mathématique suivante :

$$s(x, t) = A \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot \left(t - \frac{x}{v}\right) + \Phi\right)$$

$$s(x, t) = A \cdot \cos\left(2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \Phi\right).$$

Avec $\lambda = T \cdot v$.

Compétence

✓ MATH : Utiliser un langage de programmation

1. **Doc. 2** Télécharger le code ([LLS.fr/PC1P324](https://lls.fr/PC1P324)) ou le recopier et l'exécuter.
2. **Doc. 3** Déterminer graphiquement l'amplitude et la longueur d'onde de l'onde.
3. En examinant le code, indiquer dans quelles variables la valeur de l'amplitude et de la période temporelle de l'onde sont stockées.
4. En modifiant la valeur de la période temporelle et celle de l'amplitude de l'onde, étudier leur influence sur la représentation de l'onde.
5. À l'aide de la relation entre période temporelle, longueur d'onde et célérité, retrouver la valeur numérique de la longueur d'onde de l'onde présentée dans le **doc. 3**.
6. **Doc. 4** Identifier dans le code la ligne correspondant au calcul de chaque valeur de la fonction d'onde à deux variables $s(x, t)$.

Synthèse de l'activité

Quelles sont les limites de la représentation numérique de l'onde ? Pourquoi n'est-il pas réaliste d'envisager la propagation réelle d'une onde avec une amplitude constante au cours du temps ?

1 Qu'est-ce qu'une onde mécanique progressive ?

A Une onde mécanique progressive

➤ Lorsque l'on jette un caillou sur la surface parfaitement calme et plane de l'eau d'un lac, on crée une perturbation : une ou plusieurs petites vagues circulaires se forment, dont le diamètre grandit. Cette perturbation se propage dans le milieu aquatique. Au bout de quelques instants le calme revient, la perturbation est passée.

Une perturbation qui se propage dans un milieu matériel s'appelle une onde mécanique. Cette perturbation peut modifier la position d'un objet lors de son passage : elle possède donc de l'énergie. Ensuite, l'objet déplacé retourne à sa place initiale : l'onde ne le transporte pas avec elle.

Exemple : un bateau est soulevé par la vague de la houle mais n'est pas emporté avec elle sur tout son trajet horizontal (**doc. 1**).

Une onde mécanique progressive est une perturbation qui se propage dans un milieu, sans transport de matière mais avec transport d'énergie.

B Propagation de l'onde

➤ Lorsqu'un évènement perturbe un milieu, ce milieu subit localement une déformation : les molécules ou les atomes se déplacent. Ils vont et viennent autour de leur position initiale, avec un écart maximal appelé amplitude. Ce mouvement est appelé oscillation.

Ce déplacement local microscopique met alors en mouvement les particules voisines à leur tour poussées, qui poussent les suivantes avant de revenir à leur position initiale. La perturbation se propage de proche en proche.

On en conclut que les ondes mécaniques ont besoin d'un support pour se propager (l'air, l'eau, le métal, le bois, etc.).

Remarque : Les ondes électromagnétiques n'ont pas besoin de milieu de propagation. Dans le vide, la lumière se propage, mais pas le son.

C Ondes transversales et longitudinales

➤ Lors du passage de l'onde, les atomes ou les molécules du milieu sont momentanément mis en mouvement.

Si la perturbation se produit dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde, on dit que **l'onde est transversale** (**doc. 2**). Si la perturbation se produit dans la même direction que la propagation, **l'onde est dite longitudinale** (**doc. 3**).

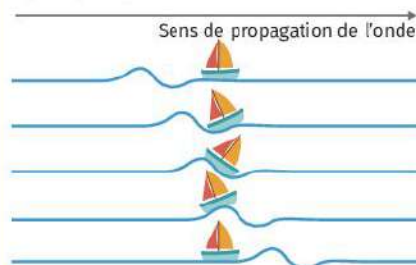
Numérique

Retrouvez plus d'informations sur des ondes mécaniques particulières : les ondes sonores en Enseignement scientifique.

LLS.fr/ES1P184

Doc. 1 Bateau dans la houle

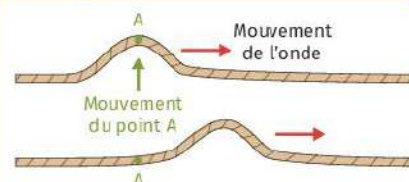
Le bateau bouge localement verticalement mais revient à sa position initiale après passage de l'onde.



Vocabulaire

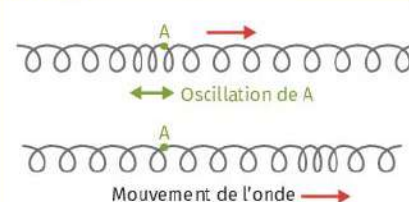
- **Perturbation** : bouleversement, modification d'un équilibre ou d'une situation invariable jusque-là.
- **Propagation** : fait de se déplacer, de s'étendre.
- **Amplitude** : écart entre la valeur maximale d'une grandeur et sa valeur moyenne « au repos ».
- **Élongation** : distance entre la position actuelle d'un point et sa position d'équilibre.

Doc. 2 Onde transversale



Le déplacement local des particules du milieu et celui de l'onde sont perpendiculaires.

Doc. 3 Onde longitudinale



Le déplacement local des particules du milieu et celui de l'onde ont la même direction.

2 Les grandeurs physiques associées à la propagation d'une onde mécanique

A Le retard

➤ Une onde progressive qui se propage atteint un point A à un instant t_A , puis un point B à un instant t_B .

Le décalage temporel entre ces instants est appelé retard et noté τ (tau). Il s'exprime en seconde dans le système international.

Le retard est la durée nécessaire à l'onde progressive pour parcourir la distance d entre 2 points A et B du milieu de propagation (**doc. 4**).

$$\tau = t_B - t_A$$

➤ Le retard peut être mesuré pour n'importe quelle valeur de la perturbation véhiculée par l'onde.

B La célérité

➤ Une perturbation se déplace à une certaine vitesse. Puisque la perturbation ne correspond pas au déplacement d'un corps matériel mais plutôt au déplacement d'une énergie dans le milieu de propagation, on préfère utiliser le terme célérité plutôt que celui de vitesse.

La célérité est la vitesse de propagation d'une onde progressive.

Soit deux points A et B séparés d'une distance d_{AB} avec τ le retard de l'onde entre A et B. La célérité de l'onde est alors :

$$v = \frac{d_{AB}}{\tau}$$

Dans le système international, l'unité est le $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Elle dépend du type d'onde et du milieu.

Onde	Son	Son	Sismique	Vague
Milieu de propagation	Air	Eau	Terre/roche	Eau
$v (\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	340	1 500	1500 à 5000	0,1 à 10 voire plus

Les principaux facteurs jouant sur la célérité d'une onde mécanique sont la température, la masse volumique et l'élasticité du milieu de propagation.

Application

On lance une pierre dans un lac et elle tombe dans l'eau à une distance $L = 9,3 \text{ m}$ de la rive.

Calculer le retard de l'onde créée à la surface de l'eau, quand elle arrive sur le rivage, si sa célérité est $v = 5,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Corrigé : Il faut convertir la célérité en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. $v = \frac{5,0}{3,6} = 1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

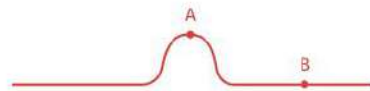
Le retard s'écrit ici $\tau = \frac{L}{v} = \frac{9,3}{1,4} = 6,6 \text{ s}$.

Il signifie qu'entre le moment où l'onde est créée (lorsque la pierre touche la surface de l'eau) et le moment où elle atteint le rebord, il s'est écoulé 6,6 s.

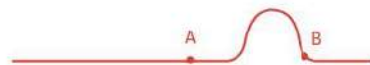
Doc. 4 Le retard τ d'une onde



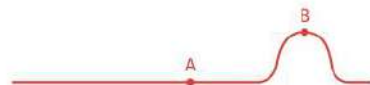
Allure de la corde à l'instant t_A



Allure de la corde à l'instant t_A'



Allure de la corde à l'instant t_B



Allure de la corde à l'instant t_B'

Le retard est constant :

$$\tau = t_B - t_A = t_B' - t_A'$$

Vocabulaire

• **Célérité** : vitesse de propagation de la perturbation, pour un phénomène ondulatoire.

Éviter les erreurs

- Une onde peut-elle ne pas être progressive ? Oui, certaines ondes sont qualifiées de stationnaires. Elles résultent de la superposition de plusieurs ondes de même fréquence.
- Attention aux unités dans les calculs (vitesses en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, distances en m, durées en s).

Numérique

Pour visualiser une onde stationnaire, rendez-vous sur [LLS.fr/PC1P326](https://lls.fr/PC1P326).

3 Les ondes mécaniques périodiques

A Des ondes mécaniques particulières

► Lorsque le phénomène qui crée l'onde est périodique (vibration des ailes d'un moustique, gouttes qui tombent d'un robinet sur la surface de l'eau dans l'évier, etc.), les différentes ondes successives n'en forment plus qu'une appelée onde périodique.

Une onde périodique apparaît quand la perturbation se répète, identique à elle-même, sur un intervalle de temps régulier appelé période. Visuellement, un motif se répète (voir doc. 5).

Une onde périodique de période T (exprimée en s) est aussi caractérisée par sa fréquence f (en Hertz, de symbole Hz) :

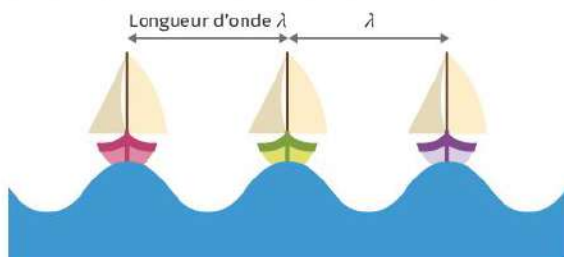
$$f = \frac{1}{T}.$$

B La double périodicité

- Une onde périodique présente une double périodicité :
- un point, à un instant sur un « sommet » de l'onde périodique, est soumis régulièrement à la même perturbation : il descend, puis remonte en suivant la forme de l'onde. La durée nécessaire pour retrouver la même position est la **période temporelle** (notée T et exprimée en secondes) (doc. 6) ;
 - deux points espacés qui suivent le même mouvement oscillent de la même façon, avec la même amplitude, en raison de la régularité de l'onde. La distance qui sépare ces points est appelée longueur d'onde ou **période spatiale**. On la note λ (lambda) et elle s'exprime en mètre.

La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde ayant une célérité v pendant une période T : $\lambda = v \cdot T$.

► Si le phénomène physique qui crée l'onde varie de manière sinusoïdale, l'onde a alors une forme de « sinusoïde » (doc. 7).

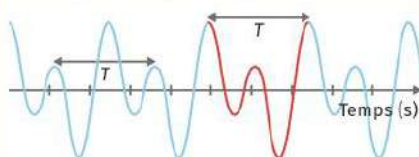


► Les trois bateaux oscillent simultanément de façon identique. Le bateau rouge et le vert sont séparés d'une longueur d'onde.

BON À SAVOIR : POURQUOI LES ONDES SINUSOÏDALES ?

En pratique, peu d'ondes ont une allure sinusoïdale. On peut facilement obtenir des ondes sonores sinusoïdales, mais dans d'autres domaines elles sont relativement rares. Toutefois il est possible de montrer mathématiquement que n'importe quel signal périodique peut être considéré comme une somme de signaux sinusoïdaux (par une décomposition en série de Fourier ou transformation de Fourier). On peut alors analyser une onde périodique en étudiant chaque onde sinusoïdale qui la compose (voir exercice 35 p. 337).

Doc. 5 Onde périodique

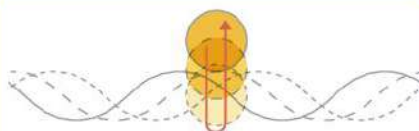


► Un motif qui se répète est représenté en rouge.

Vocabulaire

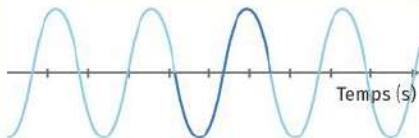
- **Période** : durée au bout de laquelle le phénomène périodique se reproduit de manière identique. Notée T , en s.
- **Fréquence** : nombre de périodes dans une seconde. Notée f , en Hz : $1\text{ Hz} = \frac{1}{\text{s}} = 1\text{ s}^{-1}$.
- **Longueur d'onde** : plus petite distance entre deux points du milieu qui oscillent simultanément de manière identique.

Doc. 6 Ballon en mouvement



► Le ballon suit la forme de la vague (sinusoïdale ici) et revient à sa position initiale régulièrement.

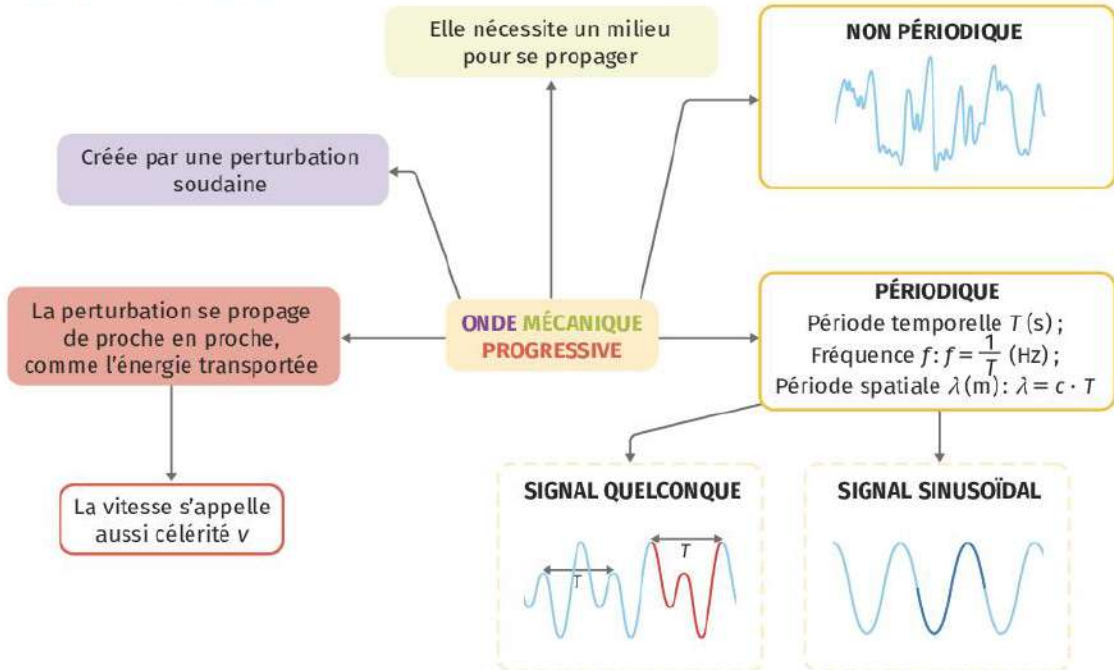
Doc. 7 Onde sinusoïdale



Éviter les erreurs

- Il existe une période spatiale et une période temporelle. Si l'énoncé ne précise pas de laquelle il s'agit, par défaut le mot période désigne la période temporelle.
- Sur un graphique sauf exception, la période temporelle ou la période spatiale se mesurent à partir de l'axe des abscisses.

Principales notions

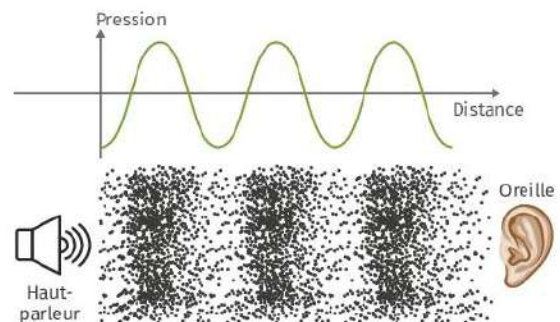


Retard d'une onde	Célérité	Célérité d'une onde périodique
$\tau = \frac{d}{v}$	$v = \frac{d}{\Delta t}$	$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$

Modélisation d'une onde progressive sinusoïdale

Une onde progressive est sinusoïdale si les variations de sa perturbation dans le temps se font en suivant une fonction mathématique de type sinus ou cosinus. L'onde est définie par son amplitude A , sa période et sa valeur à un instant donné ($t = 0$, par exemple).

L'onde sonore ci-contre est une **onde de pression** : si cette onde est sinusoïdale, c'est que la grandeur physique pression évolue de manière sinusoïdale au cours du temps.



Modélisation d'une onde sonore sinusoïdale.

Les limites de la modélisation

L'élasticité du milieu n'est jamais totale, l'énergie n'est pas intégralement restituée à l'onde. Celle-ci est donc progressivement amortie et son amplitude finit par atteindre la valeur nulle.

Cet amortissement n'a pas été étudié ici. Par ailleurs des ondes peuvent se superposer entraînant alors des phénomènes d'interférences qui seront traités en terminale.

1 Une onde mécanique progressive

	A	B	C
1. Une onde mécanique progressive :	ne nécessite pas de milieu pour se propager.	nécessite un milieu pour se propager.	se propage uniquement dans les solides.
2. La perturbation transporte avec elle :	uniquement de l'énergie.	la matière qu'elle rencontre.	de l'énergie et la matière qu'elle rencontre.
3. L'amplitude d'une onde est :	la distance totale qu'elle parcourt.	l'écart maximal des particules du milieu par rapport à leur position avant le passage de l'onde.	sa longueur d'onde.
4. Un signal sonore est une onde :	longitudinale.	transversale.	transversale et longitudinale.

2 Les grandeurs physiques associées à la propagation

1. La célérité de l'onde est :	la distance parcourue par l'onde.	la durée de parcours de l'onde.	la vitesse de l'onde.
2. Le retard se mesure en :	mètre.	joule.	seconde.
3. La célérité dépend :	uniquement du milieu.	du milieu et du type d'onde.	uniquement de l'énergie.

3 Les ondes mécaniques périodiques

1. On ne peut mesurer une période sur un graphique représentant une sinusoïde :	que si l'abscisse est le temps t .	que si l'abscisse est la position x .	que si l'ordonnée est proportionnelle à l'abscisse.
2. Une onde sinusoïdale :	est forcément périodique.	ne peut pas être périodique.	ne peut pas se propager.
3. Pour une onde sinusoïdale :	$\lambda = \frac{T}{v}$.	$\lambda = v \cdot T$.	$\lambda = v \cdot f$.
4. La périodicité temporelle correspond à :	la période de l'onde.	la longueur d'onde.	la célérité de l'onde.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P329

4 Questions Jeopardy

- Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :
 - a. La condition nécessaire est qu'il existe un milieu matériel élastique.
 - b. Elle s'appelle la longueur d'onde.

EXERCICES

(Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 407)

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage

□ Décrire et expliquer la propagation d'une perturbation mécanique	11	30
□ Exploiter la relation entre durée de propagation, distance parcourue et célérité	14	[Diff]
□ Exploiter la relation entre longueur d'onde, période et célérité	18	24
□ Distinguer et exploiter les représentations spatiale et temporelle d'une onde mécanique périodique	18	30
□ Représenter et simuler un signal périodique et sa propagation		32

Pour s'échauffer

5 Exemples d'ondes

- Parmi les exemples suivants, identifier l'intrus et justifier : les ultrasons - les vagues - la lumière - les spires d'un ressort tendu puis relâché.



6 Propagation d'une perturbation

Une ola réalisée dans un stade peut être considérée comme une onde.

- Indiquer quelle est la perturbation et comment elle se propage.

7 Distance

- Calculer la distance parcourue en 34 min par une onde si sa célérité est $v = 2,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

8 Retard

Une onde se déplace à la célérité $v = 4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans un milieu.

- Calculer avec quel retard elle arrivera à 240 cm de sa source.

9 Période et fréquence

Une onde sinusoïdale a pour longueur d'onde $\lambda = 3,0 \text{ mm}$. Sa célérité est $v = 2,5 \times 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- Calculer sa période puis sa fréquence.

10 Longueur d'onde

Une onde sonore sinusoïdale a pour fréquence $f = 980 \text{ Hz}$. Sa célérité est $v = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- Calculer sa longueur d'onde.

Pour commencer

Les ondes mécaniques

11 Onde et transport d'énergie

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

Une onde sonore, une onde mécanique à la surface de l'eau ou une onde sismique transportent de l'énergie.

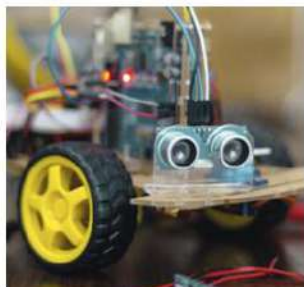
- Illustrer, par un exemple dans chaque cas, qu'un objet sur le trajet de l'onde reçoit une partie de cette énergie.

12 Détecteurs d'ondes sonores

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

La détection des ondes est facilitée par le fait qu'elles transportent de l'énergie.

- Citer trois appareils, vus en classe de seconde, qui permettent de détecter (et éventuellement d'en convertir l'énergie) une onde sonore.



Un émetteur/récepteur d'ultrasons sur un robot.

13 Isolation phonique

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

- Expliquer, en utilisant la notion d'énergie, pourquoi un bouchon en mousse placé dans l'oreille empêche les ondes sonores d'atteindre le tympan.
- De la même façon, après en avoir recherché la définition expliquer le rôle des brise-lames à l'entrée des ports.

Célérité et retard

14 Calcul de retard

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

Au Far West, un train démarre d'une gare située à $d = 6,5 \text{ km}$ de l'endroit où un indien pose son oreille sur le rail en acier.

- Calculer le retard de l'onde sonore dans le rail, entre son émission et sa réception par l'oreille.
- Calculer le retard de l'onde sonore dans l'air pour la même distance parcourue.

Données

- Célérité du son dans l'acier du rail : $v_{\text{acier}} = 5600 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

15 Célérité de l'onde dans un câble

✓ VAL : Respecter les chiffres significatifs

Un câble de tyrolienne est tendu entre deux arbres d'un parcours d'accrobranche. On appuie brièvement sur le câble à l'une de ses extrémités. On observe alors une onde sous la forme d'une petite bosse qui se propage jusqu'à l'autre extrémité.

1. Pourquoi peut-on dire que l'on a créé une perturbation ?
2. Le câble mesure $L = 19,8$ m. L'onde la parcourt en 2,3 s selon la moyenne obtenue par tous ceux qui ont chronométré. Calculer sa célérité.
3. Combien de temps mettrait cette onde à parcourir une corde tendue dans des conditions identiques mais de longueur $L' = 47$ m ?

16 Évacuation du littoral

✓ VAL : Respecter les chiffres significatifs

Un tsunami est une série de vagues produites à la suite d'un séisme en pleine mer. L'énergie transportée par ces vagues met en danger les habitants et les constructions du littoral. Bien que la célérité de ces vagues décroît lorsqu'elles se rapprochent du rivage, en raison de la profondeur qui diminue (voir **exercice corrigé**, p. 333), on estime sa célérité moyenne à $240 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

- Combien de temps ont les habitants du rivage pour évacuer en prévention d'un tsunami, si celui-ci prend naissance à $d = 38$ km au large ? Exprimer le résultat en heures puis en minutes.

Les ondes périodiques

17 Électrocardiogramme

✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

L'enregistrement sur papier d'un électrocardiogramme (ECG) donne la courbe ci-après.

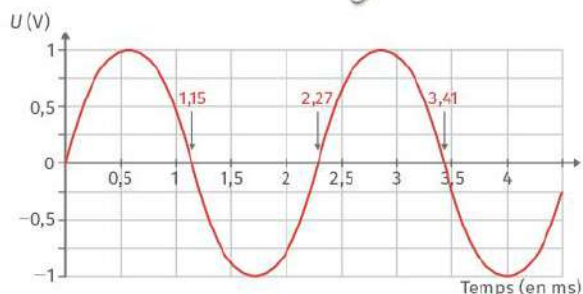


1. À quel phénomène physiologique sont associés ces signaux ?
2. Ces signaux qui se propagent dans le corps sont-ils sonores, sismiques ou électriques ?
3. Pourquoi peut-on considérer qu'ils sont périodiques ?
4. Déterminer la période sachant qu'un grand carreau correspond à 250 ms horizontalement.
5. En déduire la fréquence cardiaque en hertz (Hz) puis en battements par minute (bpm).

18 Le diapason

✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

Un diapason permet de générer un son quasiment sinusoïdal. L'enregistrement à l'aide d'un micro donne la courbe suivante.



1. Déterminer la période puis la fréquence du son émis par le diapason. À quelle note correspond sa hauteur ?
2. Calculer sa longueur d'onde dans l'air.

Données

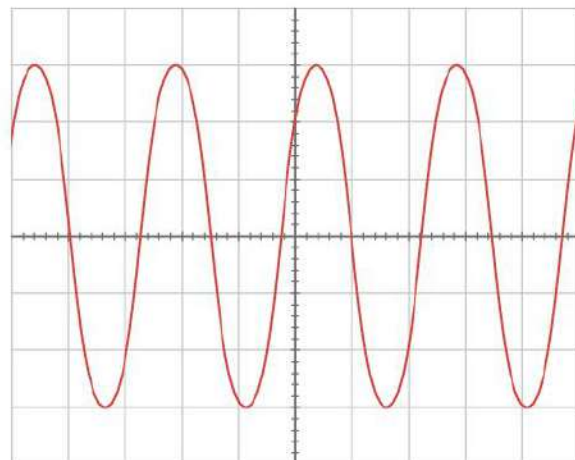
• Célérité du son dans l'air : $v_{\text{air}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

Note	Do3	Rè3	Mi3	Fa3	Sol3	La3	Si3
f(Hz)	262	294	330	349	392	440	494

19 Ultrasons

✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

Un capteur d'ultrasons est branché à un oscilloscope. Il permet de transformer un signal sonore en tension électrique. L'oscillogramme obtenu est donné ci-dessous, le temps étant en abscisse. La sensibilité horizontale est de $10 \mu\text{s}/\text{div}$.



1. Quelle est l'allure du signal ?
2. Que peut-on déterminer sur l'enregistrement : la valeur de la longueur d'onde ou de la période ?
3. Calculer la fréquence des ultrasons.
4. Calculer la longueur d'onde de cette onde ultrasonore.

Une notion, trois exercices

DIFFÉRENCIATION

❑ Savoir-faire : Exploiter la relation entre durée de propagation, distance parcourue et célérité

20 Le radar de recul

✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

En marche arrière, le radar de recul d'une voiture se met en marche automatiquement. Le capteur est situé sous le pare-chocs arrière du véhicule. Il a une portée minimale $d_{\min} = 0,30 \text{ m}$ d'après le constructeur : un obstacle situé à une distance du capteur inférieure à $d_{\min}$ ne peut pas être détecté.

Il est constitué d'un matériau piézo-électrique utilisé à la fois en émetteur ou en récepteur. Il ne peut fonctionner en récepteur que lorsqu'il a fini de fonctionner en émetteur. C'est la raison pour laquelle l'appareil génère des salves ultrasonores de durée $\Delta t_1 = 1,7 \text{ ms}$ avec une périodicité $T = 12 \text{ ms}$. L'onde ultrasonore émise est réfléchiée par l'obstacle éventuel, provoquant un écho.

D'après sujet Bac, 2015.



1. Faire un schéma montrant le capteur, un obstacle et le trajet de l'onde ultrasonore.
2. Donner la relation entre la distance à l'obstacle d , la célérité des ultrasons v_{son} et la durée entre l'émission et la réception du signal Δt .
3. Vérifier que pour $d = d_{\min}$, $\Delta t = \Delta t_1$.
4. Pourquoi en dessous de $d_{\min}$, la position de l'obstacle ne peut-elle pas être détectée correctement ?
5. Que faudrait-il modifier pour que cette distance minimale soit plus petite ?

Donnée

• Célérité du son dans l'air à 20°C : $v_{\text{air}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

21 Le sonar

✓ VAL : Chiffres significatifs

Le sonar d'un sous-marin émet des ultrasons pour estimer, entre autres, la profondeur du fond marin. Il est aussi équipé d'un récepteur.



1. L'émetteur envoie des ultrasons vers le bas. Que se passe-t-il pour l'onde ultrasonore quand elle rencontre le fond ?
2. Schématiser le trajet de l'onde dans ce cas. On notera h la distance entre le sonar et le fond.
3. Il s'écoule la durée $\Delta t = 0,83 \text{ s}$ avant que le récepteur reçoive l'écho après l'émission. En déduire h .

Donnée

• Célérité des ultrasons dans l'eau de mer : $v_{\text{eau}} = 1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

22 Le détecteur d'obstacle

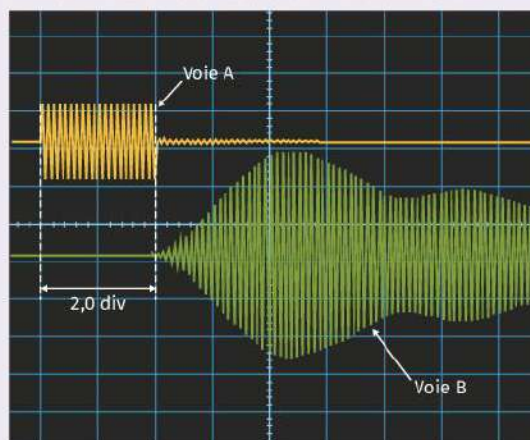
✓ APP : Extraire l'information utile sur supports variés

Pour détecter les obstacles, un petit robot Lego utilise des ultrasons. Il émet des salves d'ondes ultrasonores et reçoit un écho si un obstacle se présente. Il est programmé pour faire demi-tour s'il arrive à moins de $5,0 \text{ cm}$ d'un obstacle. Son récepteur se trouve juste à côté de l'émetteur.



On a équipé le robot du système Bluetooth qui permet d'envoyer en temps réel les signaux émis et reçus. Sur un écran, on obtient les signaux ci-dessous.

♦ À quelle distance de l'obstacle se trouve-t-il ?



Donnée

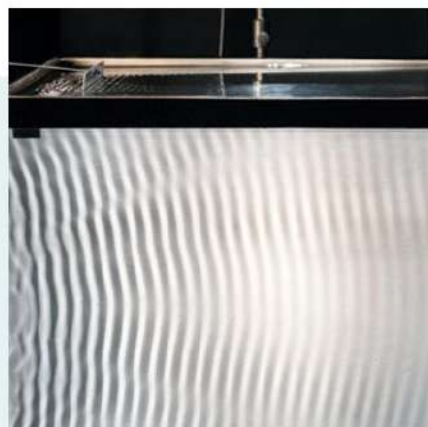
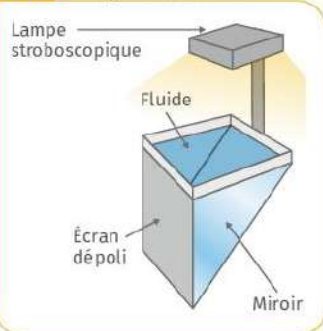
• Voie A et voie B : sensibilité horizontale $0,2 \text{ ms/div}$.

Des vagues en eau peu profonde

Énoncé

La cuve à onde est une installation permettant d'étudier des ondes mécaniques en laboratoire. Elle permet de générer des vagues sinusoïdales à la surface d'une faible épaisseur d'eau et d'observer leur propagation. Un vibreur crée l'onde sinusoïdale ; la lumière émise par une lampe stroboscopique est envoyée, grâce à un miroir, sur un écran (doc. 1). On observe sur l'écran une image contrastée : les zones sombres et claires traduisent les creux et les sommets des vagues successives.

Doc. 1 Principe de la cuve à onde



Observation d'une onde à l'aide d'une cuve à ondes.

1. Le vibreur génère une onde progressive sinusoïdale de fréquence $f = 25$ Hz. Deux sommets consécutifs proches de la source sont séparés de 1,3 cm. Calculer la célérité de l'onde.
2. Calculer la hauteur d'eau à cet endroit de la cuve.
3. En périphérie de la cuve, deux sommets sont séparés de 1,0 cm. Que peut-on en déduire sur la profondeur de l'eau ?

Solution rédigée

1. La célérité vaut $v_{\text{onde}} = \lambda \cdot f = 1,3 \times 10^{-2} \times 25 = 0,33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
2. D'après les données, $v_{\text{onde}} = \sqrt{g \cdot h}$.
On isole $h = \frac{v_{\text{onde}}^2}{g} = \frac{0,33^2}{9,81} = 1,1 \times 10^{-2} \text{ m} = 1,1 \text{ cm}$.
3. Si la longueur d'onde diminue, d'après la formule de la question 1., la célérité diminue aussi. Par conséquent h diminue d'après la relation $v = \sqrt{g \cdot h}$: la hauteur h est en effet proportionnelle à la célérité v_{onde} au carré. Si celle-ci diminue, h aussi.
On peut faire le calcul, la nouvelle célérité vaut :
 $v'_{\text{onde}} = \lambda \cdot f = 1,0 \times 10^{-2} \times 25 = 0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
Donc $h' = \frac{v'^2_{\text{onde}}}{g} = \frac{0,25^2}{9,81} = 6,4 \times 10^{-3} \text{ m} = 6,4 \text{ mm}$.
La profondeur est donc moins importante.

DONNÉES

- Dans le modèle de vague en eau peu profonde (hauteur d'eau h), la célérité des vagues peut être calculée par $v = \sqrt{g \cdot h}$;
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Les deux sommets successifs sont séparés, par définition, d'une longueur d'onde λ . Quel est le lien avec la célérité ?
2. Utiliser les données pour répondre à cette question.
3. Quel est le lien entre la longueur d'onde et la profondeur ?

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Attention aux chiffres significatifs et aux unités.
2. Isoler h consiste à écrire l'équation sous la forme $h = \dots$; l'expression littérale doit précéder la résolution numérique.
3. Il n'est pas demandé de faire le calcul : une réponse qualitative suffit, elle s'appuie sur l'exploitation des expressions littérales.

Mise en application

La longueur d'onde d'une série de vagues sinusoïdales est divisée par deux lorsqu'elle se rapproche du bord.

- Montrer que c'est parce que la hauteur d'eau à cet endroit a été divisée par 4.

Pour s'entraîner

24 Une gouttière percée

- ✓ VAL : Chiffres significatifs



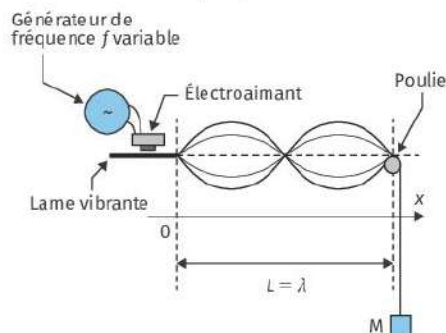
Un jour de pluie, une flaque s'est formée au pied de l'immeuble. La gouttière qui se trouve au-dessus est percée. Des gouttes tombent régulièrement de la gouttière, à raison de 72 gouttes par minute. À chaque fois une petite vague circulaire est créée. Son diamètre grandit. Entre deux vagues successives on mesure une distance $d = 20 \text{ cm}$.

1. Une onde **mécanique progressive périodique** est créée.
Justifier chaque terme en caractères gras.
2. Calculer la fréquence de l'onde en hertz.
3. En déduire sa période en seconde.
4. Quelle distance a parcouru une vague avant que la suivante prenne naissance ?
5. Quelle durée s'est alors écoulée ?
6. En déduire la célérité de l'onde.

25 La corde de Melde

- ✓ RAI/ANA : Utiliser des mesures pour répondre à une problématique

Le dispositif est constitué d'une corde tendue à l'aide d'une masse M à l'extrémité de laquelle est attachée une lame métallique, qui vibre à l'aide d'un vibreur de Melde. Ce vibreur est constitué d'un électroaimant alimenté par une tension sinusoïdale de fréquence $f = 100 \text{ Hz}$. La lame fait un aller-retour à chaque période de l'électroaimant.



1. Calculer la période de la vibration de la lame.
2. L'onde créée sur la corde est sinusoïdale. On détermine, à l'aide d'un stroboscope, une longueur d'onde $\lambda = 28$ cm. Calculer la célérité de l'onde dans la corde.
3. On entend un son grave lorsque l'on réalise l'expérience. Expliquer pourquoi.

26 Un bain énergétique

✓ APP : Formuler le résultat attendu



Claudia va se baigner dans un lac près de chez elle. Elle se trouve dans l'eau à $d = 8.5 \text{ m}$ du bord.

1. Un bateau passe à grande vitesse et crée une perturbation à la surface de l'eau, à l'origine d'une onde. La vague soulève Claudia d'une hauteur $h = 68$ cm. Calculer l'énergie potentielle de pesanteur gagnée par Claudia, de masse $m = 63$ kg en prenant comme référence la surface de l'eau.
2. Quelle est l'origine de cette énergie ?
3. L'a-t-elle gagnée définitivement ?
4. Elle compte $\Delta t = 6,9$ s pour que la vague qui vient de le soulever atteigne le bord du lac. Calculer la célérité de la vague.

27 Ondes mécaniques en QCM

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

1. La célérité d'une onde s'exprime en :
 - a. joule.
 - b. mètre par seconde.
 - c. mètre.
2. La longueur d'onde d'une onde sinusoïdale :
 - a. est la distance parcourue pendant une période.
 - b. est la distance parcourue depuis la source.
 - c. est la distance parcourue avant disparition de l'onde.
3. L'onde sonore est une onde de pression. Cela signifie que :
 - a. un son n'est créé que par pression sur un objet.
 - b. la grandeur physique perturbée est la pression.
 - c. les sons ne se propagent que dans l'atmosphère.
4. Si on absorbe l'énergie d'une onde :
 - a. elle fait demi-tour (réflexion).
 - b. elle en retrouve immédiatement après.
 - c. elle disparaît.
5. La double périodicité fait référence à :
 - a. une onde sinusoïdale.
 - b. une onde avec deux perturbations successives.
 - c. une onde qui peut se propager dans deux sens.
6. Le retard :
 - a. est fixe dans un milieu donné.
 - b. diminue avec le temps.
 - c. augmente si on est plus éloigné de la source.
7. Une onde est mécanique :
 - a. parce qu'on la voit.
 - b. parce qu'elle nécessite un milieu pour se propager.
 - c. parce qu'elle a une célérité.

Comprendre les attendus

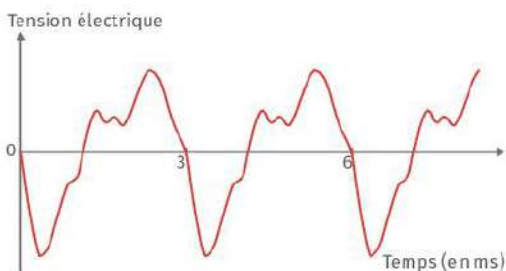
28 La corde de guitare

✓ APP : Extraire l'information utile sur des supports variés



La célérité v de l'onde le long d'une corde tendue dépend de sa tension T (exprimée en N) et de sa masse par unité de longueur μ (appelée masse linéique, en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$). Le lien entre ces grandeurs s'exprime par la relation : $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$.

1. Calculer la masse linéique d'une corde de guitare de longueur $L = 85$ cm, et de masse $m = 0,52$ g.
2. Calculer la célérité de l'onde qui se propage quand on pince la corde, sachant que la tension est de 102 N.
3. L'enregistrement du son émis par cette corde donne la courbe ci-dessous. Déterminer la période puis la fréquence de l'onde sonore.



4. Augmenter la tension d'une corde, les autres paramètres restant inchangés, augmente la fréquence du son. Faut-il tendre ou détendre la corde pour obtenir un son de fréquence 300 Hz ?

Détails du barème

TOTAL/7 pts

- | | |
|---|------------|
| 1. Exploiter l'unité de la masse linéique pour trouver formule et unités. | 1 + 0,5 pt |
| Application numérique : exprimer le résultat avec deux chiffres significatifs. | 1 + 0,5 pt |
| 2. Application numérique de la formule : exprimer le résultat avec deux chiffres significatifs. | 1 + 0,5 pt |
| 3. Faire la lecture graphique de la période et calcul de la fréquence. | 1 + 0,5 pt |
| 4. Exploiter qualitativement la formule. | 1 pt |

29 Télémètre à compteur d'impulsions

✓ RAI/ANA : Utiliser des mesures pour répondre à une problématique

Un télémètre permet de mesurer la distance entre l'appareil et un obstacle (un mur par exemple). Un modèle particulier utilise un « compteur de périodes » : il comporte un émetteur d'ultrasons sinusoïdaux de fréquence $f = 40$ kHz et juste à côté, un récepteur. Lorsque ce dernier reçoit un écho renvoyé par un éventuel obstacle, l'appareil stoppe l'émission du signal et déclenche le décompte de périodes reçues à partir de cet instant. Pour mesurer la largeur d'une pièce d'appartement, l'appareil détecte $N = 826$ périodes.



1. Calculer la longueur d'onde des ultrasons produits par l'appareil.
2. Combien de longueurs d'onde ont parcouru les ultrasons pendant la durée écoulée correspondant aux N périodes ? On pourra s'appuyer sur un schéma.
3. En déduire la distance parcourue par l'onde.
4. En déduire la distance entre l'appareil et le mur.

Donnée

• Célérité du son dans l'air : $v_{\text{air}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

30 Copie d'élève à commenter

• Proposer une justification pour chaque erreur ou maladresse relevée par le correcteur.

1. La vague parcourt 22 m en 4,8 s. Sa célérité vaut donc $v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{22}{4,8} = 4,58 \text{ s}$.
2. L'onde sonore périodique sinusoïdale créée par le diapason, dans l'air ($v = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), a pour période $T = 72 \text{ cm}$. Sa fréquence vaut donc : $f = \frac{v}{T} = \frac{340}{72} = 4,72 \text{ Hz}$.
3. Cette onde sonore est une onde progressive parce qu'elle part d'un point A pour aller vers un point B. Elle est périodique parce qu'elle revient à son point de départ ensuite.
4. Une onde sinusoïdale est toujours périodique, et de la même façon une onde périodique est forcément sinusoïdale.

Numérique

Retrouvez plus d'exercices sur [LLS.fr/PC1P335](https://lls.fr/PC1P335).

Pour aller plus loin

31 Modélisation d'une onde avec Python

✓ MATH : Utiliser un langage de programmation

Il est conseillé de se baser sur l'activité expérimentale 3, p. 324 pour faire cet exercice.

1. L'équation se propageant selon l'axe Ox à une vitesse v est : $s(x, t) = A \cdot \cos(2\pi f \cdot (t - \frac{x}{v}))$. Décrire l'onde dont l'équation est $s'(x, t) = A \cdot \cos(2\pi f \cdot (t + \frac{x}{v}))$.
2. À l'aide du programme Python ([LLS.fr/PC1A3Python](https://lls.fr/PC1A3Python)), tracer le résultat de la superposition des ondes $s(x, t)$ et $s'(x, t)$. Ce type d'onde est appelé onde stationnaire. Expliquer.

32 Caractéristiques d'une sinusoïde

✓ MATH : Utiliser des outils mathématiques : fonction périodique

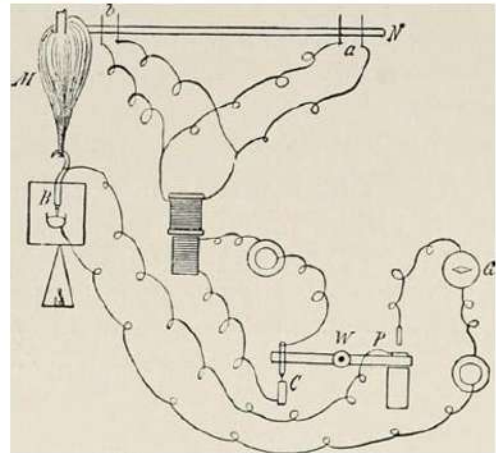
1. À l'aide de la calculatrice, tracer les fonctions suivantes (attention de bien spécifier les angles en radians dans les réglages de la machine) :
 - $f(x) = \sin((2\pi \times 1000)x)$;
 - $g(x) = 2\sin((2\pi \times 1000)x)$;
 - $h(x) = \sin((2\pi \times 2000)x)$.
2. Calculer la fréquence de ces sinusoïdes en s'appuyant sur la période lue graphiquement. Penser à zoomer si nécessaire.
3. Comparer les courbes de f et de h , quelle est la signification physique du coefficient qui est multiplié par 2π ?
4. Comparer les courbes de f et de g , quel est l'effet du coefficient placé devant la fonction sinus ?
5. Tester l'effet de l'ajout d'un coefficient comme dans $z(x) = \sin((2\pi \times 1000)x)$ en comparant sa courbe à celle de f . Quelle est la signification physique de ce coefficient et quelle serait son unité dans le cas d'une propagation d'ondes ?

33 Helmholtz et l'influx nerveux

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

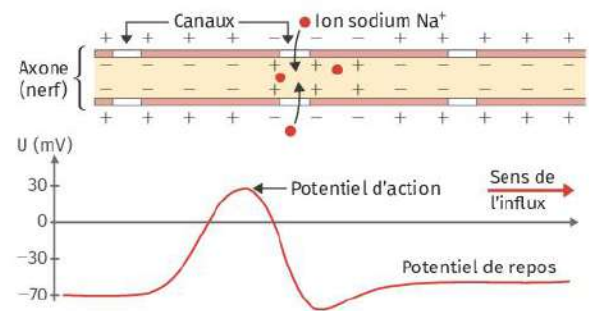
Jusqu'en 1850, on pensait que l'influx nerveux, c'est-à-dire la transmission d'information depuis le cerveau ou la moelle épinière jusqu'aux organes le long des fibres nerveuses appelées axones, se propageait de manière quasi instantanée. Hermann Von Helmholtz (1821-1894) fut le premier à prouver que ce n'était pas le cas, en mesurant la célérité des signaux nerveux.

Son expérience s'appuie sur un nerf de grenouille excité. Il note ainsi ses résultats : « Voici enfin les chiffres de mes expériences. La distance entre les points irrités du nerf étant de 60 millimètres, l'irritation nerveuse a mis à parcourir cet espace 0,0014 seconde ».



Montage réalisé par Helmholtz pour sa mesure.

L'influx nerveux est une onde électrique : l'inversion de potentiel électrique le long du nerf (par entrée d'ions sodium Na^+ dans la fibre nerveuse appelée axone) se transmet de proche en proche.



1. Qu'est-ce qu'évoque Helmholtz quand il parle d'irritation ?
2. Quelle est la perturbation qui se propage dans le cas de l'onde nerveuse ?
3. Calculer la célérité de l'influx nerveux d'après les travaux d'Helmholtz.
4. Certains anesthésiques (lidocaïne, novocaïne, etc.) empêchent l'entrée des ions sodium. Quelle est la conséquence pour l'onde nerveuse ?



Statue de Helmholtz à l'université de Humboldt

5. En déduire à quel usage peuvent être destinées ces substances en médecine ?
6. Quelle est la différence majeure entre un signal électrique se propageant dans un fil conducteur et l'influx nerveux ?

34 Détermination de la vitesse du son

✓ APP : Formuler le résultat attendu

Un tube en acier vide a pour longueur $L = 270$ m. En attendant d'être enfoui pour servir de canalisation, il permet de réaliser des expériences scientifiques. On frappe au marteau à l'une des extrémités du tube. De l'autre côté, une personne qui colle une oreille au tube entend deux sons séparés de $t = 0,75$ s.

1. Expliquer pourquoi il perçoit deux sons.
2. Peut-on considérer que le décalage entre les deux sons est le retard de l'onde ? Justifier.
3. Déterminer la célérité du son dans l'acier.

Donnée

• Célérité du son dans l'air : $v_{\text{air}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

35 De l'intérêt de la fonction sinusoïdale

✓ MATH : Utiliser des outils mathématiques : fonction périodique
✓ VAL : Analyser son résultat numérique

La plupart des ondes mécaniques progressives ne sont pas sinusoïdales même lorsqu'elles sont périodiques. En 1822, le Français Joseph Fourier propose une idée révolutionnaire : tout signal périodique de fréquence f et de forme quelconque peut être décomposé en une somme de sinusoïdes d'amplitudes variables et de fréquences qui sont des multiples entiers de f . L'étude des ondes s'en trouve facilitée et cette propriété a eu un impact considérable depuis l'étude des phénomènes ondulatoires et leur analyse. La décomposition en séries de Fourier est une technique mathématique très utilisée pour l'étude des ondes sismiques, des courants électriques, des ondes cérébrales, de l'analyse sonore, etc.

Une fonction sinusoïdale de x peut s'écrire sous la forme $y(x) = A \cdot \sin(2\pi f \cdot x)$,

A est l'amplitude de la sinusoïde et f sa fréquence.

1. En utilisant la calculatrice graphique ou bien un grapheur (Geogebra, Mathematica par exemple), représenter la courbe de la somme de plusieurs fonctions sinusoïdales d'amplitudes variables et dont les fréquences sont des multiples d'une fréquence f_0 préalablement choisie.
2. Rédiger un compte rendu des fonctions sinusoïdales choisies et du résultat graphique donné par la calculatrice.
3. Déterminer graphiquement la fréquence du signal résultant, en précisant l'incertitude liée à ce résultat.
4. Que peut-on conclure sur la valeur de cette fréquence ?
5. En quoi cette propriété découverte par Fourier pourrait-elle être utile pour qu'un logiciel de traitement puisse distinguer les timbres de voix de deux personnes différentes ?

36 Ondes sismiques

✓ RAI/ANA : Élaborer un protocole
✓ MATH : Effectuer un calcul littéral

BAC

Un séisme survient suite à une fracturation de la roche en profondeur, sous l'action d'énormes forces de pression existant au sein de l'écorce terrestre.

Il se traduit par des ondes mécaniques sismiques. Elles ne sont pas périodiques. Parmi elles, on distingue les ondes rapides P et les ondes plus lentes notées S. L'énergie qu'elles transportent et les dégâts qu'elles peuvent causer sont proportionnels à leur amplitude.



Un sismographe avec son stylet.

Les sismographes sont des appareils qui détectent et mesurent les ondes sismiques et leur amplitude. L'amplitude maximale des ondes permet de déterminer la magnitude du séisme. Celle-ci dépend de la distance à l'épicentre du séisme.

Deux stations ont enregistré des relevés d'ondes sismiques et noté les dates d'arrivée des ondes P et S.

Station	Date de début d'apparition des ondes P	Date de début d'apparition des ondes S
Iris	8 h 32 min 23 s	8 h 32 min 55 s
Detroit	8 h 33 min 45 s	8 h 34 min 23 s

1. En s'aidant d'un schéma, exprimer le retard τ de l'arrivée d'une onde en fonction de la célérité v et de la distance d entre la station et l'épicentre.
2. Quelle est la différence $\tau_p - \tau_s$ des retards entre les deux ondes successives ?
3. Exprimer $\tau_p - \tau_s$ en fonction de d , v_s et v_p .
4. En déduire d pour chaque station.
5. Pourquoi faudrait-il l'enregistrement d'une troisième station pour localiser l'épicentre ?

Données

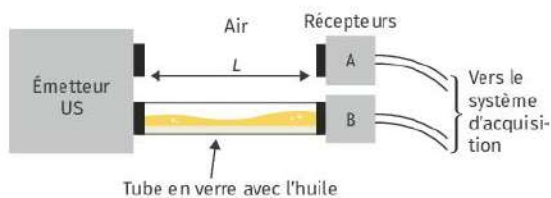
- Épicentre : point de la surface au-dessus de l'origine du tremblement de terre ;
- Célérité des ondes P : $v_p = 6,0 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$;
- Célérité des ondes S : $v_s = 4,1 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

37 Mesure de la célérité d'une onde sonore

✓ RAI/ANA : Utiliser des mesures pour répondre à une problématique

La célérité du son dans une huile végétale dépend de sa pureté. Pour l'huile d'olive, la valeur notée v_{huile} se situe entre 1595 et $1600 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ quelle que soit sa provenance. Une valeur plus faible signifie que l'huile a été diluée, lui faisant perdre de ses qualités.

Pour tester une huile d'olive au lycée, on utilise le montage suivant qui permet de comparer les durées de parcours d'une onde ultrasonore.



L'émetteur d'ultrasons génère simultanément deux salves, les récepteurs A et B sont reliés à une interface

d'acquisition qui déclenche l'enregistrement des signaux dès que le récepteur B détecte des ultrasons. L'huile testée est disposée dans un tube en verre entre l'émetteur et le récepteur B, tandis que l'air sépare l'émetteur du récepteur A.

1. Pourquoi déclenche-t-on l'acquisition sur le récepteur B plutôt que sur le A ?
2. La durée écoulée entre les deux signaux reçus en A et B, notée Δt_{AB} , est mesurée en fonction de plusieurs valeurs de longueur du tube (notée L). Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant.

$L \text{ (cm)}$	50	60	70	80	90	100
$\Delta t_{AB} \text{ (ms)}$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3

Tracer la courbe $\Delta t_{AB} = f(L)$.

3. Exprimer Δt_{AB} en fonction de L , v_{air} et v_{huile} en exploitant les définitions de ces célérités.
4. L'huile semble-t-elle être pure ? Justifier.

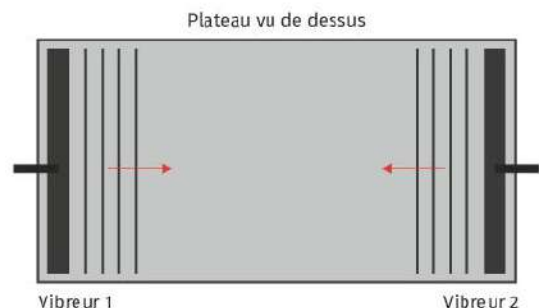
38 Superposition d'ondes de surface

✓ RAI/ANA : Utiliser des mesures pour répondre à une problématique

On équipe le plateau horizontal d'une cuve à ondes (voir exercice corrigé) de deux sources d'ondes sinusoïdales synchronisées. Les vagues se propagent sur le plan du plateau. Les deux vibreurs créent simultanément des vagues identiques, à chaque extrémité. Les ondes sont périodiques et se déplacent parallèlement aux vibreurs, chacune dans un sens opposé.

La fréquence des vibreurs est $f = 25 \text{ Hz}$, la célérité des ondes a pour valeur $v = 50 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

1. Que va-t-on observer lorsque les vagues vont se rencontrer ?



2. De quelle distance doit-on déplacer vers la gauche le vibreur 2, sans déplacer le vibreur 1, si l'on veut qu'au centre de la cuve il n'y ait jamais de vague ? Justifier la réponse en détaillant les étapes de la résolution.

Retour sur l'ouverture du chapitre (esprit scientifique)

39 Des ondes mécaniques variées

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire du cours

1. Quel est le point commun entre les vagues, les sons et les séismes ? Utiliser un vocabulaire rigoureux.
2. Qu'est-ce qui différencie ces trois phénomènes qui peuvent pourtant se produire dans les mêmes milieux ?

A Calcul d'incertitude sur une mesure

Objectif de l'activité : on cherche à déterminer expérimentalement la vitesse d'une onde à partir de la distance parcourue et du temps de parcours de l'onde. Cette étude peut-être faite en complément d'une activité de mesure de la vitesse du son.

1. Recopier ou télécharger le code sur [LLS.fr/PC1P339](https://lls.fr/PC1P339). Remplacer les valeurs de d , U_d , t et U_t par les valeurs mesurées et estimées lors de l'activité.
2. La commande `calcul_vitesse([d,Ud,t,Ut])[0]` permet d'aller chercher le premier élément (numéro 0) de la liste renvoyée par la fonction `calcul_vitesse`. Identifier cet élément.

```

1  d=100                                #distance parcourue par l'onde
2  Ud=10                                #incertitude sur la distance
   parcourue par l'onde
3  t=3                                  #durée de parcours de l'onde
4  Ut=3                                  #incertitude sur la durée de parcours
   de l'onde
5  def calcul_vitesse(Resultat) :        #calcul la vitesse et de son
   incertitude, à partir d'une liste de la forme : Resultat=[d,Ud,t,Ut], renvoie
   le résultat sous forme de liste
6      v=Resultat[0]/Resultat[2]         #calcul de la vitesse
7      Uv=v*((Resultat[1]/Resultat[0])**2+(Resultat[3]/Resultat[2])**2)**0.5
   #calcul de l'incertitude sur la vitesse
8      return([v,Uv])
9
10 print("La vitesse de l'onde est : "+str(calcul_vitesse([d,Ud,t,Ut])[0])
11       + " ± "+str(calcul_vitesse([d,Ud,t,Ut])[1])+" m/s")
12 print("L'incertitude relative sur d est : "+str(????????????????))
13 print("L'incertitude sur t est : "+str(????????????????))
14 print("L'incertitude relative sur v est : "+str(calcul_vitesse([d,Ud,t,Ut])
   [1]/calcul_vitesse([d,Ud,t,Ut])[0]))

```

Code pour le calcul d'incertitude sur la vitesse de propagation.

3. Identifier la variable renvoyée par la commande `calcul_vitesse([d,Ud,t,Ut])[1]`.
4. Remplacer alors les `???` dans le code pour pouvoir calculer les incertitudes relatives sur d et sur t .
5. Comparer les incertitudes relatives obtenues.

B Influence des différentes incertitudes

1. Recommencer les calculs de la partie A en prenant des valeurs de d , U_d , t et U_t telles que $U_d/d = 0,001$ et $U_t/t = 0,1$.
2. Reprendre avec des valeurs telles que $U_d/d = 0,5$ et $U_t/t = 0,01$.
3. Calculer les incertitudes relatives sur d et sur t , U_d/d et U_t/t .

La vitesse de l'onde est : 33.33333333333336 ± 33.4995854037363 m/s
 L'incertitude relative sur d est : 0.1
 L'incertitude sur t est : 1.0
 L'incertitude relative sur v est : 1.004987562112089

Résultats données par l'interface Python du laboratoire d'algo sur lelivrescolaire.fr.

4. Comparer les incertitudes relatives obtenues dans chaque cas.
5. Le programme utilisé permet de calculer l'incertitude sur une grandeur calculée. D'après les résultats précédents, est-il nécessaire de procéder à ce calcul dans tous les cas ? Pourrait-on prévoir à l'avance le résultat de ce calcul d'incertitude ?

Numérique



Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour vous entraîner à programmer en langage Python sur le labo d'algo en ligne. [LLS.fr/Python](https://lls.fr/Python)

Images et couleurs

ESPRIT SCIENTIFIQUE



Toutes les couleurs seraient dans l'arc-en-ciel mais on n'y perçoit pas de rose ni de marron.

➤ Pourquoi ces couleurs en sont-elles *a priori* absentes ?

➔ voir l'exercice 37, p. 357

Travailler

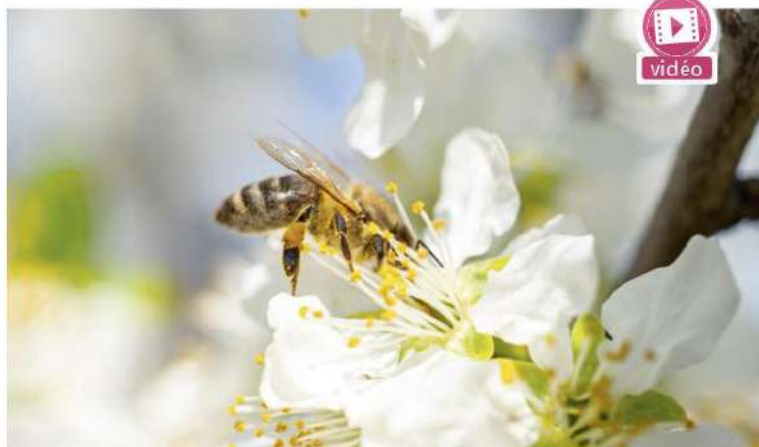
autrement

CLASSE
INVERSEE

Retrouvez un plan
de travail pour
revoir l'intégralité du
chapitre en autonomie.

LLS.fr/PC1P340

Voir p. 359





→ Comment faire la mise au point avec des appareils photographiques toujours plus fins ?

→ voir l'exercice 41, p. 358

À revoir pour bien commencer

- Savoir tracer les rayons lumineux dans le cas d'une lentille convergente
- Longueur d'onde d'une radiation lumineuse
- Spectre d'une lumière colorée

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P341

Objectifs du chapitre

- ❑ Exploiter les relations de conjugaison et de grandissement des lentilles minces convergentes
- ❑ Savoir retrouver les caractéristiques d'une image
- ❑ Comprendre les différentes synthèses de couleurs
- ❑ Interpréter la couleur d'un objet
- ❑ Découvrir la vision trichromie de l'œil humain

1 Synthèse additive des couleurs et trichromie 55'

Tous les écrans fonctionnent à partir de trois sous-unités de couleurs pour restituer à l'œil humain l'ensemble des couleurs existantes.

→ **Comment restituer l'intégralité des couleurs à partir des trois couleurs primaires ?**

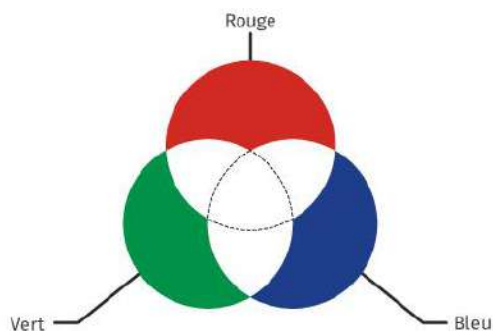
Par intuition

Comment obtenir une couleur orange avec seulement les trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu) ?

Doc. 1 Schéma de la synthèse additive

Le schéma de la synthèse additive est un outil permettant de structurer la synthèse des couleurs : la superposition ou l'addition de deux couleurs, dites primaires, donne une couleur secondaire placée sur le schéma dans la zone commune aux deux couleurs considérées.

Les couleurs primaires de la synthèse additive, donc des lumières, sont le vert, le rouge et le bleu.



Deux couleurs sont dites complémentaires si leur addition donne de la lumière blanche.

Doc. 2 Matériel à disposition

- Deux sources lumineuses à trois miroirs permettant de superposer trois couleurs ;
- Un écran ;
- Des filtres de couleur (vert, rouge et bleu) ;
- Un microscope

Doc. 3 Tableau de résultats

Lumière rouge allumée	Lumière bleue allumée	Lumière verte allumée	Couleur perçue
✓			
	✓		
		✓	
✓	✓		
✓		✓	
	✓	✓	
✓	✓	✓	

La quantité de lumière apportée lorsqu'une lumière est allumée est la même quelle que soit la couleur.

Compétence

✓ APP : Extraire l'information utile sur des supports variés

1. **Doc. 1 et 2** Proposer et mettre en place un protocole expérimental pour remplir le tableau du **doc. 3**.
2. Pourquoi appelle-t-on ce type de synthèse une synthèse additive ?
3. Déterminer les trois couleurs secondaires de la synthèse additive. Expliquer comment les obtenir puis reproduire et compléter le schéma récapitulatif du **doc. 1**.
4. Donner les trois couples de couleurs complémentaires. Comment vérifier expérimentalement qu'elles sont bien complémentaires ?
5. Comment sont placées les couleurs complémentaires dans le schéma récapitulatif de la synthèse additive ?

Synthèse de l'activité

Comment obtenir l'intégralité des couleurs de l'arc-en-ciel avec seulement trois couleurs primaires ? Le vérifier en regardant votre écran de téléphone allumé à travers un microscope.

2 Vision des couleurs et trichromie

On dit souvent qu'un daltonien ne distingue pas le vert du rouge.

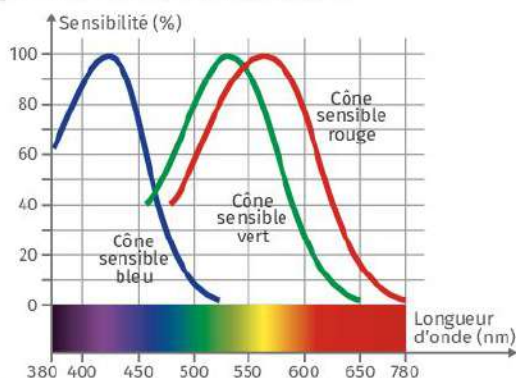
→ Comment peut-on identifier les différentes couleurs ?

Par intuition

Pourquoi un daltonien ne voit-il pas les mêmes couleurs qu'une personne dont l'œil est dit sain ?

Doc. 1 Les cônes de l'œil

Dans un œil, les cellules qui permettent d'analyser les couleurs portent le nom de cônes. Dans l'œil humain, il existe trois types de cônes et chacun d'eux est sensible à l'une des trois couleurs suivantes : le bleu, le vert et le rouge. Ces couleurs, appelées couleurs primaires, sont à l'origine du principe de la vision trichromatique. Par synthèse additive de ces trois couleurs, l'œil humain peut voir toutes les autres couleurs.

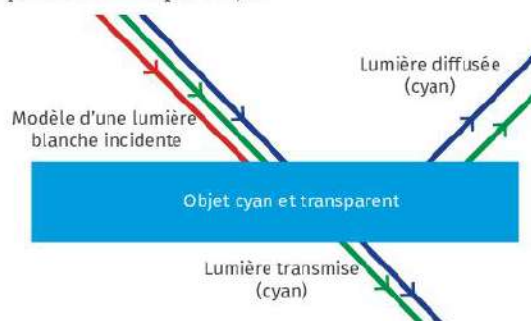


Doc. 3 Daltonisme

Le daltonisme est le dysfonctionnement d'un ou de plusieurs cônes à la base de la vision des couleurs. Un daltonien dont le cône sensible au vert ne fonctionne pas distingue difficilement le rouge du vert.

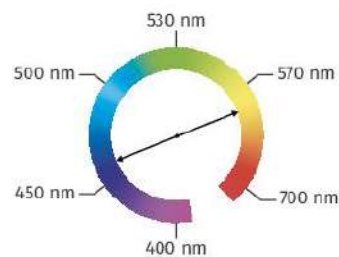
Doc. 2 Couleur et absorption

La lumière blanche peut être modélisée par la syse synthèse additive des trois couleurs primaires propres à l'œil humain. La couleur d'un objet en lumière blanche correspond alors à la couleur complémentaire de celle qui est absorbée par l'objet.



Doc. 4 Cercle chromatique

Dans le cercle chromatique, deux couleurs complémentaires se font face : le jaune est la couleur complémentaire du bleu.



Compétences

- ✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique
- ✓ COM : Compte rendu écrit avec un vocabulaire scientifique rigoureux

1. Doc. 1 Expliquer le terme de vision trichromatique.

2. Doc. 2 Dans l'exemple de l'objet éclairé présenté, indiquer quelle est la couleur absorbée et justifier la couleur cyan qui est diffusée et transmise à l'aide du doc. 4.

3. Doc. 1 et 3 L'analyse des courbes d'absorbance des trois cônes permet-elle de comprendre le problème d'un daltonien dont le cône sensible au vert dysfonctionne ?

4. Doc. 4 Pour un daltonien dont le cône sensible à la couleur bleue ne fonctionne pas, quelle serait la couleur de l'objet du doc. 2 ?

Synthèse de l'activité

Résumer le processus qui permet d'identifier les couleurs et les dysfonctionnements quelquefois rencontrés.

3 Synthèse soustractive et vision d'objets colorés 55'

Des objets de couleur sont souvent regardés sous une lumière blanche. Lors d'un concert, le jeu de lumières colorées fait pourtant voir ces objets avec une couleur différente.

→ **Comment l'apparence du costume d'un musicien peut-il changer de couleur en fonction de l'éclairage de la scène ?**

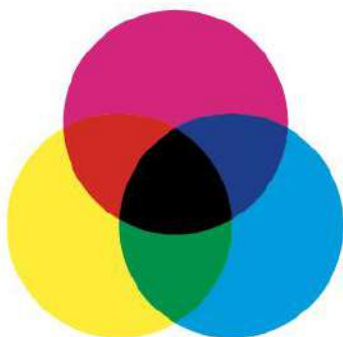
Par intuition

En quoi la couleur de l'éclairage peut-elle modifier la couleur des vêtements d'un musicien sur scène ?

Doc. 1 Schéma de la synthèse soustractive

Le schéma de la synthèse soustractive est un outil permettant de structurer la synthèse des couleurs faite par l'œil humain.

Les couleurs primaires de la synthèse soustractive, donc de la matière, sont le cyan, le jaune et le magenta.



Deux couleurs sont dites complémentaires si leur addition donne du noir.

Doc. 2 Concert en lumière jaune



Doc. 3 Matériel nécessaire

- Source de lumière blanche à trois miroirs avec six filtres colorés rouge, vert, bleu, magenta, jaune et cyan ;
- Objets (feuilles cartonnées) de couleur (rouge, vert, bleu, cyan, magenta, jaune) ;
- Spectroscope de poche.

Doc. 4 Tableau de résultats

		Lumière incidente					
		Rouge	Vert	Bleu	Jaune	Magenta	Cyan
Couleur initiale de la feuille	Rouge						
	Vert						

Compétence

✓ COM : Compte rendu écrit avec un vocabulaire rigoureux

1. Mettre en place un protocole permettant de vérifier le schéma de la synthèse soustractive puis de remplir le tableau du **doc. 4**.
2. Recopier et compléter le tableau du **doc. 4** en faisant l'expérience pour toutes les feuilles colorées à disposition.
3. Expliquer le principe de la synthèse soustractive. Pourquoi porte-t-elle ce nom ?

Synthèse de l'activité

Le musicien possède un costume cyan. De quelle couleur apparaît-il lorsqu'il est éclairé par un spot vert ? et par un spot rouge ?

4 Relations vérifiées par une lentille convergente



Les propriétés graphiques du tracé de rayons lumineux au travers d'une lentille convergente peuvent être modélisées mathématiquement.

→ **Comment calculer la position et la taille de l'image d'un objet par une lentille convergente ?**

Par intuition

Quels avantages offre une méthode de détermination d'une image par le calcul plutôt que par tracé de rayons ?

Doc. 1 Principe et notations

Par convention sur un schéma d'optique géométrique, le sens de propagation de la lumière va de la gauche vers la droite. L'axe optique qui est horizontal est donc orienté positivement vers la droite. Il existe de même un axe vertical qui est orienté positivement vers le haut.

O est le centre optique de la lentille, F son foyer objet et F' son foyer image. L'objet AB sera perpendiculaire à l'axe optique, A étant toujours placé sur l'axe optique. On appelle A'B' l'image de AB par la lentille.

Doc. 2 Valeurs algébriques

Dans une relation de conjugaison d'optique géométrique, les grandeurs sont dites algébriques, c'est-à-dire qu'elles peuvent être positives ou négatives.

La référence est le sens de propagation de la lumière. Ainsi, si l'objet est à gauche de la lentille, il faut « remonter » le cours de la lumière pour aller de O à A et donc $\overline{OA}$ a une valeur négative. À l'inverse, F' est à droite de la lentille, donc pour aller de O à F' on est dans la même direction que la lumière, $\overline{OF'}$ a une valeur positive.

On appelle A'B' l'image de AB par la lentille.

Doc. 3 Relation de conjugaison

La relation de conjugaison des lentilles minces à vérifier est celle-ci :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$$

Le grandissement est défini par :

$$\gamma = \frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{AB}$$

Toutes les grandeurs algébriques sont en mètre, et γ est sans unité.

Doc. 4 Matériel nécessaire

- Un banc d'optique gradué en mm avec supports pour les autres éléments ;
- Une source de lumière ;
- Un objet (une lettre gravée par exemple) ;
- Une lentille mince convergente L de distance focale 20 cm ;
- Un écran.

Compétences

- ✓ MATH : Utiliser des outils mathématiques
- ✓ VAL : Exploiter numériquement un ensemble de mesures

- Doc. 1** Faire un schéma du modèle utilisé, sans souci d'échelle, en plaçant les points caractéristiques de la lentille O, F et F' et un objet AB.
- Rédiger un protocole expérimental permettant de vérifier la relation de conjugaison des lentilles convergentes et celle du grandissement lorsque A est placé à gauche de F mais également entre O et F.
- Consigner vos résultats dans un tableau et créer deux variables $x = \frac{1}{OA}$ et $y = \frac{1}{OA'}$.
- Quelles sont les sources d'incertitudes sur cette manipulation ?
- Vérifier la relation de conjugaison grâce à la représentation graphique de $y = f(x)$ et la distance focale de la lentille utilisée.
- Quel est le grandissement de cette lentille ? Préciser la méthode utilisée.

Synthèse de l'activité

Un objet est situé à 40,0 cm de la lentille L et mesure 6,0 cm. Déterminer par les relations de conjugaison la position et la taille de l'image. Quel est l'avantage de cette méthode calculatoire par rapport à la méthode graphique ?

1 Relations des lentilles convergentes

A Conventions

➤ Dans le modèle des lentilles minces, on note $\overline{OA}$ la position de l'objet par rapport à la lentille et $\overline{OA'}$ la position de l'image par rapport à la lentille : ce sont des valeurs algébriques, dont la valeur numérique peut être positive ou négative selon l'orientation de l'axe.

L'axe optique de la lentille est orienté par convention de gauche à droite. En se référant aux positions du schéma du **doc. 1**, on constate donc que :

$$\overline{OA} < 0 \text{ m}, \overline{AO} > 0 \text{ m} \text{ et } \overline{OA'} > 0.$$

De la même manière, l'axe vertical est orienté par convention vers le haut pour l'étude des mesures algébriques de l'objet $\overline{AB}$ et de son image $\overline{A'B'}$. Toutes ces grandeurs algébriques s'expriment en mètre.

B Relations de conjugaison et de grandissement

➤ Ces relations permettent de déterminer mathématiquement la position et la taille de l'image d'un objet par une lentille mince convergente.

- La relation de conjugaison permet de déterminer la position A' de l'image en connaissant la position A de l'objet et la distance focale $f' = \overline{OF'}$ de la lentille :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{f'}.$$

- La relation de grandissement permet de déterminer la taille et le sens de l'image à partir de la taille et du sens de l'objet :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \quad (\gamma \text{ est sans unité}).$$

Remarque : La relation de conjugaison est aussi appelée relation de Descartes.

C Caractéristiques de l'image

Une image est **réelle** si elle est observable sur un écran (**doc. 2**).

Elle se situe alors dans l'espace image, c'est-à-dire à droite de la lentille sur un schéma normalisé.

Une image est **virtuelle** si elle ne peut être observée qu'à travers le système optique, par exemple la loupe (**doc. 3**).

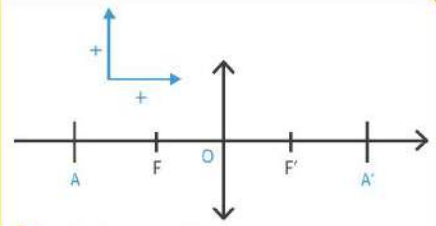
L'image se situe alors dans l'espace objet, c'est-à-dire à gauche de la lentille sur un schéma normalisé.

Le grandissement apporte des informations sur l'image formée :

$\gamma > 0$	$\gamma < 0$	$ \gamma > 1$	$ \gamma < 1$
Image droite (dans le sens de l'objet)	Image renversée	Image plus grande que l'objet	Image plus petite que l'objet

Les conventions d'orientation des axes

Doc. 1



O est pris pour origine.

Éviter les erreurs

- Bien écrire les valeurs algébriques des grandeurs (positives ou négatives) et être vigilant aux signes des valeurs numériques dans les calculs.
- Vérifier que les valeurs algébriques ont été converties en mètre dans la relation de conjugaison.

Doc. 2 Image réelle



L'objet et l'image sont de part et d'autre de la lentille optique de l'appareil.

Doc. 3 Image virtuelle



Vue au travers d'une loupe, l'image est virtuelle.

Pas de malentendu

- Ne pas confondre le grandissement avec la notion de zoom. Un zoom $\times 2$ signifie que l'image de départ est agrandie deux fois, quelle que soit la distance entre l'objet et la lentille de l'appareil. Le grandissement γ dépend de la distance à laquelle se trouve l'objet et de la distance focale de la lentille.

2 Obtenir des couleurs

Les procédés de synthèse additive et soustractive reposent sur la structure de l'œil humain. Celui-ci perçoit les couleurs grâce à des récepteurs appelés cônes. Il en existe trois types, chacun d'entre eux étant sensible à une longueur d'onde de lumière particulière.

A Synthèse additive

➤ La synthèse additive est le procédé de superposition de trois lumières colorées permettant d'obtenir une infinité d'autres.



Lorsque des faisceaux de lumière sont superposés, on obtient d'autres couleurs par synthèse additive.

Avec cette méthode, seules trois couleurs suffisent à générer l'ensemble des couleurs : le bleu, le rouge et le vert. On les appelle couleurs primaires.

Les trois luminophores des pixels d'un écran plat, par exemple, permettent de composer toutes les couleurs par la variation de luminosité de chacun selon les principes de la synthèse additive (**doc. 4**).

B Synthèse soustractive

➤ La synthèse soustractive est le procédé de superposition de pigments colorés pour obtenir plusieurs couleurs.

La synthèse soustractive utilise des filtres colorés pour absorber la lumière. Trois filtres colorés permettent d'absorber toutes les autres couleurs : ce sont les couleurs primaires de la synthèse soustractive, le cyan, le jaune et le magenta.



Les résultats de la synthèse soustractive peuvent apparaître dans un schéma qui fait apparaître les couleurs secondaires (bleu, vert et rouge).

La synthèse soustractive est utilisée pour les peintures (**doc. 6**), les encres, etc., soit toutes les matières colorées.

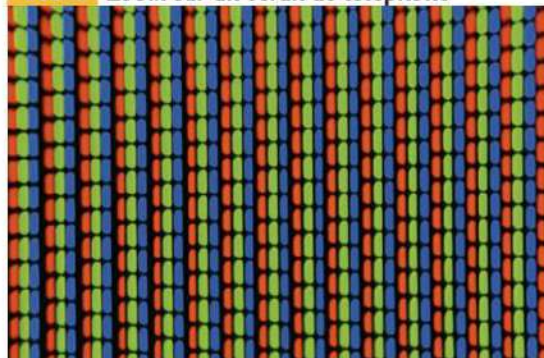
Application

L'imprimante à jet d'encre utilisée quotidiennement est une application directe de la synthèse soustractive.

À partir d'une feuille blanche l'imprimante dépose des pellicules de couleurs primaires (cyan, magenta ou jaune) qui vont absorber les couleurs.

Si les trois couleurs primaires sont déposées sur la feuille alors toutes les couleurs sont absorbées et il ne reste plus aucune couleur apparente sur la feuille : le rendu final d'impression donne du noir.

Doc. 4 Zoom sur un écran de téléphone

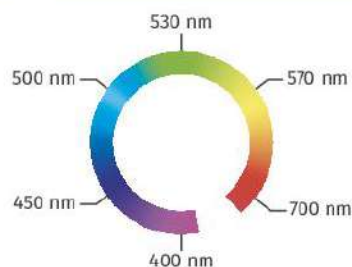


Cet écran émet une lumière blanche.

Éviter les erreurs

➤ Ne pas confondre les deux synthèses, il faut identifier le contexte pour utiliser le bon moyen de superposer les couleurs ou de les soustraire.

Doc. 5 Cercle chromatique



Doc. 6 Les couleurs en peinture



La peinture est une application directe de la synthèse soustractive : un mélange bien dosé de couleurs aboutit à une peinture noire.

3 La couleur des objets

A Interaction entre la lumière et l'objet

➤ Selon leurs caractéristiques et leur nature, les objets ne réagissent pas de la même façon à une lumière incidente (**doc. 7**).

Lorsqu'un objet reçoit une lumière incidente, il peut :

- la transmettre : l'objet est donc traversé par cette lumière ;
- l'absorber : l'objet absorbe la lumière ;
- la diffuser : l'objet renvoie la lumière dans toutes les directions.

Dans la majorité des cas, les trois phénomènes se produisent simultanément. En effet, une partie de la lumière peut être absorbée par l'objet, une autre partie peut être transmise.

Un objet coloré absorbe sa couleur complémentaire.

Exemple : un objet rouge absorbe sa couleur complémentaire, le cyan. Un objet rouge éclairé avec une lumière cyan apparaîtra donc noir.

B Perception des couleurs par un être humain

➤ L'œil d'un observateur reçoit des objets la lumière diffusée ou la lumière transmise. Cette lumière colorée est donc composée a priori des trois couleurs primaires de la lumière (synthèse additive) que sont le bleu, le vert et le rouge.

➤ Dans l'œil, deux types de cellules permettent de discerner la couleur des objets : les cônes qui détectent les couleurs et les bâtonnets qui sont sensibles à l'intensité lumineuse (mais pas aux couleurs).

Il existe trois types de cônes et chacun d'eux est sensible à une des trois couleurs primaires des lumières : le bleu, le vert et le rouge (**doc. 8**).

L'œil humain est sensible à trois couleurs : c'est le principe de la vision trichromatique. Par synthèse additive de ces trois couleurs, l'œil peut voir toutes les autres couleurs.

C Couleur réelle d'un objet

➤ La couleur d'un objet dépend de deux paramètres : la couleur de la lumière incidente et la vision de l'observateur.

Exemple : un objet peut être vu cyan éclairé en lumière blanche mais noir lorsqu'il est éclairé en lumière rouge.

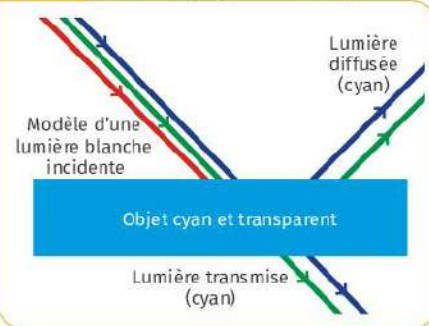
On parle de la couleur réelle d'un objet lorsqu'il est éclairé par une lumière blanche et vu par une personne dont l'œil est sensible aux trois couleurs primaires.

Application

Une personne daltonienne a un ou plusieurs cônes qui ne fonctionnent pas, ou mal.

Si le cône détectant le rouge ne fonctionne pas, elle ne peut pas voir cette couleur et ne peut pas observer le 5 sur le **doc. 9**.

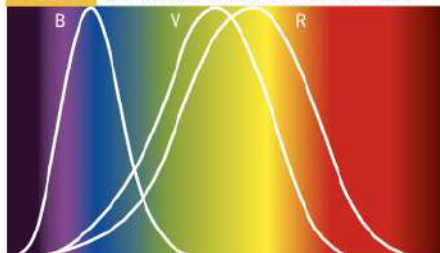
Doc. 7 Couleur perçue d'un objet



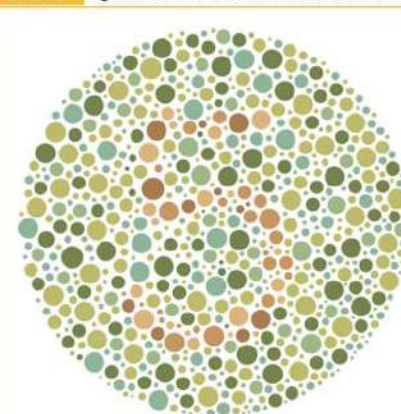
Éviter les erreurs

- Un objet absorbe sa couleur complémentaire, celle qui est à l'opposé dans le cercle chromatique.
- Ne pas confondre diffusion et réflexion : la lumière n'est réfléchiée que dans une direction alors qu'elle est diffusée dans toutes les directions.

Doc. 8 Sensibilité des cônes de l'œil



Doc. 9 Quel chiffre observez-vous ?

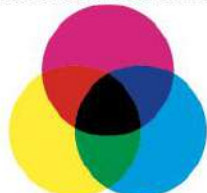


➤ Exemple de test (d'Ishihara) pour déceler les formes de daltonisme.

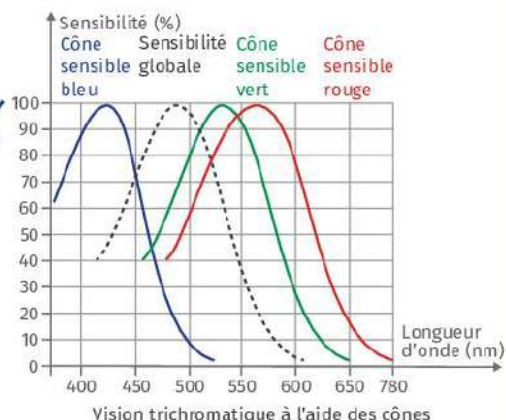
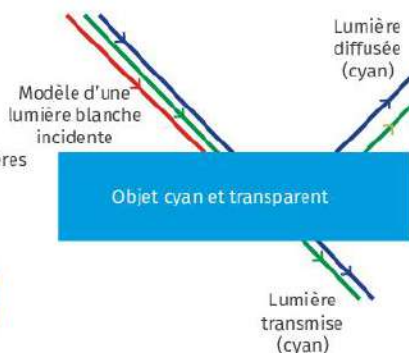
Principales notions



Synthèse additive des lumières



Synthèse soustractive



Les éléments essentiels de la modélisation

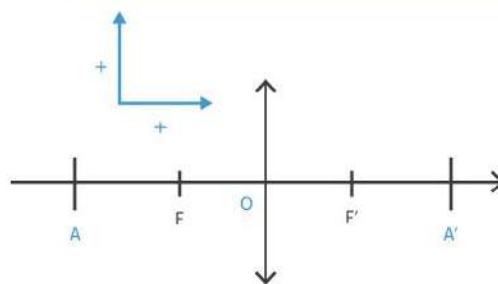
Dans ce chapitre, les lentilles convergentes sont modélisées par des lentilles infiniment minces possédant un foyer image F' et un foyer objet F .

Les objets et images sont perpendiculaires à l'axe optique et modélisés par AB et $A'B'$.

Attention : ce sont des notations algébriques qui ont été utilisées, les grandeurs peuvent être positives ou négatives !

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'} = \frac{1}{f'}$$

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$



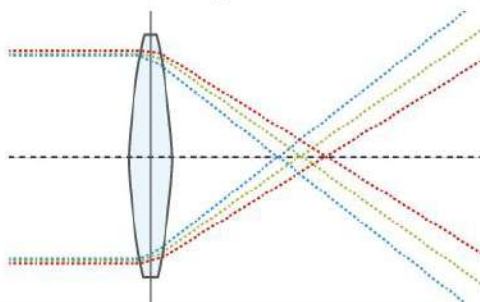
 **Retrouver la simulation « Lentille convergente ».** [LLS.fr/PC1P349](https://lls.fr/PC1P349)

Les limites de la modélisation

Les relations de conjugaison et de grandissement ne sont valables que dans un milieu homogène : si une lentille mince sépare deux milieux différents (l'eau et l'air par exemple), ces relations ne sont plus vérifiées.

Pour des lentilles épaisses, la relation de conjugaison est plus complexe.

Enfin, il est à noter que les distances focales des lentilles minces dépendent aussi de la longueur d'onde de la lumière qui les traverse. Selon la couleur considérée, la distance focale change légèrement. Cette considération n'a pas été prise en compte. Elle est à l'origine de la perte de qualité de certaines images formées, on parle d'aberrations chromatiques.



Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour faire une carte mentale et reprendre les principales notions du chapitre. [LLS.fr/PC1P349](https://lls.fr/PC1P349)

1 Relations des lentilles convergentes

	A	B	C
1. La bonne relation de conjugaison est :	$\frac{1}{OA} = \frac{1}{OA'} + \frac{1}{OF'}$	$OA' - OA = OF'$	$\frac{1}{OA'} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{OF'}$
2. Le grandissement γ d'une lentille est défini par :	$\frac{AB}{A'B'}$	$\frac{A'B'}{AB}$	$A'B' \cdot AB$
3. Si $\gamma = -3$ alors :	l'image est droite et plus grande que l'objet.	l'image est renversée et plus petite que l'objet.	l'image est renversée et plus grande que l'objet.

2 Obtenir des couleurs

1. Les couleurs primaires de la synthèse additive sont :	vert, rouge et bleu.	rouge, cyan et jaune.	magenta, cyan et jaune.
2. En synthèse soustractive, un mélange de jaune et de cyan donne :	du vert.	du bleu.	du rouge.
3. En synthèse additive, deux couleurs complémentaires :	donnent du noir.	donnent du blanc.	donnent du vert.

3 La couleur des objets

1. Un objet coloré absorbe :	sa couleur complémentaire.	une couleur secondaire.	toutes les couleurs primaires.
2. Si un objet absorbe seulement les radiations vertes de la lumière blanche, alors :	il diffuse les radiations rouges et bleues.	il transmet les radiations vertes.	il diffuse les radiations cyan.
3. Les cônes :	sont sensibles à l'intensité lumineuse.	sont sensibles au vert, rouge et bleu.	fonctionnent comme les bâtonnets.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P350

4 Questions Jeopardy ?

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

- a. La couleur de cet objet est magenta en lumière blanche. b. Cet objet est vu vert si l'éclairage est de couleur cyan.

Savoir-faire - Parcours d'apprentissage (Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 408)

Exploiter les relations de conjugaison et de grandissement	13	23	27
Savoir retrouver les caractéristiques d'une image	12		28
Comprendre les différentes synthèses de couleurs		15	
Interpréter la couleur d'un objet	14	[DIFF]	
Découvrir la vision trichromatique de l'œil humain		[DIFF]	32

Pour s'échauffer

5 Lentille mince convergente

- Donner l'expression du grandissement d'une lentille mince convergente. Quelle est son unité ? Qu'indique son signe ?

6 Quelle est la distance focale ?

Un objet réel est situé à 10 cm d'une lentille et son image réelle est à 5,0 cm de la lentille.

- Quelle est la distance focale f' de cette lentille ?

7 Quelle est cette couleur ?

Une actrice sur scène est habillée de blanc et est éclairée par un projecteur vert et un bleu.

- De quelle couleur voit-on l'habit ?

8 Un peu de peinture

- Rappeler les couleurs primaires de la peinture et donner le mélange à effectuer pour obtenir du bleu.

9 Vision trichromique

- Lorsqu'une lumière de couleur jaune arrive dans un œil sain, quels sont les cônes qui sont activés ?



10 Daltonisme

- Si un daltonien a les cônes sensibles au vert défectueux, de quelle couleur perçoit-il un objet qui émet des radiations cyan ?

Pour commencer

Relation de conjugaison des lentilles convergentes

11 Comment est l'image ?

✓ VAL : Analyser un résultat numérique

Une lentille mince convergente donne d'un objet AB une image notée A'B'. Son grandissement est de $-4,0$.

- Rappeler la relation mathématique du grandissement.
- Expliquer pourquoi celui-ci peut être négatif.
- L'image est-elle droite ou renversée ? Est-elle plus grande ou plus petite que l'objet ?

12 Faire un schéma

✓ APP : Faire un schéma

On réalise un dispositif avec une lentille convergente, de distance focale 10 cm. $\overline{OA} = -20$ cm et $\overline{OA'} = 20$ cm. $\overline{AB} = -5$ cm et $\overline{A'B'} = 5$ cm.

- Faire le schéma de la lentille, de l'objet et de son image. Prendre pour échelle 1 cm sur le schéma correspondant à 5 cm en réalité.

13 Où est l'objet ?

✓ MATH : Effectuer un calcul littéral

Une lentille convergente de distance focale 15 cm donne une image réelle d'un objet telle que $\overline{OA'} = 20$ cm.

- Donner l'expression de $\overline{OA}$.
- Calculer sa valeur en cm.

Obtenir des couleurs

14 Comment est l'image ?

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Un écran émet des lumières colorées grâce à des pixels de trois couleurs différentes.



- Comment nomme-t-on le type de synthèse mis en jeu ?
- De quelles couleurs sont ces trois pixels ?
- Expliquer comment obtenir un drapeau qui occupe tout l'écran comme sur l'image ci-dessus.

EXERCICES

15 Impression sur papier blanc

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Sur un papier blanc, on souhaite imprimer Marge Simpson à l'identique avec ses cheveux bleus, sa peau jaune, son collier rouge, son tailleur vert et les traits de dessin noir.

1. Quel type de synthèse est mis en œuvre dans une imprimante ?
2. Dessiner le cercle chromatique correspondant.
3. Donner les superpositions d'encre à faire pour obtenir la couleur souhaitée de Marge.



16 Un défaut d'éclairage

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Une scène est éclairée par trois projecteurs correspondant chacun à une couleur primaire. Un projecteur tombe en panne et un acteur habillé de blanc apparaît alors magenta aux yeux des spectateurs.

1. Quelles sont les trois couleurs des projecteurs de la scène ?
2. Quel est le projecteur qui est tombé en panne ?

La couleur des objets

17 Association de filtres colorés

✓ RAI/ANA : Élaborer un protocole

On dispose de trois projecteurs les lumières rouge, verte et bleue et de trois filtres de couleurs primaires en synthèse soustractive (cyan, magenta et jaune).

1. Comment obtenir une lumière cyan à l'aide des projecteurs ?
2. Que ressort-il d'un filtre cyan éclairé par une lumière cyan ?
3. On rajoute derrière ce filtre cyan un filtre jaune. Quelle couleur ressort ?

18 Couleur et daltonisme

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement

Un objet éclairé en lumière blanche et vu par un œil normal est de couleur jaune.

1. Faire un schéma d'absorption et de diffusion de cet objet en lumière blanche.
2. Cet objet est éclairé en lumière bleue. De quelle couleur apparaît-il pour un œil normal ?
3. Pour un daltonien dont les cônes verts sont défectueux, de quelle couleur voit-il l'objet en lumière verte ?

Une notion, trois exercices

□ Savoir-faire : Interpréter la couleur d'un objet

Lors du match France-Allemagne, les drapeaux des pays sont projetés sur un écran géant. Les lumières arrivent sur un spectateur qui porte des lunettes un peu spéciales.



19 Match France-Allemagne

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

Le premier spectateur a des verres cyan.

1. Quel est le type de synthèse mis en jeu dans cette situation ?
2. Établir le schéma correspondant.
3. Quelle(s) est/sont la/les couleur(s) absorbée(s) par le filtre cyan ?
4. En déduire les lumières transmises.
5. Conclure en dessinant les couleurs des drapeaux vues par le spectateur.

DIFFÉRENCIATION

20 Match France-Allemagne

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

Le deuxième spectateur a un verre gauche vert et un verre droit rouge.

1. Quel est le type de synthèse mis en jeu ?
2. Quelle(s) est/sont la/les couleur(s) absorbée(s) par le filtre vert ? et par le filtre rouge ?
3. Conclure en dessinant les couleurs des drapeaux vues par le spectateur par son œil gauche et par son œil droit.

21 Match France-Allemagne

✓ RAI/ANA : Utiliser des documents pour répondre à une problématique

Le troisième spectateur a un verre gauche magenta et un verre droit bleu.

- En argumentant et en justifiant, dessiner ce que voit le spectateur en fermant l'œil gauche puis en fermant l'œil droit.

Mise au point d'un appareil photo

Énoncé

L'appareil photographique possède une lentille mince convergente de distance focale fixe et un écran (pellicule) qui peut être déplacé pour faire la mise au point.

On observe un objet d'une taille de 24 cm placé à l'infini qu'on approche de l'appareil photo en faisant la mise au point à chaque nouvelle position de l'objet.

1. Où se trouve l'écran lorsque l'objet se situe à l'infini (position très éloignée de l'objectif) ? On peut s'aider d'un tracé de rayons lumineux.
2. Quelle est la position de l'objet la plus proche pour laquelle la mise au point est encore possible (la pellicule est alors reculée au maximum) ?
3. Quel est le grandissement de l'appareil photo dans cette dernière situation ?
4. L'image est-elle coupée dans la dernière situation ?

Solution rédigée

1. Lorsque l'objet est situé à l'infini, l'écran va se positionner dans le plan focal image (au niveau de F') pour faire la mise au point.
2. On cherche tout d'abord la position limite de l'écran qui est la distance focale (objet à l'infini) à laquelle on ajoute 3 mm, donc $\overline{OA'} = 5,3$ cm.

On utilise la relation de conjugaison en isolant $\frac{1}{OA}$:

$$\frac{1}{OA} = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{f'}, \text{ soit}$$

$$\overline{OA} = \frac{f' \cdot OA'}{f' - OA'} = \frac{5,0 \times 10^{-2} \times 5,3 \times 10^{-2}}{5,0 \times 10^{-2} - 5,3 \times 10^{-2}} = -0,88 \text{ m} = -88 \text{ cm}.$$

La position minimale de l'objet pour que la mise au point puisse se faire est à 88 cm de l'objectif de l'appareil photo.

3. On utilise la relation du grandissement $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{5,3}{-88} = -0,060$.
4. On utilise la seconde relation pour le grandissement $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ donc $\overline{A'B'} = \gamma \cdot \overline{AB} = -0,06 \times 24 = -1,44 \text{ cm} = -14,4 \text{ mm}$, l'image n'est pas coupée car le côté le plus petit du capteur mesure 24 mm.



DONNÉES

Caractéristiques de l'appareil photo :

- Distance focale de la lentille : 5,0 cm ;
- Déplacement maximal de la pellicule : 3,0 mm ;
- Dimensions du capteur écran : 24 par 36 (mm).

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Pour effectuer un tracé de rayons avec un objet à l'infini, on considère que les rayons lumineux arrivent parallèles entre eux.
2. L'écran ne peut pas bouger de façon infinie, il faut trouver la position de l'objet lorsque le capteur est totalement reculé.
3. Appliquer la relation pour la situation de la question précédente.
4. L'image est coupée si elle ne rentre pas dans le capteur.

POUR BIEN RÉPONDRE

1. Bien dessiner les flèches sur les rayons et indiquer le point focal image F' sur le schéma.
2. Faire attention à bien noter des valeurs algébriques.
3. Bien utiliser les notations algébriques.
4. Comparer la taille du capteur à celle de l'image.

22 Mise en application

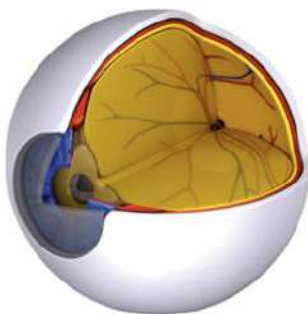
- Quelle est la taille maximale d'un objet que peut photographier de près cet appareil photo ?

Pour s'entraîner

23 Modélisation de l'œil

✓ MATH : Utiliser des outils mathématiques

On cherche à modéliser un œil au laboratoire avec une simple lentille mince convergente de distance focale $f' = 15$ cm et avec un écran. Pour un objet situé à 37,5 cm de la lentille, une image nette se forme sur l'écran.



1. Préciser quelles parties de l'œil réel sont modélisées par la lentille et par l'écran.
2. À l'aide de la relation de conjugaison, déterminer le diamètre de cet œil ainsi modélisé.
3. Faire un schéma normalisé de la situation à l'échelle 1/5.
4. Expliquer pourquoi dans un œil réel, la relation de conjugaison donnée dans le cours n'est pas applicable pour déterminer la position de l'image.

24 Une histoire d'éclairage en QCM

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations

Un objet est éclairé en lumière blanche et apparaît bleu.

1. Donner la bonne réponse.
 - a. Il diffuse le bleu.
 - b. Il absorbe le bleu.
 - c. Il absorbe le blanc.
2. Éclairé en lumière cyan, ce même objet apparaît :
 - a. cyan.
 - b. bleu.
 - c. vert.
3. Pour qu'il apparaisse noir, il faut l'éclairer avec de la lumière :
 - a. cyan.
 - b. jaune.
 - c. magenta.
 - d. noire.

25 Match retour France-Allemagne

✓ REA : Mettre en œuvre un protocole

Sur un écran géant les drapeaux de la France et de l'Allemagne sont affichés.

- Comment obtenir ces deux drapeaux sur un écran géant avec des pixels composés de trois couleurs ?

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P354

Comprendre les attendus

26 Des billes magiques

✓ APP : Maîtriser le vocabulaire

On considère deux billes, une de couleur cyan et une de couleur magenta (lorsqu'elles sont éclairées en lumière blanche). On possède une source de lumière blanche et des filtres colorés bleu, vert et rouge. On pose les billes sur un fond noir.



1. Si on positionne un filtre rouge devant la source de lumière blanche, de quelle couleur vont apparaître les billes ?
2. Quel filtre faut-il utiliser pour avoir les billes de la même couleur ?
3. Comment éclairer les billes pour faire disparaître la bille magenta ?
4. Est-il possible de faire disparaître les deux billes en même temps ?

Détails du barème

TOTAL / 7 pts

1. Identifier la couleur obtenue grâce au filtre.	0,5 pt
Identifier la synthèse soustractive.	0,5 pt
Utiliser correctement la synthèse soustractive.	1 pt
2. Les billes doivent diffuser la même couleur.	1 pt
Identifier correctement la couleur diffusée commune.	1 pt
3. La bille disparaît si l'on ne peut pas la distinguer du fond.	1,5 pt
4. Vérifier la lumière absorbée par chaque bille et conclure.	1,5 pt

27 Quelle est cette lentille ?

✓ MATH : Utiliser des outils mathématiques

Une lentille forme sur un écran l'image d'un objet de hauteur 10,0 m. Cet objet se trouve à 50,0 m de la lentille. La taille de l'image obtenue est de 1,11 m.

1. Déterminer la position de l'image par rapport à la lentille.
2. Déterminer la distance focale de cette lentille.
3. À quelle distance de la lentille doit être l'objet pour que l'écran soit à 2,00 m de la lentille ?

28 Où est l'image ?

✓ MATH : Utiliser des outils mathématiques

Un objet réel est situé à 15 cm d'une lentille convergente de distance focale $f' = 20$ cm.

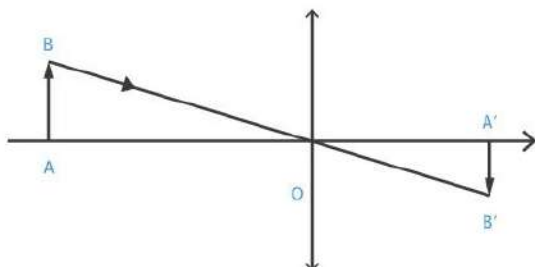
1. À quelle distance du point focal objet se situe l'objet ?
2. À quelle distance de la lentille se trouve l'image ? Est-elle réelle ?
3. À quel instrument d'optique courant cette situation correspond-elle ?

29 Démonstration du grandissement

✓ MATH : Utiliser des outils mathématiques

On exploite le schéma ci-dessous.

Les conventions sont celles utilisées dans le cours.



1. Rappeler la relation de grandissement à l'aide des longueurs algébriques $\overline{AB}$ et $\overline{A'B'}$.
2. Que peut-on dire des segments $[AB]$ et $[A'B']$?
3. En utilisant le théorème de Thalès donner la deuxième version de la formule du grandissement.

30 Au concert

✓ APP : Extraire l'information



Trois musiciens sont sur une scène. Chacun d'eux porte un costume de couleur différente : un cyan (C), un jaune (J) et un vert (V). Ils sont éclairés par trois spots lumineux indépendants, chacun étant d'une couleur primaire différente.

1. Comment apparaissent-ils en lumière blanche ?
2. Comment faire disparaître uniquement V ? De quelle couleur apparaissent les deux autres musiciens ?
3. Est-il possible de faire disparaître J sans faire disparaître C ? Comment ?
4. Est-il possible de faire disparaître les trois musiciens ensemble ? Proposer deux solutions.

31 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.

1. Une lentille est convergente si elle a un foyer à droite d'elle.
2. Comme la distance focale de cette lentille convergente est de 20 cm on a $OF' = 10$ cm.
3. On sait que $\overline{OA} = -40$ cm et $\overline{OF'} = 20$ cm. On utilise la relation de conjugaison des lentilles convergentes :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} + \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$

On isole le terme recherché :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OF'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{20} - \frac{1}{40}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{40}$$

$$\overline{OA'} = 40 \text{ cm}$$

L'image est située à 40 cm à droite de la lentille, c'est donc une image réelle.

4. La relation de grandissement est $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$. On trouve $\gamma = 1$ donc l'image est de la même taille que l'objet et droite.
5. L'image est de couleur blanche. Elle est donc le résultat du mélange de lumières rouge, verte et bleue.
6. Pour voir cette image de couleur cyan, il faut l'éclairer avec une lumière cyan.
7. Pour voir cette image noire, il faut l'éclairer avec une lumière noire.

32 Vision en trichromie et feu rouge

✓ RAI/ANA : Choisir un protocole

Un conducteur de voiture arrive à un feu tricolore. Il s'arrête car le feu est rouge. Son ami côté passager est daltonien. Le tableau ci-dessous présente des exemples de vision de couleurs de la personne daltonienne.

Couleur perçue par un œil normal	Couleur perçue par le daltonien
Jaune	Vert
Magenta	Bleu

1. Déterminer quel est le cône qui ne fonctionne pas chez cette personne daltonienne.
2. Une personne daltonienne doit-elle retenir la couleur des feux ou la position des lumières pour bien s'arrêter ?
3. Si les trois feux (rouge, vert et orange) sont perçus éteints par la personne daltonienne, que doit-elle faire ?

Pour aller plus loin

33 Des lentilles perdues

✓ REA : Mettre en œuvre un protocole



Dans un laboratoire de physique, les enseignants rangent les lentilles convergentes afin de faire l'inventaire. Sur chaque lentille est notée la distance focale, il est donc facile de les regrouper. Cependant, deux lentilles ont leur inscription de distance focale effacée.

♦ Retrouver la distance focale de ces lentilles en utilisant le matériel qui n'a pas encore été rangé et qui est indiqué ci-dessous. Proposer un protocole expérimental et expliquer comment trouver la distance focale des deux lentilles.

Matériel à disposition :

- Banc d'optique gradué en cm ;
- Une source de lumière blanche ;
- Un objet AB ;
- Les deux lentilles dont on cherche la distance focale ;
- Un écran ;
- Un logiciel de traitement de données.

34 L'expérience de Newton

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement



Isaac Newton, physicien anglais, a mené en 1666 une expérience sur la lumière du Soleil qui a révolutionné la vision de l'optique.

Pour cela, il a fait un petit trou dans son volet afin qu'un fin faisceau lumineux s'en échappe. Il a placé un prisme de verre (milieu dit dispersif) sur le trajet de la lumière. Il a obtenu sur un écran un arc-en-ciel allant du rouge au bleu et composé de toutes les couleurs.

1. Rappeler les trois couleurs primaires de la lumière.
2. Que montre Newton par cette expérience ?
3. Comment est-il possible d'obtenir toutes les couleurs de l'arc-en-ciel à partir de ces trois couleurs ?
4. Comment Newton peut-il faire pour isoler une seule couleur de cet arc-en-ciel (ou un ensemble de couleurs proches) ?
5. Que se passe-t-il si on met un prisme devant une lumière rouge ? et devant une lumière cyan ?

6. Si Newton avait utilisé un écran cyan, qu'aurait-il vu suite à son expérience ?



HISTOIRE DES SCIENCES

Isaac Newton (1642-1727) était un scientifique britannique à la fois physicien, mathématicien et astronome. Il contribua aux recherches sur l'optique par l'étude des couleurs et par le développement de lunettes astronomiques. Ses découvertes firent avancer ce domaine de façon spectaculaire.

Il a également développé la théorie de la gravitation. Plusieurs lois portent son nom en son hommage. Ses théories ont été améliorées depuis leur énoncé mais les fondements posés par Newton sont encore aujourd'hui, trois siècles plus tard, à la base des théories scientifiques actuelles.



35 Des verres au restaurant

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

Au restaurant, Alice et Nassim observent sur la table les verres encore vides placés devant eux. Les verres à eau sont de couleur verte, ceux à vin sont transparents et incolores. La lumière ambiante de la pièce est blanche.



1. Pour chacun des verres, quelle est la couleur de la lumière absorbée, transmise et diffusée ?
2. Faire un schéma de la situation en décomposant la lumière blanche à l'aide des trois couleurs primaires de la synthèse additive perçues par l'œil.
3. De quelle couleur apparaît le verre à eau d'Alice rempli d'un sirop de grenadine de couleur rouge ?
4. De quelle couleur apparaît le verre à eau de Nassim rempli d'un sirop de citron (jaune) ?

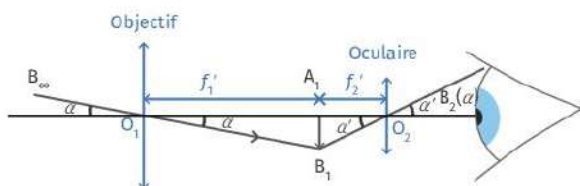
36 La lunette de Kepler

✓ APP : Extraire l'information

BAC



Johannes Kepler a mis au point, au début du XVII^e siècle, une lunette astronomique capable d'observer des objets très éloignés (dans l'espace par exemple) de manière assez précise car le grossissement était important. Sa lunette utilise deux lentilles convergentes : une première de grand diamètre (pour accueillir le maximum de lumière), c'est l'objectif, et une de petit diamètre et de distance focale très courte, c'est l'oculaire. Pour avoir une telle lunette, il est important que le point focal image de l'objectif coïncide avec le point focal objet de l'oculaire comme sur le schéma.



1. Pour l'objectif, l'objet est-il réel ? et l'image ?
2. Pour l'oculaire, l'objet est-il réel ? et l'image ?
3. Déterminer $\tan(\alpha)$ en fonction de A_1B_1 et de f_1' et $\tan(\alpha')$ en fonction de A_1B_1 et de f_2' .

Le grossissement d'une lunette astronomique est défini par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ en supposant que α et α' sont très petits et que donc $\alpha \simeq \tan(\alpha)$ et $\alpha' \simeq \tan(\alpha')$.

4. Déterminer le grossissement de cette lunette astronomique.



HISTOIRE DES SCIENCES

Johannes Kepler (1571-1630) est un astrophysicien qui a notamment étudié et observé les orbites des planètes. Pour cela, il a mis au point une lunette astronomique permettant d'observer avec une plus grande précision les planètes qui nous entourent. Il a ensuite développé une théorie mathématique associée à ces mouvements d'astres : ce sont les lois de Kepler. Elles sont au nombre de trois et n'ont jamais été mises en défaut jusqu'à aujourd'hui.

37 ESPRIT SCIENTIFIQUE



L'arc-en-ciel

✓ RAI/ANA : Utiliser des observations pour répondre à une problématique

L'arc-en-ciel, obtenu par temps de pluie et avec le Soleil dans le dos, semble être composé de toutes les couleurs. Cependant, en y regardant de plus près, on n'observe pas de marron ni de rose.



Dans le tableau ci-dessous sont indiqués les pourcentages de lumières colorées primaires à ajouter pour obtenir d'autres couleurs. La lumière provenant du Soleil est une lumière supposée blanche.

	Rouge	Vert	Bleu
Marron	35	16	0
Rose	99	42	62
Blanc	100	100	100
Noir	0	0	0

1. À partir de quelles couleurs pourrait-on modéliser la lumière blanche ? Quels seraient les pourcentages de présence de chacune ?
2. Donner les pourcentages de chacune des couleurs primaires pour obtenir du jaune, du cyan et du magenta.
3. Expliquer pourquoi, à partir de la lumière du Soleil, il est impossible d'obtenir une couleur marron dans un arc-en-ciel.
4. Même question pour la couleur rose.

38 Trouver une image

✓ MATH : Effectuer un calcul littéral

On possède une lentille de distance focale $f' = 15$ cm. L'objet observé est un texte dont l'écriture a une hauteur de 2 mm. Cet objet est positionné à 5 cm de la lentille.

1. Trouver la position de l'image par rapport à la lentille.
2. Cette image est-elle réelle ou virtuelle ? Justifier.
3. Donner les caractéristiques de l'image (plus grande ou plus petite que l'objet, droite ou renversée).
4. Quel est le rôle de cette lentille ? Comment appelle-t-on ce genre d'instrument optique ?

39 Projecteur de cinéma

✓ MATH : Utiliser des outils mathématiques



L'objectif d'un projecteur de cinéma est une lentille mince convergente devant laquelle défile une bande d'images successives à la vitesse de 24 images par seconde.

Le gérant d'une salle de cinéma vient d'aménager une nouvelle salle de projection et souhaite acheter un écran pour que l'intégralité de l'image puisse y être projetée sans être coupée.

• À l'aide des données, indiquer quelles doivent être les dimensions minimales de l'écran pour que l'image projetée ne soit pas coupée.

Données

- Distance focale de la lentille : $f' = 10 \text{ cm}$;
- Distance lentille-bande de film : $10,1 \text{ cm}$;
- Dimensions d'une image de film : hauteur 24 mm et largeur 36 mm ;
- Longueur de la salle : 12 m .

40 Qui est le voleur ?

✓ RAI/ANA : Élaborer un protocole

Sur la bande de vidéosurveillance d'un magasin qui s'est fait dévaliser la veille, de nuit, on voit le trottoir de la rue. Il est éclairé par l'enseigne lumineuse du magasin qui est de couleur jaune. Le voleur arrive et apparaît sur la vidéo avec un bonnet noir, un pull noir et un pantalon jaune. Trois suspects ont été arrêtés. Les enquêteurs pensent que le coupable est le suspect 1 mais ont un doute car son alibi est très solide.

• Aider les enquêteurs en trouvant le véritable coupable et en expliquant pourquoi ils se sont trompés. Justifier à l'aide d'un schéma.

	Bonnet	Pull	Pantalon
Suspect 1	Noir	Noir	Jaune
Suspect 2	Noir	Bleu	Blanc
Suspect 3	Bleu	Noir	Vert



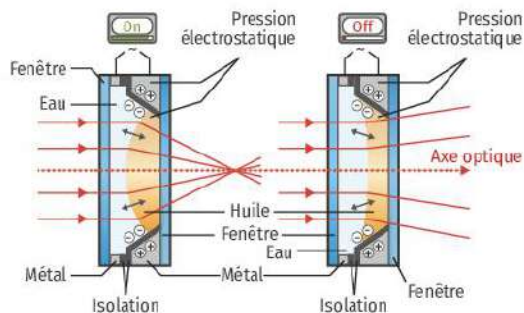
Retour sur la problématique du chapitre

41 Un principe de mise au point révolutionnaire : la lentille liquide

✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement, communiquer sur les étapes

La lentille de certains dispositifs photographiques n'est pas solide mais liquide. Ce concept a été breveté par Bruno Berge, chercheur et entrepreneur lyonnais. Une goutte d'huile est introduite dans une cavité de verre remplie d'eau et le tout est tenu dans un anneau métallique. En appliquant une tension électrique sur l'anneau, la forme de la goutte d'huile peut changer en un centième de seconde. C'est le phénomène d'électro-mouillage.

• À l'aide de ses connaissances, expliquer pourquoi le changement de forme de la goutte permet de faire des mises au point sur des objets situés à des distances variables.



Plan de travail

A Modéliser les lentilles convergentes

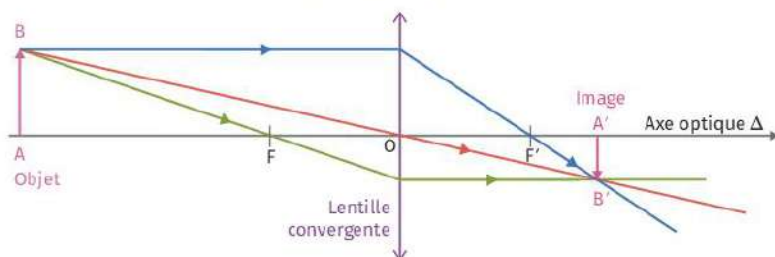
Relations vérifiées par une lentille convergente (Activité 2)

 **Activité à effectuer** à l'aide de la simulation « lentille convergente » disponible sur [LLS.fr/PC1P359](https://lls.fr/PC1P359).

À prolonger avec la partie 1 du cours.

Puis s'exercer :

→ Résoudre les exercices 12, 15, 24 et 31.



 **S'exercer** sur l'exercice corrigé et prolonger en déterminant la taille maximale d'un objet pris en photo en mode macro.



Pour aller plus loin :
Découvrir la lunette de Kepler avec l'exercice 36.

B Couleurs et perception des couleurs

Comment peut-on expliquer notre mécanisme de vision ?

 **Visionner pour commencer une vidéo** (de 11 minutes 23 secondes à 16 minutes 37 secondes), à retrouver sur [LLS.fr/PC1P359](https://lls.fr/PC1P359).

Activité expérimentale « Vision des couleurs et trichromie » à prolonger avec la partie 3 du cours de ce chapitre.

Activités :

 **Faire l'activité** sur la « Synthèse additive des couleurs et trichromie » à l'aide de l'animation disponible sur [LLS.fr/PC1SyntheseCouleurs](https://lls.fr/PC1SyntheseCouleurs).

 **Puis réaliser l'activité** sur la « Vision des objets colorés » avec l'animation disponible sur [LLS.fr/PC1CouleurObjets](https://lls.fr/PC1CouleurObjets).

 **Puis s'exercer :**

→ Rédiger les exercices 10, 14, 15, 25 et 26.

Quelle couleur obtient-on en superposant deux couleurs situées en face l'une de l'autre dans le cercle chromatique ?



Le cercle chromatique.

Se rendre au chapitre suivant pour comprendre les mécanismes d'interaction entre la lumière et la matière.

Ce sera l'occasion de découvrir les caractéristiques d'émission et d'absorption de la lumière pour ensuite comprendre l'origine des couleurs.



Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière

ESPRIT SCIENTIFIQUE



a) Éclairage urbain



b) Éclairage autoroutier

La lampe à vapeur de sodium a longtemps été utilisée pour l'éclairage routier. Elle émet une lumière de couleur jaune-orangé caractéristique.

➤ **Comment expliquer la différence de rendu lumineux entre une lampe à vapeur de sodium et celui fourni par des ampoules d'éclairage utilisant un filament chauffé à haute température ?**

→ voir l'exercice 27, p. 375

Travailler

autrement

HISTOIRE DES SCIENCES

Un modèle évolue et se perfectionne avec le temps et les débats. Depuis le XVII^e siècle, des penseurs ont cherché à déterminer la nature de la lumière, omniprésente sur Terre. Cette évolution du modèle est à découvrir en fin du chapitre.

Voir p. 377



Naissance d'un arc-en-ciel aux chutes d'Iguazú (Brésil).



Arsaniit, Arsaniiq, Nordlys, Gokseth, Sillblxt font partie des nombreux termes pour désigner les aurores boréales ou australes ainsi que les nombreux mythes qui y sont associés.

→ Comment la lumière du Soleil peut-elle interagir avec notre atmosphère pour créer ces couleurs si particulières ?

→ voir l'exercice 29, p. 376

À revoir pour bien commencer

- › Connaître l'existence du cortège électronique
- › Connaître différents domaines spectraux
- › Exploiter les relations entre la période, la fréquence, la longueur d'onde et la célérité

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour tester vos connaissances avec le quiz en ligne ! LLS.fr/PC1P361

Objectifs du chapitre

- ☐ Savoir identifier un domaine spectral
- ☐ Connaître l'ordre de grandeur en fréquence ou en longueur d'onde de la vie quotidienne
- ☐ Connaître l'expression de l'énergie d'un photon
- ☐ Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'obtenir un spectre d'émission
- ☐ Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie en utilisant les relations $\lambda = \frac{c}{\nu}$ et $\Delta E = h \cdot \nu$

1 La grande famille des ondes électromagnétiques

La lumière visible ne représente qu'un domaine restreint des ondes électromagnétiques existantes. Bien d'autres ondes sont exploitées aujourd'hui.

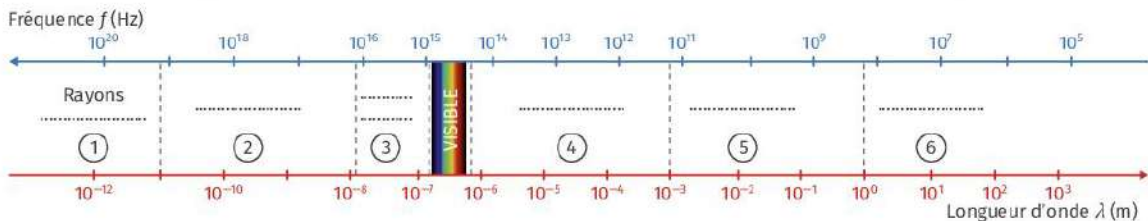
→ Quels sont les différents domaines des ondes électromagnétiques ?

Par intuition

Toute lumière est-elle visible par l'être humain ?

Doc. 1 Les principaux domaines des ondes électromagnétiques

Rayonnement	Exemple de source ou d'utilisation	Domaine
Rayons γ	Très dangereux, ils sont issus des radiations émises par les éléments radioactifs.	$\lambda < 10^{-11}$ m
Rayons X	Ils sont utilisés en médecine ou lors du contrôle des bagages dans les aéroports.	$10 \text{ pm} < \lambda < 10 \text{ nm}$
Ultraviolet (UV)	Émis naturellement par le Soleil, il en existe trois types : A, B et C. Les UV C sont absorbés par la couche d'ozone mais les UV A et B sont nécessaires à notre organisme. La durée d'exposition doit être limitée afin d'éviter les effets secondaires nocifs pour la peau et les cellules. Certaines substances organiques émettent une fluorescence en leur présence. On les utilise dans les lampes à bronzer ou dans les détecteurs de faux billets.	$10 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$
Infrarouge (IR)	Ils sont utilisés en imagerie thermique ou en télédétection car ils sont associés à la température des objets du quotidien.	$800 \text{ nm} < \lambda < 1 \text{ mm}$
Micro-ondes	Ils sont utilisés dans les fours de cuisine, les satellites et les cinémomètres (radars routiers).	$1 \text{ mm} < \lambda < 1 \text{ m}$
Radio	Les ondes radio sont comprises entre 1 et 10 m. Au-delà on les utilise pour le bluetooth (2400-2487,5 MHz), le Wi-Fi (plusieurs bandes entre 2 400 et 5 850 MHz) mais aussi pour la télévision, la radio FM et le téléphone sans fil (4G).	$1 \text{ m} < \lambda$



Découpage simplifié et utilisations principales du spectre électromagnétique selon la longueur d'onde.

D'après Wikipedia.org.

Numérique

Découvrez le spectre des ondes électromagnétiques sur [LLS.fr/PC1SpectreOEM](https://lls.fr/PC1SpectreOEM).

Compétence

✓ VAL : Évaluer et connaître des ordres de grandeur

- 1. Doc. 1** Exprimer la longueur d'onde λ en fonction de la fréquence f . Vérifier l'homogénéité de la formule en comparant les unités de part et d'autre de la relation trouvée.
- 2. Doc. 1** En déduire si ces deux grandeurs sont proportionnelles ou non. Justifier alors l'orientation opposée des deux axes.
- 3. Doc. 1** Déterminer l'ordre de grandeur en nanomètre des deux longueurs d'onde λ_{inf} et λ_{sup} qui définissent le domaine spectral visible. Cela semble-t-il correct ?
- 4. Doc. 1** La grande majorité des pays utilisent la bande 87,5-108 MHz pour la radio FM. Vérifier que ce domaine en fréquences correspond au domaine indiqué dans le tableau.

Synthèse de l'activité

Recopier et compléter le spectre électromagnétique avec les domaines manquants.

2 Le photon, toute une histoire d'énergie !

Deux théories sur la nature de la lumière s'affrontent dès le XVII^e siècle pour modéliser la lumière. Le modèle ondulatoire se heurte à certaines observations expérimentales d'interactions entre matière et rayonnement.

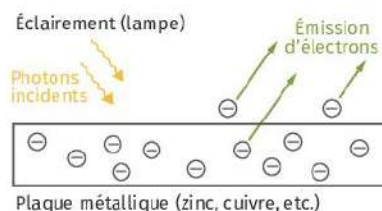
→ **Comment peut-on expliquer l'effet photoélectrique et les spectres discontinus d'émission ?**

Par intuition

La lumière peut-elle être modélisée de deux façons différentes ?

Doc. 1 Observations expérimentales

En 1887, Hertz observe l'émission d'électrons par une plaque métallique exposée à la lumière ultraviolette sans pouvoir l'expliquer. Les observations de cet effet entrent en conflit avec la théorie ondulatoire de la lumière de l'époque car on constate que des électrons sont émis seulement si la fréquence de radiation dépasse une certaine valeur seuil et ils sont alors émis sans délai. Pour une fréquence inférieure, aucun effet ne se produit quelle que soit l'intensité du rayonnement. Par ailleurs, on détermine que la variation d'énergie ΔE des électrons émis est une fonction linéaire de la fréquence notée ν de la lumière incidente.



Doc. 2 Le concept de quanta de lumière

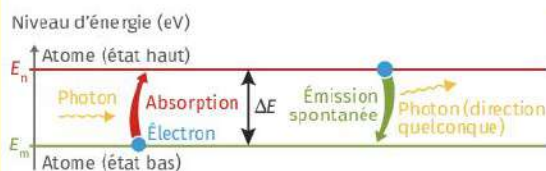
En 1900, Max Planck s'écarte du modèle ondulatoire en supposant que les échanges d'énergie entre lumière et matière ne se font que par paquets indivisibles (quanta). Le plus petit paquet d'énergie absorbé ou émis ayant pour valeur $h \cdot \nu$ avec $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s.

En 1905, Albert Einstein reprend l'idée de Planck pour expliquer l'effet photoélectrique observé par Hertz : l'électron est arraché à l'atome si chaque « grain de lumière » appelé quantum possède une énergie supérieure à celle de la liaison électron-atome.

Numérique

Retrouvez un simulateur de l'effet photoélectrique sur LLS.fr/PC1EffetPhotoelectrique.

Doc. 3 L'interaction lumière-matière



Chaque électron orbite autour du noyau selon un niveau d'énergie spécifique. Ainsi chaque atome présente une structure de niveaux d'énergie discontinue sur laquelle les électrons se répartissent. L'état de l'électron est identifié avec deux niveaux d'énergie (E_m , E_n). Si l'électron est excité ou non, l'atome peut perdre ou gagner de l'énergie en émettant ou en absorbant un photon de lumière.

Compétence

✓ RAI/MOD : Appliquer le principe de conservation de l'énergie

- Doc. 1** Expliquer en quoi l'existence d'une fréquence seuil pour arracher un électron n'est pas compatible avec le modèle ondulatoire de la lumière.
- Doc. 1 et 2** Exprimer la variation d'énergie ΔE de l'électron en fonction de la fréquence ν .
- Doc. 3** Exprimer la différence d'énergie $\Delta E'$ de l'atome en fonction de E_m et E_n lors de l'émission d'un photon. En s'appuyant sur la conservation de l'énergie lors de l'effet photoélectrique, déduire l'expression de l'énergie d'un photon E_{photon} en fonction de ν .
- Cette énergie peut-elle avoir des valeurs continues ?

Synthèse de l'activité

Comment l'effet photoélectrique a-t-il remis en question le modèle ondulatoire de la lumière ?

3 À chaque atome, son spectre d'émission

Une lampe spectrale est une ampoule de verre remplie d'un gaz à travers laquelle on fait passer un courant électrique. La lumière alors émise est étudiée avec un spectromètre.

→ Comment interpréter les spectres observés ?

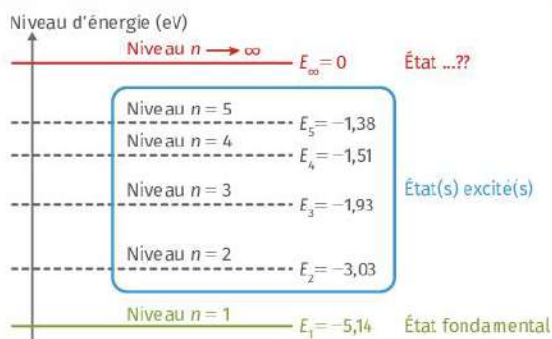
Par intuition

Pourquoi chaque type de lampe spectrale a-t-il un spectre d'émission particulier ?

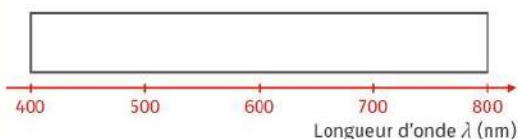
Doc. 1 Matériel nécessaire

- Une lampe spectrale à mercure ;
- Une lampe à incandescence ;
- Un spectroscopie portatif ou un spectromètre numérique.

Doc. 3 Les niveaux d'énergie de l'atome de sodium



Doc. 2 Exemple de spectre à compléter



Données

- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;

Rappel : L'énergie d'un photon, exprimée en joule, est donnée par la relation $E_{\text{photon}} = h \cdot \nu$.

Doc. 4 Les niveaux d'énergie du mercure

Les énergies de l'atome de mercure sont :

- | | |
|--|-------------------------------|
| $E_1 = -10,5 \text{ eV}$; | $E_2 = -5,78 \text{ eV}$; |
| $E_3 = -5,56 \text{ eV}$; | $E_4 = -4,98 \text{ eV}$; |
| $E_5 = -3,74 \text{ eV}$; | $E_6 = -2,71 \text{ eV}$; |
| $E_7 = -2,51 \text{ eV}$; | $E_8 = -1,90 \text{ eV}$; |
| $E_9 = -1,81 \text{ eV}$; | $E_{10} = -1,60 \text{ eV}$; |
| $E_{\infty} = 0 \text{ eV}$ (valeur limite). | |

Numérique

Utilisez un simulateur des spectres d'émission et d'absorption des éléments. LLS.fr/PC1EffetPhotoelectrique

Compétence

- ✓ RAI/ANA : Faire le lien entre les modèles microscopiques et les grandeurs macroscopiques

Synthèse de l'activité

- Doc. 1** Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant d'observer le spectre d'émission de la lampe à incandescence A et de la lampe spectrale B.
- Doc. 2** Représenter le spectre expérimental de chaque lampe. Qu'aurait-on observé avec une source laser ? Le vérifier avec une expérience (attention à la sécurité).
- Doc. 1 et 4** Représenter le diagramme des différents niveaux d'énergie de l'atome de mercure avec pour échelle $1,0 \text{ cm} \rightarrow 1,0 \text{ eV}$.
- Comment nomme-t-on un atome auquel on a arraché un électron ? Préciser alors le nom du dernier état sur le diagramme. Quelle est la valeur de l'énergie E_{∞} correspondante ?

Quelle condition doit être vérifiée entre l'énergie du photon E_{photon} et deux niveaux d'énergie E_f et E_i de l'atome pour expliquer l'existence des raies dans le spectre d'émission ?

1 Le modèle ondulatoire de la lumière

A Le rayonnement et l'onde électromagnétique

➤ Les phénomènes de diffraction et d'interférence observés lors de la propagation d'énergie lumineuse au travers d'obstacle(s) ou d'orifice(s) sont les premiers phénomènes dont l'explication fait appel à la nature ondulatoire de la lumière (**doc. 1**). Initiée par Christian Huygens (1678), la théorie ondulatoire n'a cessé d'être améliorée (Thomas Young, 1802 ; Augustin Fresnel, 1815). En 1865, James Maxwell finalise le modèle et prédit l'existence et la célérité de l'onde électromagnétique.

Une onde électromagnétique (OEM) :

- est un phénomène vibratoire qui se propage dans le vide et de nombreux milieux (transparents ou non) ;
- est constituée d'un champ électrique et d'un champ magnétique oscillants, orthogonaux entre eux, et orthogonaux à la direction de propagation ;
- se propage dans le vide à la célérité $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

B Les caractéristiques d'une OEM

➤ Une onde électromagnétique monochromatique est caractérisée par :

- sa longueur d'onde, notée λ (lambda), qui correspond à sa période spatiale. Elle s'exprime en mètre (m) (**doc. 2**) ;
- sa fréquence, notée ν (nu) ou f , correspond à l'inverse de la période temporelle T . Elle s'exprime en hertz (Hz).

La longueur d'onde λ et la fréquence ν sont reliées dans le vide par l'expression : $\lambda = \frac{c}{\nu}$.

C Le spectre électromagnétique

➤ Chaque être vivant s'approprie le monde dans lequel il vit à l'aide de ses sens, en particulier la vue. Cependant, l'être humain a pris conscience que les informations qu'il perçoit visuellement de son environnement peuvent être limitées.

➤ Le domaine visible ($400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$) n'est qu'une infime partie des ondes électromagnétiques.

À l'aide de la longueur d'onde ou de la fréquence, on classe le spectre électromagnétique en sept sous-domaines principaux selon leur découverte ou leur utilisation. Dans l'ordre croissant des longueurs d'onde, on rencontre : les rayons γ , les rayons X, les ultraviolets, le visible, les infrarouges (proches et lointains), les micro-ondes et les ondes radio (voir **doc. 3** à la p. 366).

Doc. 1 Observations expérimentales

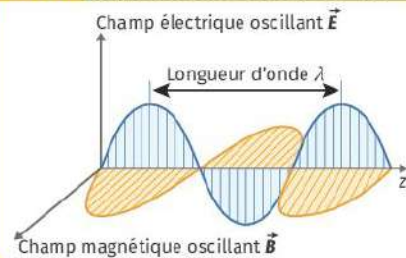
a) Figure de diffraction d'un faisceau laser par une fente simple.



b) Figure d'interférence d'un faisceau laser par une double fente.



Doc. 2 Représentation d'une OEM



Numérique

Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ? Retrouvez toutes les informations sur [LLS.fr/PC1P365](https://lls.fr/PC1P365).

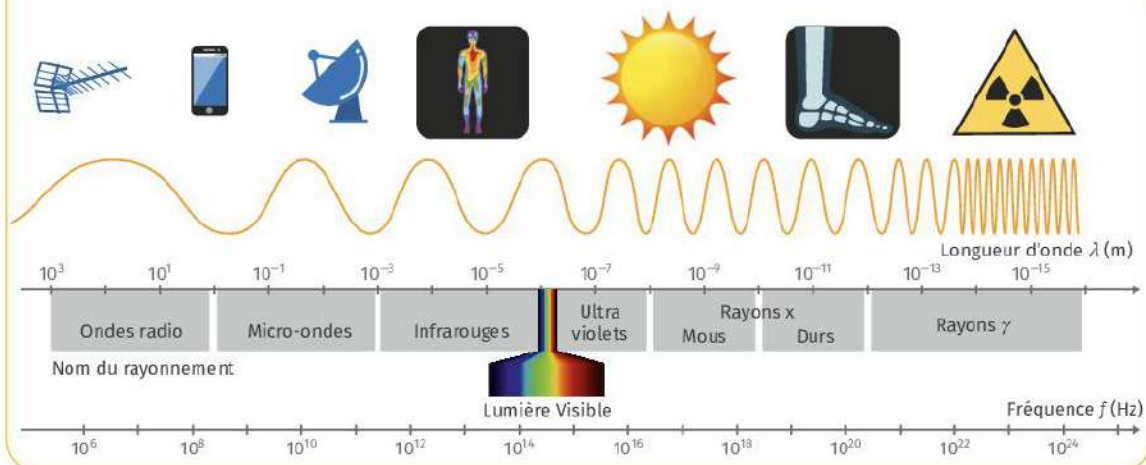
Vocabulaire

- **Fréquence** : nombre de périodes ou de vibrations par seconde.
- **Longueur d'onde** : distance λ parcourue par l'onde pendant la durée d'une période T .

Éviter les erreurs

- La fréquence ne dépend pas du milieu de propagation contrairement à la longueur d'onde.
- Aucun objet matériel connu ne peut se déplacer plus rapidement que la lumière.

Doc. 3 Le spectre électromagnétique simplifié



2 Le modèle particulaire de la lumière

A L'imperfection du modèle ondulatoire

➤ Bien que les lois de l'électromagnétisme formulées par Maxwell au cours du XIX^e siècle expliquent de nombreuses observations expérimentales, elles ne permettent pas d'interpréter le rayonnement émis par des corps chauffés et l'effet photoélectrique.

Le modèle ondulatoire explique la propagation de la lumière (OEM) et la formation des images mais est inopérant pour expliquer les interactions d'énergies avec la matière.

B Le photon et son énergie

➤ Afin de modéliser les interactions entre la matière et le rayonnement en coïncidence avec l'observation d'un corps noir, Planck propose en 1900 de quantifier l'énergie de l'onde à l'aide d'un paquet d'énergie indivisible : le quantum. Tout échange d'énergie avec la matière est un multiple entier de ce minimum d'énergie : la théorie des quanta est née.

- Pour expliquer l'effet photoélectrique, Einstein associe en 1905 cette idée de quantum à une structure particulaire de la lumière, le photon.
- Chaque rayonnement est par conséquent constitué d'un nombre entier de photons possédant chacun une énergie minimale égale au quantum d'énergie $E_{\text{photon}} = h \cdot \nu$.
 E_{photon} s'exprime en joule (J) et la fréquence ν en hertz (Hz).
 h est la constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s.
- Le photon est une particule de masse et de charge électrique nulles se déplaçant, dans le vide, à la vitesse de la lumière.

Remarque : l'énergie d'un photon est d'autant plus grande que sa fréquence est élevée (et que sa longueur d'onde est faible).

Pas de malentendu



- Les modèles ondulatoire et particulaire de la lumière modélisent les différentes manifestations de l'interaction de cette dernière avec son environnement.
- L'existence simultanée des deux modèles, à première vue contradictoires, illustre la dualité onde-corpuscule de la lumière.

Doc. 4 L'effet photoélectrique

Il s'agit de l'émission d'un courant électrique par un métal en présence de lumière. La vitesse des électrons arrachés ne dépend pas du flux lumineux mais uniquement de la longueur d'onde.

Vocabulaire

- **Corpuscule** : synonyme de particule.
- **Radiation** : déplacement de photons.
- **Quantum** : mot latin signifiant la plus petite quantité d'énergie indivisible transportée par une radiation. Le centime est à la monnaie ce que le quantum est à la quantité d'énergie d'un atome.
- **Photon** : particule élémentaire qui transporte le quantum d'énergie lumineuse.

Application

Calculer l'énergie du photon le plus énergétique du domaine visible.

Corrigé :

- Avec un domaine visible compris entre 400 nm et 800 nm, la radiation la plus énergétique est celle de plus courte longueur d'onde, soit 400 nm (à la limite de l'UV).
- On peut déterminer successivement la fréquence de la radiation $\nu = \frac{c}{\lambda}$ puis l'énergie E égale à $E = h \cdot \nu$ soit directement $E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$.
- Numériquement $E = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{400 \times 10^{-9}}$ donc $E = 4,97 \times 10^{-19}$ J soit $E = 3,11$ eV.

3 La quantification des niveaux d'énergie d'un atome

A Le diagramme d'énergie d'un atome

► Chaque atome possède une structure électronique de couches et sous-couches (1s, 2s, 2p, etc.) sur lesquelles se répartissent tous les électrons. Ces couches existent même si elles ne sont pas occupées.

Chaque sous-couche associée à une orbite possède sa propre énergie, qui est d'autant plus faible qu'elle est proche du noyau.

On utilise un diagramme énergétique pour représenter les différents niveaux d'énergie intrinsèques à l'atome.

Chaque niveau d'énergie est modélisé par une ligne horizontale. On reporte leur valeur d'énergie sur un axe vertical, le plus souvent exprimé en électron-volt (eV).

L'énergie de l'atome correspond à la somme des énergies de chaque électron. À chaque niveau correspond un état.

► On distingue deux types d'états : l'état fondamental, souvent noté E_1 , et les états supérieurs, dits excités. L'état ionisé étant l'état (limite) pour lequel l'électron a quitté l'atome (**doc. 5**). L'état ionisé correspond au niveau d'énergie $E_\infty = 0$ eV, tous les autres niveaux ont une énergie négative.

D'après Niels Bohr (1913), l'atome n'est stable que pour certaines valeurs d'énergie discrètes bien définies. Son énergie est quantifiée.

B L'émission et l'absorption d'un photon

► Lors d'une transition entre deux niveaux d'énergie, notés E_n et E_m :

- l'énergie d'un atome augmente ou diminue, respectivement en absorbant ou en émettant un photon ;
- l'énergie échangée $|\Delta E|$ (absorbée/émise) par l'atome possède exactement une valeur égale à la différence des niveaux d'énergie $|\Delta E_{\text{atome}}| = |E_n - E_m|$;
- la variation d'énergie de l'atome est égale à l'énergie d'un photon.

Données

- $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J·s ; • $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J ;
- $c = 3,00 \times 10^8$ m·s⁻¹.

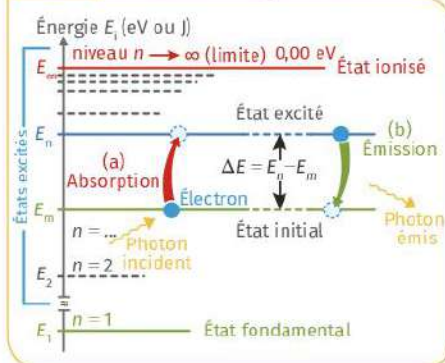
Éviter les erreurs

- L'énergie d'un photon est toujours positive : $E_{\text{photon}} > 0$.
- L'unité légale de l'énergie est le joule. Cependant, les énergies échangées lors des interactions entre la lumière et la matière sont si faibles qu'on utilise le plus souvent l'électron-volt (eV) : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J.

Éviter les erreurs

- Attention à la conversion entre le joule (J) et l'électron-volt (eV).

Doc. 5 Niveaux d'énergie d'un atome



Vocabulaire

- **Transition** : passage d'un électron d'un niveau d'énergie à un autre. Elle est représentée par une flèche.
- **État fondamental** : état stable de plus faible énergie de l'atome.

Éviter les erreurs

- Lors d'une transition, un photon ne peut être absorbé ou émis par l'atome que si : $E_{\text{photon}} = |\Delta E_{\text{atome}}|$.
- Une variation $\Delta E < 0$ correspond à l'émission d'un photon, $\Delta E > 0$ une absorption d'un photon.

Principales notions

Modèle ondulatoire

Une onde électromagnétique (OEM) est caractérisée par :

- sa longueur d'onde λ (période spatiale) ;
- sa fréquence ν (inverse de la période temporelle T).

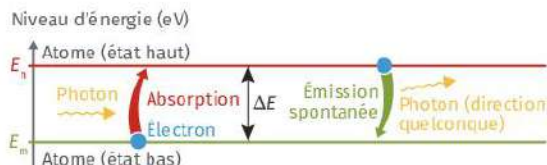
Le spectre électromagnétique peut être divisé en plusieurs domaines. Dans l'ordre croissant des longueurs d'onde, il s'étale du rayonnement γ aux ondes radio.

Le domaine de la lumière visible ne couvre qu'un espace très restreint du spectre des ondes électromagnétiques : $400 \text{ nm} < \lambda_{\text{visible}} < 800 \text{ nm}$.

Pour les autres domaines du spectre des OEM, voir **doc. 3** p. 366.

Modèle particulaire

L'énergie de la lumière est véhiculée par les photons. L'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence de la radiation associée. Les niveaux d'énergie d'un atome ne possèdent que des valeurs discrètes : ils sont quantifiés.



L'interaction lumière-matière s'effectue suivant des échanges d'énergie quantifiés, proportionnels à la quantité élémentaire (quantum) que possède un photon.

Les éléments essentiels de la modélisation

Modèle ondulatoire

Relation entre la longueur d'onde et la fréquence

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Fréquence ν en hertz (Hz) Célérité de la lumière (vide) $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$
Longueur d'onde λ en mètre (m)

$$\text{Énergie d'un photon : } E = h \cdot \nu$$

$$\text{Énergie de l'atome : } |\Delta E| = |E_p - E_m|$$

Modèle particulaire

Constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

$$\text{Énergie d'un photon : } E = h \cdot \nu \rightarrow \text{Fréquence } \nu \text{ en hertz (Hz)}$$

Énergie E en joule (J)

$$\checkmark 1 \text{ électron-volt} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Échange d'énergie matière-rayonnement

$$|\Delta E| = |E_p - E_m| = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Énergie E en joule (J) Célérité de la lumière (vide) $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ Longueur d'onde λ en mètre (m)

Les limites de la modélisation

Il existe deux modèles de description de la lumière : ondulatoire et particulaire. Suivant la situation, on utilise l'un ou l'autre. Il s'agit de la dualité onde-particule.

Le modèle ondulatoire permet d'expliquer :

- la propagation des ondes (seconde) ;
- les phénomènes de réfraction et réflexion de la lumière, les phénomènes de diffraction et d'interférence.

Mais il ne permet pas d'expliquer :

- les interactions de faible énergie avec la matière au niveau atomique, comme l'effet photoélectrique.

Le modèle particulaire ne permet pas d'expliquer :

- la propagation des ondes (seconde) ;
- les phénomènes de réfraction et réflexion de la lumière, les phénomènes de diffraction et d'interférences.

Mais il permet d'expliquer :

- les interactions de faible énergie avec la matière au niveau atomique, comme l'effet photoélectrique.

1 Le modèle ondulatoire de la lumière

	A	B	C
1. Une OEM se déplace dans le vide :	à $300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.	à $1\,000\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.	moins vite que la lumière.
2. Une OEM est caractérisée par :	sa couleur.	sa fréquence ν .	la relation $\nu = \frac{c}{\lambda}$.
3. Le domaine visible est compris dans un domaine :	de fréquences entre 20 Hz et 20 kHz .	de longueurs d'onde plus élevées que l'infrarouge.	de longueurs d'onde situées entre 400 nm et 800 nm environ.

2 Le modèle particulaire de la lumière

1. Les modèles particulaire et ondulatoire sont :	complémentaires.	opposés.	identiques.
2. L'énergie E d'un photon est :	proportionnelle à la fréquence.	inversement proportionnelle à la fréquence.	proportionnelle à la longueur d'onde λ .
3. L'énergie d'un photon de longueur d'onde correspondant à la couleur bleue (du domaine visible) est inférieure à celle d'un photon :	appartenant au domaine de l'infrarouge.	appartenant au domaine de l'ultraviolet.	de longueur d'onde correspondant à la couleur rouge.

3 La quantification des niveaux d'énergie d'un atome

1. Pour que le photon interagisse avec l'atome, son énergie doit être :	supérieure à l'écart de deux niveaux d'énergie de l'atome.	égale à l'écart de deux niveaux d'énergie de l'atome.	proportionnelle à l'écart de deux niveaux d'énergie de l'atome.
2. Les niveaux d'énergie d'un atome :	ne dépendent pas de l'élément étudié.	sont quantifiés.	possèdent des énergies aléatoires.
3. L'énergie du photon émis par un atome est d'autant plus faible que :	le niveau final de la transition est élevé.	le niveau final de transition est de plus basse énergie.	l'écart entre les niveaux d'énergie de la transition est faible.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les QCM autocorrigés et des questions supplémentaires en ligne. LLS.fr/PC1P369

4 Questions Jeopardy

• Formuler pour chaque proposition une question dont la réponse serait :

- a. Chaque niveau d'énergie d'un atome correspond à une orbite située à une distance précise du noyau. b. Quand l'atome est dans l'état ionisé, l'électron n'est plus lié à l'atome. Il a été arraché.

(Solution des exercices du parcours d'apprentissage p. 409)

□ Savoir identifier un domaine spectral à l'aide d'une échelle de fréquences ou de longueurs d'onde

10

11

21

□ Connaître et utiliser l'expression donnant l'énergie d'un photon

13

18

□ Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'obtenir un spectre d'émission

25

□ Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie en utilisant les relations $\lambda = \frac{c}{\nu}$ et $\Delta E = h \cdot \nu$

[DIFE]

27

Pour s'échauffer

Données

- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

5 Expression de l'énergie d'un photon (1)

Un lecteur Blu-ray utilise un laser de fréquence $7,41 \times 10^5 \text{ GHz}$.

- Calculer l'énergie (J) et la longueur d'onde (nm) du photon correspondant.

6 Domaine spectral

- Indiquer à quel domaine spectral appartiennent les ondes utilisées par les appareils suivants : routeur Wi-Fi, scanner de bagages à l'aéroport, phare de voiture et télécommande de télévision.

7 Expression de l'énergie d'un photon (2)

- Calculer l'énergie en joule (J) puis en électron-volt (eV) d'un photon issu d'un pointeur laser de longueur d'onde $\lambda = 650 \text{ nm}$.

Doc. 1 Diagramme des niveaux d'énergie de l'atome de potassium



8 Exploiter un diagramme d'énergie

- Préciser l'état dans lequel se trouve l'électron pour chaque niveau d'énergie du doc. 1.

9 Expression de l'énergie d'un photon (3)

- Doc. 1 Calculer la variation d'énergie ΔE entre les niveaux E_a à E_c . Puis, convertir et exprimer sa valeur en joule. Enfin, préciser quels sont les deux phénomènes possibles liés à cette différence d'énergie.

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver plus d'exercices. LLS.fr/PC1P370

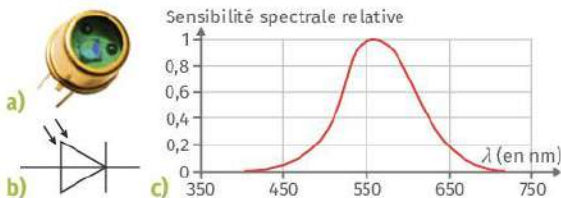
Pour commencer

Le modèle ondulatoire

10 La photodiode

✓ APP : Extraire une information utile

Une photodiode est un composant semi-conducteur capable de générer un courant électrique à partir d'un rayonnement électromagnétique.



La photodiode 708-2813 de RS components Ltd

a) image b) symbole électrique c) sensibilité relative SR

La sensibilité relative indique la capacité d'un capteur à détecter l'intensité d'une radiation.

1. À l'aide du graphique de la sensibilité relative $S_R = f(\lambda)$, indiquer pour quelle longueur d'onde la photodiode est la plus efficace. Indiquer le domaine auquel elle appartient.
2. La photodiode peut-elle détecter les radiations infrarouges ? ultraviolettes ? Expliquer.

11 Le laser chirurgical au dioxyde de carbone CO_2

✓ APP : Formuler un résultat attendu

Le laser au CO_2 existe depuis 1964. Sa puissance pouvant atteindre un kilowatt, on l'utilise pour le découpage et les soudures industrielles. Toutefois, il est également utilisé en chirurgie médicale car il opère à une longueur d'onde très bien absorbée par la peau.

- Déterminer la longueur d'onde et le domaine auquel il appartient sachant que le laser fonctionne à une fréquence de 28,3 THz.

Données

- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Le modèle particulaire

12 La thermographie (infrarouge)

- ✓ RAI/ANA : Associer les unités de mesure à leurs grandeurs correspondantes



Utilisée dans de nombreux domaines, la thermographie permet de visualiser à distance la température d'un objet ou d'une personne. En médecine, l'imageur transforme le rayonnement infrarouge mesuré dans une bande spectrale comprise entre 2 et 5 μm en un signal électrique

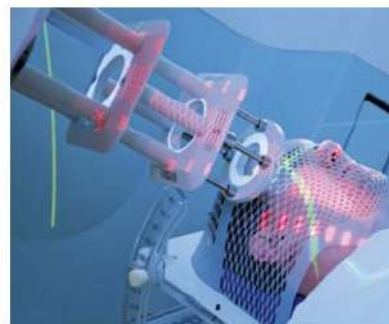
pour le coder ensuite en fausse couleur.

- Calculer la bande de fréquence et d'énergie du photon détecté.

13 La radiothérapie

- ✓ RAI/ANA : Associer les unités de mesure à leurs grandeurs correspondantes

La radiothérapie est un traitement local contre le cancer. Avec l'aide d'un accélérateur linéaire, on expose une personne à un rayonnement ionisant d'une fréquence voisine de $3 \times 10^{20} \text{ Hz}$ pour bloquer la capacité des cellules cancéreuses à se multiplier.



1. Calculer l'énergie transportée par le photon en MeV.
2. Comparer sa valeur avec celle du visible (2 eV en moyenne) et l'infrarouge (exercice 12). Conclure.

Une notion, trois exercices

[DIFFÉRENCIATION]

- Savoir-faire : Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie en utilisant les relations $\lambda = \frac{c}{\nu}$ et $\Delta E = h \cdot \nu$

INFO : L'hydrogène est l'élément majeur de l'Univers. Tandis que le gaz dihydrogène est très utilisé dans l'industrie du pétrole pour ses propriétés chimiques, on utilise l'atome d'hydrogène en laboratoire afin de régler précisément d'autres appareils à l'aide d'une lampe à décharge.

14 L'atome d'hydrogène : série de Paschen

- ✓ APP : Extraire une information utile

1. Déterminer la différence d'énergie ΔE , en eV, associée au passage de l'électron du niveau d'énergie 7 au niveau d'énergie 3.
2. Exprimer cette différence ΔE en joule.
3. Que devient cette énergie cédée par l'atome ?
4. Déterminer la fréquence, puis la longueur d'onde de la radiation associée.

15 L'atome d'hydrogène : série de Balmer

- ✓ APP : Maîtriser le vocabulaire

1. Déterminer la différence d'énergie ΔE , en joule, associée à la transition d'énergie entre les niveaux 3 et 2.
2. Déterminer la fréquence, puis la longueur d'onde de la radiation émise.
3. À quel domaine appartient la radiation émise ?

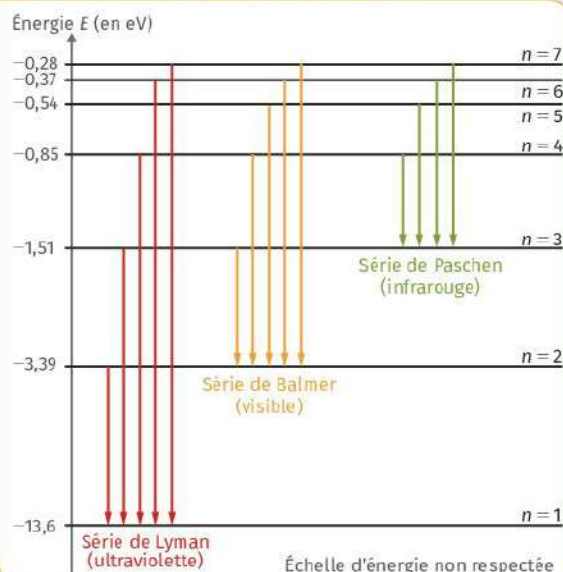
16 L'atome d'hydrogène : série de Lyman

- ✓ RAI/ANA : Construire un raisonnement, communiquer sur les étapes

Certaines galaxies émettent une raie dite « Lyman-alpha » de longueur d'onde $\lambda = 121,6 \text{ nm}$ (doc. 1).

- Déterminer la transition responsable de cette émission.

■ Diagramme des niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène

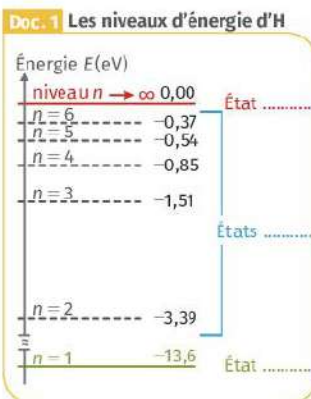


La nébuleuse d'Orion (M42)

Énoncé

Placée au cœur de la constellation, la nébuleuse d'Orion est un nuage de gaz interstellaire visible dans les deux hémisphères. Il est composé essentiellement d'atomes d'hydrogène ionisés par la présence d'étoiles qui se trouvent à proximité. Sa couleur rose-rougeâtre est due à la transition entre le deuxième et le premier état excité.

1. Comment expliquer la distribution des niveaux d'énergie ?
2. Identifier les états de l'atome aux différents niveaux d'énergie.
3. Indiquer le sens de la transition de l'électron sur le diagramme.
4. Calculer la variation d'énergie associée à cette transition.
5. En déduire l'expression de la longueur d'onde correspondante. Sa valeur est-elle cohérente avec l'observation ?



DONNÉES

- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Observer si les valeurs des niveaux d'énergie sont discrètes ou continues.
2. Connaître les trois états possibles de l'atome et savoir les identifier rapidement.
3. Vérifier dans l'énoncé s'il s'agit d'une émission ou d'une absorption.
4. Bien identifier les niveaux d'énergie avant de commencer le calcul.
5. Bien distinguer expression littérale et application numérique.

Solution rédigée

1. Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène possèdent des valeurs discrètes. L'énergie de l'atome est dite quantifiée.
2. L'atome possède un niveau fondamental ($E_1 = -13,6 \text{ eV}$), un état ionisé ($E_\infty = 0 \text{ eV}$) et des états excités entre les deux.
3. La radiation est observée pour un échange d'énergie entre le deuxième ($n = 3$) et le premier état excité de l'atome ($n = 2$). La transition est représentée par une flèche orientée de haut en bas comprise entre le niveau $n = 3$ et $n = 2$.
4. La variation d'énergie correspondant à la transition s'écrit $|\Delta E| = |E_3 - E_2|$ soit $|\Delta E| = |-1,51 - (-3,40)| = 1,89 \text{ eV}$.
5. Comme $|\Delta E| = h \cdot \nu$ tel que $\nu = \frac{c}{\lambda}$ alors $\lambda = \frac{h \cdot c}{|\Delta E|}$.
 A.N : $\lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{1,89 \times 1,60 \times 10^{-19}} = 6,58 \times 10^{-7} \text{ m (658 nm)}$.
 $\lambda \simeq 6,58 \times 10^{-7} \text{ m}$ signifie une longueur d'onde d'environ 658 nm. Cette longueur d'onde correspond à une couleur rose-rougeâtre.

POUR BIEN RÉPONDRE

2. Penser à justifier la réponse.
3. Identifier les niveaux d'énergie impliqués dans la transition.
4. Présenter correctement la formule théorique. Attention au signe négatif des énergies dans le calcul de soustraction !
5. Utiliser correctement la calculatrice, en particulier les parenthèses au dénominateur. Connaître et savoir utiliser les préfixes scientifiques (nano (n), micro (μ), giga (G), etc.).

17 Mise en application : la découverte de l'hélium

En 1868, lors d'une éclipse de Soleil, l'astronome français Jules Janssen observe dans le spectre d'émission solaire une raie de couleur jaune attribuée à une substance inconnue, nommée hélium.

- Déterminer la longueur d'onde et la transition sachant que l'émission de la radiation fait intervenir le troisième niveau d'énergie.

Données

- Niveaux d'énergie considérés de l'atome d'hélium en eV : 0,0 ; -1,5 ; -1,6 ; -1,7 ; -1,9 ; -3,6 ; -4,0 ; -4,8.

Pour s'entraîner

Données

- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

18 Combien de photons ?

✓ VAL : Évaluer et connaître des ordres de grandeurs

De plus en plus d'appareils utilisent des diodes électroluminescentes en raison de leur rendement.

1. Rappeler dans quel intervalle sont comprises les longueurs d'onde du domaine visible.
2. Après avoir estimé une longueur d'onde moyenne, du domaine visible, calculer l'énergie correspondante E_{moy} d'un photon.
3. Sachant qu'une diode peut posséder une puissance P égale à 150 mW, déterminer le nombre de photons émis par cette diode en une seconde.

19 Le césium : le cœur de l'horloge atomique

✓ APP : Faire un brouillon comprenant un schéma

La mesure précise du temps est basée sur une horloge atomique. Ainsi, la seconde est définie, depuis 1967, comme la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre deux niveaux d'énergie d'un atome de césium 133 dont la longueur d'onde est $\lambda_{\text{bleu}} = 459 \text{ nm}$.

1. Donner une explication de l'existence des valeurs discrètes des niveaux d'énergie de l'atome de césium.
2. Calculer l'énergie E_{bleu} en joule (J) puis en électron-volt (eV) correspondant à la longueur d'onde λ_{bleu} .
3. Déterminer la transition responsable de la radiation bleue du césium. La représenter sur un diagramme de niveau d'énergie sans souci d'échelle.

Données

- Quelques niveaux d'énergie simplifiés de l'atome de césium en eV : $-5,00$; $-3,61$; $-2,61$; $-2,29$; $-1,38$; 0 .

20 Les raies d'émission de l'hélium en QCM

✓ RAI/MOD : Utiliser un modèle de l'énergie

Un électron d'un atome d'hélium se situe au niveau excité E_2 d'énergie $-21,4 \text{ eV}$. Il peut alors être arraché ou redescendre au niveau fondamental E_1 . L'énergie d'ionisation de cet atome est de $24,6 \text{ eV}$. L'ion He^+ est supposé avoir une énergie nulle.

1. L'énergie du niveau fondamental E_1 est :
 - a. $-24,6 \text{ eV}$.
 - b. $+24,6 \text{ eV}$.
 - c. 0 eV .
 - d. 42 eV .

2. La formule de la longueur d'onde du photon associée à l'absorption de la transition E_2 vers E_1 est :

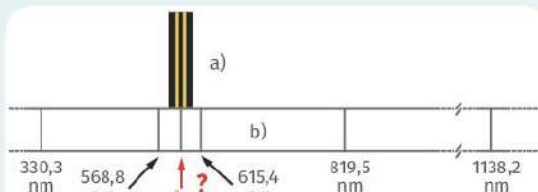
$$\begin{aligned} \text{a. } \lambda &= \frac{h \cdot c}{|E_2 - E_1|} & \text{b. } \lambda &= \frac{|E_2 - E_1|}{h \cdot c} \\ \text{c. } \lambda &= \frac{h}{|E_2 - E_1| \cdot c} & \text{d. } &42. \end{aligned}$$

Comprendre les attendus

21 Le spectre du sodium

✓ VAL : Identifier et évaluer les sources d'erreurs

Durant un TP, on analyse la composition de la mixture qui enrobe une allumette en provoquant la combustion devant un spectroscope de grande précision. Une partie du spectre expérimental est donnée ci-dessous.



Comparaison du spectre d'émission :

- a) expérimental avec une allumette en combustion,
- b) théorique du modèle simplifié de l'atome de sodium.

1. Identifier le domaine auquel appartient chaque longueur d'onde du spectre théorique.
2. Calculer l'énergie (en eV) associée à la radiation jaune de longueur d'onde $\lambda_j = 589,0 \text{ nm}$.
3. Déterminer les niveaux d'énergie de la transition correspondant à l'émission de la radiation jaune.
4. Quelle différence observe-t-on si on compare le spectre théorique simplifié du sodium et le spectre expérimental ? Proposer une explication.

Données

- Les niveaux d'énergie de l'atome de sodium issus d'un modèle théorique simplifié sont en eV : $-1,51$; $-1,94$; $-3,03$; $-5,14$.

Détails du barème

TOTAL/7 pts

- | | |
|--|------------|
| 1. Justifier l'appartenance à un domaine. | 0,5 pt × 2 |
| 2. Écrire l'expression de l'énergie E . | 1 pt |
| Calculer l'énergie dans l'unité demandée. | 1 pt |
| 3. Identifier les niveaux d'énergie impliqués dans la transition. Justifier. | 1 + 0,5 pt |
| 4. Analyser l'observation expérimentale en lien avec la théorie : similitude/différence. | 1 pt |
| Faire une réponse structurée et argumentée. | 1,5 pt |

22 C'est la fête en lumière noire !

✓ REA : Respecter les règles de sécurité



La lumière noire, ou lumière de Wood, est utilisée en médecine ou pour la détection des faux billets. L'ambiance qu'elle crée est aussi appréciée en soirée. La lumière est générée avec une lampe à vapeur de mercure dans une ampoule en verre de Wood, qui ne laisse passer que les radiations comprises entre 315 et 400 nm.

1. À quel domaine appartiennent les radiations de la lumière noire ? Citer une source naturelle.
2. Calculer l'intervalle d'énergie que peut produire cette lumière.
3. Quelle précaution faut-il prendre pour observer une telle source de lumière ? Sinon, quels sont les risques ?

23 La visée laser (d'après concours GEIPI 2015)

✓ VAL : Exploiter un ensemble de mesures

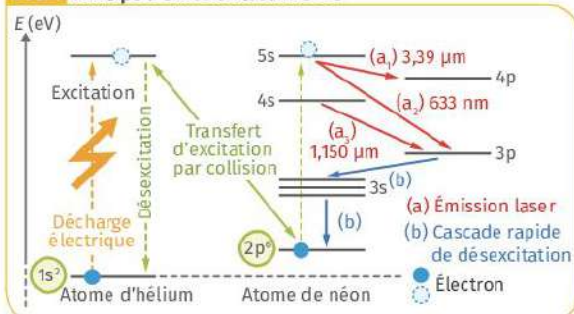


Émission d'un laser He-Ne.

Depuis son invention en 1960, le laser à gaz hélium-néon (He-Ne) est utilisé dans de nombreux domaines, du bricolage au disque optique.

Dans une ampoule contenant un mélange de gaz (He/Ne), on excite les atomes d'hélium à l'aide d'une décharge électrique (1 kV). Ils transmettent leur énergie aux atomes de néon par collision. Ces derniers se dés excitent en émettant des radiations de longueur d'onde notée λ_R .

Doc. 1 Principe d'émission laser He-Ne



1. **Doc. 1** Quelle longueur d'onde est susceptible d'être émise ? Justifier. On la note λ_R par la suite.
2. **Doc. 1** Après avoir expliqué les symboles alphanumériques $1s^2$, $2p^6$, etc., 5s, donner la configuration électronique de l'atome d'hélium et du néon.
3. Expliquer pourquoi ce processus n'engendre qu'un nombre limité de radiations.
4. Quelle relation relie la longueur d'onde λ_R et sa

période T_R ? Calculer sa valeur numérique.

5. Donner l'expression de la fréquence notée ν_R en fonction de sa période. Calculer sa valeur.
6. Déterminer la valeur de l'énergie E_R en joule (J), puis en électron-volt (eV), associée à la transition.
7. On peut considérer le niveau d'énergie 5s comme référence en posant son énergie égale à 0 eV. Pourquoi n'est-ce pas gênant dans les calculs de variations d'énergie ?
8. En déduire alors, de manière relative, les niveaux d'énergie 4p et 3p de l'atome de néon.
9. Représenter, sans souci d'échelle, les niveaux d'énergie précédents sur un diagramme.
10. Indiquer la transition à l'origine de l'émission laser.
11. Le néon peut-il émettre un photon d'énergie de 2 eV ?

REMARQUE : Les lasers d'utilisation courante sont de plus en plus créés à partir de diodes (semi-conducteurs).

24 Copie d'élève à commenter

- Proposer une justification pour chaque erreur relevée par le correcteur.

1. L'observation de raies colorées sur un fond noir correspond à un spectre d'absorption continu de l'élément de mercure.
2. Ce spectre représenté suivant les longueurs d'onde est obtenu avec un spectrophotomètre.
3. Le niveau d'énergie fondamental est $E_1 = 0 \text{ V}$.
4. L'atome peut absorber une énergie de 5,25 eV car $5,25 > 4,98$. En effet l'atome peut échanger n'importe quelle valeur ΔE d'énergie issue d'un photon dès l'instant qu'elle est supérieure à la variation d'énergie de l'atome.
5. La variation d'énergie correspondant à la transition $E_6 \rightarrow E_3$ s'écrit $\Delta E = E_3 - E_6$ soit $\Delta E = -5,56 - (-2,75) = -2,85 \text{ eV}$.
6. Comme la variation d'énergie est négative, l'atome absorbe le photon pour passer du niveau 6 à 3.
7. Sachant que $\nu = \frac{1}{T}$ avec $\lambda \cdot \nu = c$ et que $|\Delta E| = h \cdot \nu$, on déduit l'expression de la variation d'énergie associée à une transition. $|\Delta E|$ s'écrit $|\Delta E| = \frac{h \cdot c}{\lambda}$.
8. Un photon de longueur d'onde égale à 2140 nm appartient au domaine visible (car il est en nanomètre).

Pour aller plus loin

25 Des exoplanètes habitables ?

✓ RAI/ANA : Proposer un protocole

Une des conditions pour que des humains puissent vivre sur une exoplanète est la présence d'une atmosphère respirable. L'analyse *in situ* à l'aide d'une sonde spatiale serait nécessaire. Actuellement, cette analyse est réalisée par spectroscopie optique avec l'identification d'un élément chimique basée sur l'émission/absorption de photons. Tout comme les atomes, les molécules possèdent un diagramme énergétique quantifié.

- Proposer un protocole qui permettrait au spectroscope de détecter correctement la présence de la molécule de dioxygène.

26 L'expérience de Franck et Hertz (1914)

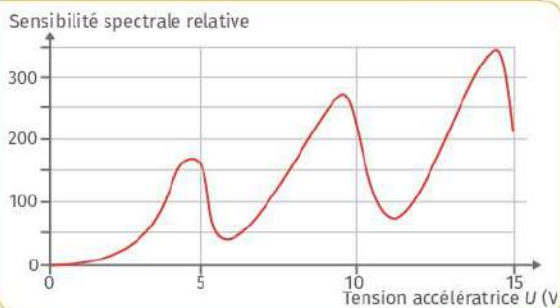
✓ RAI/MOD : Utiliser un modèle de l'énergie

Franck et Hertz ont réalisé une expérience fondamentale de physique quantique. Tandis qu'un flux d'électrons est accéléré dans une ampoule à vapeur de mercure, on mesure les variations d'intensité dans le circuit électrique externe. Au cours de la traversée de l'ampoule, les électrons sont susceptibles d'interagir avec les atomes de mercure sous forme d'échange d'énergie et perdent 4,9 eV ou 9,8 eV.

Pour des valeurs précises de tension, on observe simultanément une émission de radiations violettes et une diminution brutale d'intensité de courant.

1. Lors du choc entre le flux d'électrons et les atomes, sous quelle forme l'énergie cinétique des électrons incidents se transforme-t-elle ?
2. Expliquer l'observation des chutes de courant et les diminutions d'énergie associées.
3. Quel concept et quel modèle théorique de l'atome sont validés par cette expérience ?

■ Intensité en fonction de la tension accélératrice



Données

- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

27 ESPRIT SCIENTIFIQUE

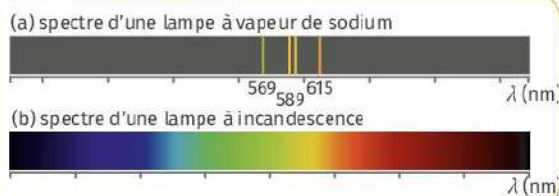
Le sodium au service de l'éclairage routier

✓ VAL : Exploiter un ensemble de mesure

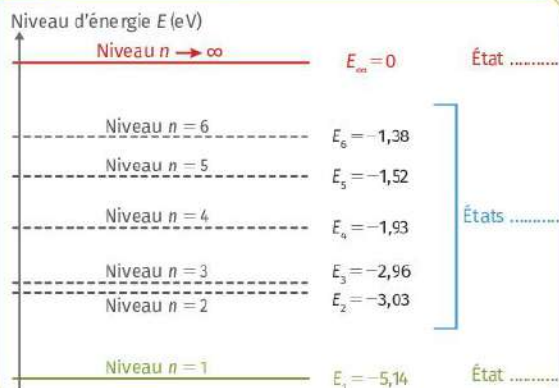
BAC

L'éclairage routier assure visibilité et sécurité. Dans les tunnels, il est encore souvent réalisé à l'aide de lampes à décharge contenant des vapeurs de sodium à basse pression. Une décharge électrique crée un flux d'électrons qui excite de nombreux atomes de sodium (Na). Ces derniers restituent l'énergie acquise en émettant des radiations de fréquence(s) précise(s) pour revenir dans leur état fondamental.

Doc. 1 Spectres d'émission



Doc. 2 Diagramme énergétique de l'atome de sodium



1. Doc. 1 Comparer les spectres d'émission de la lampe à incandescence et de celle à vapeur de sodium.
2. Doc. 2 Indiquer les différents états de l'atome de sodium sur le diagramme énergétique.
3. Doc. 2 Que peut-on dire sur les niveaux d'énergie de l'atome de sodium ?
4. Doc. 2 Calculer la différence d'énergie entre les états E_1 et E_2 . En déduire l'énergie du photon correspondant.
5. Des photons sont-ils émis ou absorbés par l'atome de sodium ? Indiquer par une flèche le sens de leur transition sur le diagramme. Calculer la longueur d'onde correspondante.
6. Le spectre d'émission de la lampe à sodium a-t-il la même origine que celui de la lampe incandescente ?

28 ChemCam, les yeux de Curiosity ?

- ✓ RAI/ANA : Élaborer un protocole
- ✓ COM : Rédiger une réponse argumentée

BAC

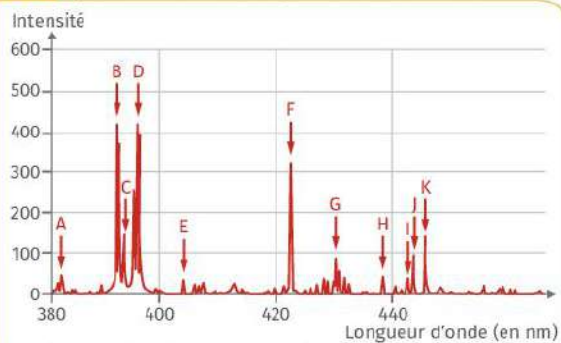
ChemCam (Chemistry Camera) est un des dix instruments embarqués par le rover Curiosity qui s'est posé sur la planète Mars en août 2012. Cette mission de la NASA a pour objectif de savoir si Mars aurait pu être habitable dans le passé.

Issu d'une collaboration franco-américaine, ChemCam est un spectromètre qui détermine la composition des roches en analysant la lumière d'un plasma créé, issu d'un tir laser sur les roches à analyser.

D'après le sujet Bac S, 2014

- À l'aide des documents suivants, proposer un protocole pour vérifier si l'analyseur spectral de ChemCam peut confirmer la présence de l'élément calcium contenu dans une roche.

Doc. 1 Spectre d'émission atomique d'une roche témoin



Doc. 2 Principe de fonctionnement de ChemCam

ChemCam (entouré en rouge sur le doc. 3) met en œuvre la technique LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*) d'analyse spectroscopique induite par ablation laser. Son laser pulsé émet un rayonnement à 1067 nm. L'action du faisceau laser pulsé de forte puissance provoque un échauffement brutal de la surface éclairée, une vaporisation et une ionisation sous forme d'un plasma.

Dans ces conditions, les atomes et les ions éjectés sont alors dans des niveaux d'énergie excités. En se désexcitant, ils émettent un rayonnement qui est analysé par spectroscopie entre 250 et 900 nm. On obtient ainsi un spectre d'émission atomique. La détermination des longueurs d'onde de raies présentes sur ce spectre permet d'identifier les atomes ou ions présents dans la cible.

D'après msl-chemcam.com.

Doc. 3 Pour l'élément calcium sous forme d'ion Ca^{+}

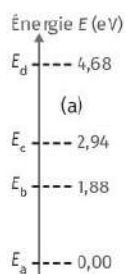


Diagramme simplifié des niveaux d'énergie.

Retour sur la problématique du chapitre

29 L'aurore polaire

- ✓ RAI/MOD : Utiliser un modèle avec rigueur

Une aurore polaire est le signe d'une perturbation imprévisible du champ magnétique terrestre par les vents solaires. Elle est le résultat de la collision entre les particules chargées issues du Soleil et les molécules et/ou d'atomes d'oxygène ou d'azote contenus dans la haute atmosphère (> 60 km). Lors de cette rencontre, les électrons des atomes entrent dans un état excité. Le retour à l'état fondamental s'accompagne d'une libération de photons (lumière) caractéristiques. La couleur vert-jaune est due aux atomes d'oxygène situés à 100 km d'altitude environ. L'énergie du photon émis est $E = 2,23 \text{ eV}$.

D'après le sujet des olympiades de géoscience, 2016



1. Calculer l'énergie du photon en joule (J).
2. Calculer la fréquence puis la longueur d'onde de la radiation. Est-ce cohérent avec l'observation ?
3. Ce photon est-il émis ou absorbé par l'atome d'oxygène ? Justifier.
4. Sans souci d'échelle, représenter la transition sur un diagramme de niveaux d'énergie d'un atome d'oxygène.

HISTOIRE
DES SCIENCES

La nature de la lumière en débat

A La réfraction oppose Newton à Huygens

Au XVII^e siècle, on formalise la réfraction par la loi de Snell-Descartes.

Isaac Newton (1643-1727) utilise les lois de la balistique pour expliquer cette réfraction et retrouver la loi de Snell-Descartes, en postulant que la lumière se comporte comme un ensemble de projectiles, de corpuscules.

Christiaan Huygens (1629-1695) montre que les lois de la réfraction s'expliquent si on considère la lumière comme une onde. La notoriété de Newton éclipse cependant les travaux de Huygens publiés à la fin de sa vie.

B La diffraction enfin expliquée

Quand des ondes rencontrent un obstacle ou un orifice, elles franchissent cet obstacle en se propageant d'une manière qui n'est plus rectiligne : c'est **la diffraction**. La diffraction de la lumière est connue au moins depuis le XVII^e siècle mais n'a pu être mathématiquement étudiée qu'au XIX^e siècle.

Thomas Young (1773-1829) est resté célèbre pour ses expériences sur le phénomène de diffraction et les interférences (diffraction de la lumière par deux obstacles côte à côte), relançant la théorie de la nature ondulatoire de la lumière.

Augustin Fresnel (1788-1827) utilise les mêmes expériences que Young mais parvient, lui, à prédire par le calcul les figures de diffraction observées. C'est la preuve définitive que la lumière possède bien un caractère ondulatoire, vibratoire, mais personne ne sait dire de quoi est faite cette vibration.

James C. Maxwell (1831-1879) montre que la lumière est la superposition d'un champ électrique et d'un champ magnétique : une onde électromagnétique.

C L'effet photoélectrique remet tout en cause

Heinrich Hertz (1857-1894) éclaire un métal en lumière ultraviolette : certains de ses électrons sont alors arrachés. Mais cet **effet photoélectrique** n'est pas observé en lumière rouge (de plus faible énergie), même avec un temps d'éclairage long. Si la lumière se comportait ici comme une onde, le métal aurait dû accumuler assez d'énergie pour qu'un électron soit arraché.

Albert Einstein (1879-1955) postule que la lumière est composée de particules (nommées photons) trans-

portant un quantum d'énergie, qui dépend de sa longueur d'onde. L'électron n'est arraché que si la quantité d'énergie apportée par un photon est suffisante.

Louis de Broglie (1892-1987) fait la synthèse des découvertes précédentes et propose la dualité onde-corpuscule de la lumière : la lumière, suivant les situations, se comporte soit comme une onde, soit comme un corpuscule. Einstein et de Broglie recevront chacun un prix Nobel pour leurs travaux.



Newton

Huygens



Young

Fresnel

Maxwell



Einstein

de Broglie

Le Concorde et le nombre de Mach

Énoncé

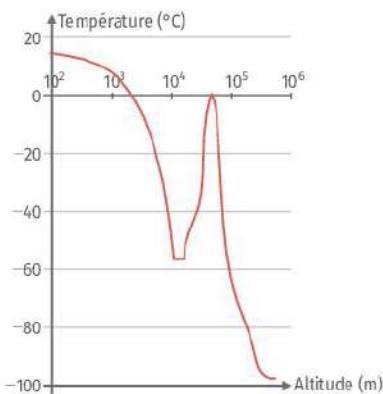
Le Concorde est un avion supersonique franco-britannique, exploité de 1976 à 2003. Sa vitesse de croisière s'établissait à Mach 2,02, soit $2150 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Lorsqu'un objet en mouvement atteint une vitesse supersonique, c'est-à-dire au moins égale à la vitesse du son dans le milieu dans lequel il évolue, on dit que cet objet franchit le mur du son. Ce franchissement s'accompagne d'une détonation perceptible, caractéristique de ce phénomène.

Toutefois, la vitesse du son dans l'air dépend fortement de la température ambiante T , exprimée en kelvin. Pour de faibles écarts de pression atmosphérique, la relation suivante permet de calculer la vitesse du son en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: $v_{\text{son}} = \sqrt{\gamma_{\text{air}} \cdot R_{\text{s(air)}} \cdot T}$.

Les ingénieurs aéronautiques utilisent le nombre de Mach, noté Ma , en hommage au physicien Ernst Mach, pour indiquer le rapport entre la vitesse de l'objet en mouvement et la vitesse du son dans le milieu traversé.

1. Exprimer la vitesse du son v_{son} en fonction du nombre de Mach, noté Ma , et de la vitesse de croisière du Concorde, notée v_c .
2. Calculer la valeur de la vitesse du son v_{son} en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
3. En déduire l'expression de la température T de l'air en fonction du nombre de Mach, de la vitesse v_c du Concorde, de γ_{air} et de $R_{\text{s(air)}}$.
4. Calculer cette température T et l'exprimer en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Commenter cette valeur.



DONNÉES

- Coefficient adiabatique de l'air :

$$\gamma_{\text{air}} = 1,40 ;$$

- Constante spécifique de l'air :

$$R_{\text{s(air)}} = 287 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1} ;$$

- Conversion d'unités de température :

$$\theta(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15.$$

ANALYSE DE L'ÉNONCÉ

1. Comment écrire la relation mathématique évoquée dans le dernier paragraphe de l'énoncé ?
2. Réécrire la relation fournie par l'énoncé en isolant le terme T correspondant à la température de l'air et remplacer v_{son} par son expression d'après la réponse précédente.
3. En se servant des données fournies, réaliser l'application numérique en n'oubliant pas de convertir la vitesse du Concorde en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, puis de convertir la température obtenue en degré Celsius.

Solution rédigée

1. Le nombre de Mach correspond au rapport entre la vitesse v_c et la vitesse du son dans l'air v_{son} : $Ma = \frac{v_c}{v_{\text{son}}}$.

En isolant v_{son} , on a : $v_{\text{son}} = \frac{v_c}{Ma}$.

2. D'où l'application numérique : $v_{\text{son}} = \frac{2150}{2,02}$, $v_{\text{son}} = 1060 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = 296 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

3. D'après la relation fournie dans l'énoncé, on peut exprimer la température T en fonction des autres grandeurs

impliquées : $T = \frac{v_{\text{son}}^2}{\gamma_{\text{air}} \cdot R_{\text{s(air)}}$. En remplaçant v_{son} par l'expression précédemment établie, on obtient :

$$T = \frac{v_c^2}{Ma^2 \cdot \gamma_{\text{air}} \cdot R_{\text{s(air)}}}.$$

4. La vitesse du Concorde doit être exprimée en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: $v_c = 2150 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = 597 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$T = \frac{597^2}{2,02^2 \times 1,40 \times 287} = 217 \text{ K} = -56^{\circ}\text{C}.$$

La température permet de situer l'altitude de croisière du Concorde entre 10 000 m et 20 000 m d'après le graphique représentant l'évolution de la température de l'atmosphère en fonction de l'altitude.

1 L'arc de triomphe

Doc. 1 Photographie de l'Arc de triomphe

Un photographe professionnel en vacances à Paris décide d'immortaliser son séjour en photographiant l'Arc de triomphe. Il se place à bonne distance du monument, utilise un objectif standard de 50 mm de focale, réalise sa mise au point et appuie sur le déclencheur. Voici le résultat, après impression.



Doc. 2 Relations de conjugaison et grandissement

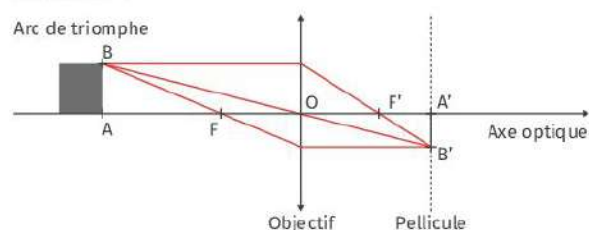
Pour un système optique, on désigne par f' la distance focale. Cette distance focale est liée aux distances algébriques objet-centre optique notée $\overline{OA}$ et image-centre optique du système notée $\overline{OA'}$ par la relation dite de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

D'autre part, on définit le grandissement γ par les rapports suivants :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

Sans souci d'échelle, on adopte les notations utilisées dans ce schéma :



Doc. 3 La pellicule argentique en photographie

Le numérique domine le marché de la photographie depuis de nombreuses années mais des professionnels et des amateurs se servent encore des appareils à pellicule argentique. Le principe de cette photographie repose sur l'impression d'un support photosensible (la pellicule), grâce à l'interaction lumière-matière avec des halogénures d'argent.

Moins immédiate, car elle nécessite une phase de développement en chambre noire, la photographie argentique offre encore un avantage indéniable par rapport à la photographie numérique : sa résolution.

Numérique

Retrouvez plus de sujets Bac en version numérique.

[LLS.fr/PC1P379](https://lls.fr/PC1P379)



Données

- Distance focale de l'appareil photographique : $f' = 50$ mm ;
- Hauteur de l'Arc de triomphe : $\overline{AB} = 50$ m ;
- Largeur d'une pellicule argentique : $l = 24$ mm.

Questions

1. Les proportions des objets photographiés sont respectées entre la pellicule et la photographie imprimée. Exprimer la hauteur $\overline{A'B'}$ de l'Arc de triomphe sur la pellicule photographique à partir de la hauteur h de l'Arc de triomphe sur la photographie, la largeur L de la photographie et la largeur l de la pellicule. En déduire $\overline{A'B'}$.
2. À partir de la relation du grandissement, démontrer que $\overline{OA'} = \frac{h \cdot l \cdot \overline{OA}}{L \cdot \overline{AB}}$.
3. Exprimer la distance $\overline{OA}$ en fonction de f' , h , l , L et de $\overline{AB}$.
4. En déduire à quelle distance se trouvait le photographe lorsqu'il a pris en photo l'Arc de triomphe.
5. Sans changer d'objectif, quel aurait été le rapport des dimensions $\frac{h}{L}$ s'il avait pris sa photo 100 m plus loin ?

2 Bohr et Rydberg

Doc. 1 Le modèle de Bohr

En 1913, Niels Bohr propose un nouveau modèle de l'atome permettant d'expliquer de manière simple les raies spectrales obtenues par excitation de l'atome d'hydrogène et des autres hydrogénoides, c'est-à-dire tous les ions ne possédant qu'un seul électron (He^+ , Li^{2+} , Be^{3+} , etc.).



Il pose la relation suivante, où chaque niveau d'énergie n de l'atome d'hydrogène a pour énergie E_n : $E_n = \frac{E_1}{n^2}$.

Dans cette expression, E_1 désigne l'énergie du niveau fondamental de l'atome d'hydrogène.



Spectres d'émission (a) et d'absorption (b) de l'atome d'hydrogène.

Données

• Raies d'émission visibles de l'atome d'hydrogène H :

656,2 nm, 486,1 nm, 434,0 nm, 410,2 nm, 397,0 nm, 388,9 nm, 383,5 nm ;

• Conversion d'unités d'énergie : $1,602 \times 10^{-19} \text{ J} = 1,000 \text{ eV}$;

• Vitesse de la lumière : $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

• Constante de Planck : $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;

• Énergie du niveau fondamental de l'atome d'hydrogène :

$E_1 = -13,60 \text{ eV}$.

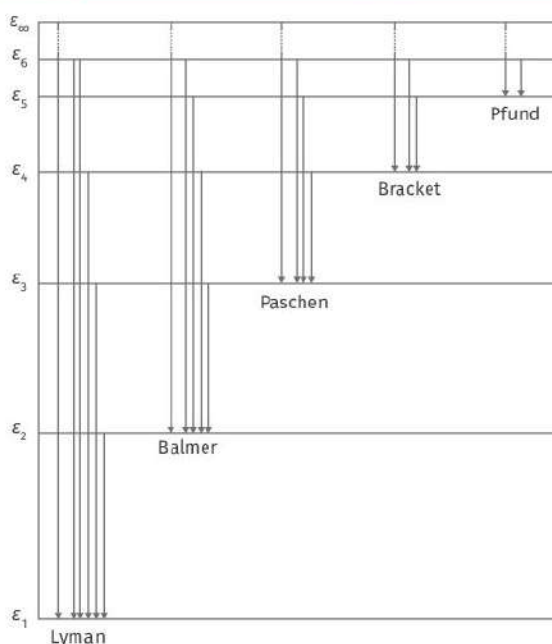
Doc. 2 La formule de Rydberg

Présentée en 1888, la formule de Johannes Rydberg propose une modélisation mathématique des longueurs d'onde des raies d'émission de l'atome d'hydrogène :

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \cdot \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{q^2} \right).$$

Dans cette formule, λ désigne la longueur d'onde de la raie d'émission de l'atome d'hydrogène, R_H la constante de Rydberg, p et q deux entiers naturels non nuls correspondant au numéro de niveaux d'énergie tels que $p < q$.

Doc. 3 Les séries de l'atome d'hydrogène



Questions

- Montrer qu'un photon émis par l'atome d'hydrogène par passage d'un niveau q supérieur à un niveau p inférieur a pour longueur d'onde associée $\lambda = \frac{h \cdot c}{E_q - E_p}$.
- Exprimer les niveaux d'énergie E_p et E_q en fonction de E_1 , p et q . En déduire une expression reliant la longueur d'onde λ associée au photon émis en fonction des constantes h , c et E_1 et des entiers p et q .
- Démontrer que la constante de Rydberg est égale à $R_H = \frac{-E_1}{h \cdot c}$. La calculer.

On désigne par des noms (Lyman pour $p = 1$, Balmer pour $p = 2$, Paschen pour $p = 3$, Brackett pour $p = 4$, Pfund pour $p = 5$) les séries de radiations produites par l'atome d'hydrogène par désexcitation d'un niveau q vers un niveau p .

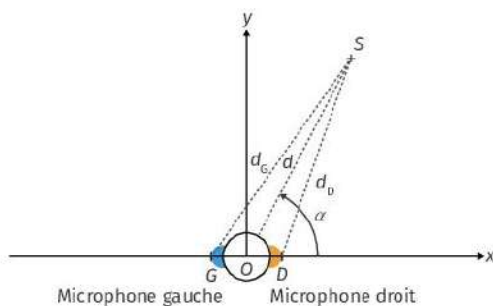
- À quelle série correspond la radiation lumineuse émise par l'atome d'hydrogène à 656,2 nm ? Dans quel domaine des ondes électromagnétiques se situent les séries de p supérieur ?

3 La localisation d'une source sonore

Doc. 1 La localisation des sources pour un robot

Une entreprise a mis au point un robot humanoïde capable d'interagir avec son environnement. Pour que cette interaction semble la plus humaine possible, l'industriel a imposé dans le cahier des charges deux éléments :

- l'intégration de deux microphones correspondant à des tympons sur le robot ;
- la mesure de l'angle α représenté sur le schéma pour pouvoir se tourner vers son interlocuteur ;
- la détermination de α repose sur le principe de la mesure de différence de temps interaurale, comme le cerveau humain.



Données

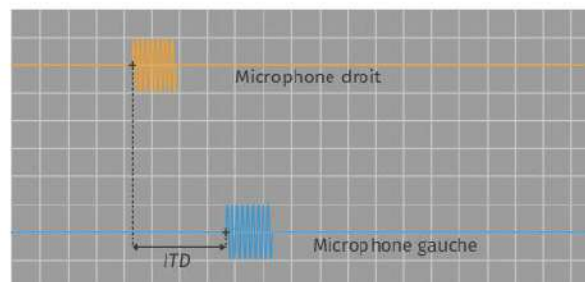
- Distance entre les deux microphones du robot : $l = 24 \text{ cm}$;
- Vitesse du son dans l'air : $v_{\text{son}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Doc. 2 La localisation par retard interaural

Pour les humains, en raison des positions différentes des oreilles gauche et droite, le cerveau est capable d'interpréter la différence de temps de perception auditive d'un bruit pour localiser une source sonore. Cette différence de temps est notée ITD (Interaural Time Difference). Pour tous les ITD qu'il perçoit, le cerveau est capable d'associer un angle α entre la droite passant par les deux oreilles (GD) et la droite passant par la source sonore et l'auditeur (OS).

Doc. 3 Le relevé de mesures test du robot

L'industriel réalise un test avec le robot pour vérifier le bon fonctionnement de celui-ci. Il récupère l'enregistrement du signal électrique associé aux sons perçus par les deux microphones au cours du temps. Le signal bleu est associé au microphone gauche, le signal rouge au microphone droit. La sensibilité horizontale est de $2,0 \times 10^{-4} \text{ s}$ par division.



Questions

1. Pour quelles valeurs de l'angle α le retard Δt est-il le plus grand possible ? Calculer ce Δt_{max} en tenant compte des caractéristiques du robot.
2. Sur le relevé de mesures test du robot, le son provient-il de la droite ou de la gauche ? Justifier la réponse.
3. Exprimer les distances d_G et d_D en fonction des retards τ_G et τ_D entre l'émission et la réception de l'onde sonore émise en S.
On suppose par la suite que la source sonore S est très éloignée du robot. On peut alors considérer que la différence de parcours $d_G - d_D$ est liée à la distance l entre les micros par la relation : $d_G - d_D = l \cdot \cos(\alpha)$.
4. Exprimer l'angle α en fonction de l , v_{son} et Δt . Calculer cet angle pour le relevé de mesures test effectué par le robot et l'exprimer en degré.

On admet que l'incertitude sur la détermination de l'angle α est égale à $U(\alpha) = \frac{U(\Delta t)}{\tan(\alpha) \cdot \Delta t}$ où $U(\Delta t)$ est l'incertitude de lecture du retard.

5. Estimer l'incertitude de lecture $U(\Delta t)$ à partir du relevé test du robot et en déduire l'incertitude $U(\alpha)$ sur la détermination de l'angle α .

Méthodologie

- 1 Construire un raisonnement, un chemin de résolution p. 383
- 2 Formuler une problématique, un résultat attendu p. 384
- 3 Résoudre des problèmes [LLS.fr/PC1FM3](https://lls.fr/PC1FM3)

Outils mathématiques

- 4 Les vecteurs p. 385
- 5 La notation scientifique [LLS.fr/PC1FM5](https://lls.fr/PC1FM5)
- 6 Les conversions [LLS.fr/PC1FM6](https://lls.fr/PC1FM6)
- 7 La précision d'une mesure p. 386
- 8 L'écriture du résultat d'un calcul p. 387
- 9 L'utilisation d'un tableur [LLS.fr/PC1FM9](https://lls.fr/PC1FM9)
- 10 L'utilisation de Regressi p. 388
- 11 L'usage de la calculatrice (NumWorks) [LLS.fr/PC1FM11](https://lls.fr/PC1FM11)

Fiches pratiques

- 12 La verrerie au laboratoire p. 390
- 13 La dilution p. 391
- 14 Les dispositifs de chimie organique p. 392
- 15 L'extraction liquide-liquide p. 393
- 16 La filtration p. 394
- 17 La caractérisation par spectroscopie infrarouge p. 395
- 18 L'utilisation de spectrophotomètre [LLS.fr/PC1FM18](https://lls.fr/PC1FM18)
- 19 La chromatographie sur couche mince (CCM) [LLS.fr/PC1FM19](https://lls.fr/PC1FM19)
- 20 L'utilisation de l'oscilloscope ou d'un logiciel d'acquisition p. 396
- 21 Le pointage vidéo p. 397

Fiches outils numériques

- 22 Utiliser un microcontrôleur Arduino [LLS.fr/PC1FM22](https://lls.fr/PC1FM22)
- 23 Utiliser le langage de programmation Python [LLS.fr/PC1FM23](https://lls.fr/PC1FM23)

Numérique

Connectez-vous sur lelivrescolaire.fr pour retrouver les fiches méthode en numérique ainsi que les fiches méthode compétences supplémentaires. [LLS.fr/PC1Methode](https://lls.fr/PC1Methode)

1 Construire un raisonnement, un chemin de résolution

A Partir de la grandeur à trouver

➤ Avant de décider du chemin à emprunter, il est indispensable de savoir où on doit aller. Dans le cadre d'un exercice de physique, cela signifie en général : identifier la grandeur physique à déterminer.

On peut l'indiquer sur la copie dès le début de la rédaction : « Je cherche à déterminer la valeur de {nom de la grandeur physique} en {unité}. »

B Le chemin de résolution

➤ Il se construit au brouillon le plus souvent. Partir de la grandeur à déterminer pour remonter jusqu'à une expression littérale ne comportant que des grandeurs connues (données dans le cours ou l'énoncé).

➤ Indiquer tout d'abord le nom de la grandeur physique à trouver en haut de la feuille. Puis, écrire une relation mathématique connue comportant cette grandeur.

Il faut ensuite souligner d'une couleur les grandeurs physiques connues et entourer les autres. Pour chaque grandeur entourée, on cherche une nouvelle relation mathématique. On peut procéder ainsi jusqu'à n'avoir qu'une grandeur inconnue.

Je cherche à déterminer m_{soude} la masse de soude à prélever en gramme.

$$m_{\text{soude}} = \underbrace{M(\text{NaOH})}_{\text{sur le tableau périodique}} \cdot n_{\text{soude}}$$

$$C_{\text{soude}} = \frac{n_{\text{soude}}}{V_{\text{solution}}} \quad \text{données } 1\text{L}$$

➤ Exemple basé sur l'exercice 29 p. 45 du chapitre 2.

Je cherche $m(\text{Cu})$ la masse de cuivre dans une pièce de 10 centimes.

$$m(\text{Cu}) \rightarrow m(\text{Cu}) = \underbrace{M(\text{Cu})}_{\text{connue}} \cdot n(\text{Cu})$$

$$n(\text{Cu}) = n(\text{Cu}^{2+})$$

$$[\text{Cu}^{2+}] = \frac{n(\text{Cu}^{2+})}{V_{\text{solution}}} \quad \text{connue}$$

$$A = k \cdot [\text{Cu}^{2+}] \quad \begin{array}{l} \text{mesurée} \\ \text{déterminée} \\ \text{lors de} \\ \text{l'étalonnage} \end{array}$$

➤ Exemple basé sur l'activité expérimentale p. 34 du chapitre 2.

C La rédaction

➤ Reprendre le chemin de résolution à l'envers et au propre sur sa copie pour obtenir l'expression littérale et le résultat final.

1.

$$\text{Par définition, } C_{\text{soude}} = \frac{n_{\text{soude}}}{V_{\text{solution}}} \quad \text{d'où } n_{\text{soude}} = C_{\text{soude}} \cdot V_{\text{solution}}$$

$$\text{Or } m_{\text{soude}} = M(\text{NaOH}) \cdot n_{\text{soude}} \quad \text{d'où } m_{\text{soude}} = M(\text{NaOH}) \cdot C_{\text{soude}} \cdot V_{\text{solution}}$$

expression littérale finale.

2. On peut procéder de manière analogue avec l'exemple basé sur l'activité expérimentale du chapitre 2 présenté ci-dessus.

➤ Exemple basé sur l'exercice 29 p. 45 du chapitre 2.

2 Formuler une problématique, un résultat attendu

A Grandeur à déterminer ou raisonnement justifié

➤ En sciences, il existe deux grands types d'exercices : l'exercice quantitatif, dans lequel un résultat numérique est attendu, et l'exercice qualitatif, dans lequel un raisonnement est demandé en utilisant uniquement des mots et des schémas. Cette distinction se retrouve aussi dans les activités.

- L'activité « Quels sont les effets de la pression ? », p. 337, du chapitre 12 est une activité qualitative.
- L'activité « La composition d'une pièce de 10 centimes », p. 34, du chapitre 2 est une activité quantitative.

B Activité quantitative

➤ **Notion d'observable.** L'observable est une grandeur physique que l'on peut mesurer avec le matériel du laboratoire. La mesure de cette observable doit permettre de répondre par étapes successives à la problématique de l'activité.

- **La première étape** est donc d'identifier cette observable à partir du questionnement que pose l'activité. Si la grandeur à mesurer dans l'activité est directement accessible, le travail est simple. Le plus souvent une mesure directe est impossible, il faut alors trouver la grandeur associée qui peut être mesurée.
- **Le capteur.** Une fois l'observable identifiée, il faut déterminer le capteur à utiliser. Il doit être disponible au laboratoire et avoir une précision suffisante.



L'exemple s'appuie sur l'activité « La composition d'une pièce de 10 centimes » p. 34 du chapitre 2.

Cette activité demande de déterminer la masse en cuivre d'une pièce de 10 centimes. Or, la mesure directe n'est pas possible car la pièce n'est pas faite de cuivre pur mais d'un alliage. On sait qu'au laboratoire on peut déterminer des concentrations, notamment d'espèces colorées. En effet, la concentration est proportionnelle à l'absorbance, mesurable avec un spectrophotomètre. L'absorbance est donc l'observable. Il ne reste plus qu'à transformer les atomes Cu en ions Cu^{2+} , c'est le but de la première étape : le traitement chimique.

C Le chemin de résolution

➤ Il faut être rigoureux et précis dans le raisonnement et le vocabulaire employé. Le choix des mots est important.

- **Formuler une hypothèse.** Dans une activité expérimentale, on cherche souvent à vérifier une hypothèse. Il faut se demander : « si mon hypothèse est correcte, quelles seront les conséquences observables ? ».
- **Se poser la question de ce que l'on va observer :** un changement de forme, de couleur, etc. On utilise ses sens pour faire ces observations, il s'agit le plus souvent de la vue.
- **Comparer.** Une observation est d'autant plus pertinente qu'elle ne vient pas seule. On compare deux systèmes en ne faisant varier qu'un seul facteur. Cela peut être via une expérience test/témoin ou une observation avant/après.

L'expérience de l'activité p. 237 consiste à mettre un ballon de baudruche dans une cloche à vide.

L'hypothèse est la suivante : la pression extérieure a une influence sur le volume du ballon.

Si l'hypothèse est vérifiée, le volume du ballon devrait changer lorsque la pression diminue.

On peut comparer le ballon de baudruche avant et après avoir fait le vide. On fait l'expérience avec deux ballons identiques, un sous la cloche et l'autre à l'extérieur.

Numérique 

Fiche méthode 3 Résoudre des problèmes
disponible sur [LLS.fr/PC1FM3](https://lls.fr/PC1FM3).

4 Les vecteurs

A Quelques vecteurs en physique

En physique, un vecteur peut représenter :

- **un déplacement** du point A au point B : noté $\overrightarrow{AB}$, il part de A et sa norme est en mètre (m) ;
- **une vitesse** au point M : vecteur $\vec{v}_M$, il part de M, est tangent à la trajectoire, dans le sens du mouvement et sa norme est en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- **une force** (action mécanique) appliquée en M : notée $\vec{F}$, dans le sens et la direction de l'action, part de M et sa norme est en newton (N).

B Caractéristiques d'un vecteur en sciences

- Direction : droite (axe) sur laquelle est la flèche.
- Sens : orientation de la flèche.
- Norme : intensité ou valeur de la grandeur, qui s'exprime dans une unité propre à cette grandeur.
- Origine (départ) de la flèche : point où se mesure la grandeur.

Attention : L'origine est présente en physique et non en mathématiques. De même, l'unité de la norme u est propre à la physique.

➤ Coordonnées dans un repère

Elles sont notées en colonne : $\overrightarrow{AB} \begin{pmatrix} x_{AB} \\ y_{AB} \end{pmatrix} = \overrightarrow{AB} \begin{pmatrix} x_B - x_A \\ y_B - y_A \end{pmatrix}$

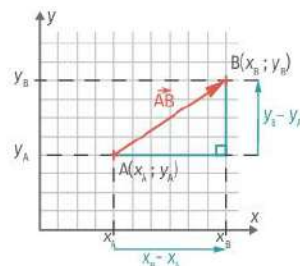
➤ Norme

Notée AB , ou $\|\overrightarrow{AB}\|$.

Sa valeur est :

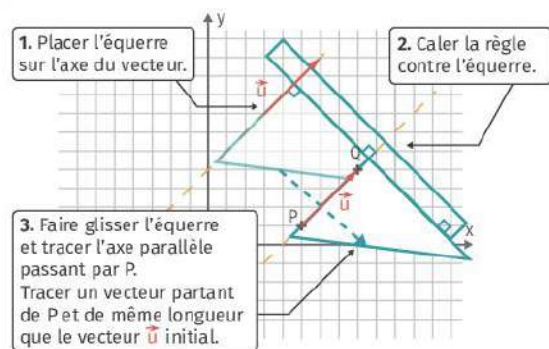
$$AB = \sqrt{x_{AB}^2 + y_{AB}^2}.$$

Attention : Ne pas confondre le vecteur noté $\overrightarrow{AB}$ et sa norme notée AB (sans flèche).



C Tracer des vecteurs

➤ Comment reporter le vecteur $\vec{u}$ sur le point P



Remarque : Pour avancer de $-\vec{u}$, reprendre ces étapes et tracer la flèche dans le sens opposé à $\vec{u}$.

➤ Comment tracer $\vec{u} + \vec{v}$ en partant de P

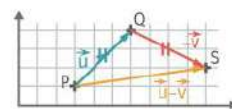
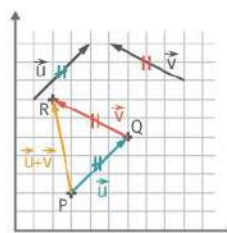
Se placer en P. Avancer de $\vec{u}$ pour arriver en un point Q. Avancer enfin de $\vec{v}$ pour arriver en R.

On a alors : $\vec{u} + \vec{v} = \overrightarrow{PR}$.

➤ Comment tracer $\vec{u} - \vec{v}$ en partant de P

Se placer en P. Avancer de $\vec{u}$ pour arriver en un point Q. Avancer enfin de $-\vec{v}$ pour arriver en S.

On a alors : $\vec{u} - \vec{v} = \overrightarrow{PS}$.



Numérique

Fiches méthode 5 et 6
disponibles sur
LLS.fr/PC1FM5-6.

7 La précision d'une mesure

A Erreur et incertitude

➤ **Incidence sur X** (notée $U(X)$ ou $\Delta(X)$, même unité que X)

L'incertitude indique la marge d'erreur possible estimée sur la mesure de X . On écrit alors : $X = X_{\text{exp}} \pm U(X)$.

Par convention, l'incertitude s'exprime avec un seul chiffre significatif arrondi au supérieur.

Ex. : si on mesure une longueur de 15,5 cm et que l'on estime que l'on est à $\pm 0,25$ cm, alors $l_{\text{exp}} = 15,5$ cm et $U(l) = \pm 0,3$ cm. La longueur mesurée sera alors exprimée sous la forme $l = 15,5 \pm 0,3$ cm.

B Incertitude sur une grandeur X mesurée

➤ Si on a réalisé la moyenne de plusieurs mesures (incertitude de type A) :

$U(X) = k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ n : le nombre de mesures ;
 σ : l'écart-type de la série de mesures (représente l'étalement des mesures autour de la moyenne, peut être obtenu facilement avec un tableur) ;
 k : un coefficient et qui dépend de n et du niveau de confiance sur la mesure (souvent 95 %).

Nombre de mesures	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	21	26	51	101
k (95 %)	12,71	4,3	3,18	2,78	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26	2,13	2,09	2,06	2,01	1,984

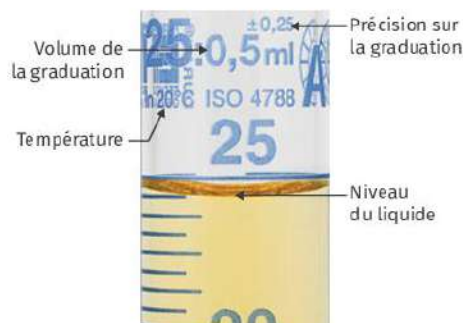
Remarque : Plus n augmente, plus $U(X)$ va diminuer. Faire un maximum de mesures permet d'améliorer la précision.

➤ Si on a réalisé une seule mesure (incertitude de type B)

1. Erreur liée à la taille de la graduation (ici deux traits sont séparés de 0,5 mL. On a donc $\pm 0,5$ mL indiqué par les graduations).
2. Erreur liée à la fabrication de l'objet de mesure (ici le fabricant assure la précision des graduations à $\pm 0,25$ mL).
3. Erreur liée à un facteur extérieur (ici la précision est donnée pour 20 °C. Si la température change, les données changent).
4. Erreur liée à la lecture du résultat.
5. Erreur liée aux manipulations (pertes de gouttes lors d'un versement ou bulles coincées dans le liquide).

➤ Toutes ces erreurs s'accumulent et il faut en tenir compte pour estimer raisonnablement l'incertitude.

Ici on serait au minimum à $\pm 0,5$ mL, voire ± 1 mL.



C Comment améliorer la précision ?

Avoir conscience de l'origine des erreurs et appliquer quelques conseils utiles

- Erreur liée à l'expérimentateur (l'élève) : lecture des graduations, pertes lors de transvasements, bulles laissées dans les récipients gradués avant mesure, etc.
- Un appareil numérique est limité par son affichage et son mode de mesure. Il arrondit toujours la mesure. Si l'affichage varie entre 2 valeurs, faire une moyenne et estimer la taille de cette hésitation.
- Multiplier les mesures avec le même matériel et en faire une moyenne améliorent la précision.

8 L'écriture du résultat d'un calcul

Notations :

CS : chiffre significatif.

A Retrouver le nombre de chiffres significatifs

À la lecture d'une valeur donnée dans un énoncé

Compter tous les chiffres.

Attention :

- un 0 est compté s'il y a au moins un chiffre différent de 0 sur l'une des positions à gauche dans l'écriture du nombre ;
- une puissance de 10 ne compte pas.

Ne pas compter
Deux chiffres ≠ 0 à leur gauche
0,019 00
4 CS

À la lecture de l'incertitude $U(X)$ associée à la valeur

Le résultat aura le même niveau de précision que $U(X)$. Il ne peut pas être plus précis que l'incertitude.

Ex. : à la suite d'un calcul, on trouve une longueur $L = 17,5624$ m. On a aussi $U(L) = 2$ cm = 0,02 m. Comme $U(L)$ est au centième de mètre, L arrondie au centième de mètre : $L = 17,56 \pm 0,02$ m.

À la lecture du calcul ayant servi à déterminer la valeur

Principe : un rectangle a précisément 2,33 cm de largeur et à peu près 5 cm de longueur. Soit P son périmètre. $P = 5 \times 2 + 2,33 \times 2 = 14,66$ cm en théorie. En revanche, dire qu'il mesure précisément 14,66 cm n'a pas de sens. Le résultat ne peut être plus précis que les valeurs qui ont permis le calcul.

Cas 1 : addition et soustraction

Le résultat a le même niveau de précision que le nombre qui a la décimale la moins précise.

Ex. : avec $d_1 = 2,0$ m, $d_2 = 16$ cm et $D = d_1 + d_2$. On a : $D = d_1 + d_2 = (2,0 + 0,16)$ m = 2,2 m. d_1 est au 10^{e} de mètre alors que d_2 est au 100^{e} de mètre. Le résultat est donc au 10^{e} de mètre.

Cas 2 : multiplication et division

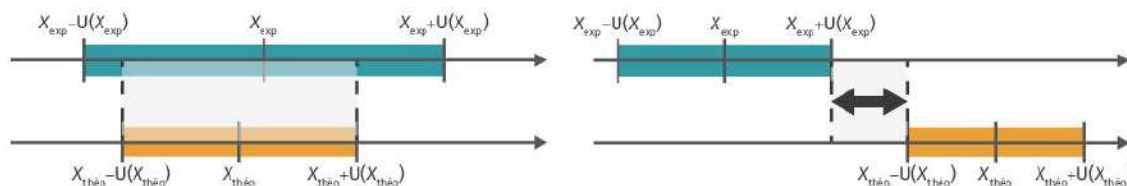
Le résultat a le même nombre de CS que le terme qui en a le moins.

Ex. : $v = \frac{2\pi R}{t} = \frac{2\pi \times 5,42}{1,5 \times 10^2} = 2,3 \times 10^{-1} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

2π et 10^2 sont exactes car non issues de mesures : pas de CS, 5,42 a 3 CS et 1,5 a 2 CS → 2 CS au résultat.

B Estimer la réussite d'une mesure

- Regarder si l'intervalle de confiance de $X_{\text{théo}}$ a des points communs avec celui de X_{exp} .



Il y a des points communs entre les deux intervalles : on considère la mesure comme correcte.

Remarque : Si l'écart entre les deux intervalles est faible, se demander toutefois si $U(X_{\text{exp}})$ n'a pas été sous-estimée.

Pas de point commun entre les deux : la mesure n'est pas validée.

Numérique

Fiche méthode 9 Utilisation d'un tableur
à retrouver sur [LLS.fr/PC1FM9](https://lls.fr/PC1FM9).

10 L'utilisation de Regressi

Logiciel à retrouver sur LLS.fr/PC1Regressi.

A Entrer les valeurs au clavier

a. Cliquer sur :

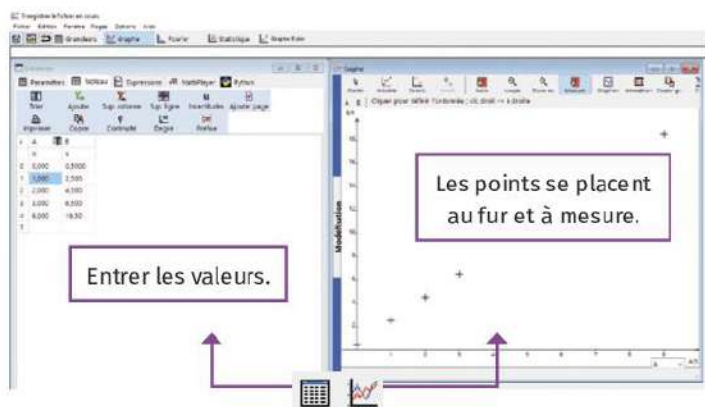
- Fichier
- Nouveau
- Clavier.

b.

Variables expérimentales				
Symbole	Unité	Signification	Minimum	Maximum
A	X		0	10
B	Y			20

Entrer le symbole et l'unité de chaque grandeur puis cliquer « Ok ».

c.



Remarque : Pour utiliser des valeurs mémorisées dans le presse-papier (venant d'Avimeca par exemple), cliquer sur :

- Fichier
- Nouveau
- Presse-papier.

B Choisir les grandeurs en abscisse et en ordonnée

Y+
Ajouter

Icône pour créer chaque nouvelle grandeur.

Grandeur calculée.

Création d'une grandeur

Type de grandeur

☐ Variable exp.

☐ Paramètre exp.

☒ Grandeur calc.

☐ Dérivée

☐ Intégrale

☐ Lissage

☐ Variable texte

☐ Paramètre texte

Symbole de la grandeur

Unité de la grandeur

Commentaire

☐ Etiquette de graphe = commentaire

Expression de la fonction

☐ Méthode d'Euler

OK

Abandon

Aide

Entrer la formule.

Graphe

Icône pour accéder au graphique.

Coord.

Icône pour régler les coordonnées.

Coordonnées du graphe

B=f(A)

Abscisse

Zéro inclus ☒ Graduations linéaire

Ordonnée

Zéro inclus ☒ Graduations linéaire

Options de représentation de B(A)

☐ Ligne ☒ Noir

☒ Point + Croix

Taille 7

Pas 1

Pour ajouter une autre courbe.

Y+ Ajouter une courbe

OK

Abandon

Aide

d'options

Couleurs, tailles ...

Mécanique Optique Chimie Texte Astronomie

des incorrectes

Epaisseur des traits 1

Tracé de grille

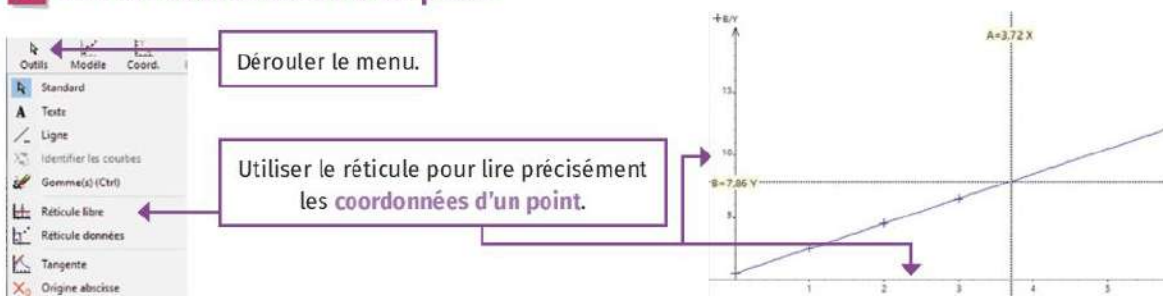
Echelle bloquée

Axes passant par zéro

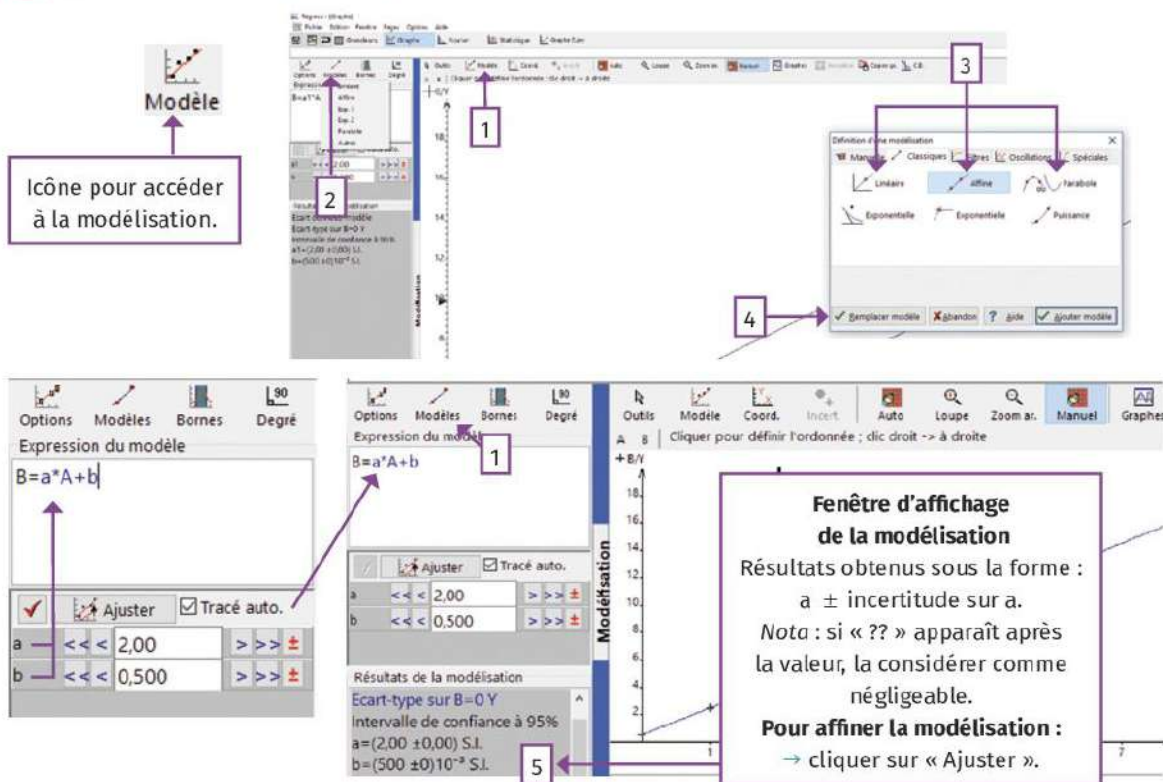
☐ Polaire

Dérouler le menu et choisir la grandeur à afficher en abscisse et celle(s) à afficher en ordonnée.

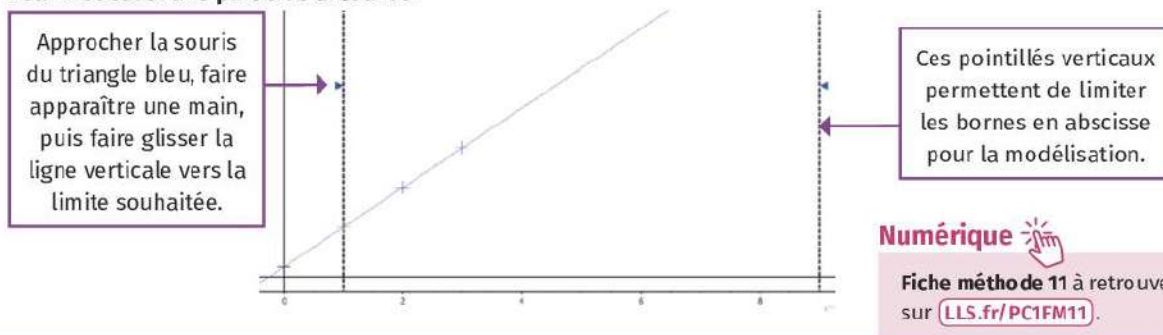
C Lire les coordonnées d'un point



D Modéliser une série de points



Pour modéliser une partie de la courbe :



12 La verrerie au laboratoire

Bécher :
utilisations
très diverses.



Erlenmeyer :
mélanges et
agitation de
solution. Utile
pour limiter les
éclaboussures.



Tube à essai :
petites
quantités, tests
caractéristiques,
etc.



**Éprouvette
graduée :**
mesure de
volumes.



Flûte jaugée :
préparation de
solutions de
concentrations
précises.



Dilutions,
dissolutions.

**Pipette
jaugée un ou
deux traits :**
prélèvement
de volume
précis.



Dilutions et
prélèvements

**Pipette
graduée :**
prélèvements
de volumes
précis.



Dilutions et
prélèvements

Propipette :
aspiration de solutions en
complément d'une pipette.



Cristallisateur :
stockage de volumes
d'eau ou de glace.



Bain-marie,
bain de glace.

Burette :
versement
de volumes
variables.



Dosages,
dilutions.

Entonnoir :
transfert de solide ou
de liquide.



Filtration.

**Coupelle de
pesée :**
pesée de solide :
poudre, cristaux.



**Verre à
pied**

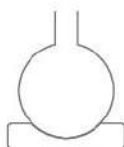


Ampoule à décanter :
séparation de liquides de
phases différentes.



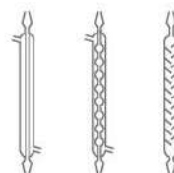
Extraction
liquide-liquide.

Ballon à fond rond et son valet :
sert à mélanger,
faire réagir,
chauffer
des espèces
chimiques.



Synthèse, distillation,
hydrodistillation.

Réfrigérant (droit, à boules, à serpent) :
refroidissement des vapeurs dans un
montage à reflux.



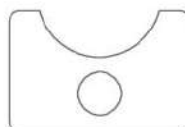
Montage à reflux, distillation.

Autre matériel

Support élévateur :
élévation de
chauffe-ballon lors
des montages de
chimie organique.



Chauffe-ballon :
chauffage du
mélange réactionnel
mis dans un ballon.



Potence :
maintien
pour divers
montages.



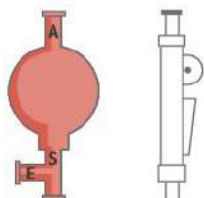
13 La dilution

➤ **Pourquoi faire une dilution ?** Pour obtenir une solution de concentration inférieure à celle de la solution initiale.

➤ **Pourquoi utiliser une fiole jaugée et une pipette jaugée (ou graduée) ?** Pour que la concentration de la solution soit la plus précise possible.

Voici les principales étapes d'une dissolution.

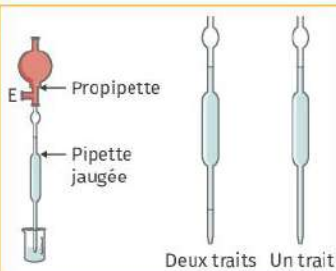
1. Vider l'air de la propipette en l'écrasant ET en appuyant sur A. Fixer la propipette sur le haut de la pipette.



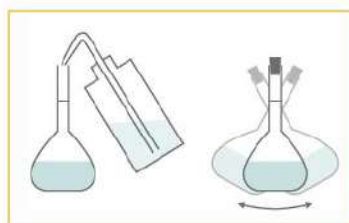
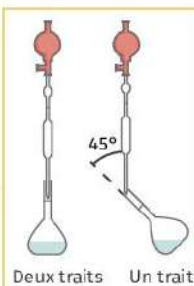
2. Positionner l'ensemble de façon à ce que la pipette soit verticale, pointe plongeant dans la solution. Une main tient le bécher et si possible le bas de la pipette ; l'autre tient la propipette et la pipette.



3. En appuyant sur E (l'entrée), prélever le volume $V_{\text{mère}}$ de la solution mère à l'aide de la pipette jaugée. Le bas du ménisque doit atteindre le trait de jauge supérieur.



4. Introduire la solution prélevée dans la fiole jaugée. Pour faire descendre la solution, appuyer sur S (la sortie).

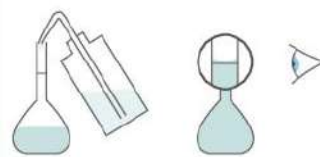


5. Compléter la fiole jaugée aux 2/3 avec le solvant, puis agiter doucement.

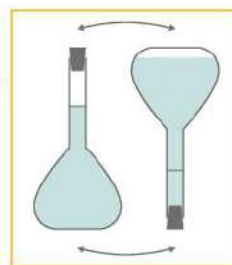
REMARQUES

- On appelle solution mère la solution initiale, et solution fille la solution obtenue.
- Avant chaque utilisation, la pipette doit être nettoyée avec de l'eau distillée ET avec la solution à prélever.
- Pipette graduée : permet de prélever des volumes différents.
- Pipette jaugée : plus précise que la pipette graduée, mais ne permet de prélever qu'un volume spécifique.

6. Compléter la fiole avec le solvant jusqu'au trait de jauge : le bas du ménisque doit être situé au niveau du trait de jauge.



7. Fermer la fiole à l'aide d'un bouchon, puis agiter en retournant la fiole plusieurs fois.



Relations associées aux dilutions

Lors d'une dilution, la quantité de matière n du soluté est conservée, elle reste identique avant et après la dilution.

$$\text{Ainsi : } n_{\text{soluté mère}} = n_{\text{soluté fille}}, \text{ or } n = c \cdot V.$$

$$\text{Donc : } \underbrace{c_{\text{mère}} \cdot V_{\text{mère}}}_{\text{Pipette}} = \underbrace{c_{\text{fille}} \cdot V_{\text{fille}}}_{\text{Fiole}}$$

(solution prélevée) (solution finale)

14 Les dispositifs de chimie organique

A Distillation fractionnée

Une distillation fractionnée est une technique de séparation des constituants d'un mélange. Cette technique est notamment utilisée dans les colonnes de distillation des raffineries de pétrole.

> Le montage

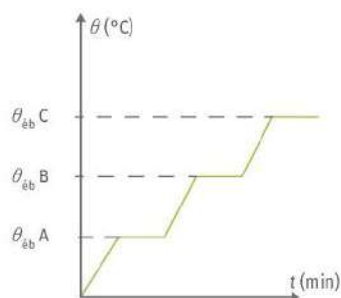
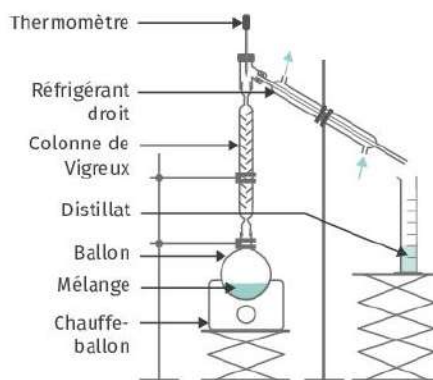
Il s'agit du même montage que celui d'une distillation simple, mais une **colonne de Vigreux** est ajoutée entre le ballon et le réfrigérant.

> Fonctionnement du montage

- Le mélange est porté à ébullition.
- La température en tête de colonne augmente jusqu'à atteindre la température d'ébullition du composé le plus volatil (appelé A dans ce cas). À ce stade, le distillat est constitué de ce composé A pur.
- La température augmente ensuite à nouveau, la distillation du composé A est alors terminée. Il faut donc changer le récipient qui récupère le distillat.
- La température en tête de colonne se stabilise à la température d'ébullition du second composé le plus volatil (composé B).

REMARQUES

La température mesurée pour chaque palier correspond à la température d'ébullition du composé pur qui arrive en tête de colonne.



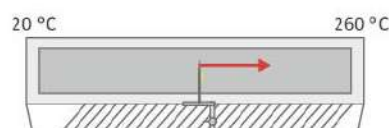
B Banc Kofler

Un banc Kofler est un dispositif utilisé pour **identifier** des solides, grâce à leur température de fusion. Ce banc est constitué d'une plaque métallique chauffée de façon à obtenir un gradient de température (la température de la plaque augmente de manière linéaire sur toute sa longueur).

Attention, l'extrémité chaude du banc est portée à une température supérieure à 250 °C.

> Utilisation

1. Mettre en route le chauffage de la plaque et attendre la stabilisation de la température.
2. Étalonner le banc à l'aide d'une poudre dont on connaît la température de fusion (solide étalon):
 - a) placer quelques grammes de cette poudre sur la plaque ;
 - b) à l'aide d'une spatule, déplacer la poudre lentement du froid vers le chaud, jusqu'à la position où elle fond ;
 - c) placer le curseur sur la position correspondant à la température de fusion du solide étalon.
3. Mesurer la température de fusion de la poudre inconnue en la déplaçant à son tour, du froid vers le chaud, sur la barre métallique.



➤ Un banc Kofler et son gradient de température.

15 L'extraction liquide-liquide

A Principe

➤ **Pourquoi faire une extraction liquide-liquide ?** Pour extraire une espèce chimique d'une solution.

➤ **Comment procéder ?** On transfère l'espèce à extraire dans un solvant pour lequel elle a plus d'affinité. Ce solvant est appelé solvant extracteur.

Ce solvant doit respecter deux critères :

- il doit être non miscible avec le solvant initial ;
- l'espèce à extraire doit avoir une plus grande solubilité dans le solvant extracteur choisi que dans le solvant dans lequel il se trouve initialement.

➤ **Pourquoi utiliser une ampoule à décanter ?**

- Elle permet une agitation efficace du mélange : toutes les gouttes du mélange hétérogène vont se rencontrer et l'espèce à extraire va rencontrer efficacement le solvant extracteur.
- Elle facilite la réalisation de la décantation et de la séparation des deux phases non miscibles grâce au robinet.

B Protocole

➤ Préparation

1. Fixer l'anneau sur une potence à l'aide d'une noix de serrage, puis positionner l'ampoule à décanter.
2. Vérifier que le robinet est fermé, puis introduire dans l'ampoule la solution contenant l'espèce à extraire, puis le solvant extracteur.

Usuellement, on mélange des volumes équivalents de solvant extracteur et de solution initiale.

➤ Dégazage

3. Placer le bouchon sur l'ampoule puis la prendre dans ses mains : l'une placée sur le robinet, l'autre sur le bouchon.
4. Retourner l'ampoule en l'orientant telle que le robinet soit dirigé vers une fenêtre ou un mur, **à l'opposé de toute personne présente**.
5. Ouvrir une première fois le robinet pour dégazer.
6. Fermer le robinet, puis agiter doucement.

Répéter les deux dernières étapes en agitant de plus en plus fort, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de dégagement gazeux.

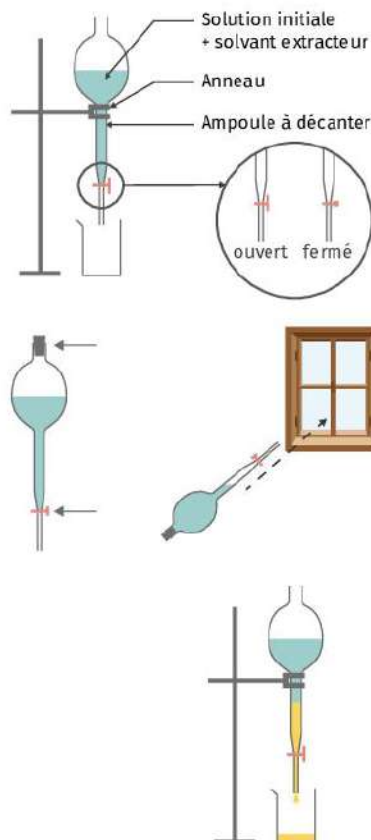
➤ Séparation

7. Reposer l'ampoule sur son support puis enlever le bouchon.
8. Attendre que les deux phases soient bien séparées.
9. En ouvrant/refermant le robinet, vider la phase la plus dense dans un premier bécher, puis la moins dense dans un second bécher.

Attention à la dernière goutte : la laisser tomber ou l'arrêter pour ne pas contaminer la solution qui nous intéresse.

Point sécurité

Si des solvants dangereux par inhalation sont utilisés, la manipulation doit se faire sous hotte aspirante.



16 La filtration

A Filtrations

➤ **Pourquoi effectuer une filtration ?** Pour séparer un solide d'un liquide.

➤ **Classique ou sous vide ?**

Une filtration classique est plus facile à mettre en place et demande moins de matériel.

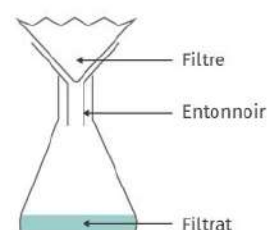
Une filtration sous vide est plus efficace mais nécessite un dispositif d'aspiration moins aisé à mettre en place.

Une filtration classique est très longue comparée à une filtration sous vide.

B Filtration classique

➤ Voici les étapes d'une filtration classique :

- placer de manière stable l'entonnoir au-dessus du bécher ou de l'erlenmeyer qui va recevoir le filtrat ;
- placer un papier filtre correctement plié dans l'entonnoir ;
- introduire le mélange hétérogène dans le filtre, puis attendre que la phase liquide descende dans le bécher ou dans l'erlenmeyer.



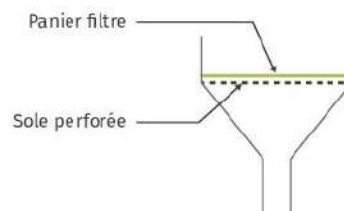
C Filtration sous vide

➤ **Principe**

À l'aide d'une trompe à eau, un vide partiel est réalisé dans la fiole à vide. Ceci permet au filtrat dans l'entonnoir Büchner d'être aspiré dans la fiole, ce qui rend la filtration plus efficace.

➤ **Protocole**

1. Fixer en premier la fiole à vide sur la potence à l'aide d'une pince trois doigts.
2. Positionner l'entonnoir Büchner sur la fiole.
3. Positionner un filtre adapté à l'intérieur de l'entonnoir.
4. Humidifier le filtre.
5. Installer la trompe à eau à la sortie d'un robinet, et la relier à la fiole à vide.
6. Ouvrir le robinet pour faire le vide dans la fiole.
7. Introduire le mélange à filtrer dans l'entonnoir.
8. Rincer le solide.
9. Une fois la filtration terminée, retirer **en premier** le tuyau de la fiole, puis arrêter le robinet.



➤ Un entonnoir Büchner.



REMARQUES

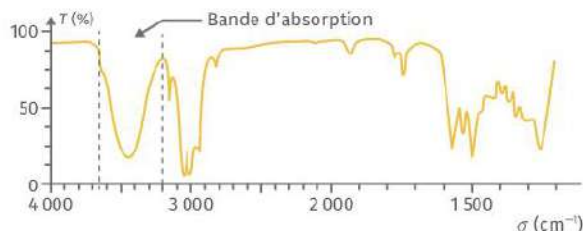
On peut utiliser une pompe électrique à la place d'une trompe à eau.

On peut utiliser un entonnoir avec un disque en verre fritté à la place d'un entonnoir Büchner.

17 La caractérisation par spectroscopie infrarouge

A Principe

➤ La **spectroscopie infrarouge** consiste à mesurer l'absorption de rayonnement infrarouge par l'échantillon à analyser. L'absorption de rayonnement se traduit par la présence de **bandes d'absorption** caractéristiques de certaines liaisons.



L'identification de ces liaisons permet de déterminer les **groupes caractéristiques** présents dans la molécule et ainsi déterminer la **famille** à laquelle elle appartient.

B Bandes d'absorption et liaisons

Liaison	Nombre d'ondes σ (cm^{-1})	Liaison	Nombre d'ondes σ (cm^{-1})
O – H (sans liaison hydrogène)	3580-3650 (bande fine)	O – H _{acide carboxylique}	2500-3200
O – H (avec liaison hydrogène)	3200-3400 (bande large)	C = O _{ester}	1700-1740
N – H	3100-3500	C = O _{aldéhyde, cétone}	1650-1730
C – H	2800-3100	C = O _{acide}	1680-1710
C – H _{aldéhyde}	2750-2900	C = C	1625-1685

C Famille chimique et groupe caractéristique

Famille	Alcène	Alcool	Aldéhyde	Cétone	Acide carboxylique	Ester	Amine	Amide
Groupe caractéristique	>C=C<	—C—OH	—C(=O)H	C—C(=O)—	—C(=O)OH	R—C(=O)O—C	—N—	—C(=O)N—
Nom du groupe caractéristique	Alcène	Hydroxyde	Carbonyle	Carbonyle	Carboxyle	Ester	Amine	Amide

Numérique

Fiches méthode 18 et 19 sur l'utilisation d'un spectrophotomètre et la CCM à retrouver sur [LLS.fr/PC1FM18](https://lls.fr/PC1FM18) [LLS.fr/PC1FM19](https://lls.fr/PC1FM19)

20 L'utilisation de l'oscilloscope ou d'un logiciel d'acquisition

A Oscilloscope

A : Oscillogramme : écran de visualisation du signal.

B : Mise au point de l'image du signal sur l'oscilloscope.

C : Réglage de la position de l'image par rapport à l'échelle de l'oscillogramme.

D : Échelle de tension en ordonnée, aussi appelée sensibilité verticale.

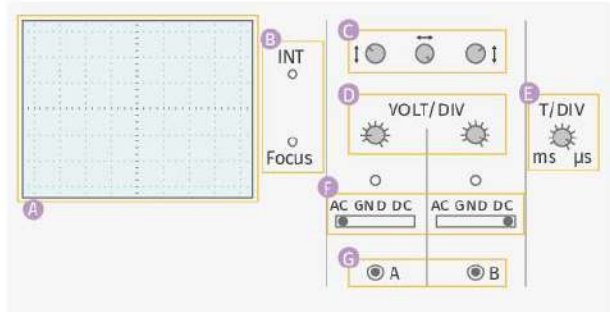
E : Échelle de temps en abscisse, aussi appelée sensibilité horizontale.

F : AC : *alternating current*, visualisation de la partie alternative du signal.

DC : *direct current*, visualisation complète du signal, parties continue et alternative.

GND : *ground*, visualisation d'un signal nul, utile pour positionner correctement l'image par rapport à l'échelle.

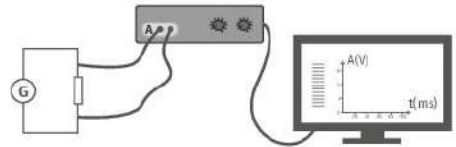
G : Branchements.



B Logiciel d'acquisition en mode oscilloscope

> Visualisation du signal

1. Brancher les câbles à la boîte d'acquisition, relier la boîte à l'ordinateur, ouvrir le logiciel et la page correspondante à la fonction oscilloscope.
2. Effectuer les réglages nécessaires pour visualiser le signal reçu en fonction du temps.
3. Régler la fréquence d'échantillonnage de façon à ce qu'elle soit au moins 5 fois supérieure à celle du signal enregistré.

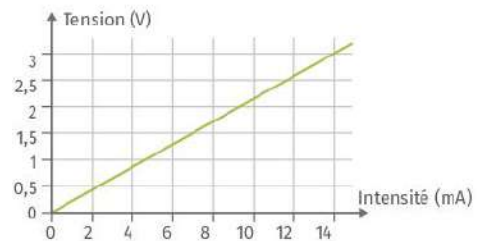


> Création d'une fonction

L'oscilloscope ne permet de faire que l'acquisition de tensions électriques. Un logiciel d'acquisition permet de créer des fonctions qui donnent l'évolution d'autres grandeurs physiques lorsque la relation qui les lie à la tension est introduite.

Ex. : on peut obtenir l'évolution de l'intensité qui traverse une résistance R connue en mesurant la tension à ses bornes et en introduisant la fonction $I = \frac{U}{R}$.

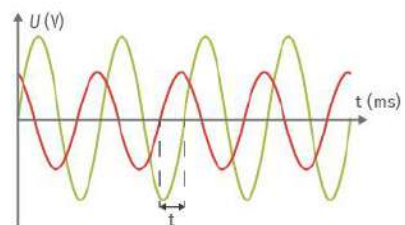
Caractéristique de la résistance



C Deux signaux

> Superposition de deux signaux

Sur l'oscilloscope, tout comme sur le système d'acquisition, il est possible de visualiser deux signaux en même temps. Ceci permet notamment de déterminer le retard ou l'avance d'un signal sur un autre.



21 Le pointage vidéo

A Le pointage vidéo

Le pointage vidéo permet d'étudier quantitativement un mouvement. On identifie les positions du corps au cours du temps, lors de son mouvement enregistré en vidéo.

Un pointage peut être réalisé à l'aide de divers logiciels et applications, cependant tous suivent ces principales étapes.

1. Réaliser la vidéo du mouvement que l'on souhaite étudier, en plaçant dans le champ un objet ou un repère qui sert d'étalon.
2. Ouvrir la vidéo dans le logiciel, et se placer au début du mouvement.
3. Étalonner la vidéo, c'est-à-dire indiquer au logiciel la valeur de l'étalon.
4. Placer des axes d'échelle d'espace, x et y par exemple.
5. Choisir un point de l'objet visible durant toute la vidéo et qui suit le mouvement que l'on souhaite étudier.
6. Cliquer sur le point choisi le nombre de fois suffisant pour couvrir entièrement le mouvement.
7. Extraire un tableau de données comportant les valeurs de temps et d'espaces correspondant au pointage.

 Retrouver toutes les vidéos d'expérience sur [LLS.fr/PC1P397](https://lls.fr/PC1P397)



B Exploitation d'un pointage : évolution de la vitesse

La détermination de la vitesse moyenne peut se calculer entre deux temps de pointage consécutifs ou sur un intervalle autour de l'instant considéré ($\Delta t = t_{i+1} - t_{i-1}$). C'est la première approche qui est explicitée ici.

1. Évolution de v_x

- Dans le tableur extrait, créer une nouvelle colonne v_x ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).
- Dans la seconde case de cette colonne, écrire : $v_x(M_i) = \frac{x_{i+1} - x_i}{t_{i+1} - t_i}$.
- Faire dérouler jusqu'à l'avant-dernière case.

2. Évolution de v_y

- Créer une nouvelle colonne v_y ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).
- Dans la seconde case de cette colonne, écrire la formule :

$$v_y(M_i) = \frac{y_{i+1} - y_i}{t_{i+1} - t_i}$$

- Faire dérouler jusqu'à l'avant-dernière case.

3. Évolution de v (utile pour calcul de l'énergie cinétique)

- Créer une nouvelle colonne v ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).
- Dans la seconde case de la colonne, écrire la formule :

$$v(M_i) = \sqrt{v_x^2(M_i) + v_y^2(M_i)}$$

- Faire dérouler jusqu'à l'avant-dernière case.

	A	B	C	D	E
1	Chute parabolique				
2	t (s)	x (m)	y (m)	vx (m/s)	vy (m/s)
3	0	0,05	0,16	$= (B3 - B2) / (C3 - C2)$	
4	0,04	0,13	0,31		
5	0,08	0,21	0,45		
6	0,12	0,29	0,57		
7	0,16	0,38	0,69		

	A	B	C	D	E
1	Chute parabolique				
2	t (s)	x (m)	y (m)	vx (m/s)	vy (m/s)
3	0	0,05	0,16		$= (E3 - E2) / (C3 - C2)$
4	0,04	0,13	0,31		
5	0,08	0,21	0,45		
6	0,12	0,29	0,57		
7	0,16	0,38	0,69		

	B	C	D	E	F
1					
2	x (m)	y (m)	vx (m/s)	vy (m/s)	v (m/s)
3	0,05	0,16	2	3,75	$= \text{RACINE}((C3^2 + E3^2))$
4	0,13	0,31	2	3,5	
5	0,21	0,45	2	3	
6	0,29	0,57	2,25	3	
7	0,38	0,69	2,375	4,3125	

Numérique 

Fiches méthode 22 et 23 à retrouver sur [LLS.fr/PC1FM22-23](https://lls.fr/PC1FM22-23)

QCM : ① 1. B. - 2. C. - 3. B.
② 1. B. - 2. C. - 3. A.
③ 1. C. - 2. B. - 3. C

Jeopardy : ④ a. Dans quelle unité s'exprime le volume molaire V_m ? b. À quoi correspond la masse molaire de l'eau ?

Parcours d'apprentissage :

⑭ • $M(\text{CH}_2\text{O}) = 30,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
 $M(\text{O}_3) = 48,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
 $M(\text{SO}_2) = 64,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

⑮ • $M(\text{K}^+) = M(\text{K}) = 39,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
 $M(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 97,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
 $M(\text{HCO}_3^-) = 61,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

⑯ 1. $M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.
2. La quantité de matière de saccharose dans le morceau de sucre est :

$$n(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = \frac{m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})}{M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})} = \frac{3}{342} = 9 \times 10^{-3} \text{ mol}.$$

⑰ 1. La quantité de matière de CO_2 émise est :

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = 2,52 \times 10^2 \text{ mol}.$$

2. Le véhicule ne bénéficie pas du bonus car $n(\text{CO}_2) > 4,55 \times 10^1 \text{ mol}$.

⑱ 1. La masse molaire de la silice est : $M(\text{SiO}_2) = 60,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

2. La masse moyenne d'un cristal de quartz est :

$$m(\text{SiO}_2) = M(\text{SiO}_2) \cdot n(\text{SiO}_2) = 60,1 \times 3,33 \times 10^{-12} = 2,00 \times 10^{-10} \text{ g}.$$

⑲ 1. La quantité de matière en ions calcium et magnésium est :

$$n(\text{Ca}^{2+}) = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{M(\text{Ca}^{2+})} = \frac{84 \times 10^{-3}}{40,1} = 2,1 \times 10^{-3} \text{ mol} ;$$

$$n(\text{Mg}^{2+}) = \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{M(\text{Mg}^{2+})} = \frac{24 \times 10^{-3}}{24,3} = 9,9 \times 10^{-4} \text{ mol}.$$

2. La dureté de cette eau est : $21 + 9,9 = 30,9^\circ\text{TH}$.

3. L'eau de ce puits est considérée comme une eau dure.

⑳ 1. $V_m = \frac{V}{n}$

2. $n = \frac{V}{V_m}$

La quantité de gaz est :

$$n(\text{N}_2\text{O}) = \frac{V(\text{N}_2\text{O})}{V_m} = \frac{0,30}{1,62} = 0,19 \text{ mol}$$

3. $M(\text{N}_2\text{O}) = 44,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

4. La masse de gaz contenu est : $m(\text{N}_2\text{O}) = M(\text{N}_2\text{O}) \cdot n(\text{N}_2\text{O}) = 8,4 \text{ g}$.

㉑ 1. La quantité de gaz est :

$$n(\text{N}_2\text{O}) = \frac{V(\text{N}_2\text{O})}{V_m} = \frac{37}{1,62} = 22,8 \text{ mol}.$$

2. La masse de gaz est : $m(\text{N}_2\text{O}) = M(\text{N}_2\text{O}) \cdot n(\text{N}_2\text{O}) = 1,00 \text{ kg}$.

㉒ • La masse de gaz est :
 $m(\text{N}_2\text{O}) = M(\text{N}_2\text{O}) \cdot n(\text{N}_2\text{O}) = M(\text{N}_2\text{O}) \cdot \frac{V(\text{N}_2\text{O})}{V_m} = 12,0 \text{ kg}.$

㉓ 1.

Composé	Cu	Zn	Ni	Cr	SO_4^{2-}
$n(\text{mmol})$	0,252	0,107	0,306	0,423	1,31
$m(\text{g}\cdot\text{mol}^{-1})$	63,5	65,4	58,7	52,0	96,1
$M(\text{mg})$	16,0	7,00	18,0	22,0	126
$m_{\text{max}}(\text{mg})$	0,10	15,0	15,0	15,0	150

2. Cet incident de vanne peut avoir des conséquences, les rejets en cuivre, nickel et chrome sont trop élevés.

QCM : ① 1. C. - 2. B. - 3. A. et B.
② 1. C. - 2. B. et C. - 3. A.
③ 1. A. - 2. B. - 3. C. - 4. C.

Jeopardy : ④ a. De quelle couleur serait une solution qui absorbe le magenta ? b. Pour quelle longueur d'onde une solution colorée possède-t-elle une absorbance maximale ?

Parcours d'apprentissage :

⑨ 1. La concentration en quantité de matière d'éosine est :

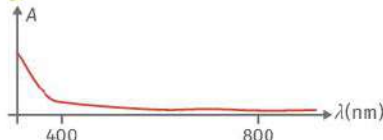
$$c = \frac{\gamma}{M} = \frac{20,0}{694} = 2,88 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}.$$

2. La quantité de matière d'éosine contenue dans l'unidosé est : $n = c \cdot V = 5,76 \times 10^{-5} \text{ mol}$.

⑪ 1. On observe un pic d'absorbance entre 600 et 700 nm dans le rouge et une extinction entre 400 et 500 nm. La solution est donc bleue.

2. Il faut régler le spectromètre à la longueur d'onde correspondant à l'absorbance maximale, soit 670 nm.

3.



⑫ • La concentration en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ est :

$$c = \frac{A}{\epsilon \cdot l} = \frac{0,05}{2,3 \times 10^4 \times 1,0} = 2,2 \times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}.$$

$$\gamma = c \cdot M = 1,2 \times 10^{-3} \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}.$$

⑬ 1. La courbe correspondant à la solution acide est la courbe 3 car elle possède un pic d'absorbance

vers 400 nm (bleu). La couleur complémentaire du bleu est le jaune, couleur du BBT en solution acide. Celle correspondant à la solution basique est la courbe 1 car elle possède un pic d'absorbance à 610 nm (orange). La couleur complémentaire du orange est le bleu, couleur du BBT en solution basique.

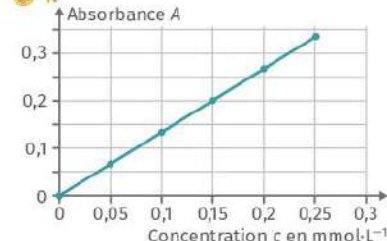
2. $\epsilon = \frac{A}{l \cdot c} = \frac{1}{1,0 \times 3,0 \times 10^{-6}} = 3 \times 10^5 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}.$

⑭ 1. L'absorbance A_3 vaut : $A_3 = A_1 + A_2 = 1,2 + 0,4 = 1,6$.

2. L'absorbance A_4 vaut :

$$A_4 = A_1 + \frac{A_2}{2} = 1,2 + \frac{0,4}{2} = 1,4.$$

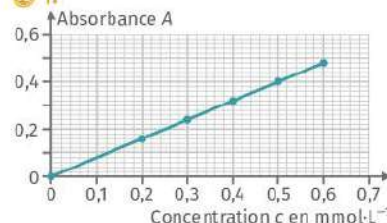
⑮ 1.



2. La concentration de la solution est $c_{\text{inc}} = 0,16 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

3. $\epsilon_{540} = \frac{A}{l \cdot c} = \frac{0,21}{1,0 \times 0,16 \times 10^{-3}} = 1,3 \times 10^3 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}.$

⑯ 1.



2. La concentration de la solution est $c_{\text{inc}} = 0,39 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

3. $\epsilon_{540} = \frac{A}{l \cdot c} = \frac{0,31}{1,0 \times 0,39 \times 10^{-3}} = 7,9 \times 10^2 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}.$

⑳ 1. SGH 07 : irritant et SGH 09 : dangereux pour l'environnement.

2. Il faut porter une blouse, des gants et des lunettes de protection.

3. La masse de chlorure d'hydrogène gazeux dissous dans l'eau est : $m_{\text{solution}} = \rho \cdot V = 1,2 \times 10^3 \text{ g}$.

$$m(\text{HCl}) = 0,23 \times 1,1 \times 10^3 = 2,5 \times 10^2 \text{ g}.$$

4. La concentration en masse d'acide chlorhydrique est :

$$\gamma = \frac{m}{V} = \frac{2,5 \times 10^2}{1,0} = 2,6 \times 10^2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}.$$

5. La masse molaire moléculaire du chlorure d'hydrogène est : $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

6. La concentration en quantité de matière d'acide chlorhydrique est :

$$c_{\text{mère}} = \frac{\gamma}{M} = \frac{2,6 \times 10^2}{36,5} = 7,2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

7. Le volume de solution du commerce à prélever est :

$$V_{\text{mère}} = 30\% \times V_{\text{fille}} = 150 \text{ mL}.$$

8. La quantité de matière d'acide chlorhydrique est :

$$n_{\text{fille}} = c_{\text{mère}} \cdot V_{\text{fille}} = 1,1 \text{ mol}.$$

9. La concentration en quantité de matière d'acide chlorhydrique est :

$$c_{\text{fille}} = \frac{n_{\text{fille}}}{V_{\text{fille}}} = \frac{1,1}{500 \times 10^{-3}} = 2,2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Chapitre 3

p. 48

QCM : 1. B. - 2. A. - 3. B.

2. 1. A. - 2. B. - 3. B.

3. 1. C. - 2. C. - 3. A.

Jeopardy : a. Que peut-on dire de la réaction si l'avancement final est inférieur à l'avancement maximal ?
b. Que peut-on dire de l'avancement lorsque la réaction se fait dans les conditions stœchiométriques ?

Parcours d'apprentissage :

15. $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$.

2. a. Vrai. b. Vrai.

16. 1. a. $n_0(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{m(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = 1,88 \times 10^{-2} \text{ mol}.$

b. $x_{\text{max}} = n_0(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 1,88 \times 10^{-2} \text{ mol}.$

c. $n_0(\text{Al}) = 2n_0(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 3,76 \times 10^{-2} \text{ mol}.$

d. $m(\text{Al}) = M(\text{Al}) \cdot n_0(\text{Al}) = 1,02 \text{ g}.$

2. La masse des produits formés est :

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = x_{\text{max}} \cdot M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1,92 \text{ g}.$$

$$m(\text{Fe}) = 2x_{\text{max}} \cdot M(\text{Fe}) = 2,10 \text{ g}.$$

$$m_{\text{produits}} = m(\text{Al}_2\text{O}_3) + m(\text{Fe}) = 4,02 \text{ g}.$$

3. La masse se conserve bien au cours de la transformation chimique.

16. 1. La quantité de matière initiale en butane-2,3-dione est :

$$n_0(\text{b}) = \frac{\rho(\text{b}) \cdot V(\text{b})}{M(\text{b})} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol}.$$

La quantité de matière initiale en méthylamine est :

$$n_0(\text{m}) = \frac{m(\text{m})}{M(\text{m})} = 1,1 \times 10^{-2} \text{ mol}.$$

$\text{C}_2\text{O}_2(\text{CH}_3)_2 + \text{NH}_2\text{CH}_3 \rightarrow \text{COCN}(\text{CH}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$				
$n_0(\text{b})$	$n_0(\text{m})$	0	0	
$n_0(\text{b}) - x$	$n_0(\text{m}) - x$	x	x	
$n_0(\text{b}) - x_f$	$n_0(\text{m}) - x_f$	x_f	x_f	

3. Le réactif limitant est le butane-2,3-dione. Les quantités de matière finales sont $n_f(\text{eau}) = n_f(\text{i}) = x_f = n_0(\text{b}) = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol}.$

22. 1. Les proportions de A et B à respecter pour être dans les conditions stœchiométriques sont : $n_0(\text{A}) = n_0(\text{B}).$

2. La masse se conserve au cours de la transformation chimique, donc $m_{\text{A}} + m_{\text{B}} = m_{\text{C}} + m_{\text{D}}.$

3. La proportion des quantités de matière de C et D est :

$$n_{\text{C}} = n_{\text{D}} = n_0(\text{A}) = n_0(\text{B}).$$

23. 1. Les proportions de A et B à respecter pour être dans les conditions stœchiométriques sont :

$$\frac{n_0(\text{A})}{2} = n_0(\text{B}).$$

2. La masse se conserve au cours de la transformation chimique, donc

$$m_{\text{A}} + m_{\text{B}} = m_{\text{C}} + m_{\text{D}}.$$

3. La proportion des quantités de matière de C et D est :

$$n_{\text{C}} = n_0(\text{B}) \text{ et } n_{\text{D}} = n_0(\text{A}) = 2n_0(\text{B}).$$

24. 1. Les proportions de A et B à respecter sont : $\frac{n_0(\text{A})}{2} = \frac{n_0(\text{B})}{3}.$

2. La masse se conserve au cours de la transformation chimique, donc $m_{\text{A}} + m_{\text{B}} = m_{\text{C}} + m_{\text{D}}.$

3. La proportion des quantités de matière de C et D est :

$$n_{\text{C}} = n_{\text{D}} = n_0(\text{A}) = \frac{2}{3} n_0(\text{B}).$$

25. 1. Les ions qui vont réagir sont H^+ et HO^- . Les ions spectateurs sont Na^+ et Cl^- . L'équation bilan est : $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}).$

2.

$\text{H}^+(\text{aq})$	+	$\text{HO}^-(\text{aq})$	$\rightarrow$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
$n_0(\text{H}^+)$		$n_0(\text{HO}^-)$		0
$n_0(\text{H}^+) - x$		$n_0(\text{HO}^-) - x$		x
$n_0(\text{H}^+) - x_f$		$n_0(\text{HO}^-) - x_f$		x_f

3. $n_0(\text{H}^+) = c(\text{H}^+) \cdot V(\text{H}^+) = 2,0 \times 10^{-2} \times 10 \times 10^{-3} = 2,0 \times 10^{-4} \text{ mol}.$

$n_0(\text{HO}^-) = c(\text{HO}^-) \cdot V(\text{HO}^-) = 1,0 \times 10^{-2} \times 10 \times 10^{-3} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ mol}.$

Le réactif limitant est donc HO^- . L'avancement final est $x_f = n_0(\text{HO}^-).$

$$\begin{aligned} n_f(\text{H}^+) &= n_0(\text{H}^+) - x_f \\ &= n_0(\text{H}^+) - n_0(\text{HO}^-) \\ &= 2,0 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-4} \\ &= 1,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \end{aligned}$$

$$n_f(\text{HO}^-) = 0 \text{ mol}.$$

26. 1. $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g}).$

2.

$\text{N}_2(\text{g})$	+	$3\text{H}_2(\text{g})$	$\rightarrow$	$2\text{NH}_3(\text{g})$
2,0 mol		2,0 mol		0
2,0 - x		2,0 - 3x		2x
2,0 - x_f		2,0 - 3x_f		2x_f

L'avancement maximal est :

$$2,0 - 3x_{\text{max}} = 0 \text{ donc}$$

$$x_{\text{max}} = \frac{2,0}{3} = 6,0 \times 10^{-1} \text{ mol}.$$

L'avancement final est :

$$2x_f = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol donc}$$

$$x_f = \frac{5,0 \times 10^{-2}}{2} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol}.$$

Donc $x_f < x_{\text{max}}.$

3. La réaction n'est pas totale.

31. 1.

$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq}) + 2\text{I}^-(\text{aq}) \rightarrow 2\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{I}_2(\text{s})$				
$n_0(\text{S}_2\text{O}_8^{2-})$	$n_0(\text{I}^-)$	0	0	
$n_0(\text{S}_2\text{O}_8^{2-}) - x$	$n_0(\text{I}^-) - 2x$	2x	x	
$n_0(\text{S}_2\text{O}_8^{2-}) - x_{\text{max}}$	$n_0(\text{I}^-) - 2x_{\text{max}}$	$2x_{\text{max}}$	x_{max}	

2. $n(\text{I}_2) = x$ donc $[\text{I}_2] = \frac{n(\text{I}_2)}{V_{\text{total}}} = \frac{x}{V_1 + V_2}.$

3. L'avancement maximal est :

$$[\text{I}_2] = 5,0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ donc}$$

$$x_{\text{max}} = [\text{I}_2] \cdot (V_1 + V_2) = 1,5 \times 10^{-4} \text{ mol}.$$

4. Si $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ est le réactif limitant alors

$$\begin{aligned} [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}] &= \frac{n_0(\text{S}_2\text{O}_8^{2-})}{V} = \frac{x_{\text{max}}}{V_1} \\ &= \frac{1,5 \times 10^{-4}}{10 \times 10^{-3}} = 15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}. \end{aligned}$$

5. Si I^- est le réactif limitant alors

$$[\text{I}^-] = \frac{n_0(\text{I}^-)}{V_2} = \frac{x_{\text{max}}}{2V_2} = 3,8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Chapitre 4

p. 66

QCM : 1. A. - 2. B.

2. 1. B. - 2. B. - 3. A. et B.

3. 1. A. - 2. A. - 3. B.

Jeopardy : a. Quel couple redox correspond à la demi-équation : $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq}) + 2\text{e}^- = 2\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$?

b. Quelle espèce chimique est oxydée et quelle espèce chimique est réduite dans l'équation bilan : $\text{Ni}(\text{s}) + \text{I}_2(\text{aq}) \rightarrow \text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{I}^-(\text{aq})$?

Parcours d'apprentissage :

11. 1. $\text{Na}^+(\text{aq})/\text{Na}(\text{s})$ et $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{H}_2(\text{g}).$

2. Les 2 demi-équations mises en jeu sont : $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- = \text{Na}(\text{s})$ et $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- = \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{HO}^-(\text{aq}).$

12. 1. $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) \rightarrow 2\text{Al}^{3+}(\text{l}) + 3\text{O}^{2-}(\text{l}).$

2. Réduction de Al^{3+} en Al :

$$\text{Al}^{3+}(\text{l}) + 3\text{e}^- = \text{Al}(\text{s}).$$

Oxydation de O^{2-} en O_2 :

$$2\text{O}^{2-}(\text{l}) = \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{e}^-.$$

3. $4\text{Al}^{3+}(\text{l}) + 6\text{O}^{2-}(\text{l}) \rightarrow 4\text{Al}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g}).$

4. La masse d'aluminium et de dioxygène obtenue à partir de 1,0 tonne d'alumine est :

$$\begin{aligned} n_0(\text{Al}_2\text{O}_3) &= \frac{m(\text{Al}_2\text{O}_3)}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} \\ &= \frac{1 \times 10^6}{2 \times 27,0 + 3 \times 16,0} \\ &= 9,8 \times 10^3 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\frac{n_0(\text{Al}_2\text{O}_3)}{2} = \frac{n_f(\text{Al})}{4} = \frac{n_f(\text{O}_2)}{3}$$

$$\text{alors } n_f(\text{Al}) = 2 n_0(\text{Al}_2\text{O}_3)$$

$$= 2 \times 9,8 \times 10^3 = 2,0 \times 10^4 \text{ mol}$$

$$\text{donc } m(\text{Al}) = n_f(\text{Al}) \cdot M(\text{Al})$$

$$= 2,0 \times 10^4 \times 27,0 = 0,53 \text{ tonne}$$

$$n_f(\text{O}_2) = \frac{3}{2} n_0(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{3}{2} \times 9,8 \times 10^3$$

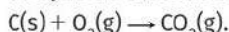
$$= 1,5 \times 10^4 \text{ mol}$$

$$n_f(\text{O}_2) \cdot 2M(\text{O}) = 1,5 \times 10^4 \times 2 \times 16,0$$

$$= 0,47 \text{ tonne}$$

$$\text{ou } m(\text{O}_2) = m(\text{Al}_2\text{O}_3) - m(\text{Al}).$$

5. L'équation bilan de formation du dioxyde de carbone est :



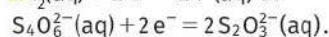
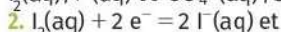
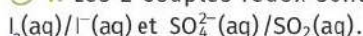
6. La masse minimale de carbone à ajouter est :

$$n_0(\text{O}_2) = n_0(\text{C}) = 1,5 \times 10^4 \text{ mol donc}$$

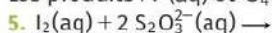
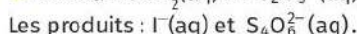
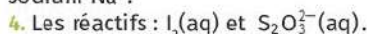
$$m(\text{C}) = n_0(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 1,5 \times 10^4 \times 12,0$$

$$= 1,5 \times 10^4 = 0,18 \text{ tonne.}$$

13. 1. Les 2 couples redox sont :



3. Les ions spectateurs sont les ions sodium Na^+ .

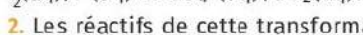


6. Pour que le mélange soit dans les proportions stœchiométriques, il

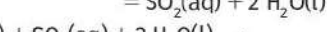
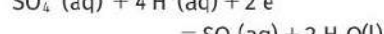
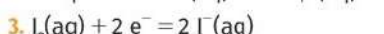
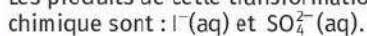
$$\text{faut que : } n_0(\text{I}_2) = \frac{n_0(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})}{2} \text{ donc}$$

$$n_0(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 2n_0(\text{I}_2) = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

14. 1. Les 2 couples redox sont :



2. Les réactifs de cette transformation chimique sont $\text{I}_2(\text{aq})$ et $\text{SO}_2(\text{aq})$. Les produits de cette transformation chimique sont : $\text{I}^-(\text{aq})$ et $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$.

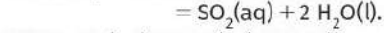
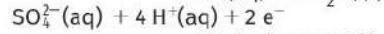
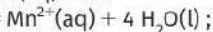
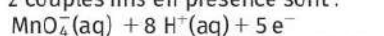
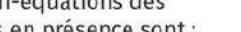
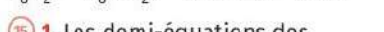


4. Pour que le mélange soit dans les proportions stœchiométriques :

$$n_0(\text{I}_2) = n_0(\text{SO}_2) = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

15. 1. Les demi-équations des

2 couples mis en présence sont :



3. Pour que le mélange soit dans les proportions stœchiométriques,

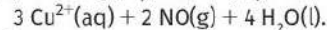
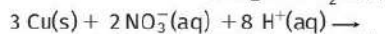
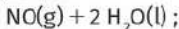
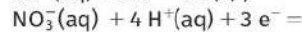
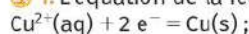
$$\text{il faut que : } \frac{n_0(\text{MnO}_4^-)}{2} = \frac{n_0(\text{SO}_2)}{5}$$

$$\text{donc } n_0(\text{SO}_2) = \frac{5}{2} n_0(\text{MnO}_4^-)$$

$$= \frac{5}{2} \times 1,00 \times 10^{-2} = 2,50 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

16. 1. a. 2. a. et b. 3. a. et c.

21. 1. L'équation de la réaction est :



2. Il faut porter une blouse, des lunettes de protection, des gants et travailler sous hotte aspirante.

3. La masse de cuivre perdue est :

$$m(\text{Cu}) = m_1 - m_2 = 0,800 \text{ g.}$$

La quantité de cuivre ayant réagi est :

$$n(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} = \frac{0,8000}{63,6}$$

$$= 1,258 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

Le volume d'acide dans la cuve est :

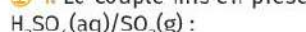
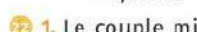
$$V = 11 \times 10^3 \text{ cm}^3 = 11 \text{ L. } n_{\text{disparu}}(\text{Cu})$$

$$= n_{\text{formé}}(\text{Cu}^{2+}) \text{ donc}$$

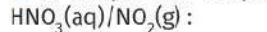
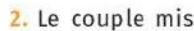
$$[\text{Cu}^{2+}] = \frac{n_{\text{formé}}(\text{Cu}^{2+})}{V} = \frac{1,258 \times 10^{-2}}{11}$$

$$= 1,1 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

22. 1. Le couple mis en présence est

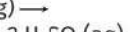
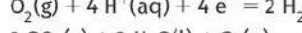
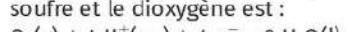


2. Le couple mis en présence est



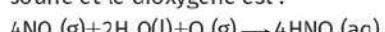
3. La réaction entre le dioxyde de

soufre et le dioxygène est :



4. La réaction entre le dioxyde de

soufre et le dioxygène est :



5. La quantité d'acide reçu par le

champ est :

$$n = c \cdot V = 3,0 \times 10^2 \text{ mol.}$$

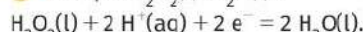
6. Le volume de dioxyde de soufre

émis est :

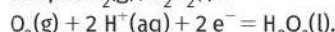
$$V = n \cdot V_m = 3,0 \times 10^2 \times 22,4$$

$$= 6,7 \times 10^3 \text{ L} = 6,7 \text{ m}^3.$$

23. • Couple $\text{H}_2\text{O}_2(\text{l})/\text{H}_2\text{O(l)} :$



Couple $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) :$

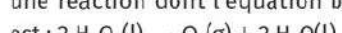


H_2O_2 est à la fois l'oxydant du couple

$\text{H}_2\text{O}_2(\text{l})/\text{H}_2\text{O(l)}$ et le réducteur du

couple $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}_2(\text{l})$, ce qui donne

une réaction dont l'équation bilan



QCM : 1. C. - 2. B. - 3. A.

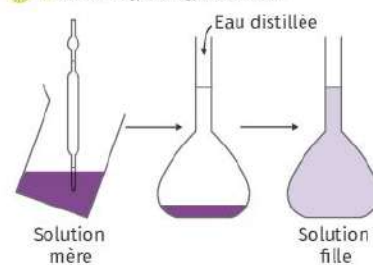
2. 1. A. - 2. B. - 3. B.

3. 1. B. - 2. C. - 3. C.

Jeopardy : a. Que peut-on dire des réactifs lorsqu'ils ont intégralement été consommés ? b. Comment repérer l'équivalence lorsque l'on titre une espèce colorée par une espèce incolore ?

Parcours d'apprentissage :

1. Schéma de la dilution



2. Ce n'est pas un titrage, c'est un dosage par étalonnage.

14. • Avant de souffler, le test est orange (ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) et devient vert (Cr^{3+}) si le test est positif.

17. •

		$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl(s)}$		
État initial	0	6,0	3,0	0
État intermédiaire	x	$6,0 - x$	$3,0 - x$	x

Le réactif titrant (Ag^+) est en excès, on est après l'équivalence.

18. • Avant l'équivalence, HO^- est en excès.

	$\text{H}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{O(l)}$		
État initial	$n_0(\text{H}^+)$	$n_0(\text{HO}^-)$	excès
État final	0	$n_0(\text{HO}^-) - x_f$	excès

• Après l'équivalence, H^+ est en excès.

	$\text{H}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{O(l)}$		
État initial	$n_0(\text{H}^+)$	$n_0(\text{HO}^-)$	excès
État final	$n_0(\text{HO}^-) - x_f$	0	excès

19. 1.

	$5 \text{H}_2\text{O}_2 + 2 \text{MnO}_4^- + 6 \text{H}^+ \rightarrow$		
État initial	$n_0(\text{H}_2\text{O}_2)$	$n_0(\text{MnO}_4^-)$	excès
État final	$n_0(\text{H}_2\text{O}_2) - 5x_f$	$n_0(\text{MnO}_4^-) - 2x_f$	excès

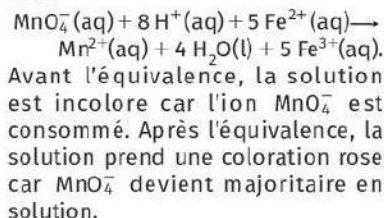
2. À l'équivalence : $n_0(\text{H}_2\text{O}_2) - 5x_f = 0$ et $n_0(\text{MnO}_4^-) - 2x_f = 0$.

$$\text{Soit } x_f = \frac{n_0(\text{H}_2\text{O}_2)}{5} = \frac{n_0(\text{MnO}_4^-)}{2}.$$

$$\text{Donc } n_0(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{5}{2} n_0(\text{MnO}_4^-) \\ = \frac{5}{2} \times 4,2 = 10,5 \text{ mol.}$$

- 24 a. Le mélange n'est pas dans les proportions stœchiométriques.
b. Le mélange n'est pas dans les proportions stœchiométriques.
c. Le mélange est dans les proportions stœchiométriques.

22 • La réaction de support du dosage est :



26 1. a. Prélever à l'aide d'une pipette jaugée 25 mL de la solution titrée (solution d'acide oxalique).

b. Verser la solution dans un erlenmeyer de 250 mL.

c. Placer la solution titrante dans la burette.

d. Placer l'erlenmeyer sur un agitateur magnétique et mettre le barreau aimanté dans l'erlenmeyer.

e. Placer la burette au-dessus de l'erlenmeyer et verser doucement la solution titrante. L'équivalence est repérée par la coloration persistante de la solution titrée.

2. À l'équivalence, on a :

$$\frac{n(\text{MnO}_4^-)}{2} = \frac{n(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4)}{5}$$

3. La concentration en acide oxalique

$$\text{est : } c(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4) = \frac{5[\text{MnO}_4^-] \cdot V_E}{2V} \\ = \frac{5 \times 0,10 \times 10,3 \times 10^{-3}}{2 \times 25,0 \times 10^{-3}} = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Chapitre 6 p. 110

QCM : 1. C. - 2. C. - 3. A.

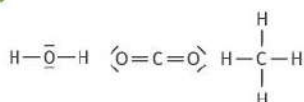
2. 1. C. - 2. A. - 3. B.

3. 1. B. - 2. A. - 3. C.

Jeopardy : 4 a. Combien de liaisons covalentes l'atome de carbone peut-il former ? b. Quelle est la géométrie de la molécule de méthane CH_4 ?

Parcours d'apprentissage :

12 •



15 •



La molécule est coudée car l'atome

d'oxygène possède 2 doublets non liants en plus de réaliser 2 liaisons covalentes.

16 • Les 2 liaisons polarisées sont les liaisons C — Mg et Mg — Br car il y a une différence d'électronégativité importante entre ces atomes.

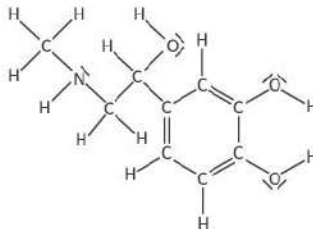
17 • Le dichlorométhane est une molécule polaire car il possède 2 liaisons C — Cl qui sont polarisées. Les polarisations des liaisons ne se compensent pas dans la molécule. Le cyclohexane n'est pas un solvant polaire, la liaison C — H n'est pas polarisée.

18 1. La formule brute de l'adrénaline est : $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{NO}_3$.

2.

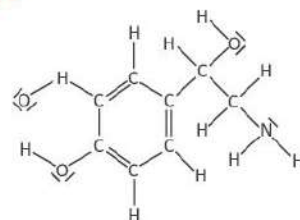
Atome	Configuration électronique	Nombre de liaisons possibles
H	$1s^1$	1
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	4
N	$1s^2 2s^2 2p^3$	3
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	2

3.



19 • Les atomes de carbone du cycle benzénique ont une géométrie triangulaire car ils forment 3 liaisons covalentes (2 simples et 1 double).

20 •



Autour de l'atome d'azote, la géométrie est pyramidale à base triangulaire.

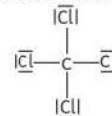
26 • Le chlorométhane est plus polaire que le dichlorométhane qui est plus polaire que le chloroforme.

28 • 1^{er} erreur : On compare souvent le soufre à l'oxygène car ils sont de la même famille d'éléments (même colonne).

2^e erreur : $\text{H}-\text{S}-\text{H}$

L'atome de soufre respecte la règle de l'octet alors que les atomes d'hydrogène respectent la règle du duet.
3^e erreur : La géométrie de la molécule de sulfure d'hydrogène est coudée.

31 1. Le modèle de Lewis de CCl_4 est :



2. L'atome de carbone est tétraédrique.

3. Les liaisons C — Cl sont polarisées car il y a une différence d'électronégativité entre C et Cl.

4. La molécule de tétrachlorure de carbone est apolaire car elle est symétrique. Les polarisations des liaisons C — Cl se compensent et s'annulent.

Chapitre 7

p. 130

QCM : 1. A. - 2. B. - 3. A.

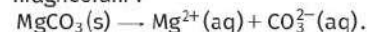
2. 1. A. - 2. C. - 3. A.

3. 1. C. - 2. A. - 3. A.

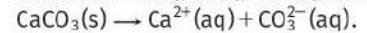
Jeopardy : 4 a. Qu'est-ce qu'une molécule amphiphile ? b. Qu'est-ce qu'une émulsion ?

Parcours d'apprentissage :

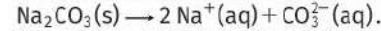
11 • Dissolution du carbonate de magnésium :



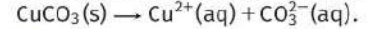
Dissolution du carbonate de calcium :



Dissolution du carbonate de sodium :



Dissolution du carbonate de cuivre :

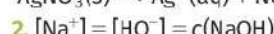
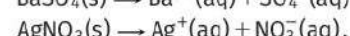
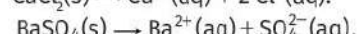
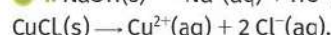


13 • a. Équation de formation d'un précipité.

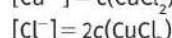
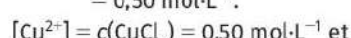
b. Équation de dissolution.

c. Équation de dissolution.

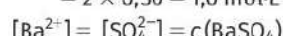
d. Équation de formation d'un précipité.



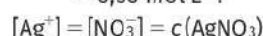
$$= 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$



$$= 2 \times 0,50 = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$



$$= 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$



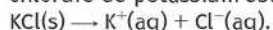
$$= 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

16. 1. Molécules classées par polarité croissante : acide salicylique, éther, acétone et eau.

2. Interaction entre acide salicylique et eau : liaison hydrogène.
Interaction entre acide salicylique et acétone : Van der Waals.
Interaction entre acide salicylique et éther : Van der Waals.

3. Le solvant à choisir pour extraire l'acide salicylique est l'éther car l'acide salicylique est très soluble dans l'éther et l'éther n'est pas miscible avec l'eau.

17. 1. L'équation de dissolution du chlorure de potassium est :



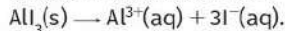
2. La concentration des ions en solution est :

$$[\text{K}^+] = [\text{Cl}^-] = c(\text{KCl}) = \frac{n(\text{KCl})}{V}$$

$$\frac{m(\text{KCl})}{M(\text{KCl}) \cdot V} = \frac{3,0}{(39,1 + 35,5) \times 50,0 \times 10^{-3}}$$

$$= 0,80 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

18. 1. L'équation de dissolution de l'iodure d'aluminium est :



2. On place un récipient sur une balance. On fait la tare de la balance. On pèse 5,0 g d'iodure d'aluminium. Dans une fiole jaugée de 250 mL, on ajoute un peu d'eau distillée, on verse l'iodure d'aluminium, on agite. On ajuste le niveau jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. On bouche la fiole jaugée et on agite de nouveau jusqu'à dissolution complète de l'iodure d'aluminium.

3. La concentration des ions en solution est :

$$[\text{Al}^{3+}] = c(\text{AlI}_3) = \frac{n(\text{AlI}_3)}{V} = \frac{m(\text{AlI}_3)}{M(\text{AlI}_3) \cdot V}$$

$$= \frac{5,0}{(27,0 + 3 \times 126,9) \times 250,0 \times 10^{-3}}$$

$$= 4,9 \times 10^{-2} = 1,5 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ donc}$$

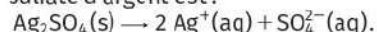
$$m(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = c(\text{Ag}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Ag}_2\text{SO}_4) \cdot V$$

$$= 2[\text{Ag}^+] \cdot M(\text{Ag}_2\text{SO}_4) \cdot V$$

$$= 2 \times 1,0 \times 10^{-2} \times (2 \times 27,0 + 32,1 + 4 \times 16,0) \times 0,500$$

$$= 1,5 \text{ g}.$$

19. • L'équation de dissolution du sulfate d'argent est :



$$[\text{Ag}^+] = \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{2} = \frac{c(\text{Ag}_2\text{SO}_4)}{2}$$

donc

$$m(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = c(\text{Ag}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Ag}_2\text{SO}_4) \cdot V$$

$$= 2[\text{Ag}^+] \cdot M(\text{Ag}_2\text{SO}_4) \cdot V = 2 \times 1,0 \times 10^{-2} \times (2 \times 27,0 + 32,1 + 4 \times 16,0) \times 0,500 = 1,5 \text{ g}.$$

20. • On verse de l'éther avec le mélange eau-butan-1-ol dans

une ampoule à décanter. L'éther n'est pas miscible avec l'eau et le butan-1-ol est très soluble dans l'éther. Le butan-1-ol va donc se trouver en phase organique. L'éther et le butan-1-ol dissous se situe au-dessus de la phase aqueuse. On verse la phase aqueuse et on récupère ensuite le butan-1-ol dissous dans l'éther.

Chapitre 8

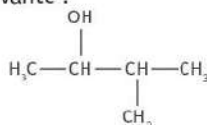
p. 150

QCM : 1. C. - 2. A. et B. - 3. A. et B.

2. 1. A. - 2. A.

3. 1. B./C. - 2. B./C.

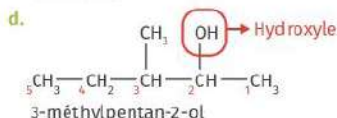
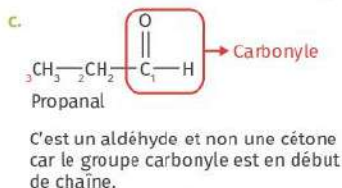
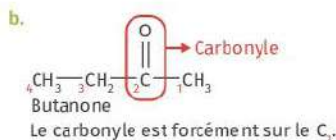
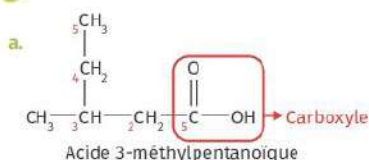
Jeopardy : a. Quel groupe caractéristique possède un acide carboxylique ? b. Quel est le nom de la molécule suivante ?



Son nom est le 3-méthylbutan-2-ol.

Parcours d'apprentissage :

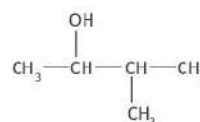
11



12.  Retrouver les corrigés en ligne [LLS.fr/PC1P402](https://lls.fr/PC1P402)

13. 1. La molécule recherchée est la molécule c. car c'est la seule qui possède un groupement hydroxyle caractéristique de la famille des alcools.

2. La formule brute de cette molécule est : C₅H₁₂O. La formule semi-développée est :

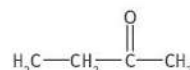


Cette molécule est le 3-méthylbutan-2-ol.

3. On observe une bande large entre 3 200 et 3 600 cm⁻¹ sur le spectre d'absorption IR.

14. 1. La cétone est la molécule c. car c'est la seule qui possède un groupement carbonyle au milieu de la chaîne carbonée.

2. La formule brute de la molécule est : C₄H₈O. La formule semi-développée est :



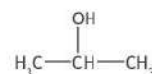
Cette molécule est la butanone.

3. La molécule a. contient un groupe carboxyle, il s'agit donc d'un acide carboxylique. La molécule b. comporte un groupement hydroxyle, il s'agit donc d'un alcool.

4. La molécule c. possède un pic d'absorption entre 1700 et 1740 cm⁻¹ sur le spectre d'absorption IR.

15. 1. On observe une bande sur le spectre d'absorption IR à 3 000 cm⁻¹, ce qui est caractéristique d'une fonction hydroxyle donc d'un alcool. La molécule recherchée est la molécule b.

2. La formule brute de cette molécule est C₃H₈O. La formule semi-développée est :

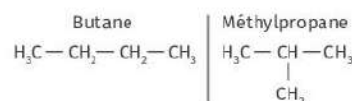


Cette molécule est du propan-2-ol.

16. 1. La formule générale des alcanes est C_nH_{2n+2}.

2. La masse molaire de cet alcane est M = 58 g·mol⁻¹. Donc 12n + (2n + 2) = 58 ⇔ 14n = 56 ⇔ n = $\frac{56}{14}$ = 4 alors la formule brute de l'alcane est C₄H₁₀.

3. Les formules semi-développées possibles pour cet alcane sont :



4. Il s'agit du butane et du méthylpropane.

19 a. Faux : la vanilline ne contient pas de fonction cétone. Elle comporte un groupement carbonyle qui est en début de chaîne.

b. Vrai : la molécule possède un cycle carboné de 6 atomes.

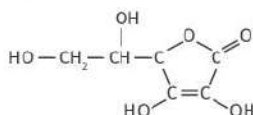
c. Vrai : la vanilline possède un groupement hydroxyle lié qui possède une bande d'absorption large vers 3500 cm^{-1} sur son spectre IR.

d. Faux : la formule brute de la vanilline est $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$.

20 1. La molécule de vitamine C possède 4 groupes hydroxyles -OH .

2. Le spectre IR de la molécule d'acide ascorbique a des bandes caractéristiques correspondant aux liaisons -OH d'un alcool.

3. La formule développée de l'acide ascorbique est :



4. La molécule a. est la 4-méthylpentan-2-one.

5. La molécule b. est l'acide 2-méthylbutanoïque.

Chapitre 9

p. 170

QCM : 1. B. - 2. C. - 3. B.

2. 1. B. - 2. C. - 3. B.

3. 1. B. - 2. B.

Jeopardy : 4 a. Quelles techniques permettent de vérifier la pureté de l'espèce chimique synthétisée ?
b. De quoi est composé le montage de chauffage à reflux ?

Parcours d'apprentissage :

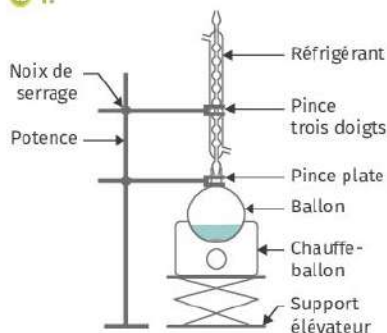
9 1. Transformation des réactifs : mélange cyclohexanone + réducteur. Isolement : extraction liquide-liquide. Purification : distillation fractionnée.

2. La purification étant une distillation fractionnée, le cyclohexanol est donc à l'état liquide.

10 1. Transformation des réactifs : chauffage à reflux. Isolement : filtration sous vide. Purification : mesure de la température de fusion.

2. Pour améliorer la pureté, on aurait pu faire une recristallisation puis une distillation fractionnée.

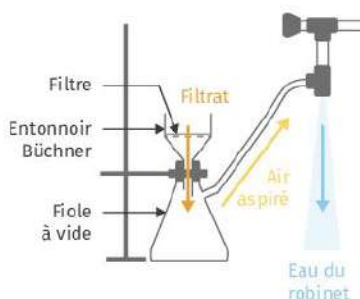
13 1.



2. Les 2 intérêts de ce montage sont : d'accélérer la réaction et de limiter les pertes de matières.

3. Le rôle de l'éthanol est de favoriser le mélange entre l'huile et l'eau qui sont 2 liquides non miscibles. L'éthanol est miscible avec l'eau et l'huile. Le rôle des pierres ponce est de rendre l'ébullition homogène.

4.



14 1. La quantité de matière maximale formée de produit serait :
 $n_{\text{th}}(\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_2) = n(\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O})$
 $= 5,0 \times 10^{-2}\text{ mol}$.

La quantité de matière réellement formée de produit est :

$$n_{\text{exp}}(\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_2) = \frac{m_{\text{exp}}(\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_2)}{M(\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_2)} = \frac{6,9}{196} = 3,5 \times 10^{-2}\text{ mol}.$$

2. Le rendement de la réaction est :

$$\eta = \frac{n_{\text{exp}}(\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_2)}{n_{\text{max}}(\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_2)} = \frac{3,5 \times 10^{-2}}{5,0 \times 10^{-2}} = 0,70 = 70\%.$$

15 1. La quantité d'acide acétique est :

$$n(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = \frac{\rho(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) \cdot V(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)}{M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)} = \frac{15 \times 1,05}{60,1} = 0,26\text{ mol}.$$

La quantité d'alcool isoamylique est :

$$n(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}) = \frac{\rho(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}) \cdot V(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O})}{M(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O})} = \frac{20 \times 0,81}{88,1} = 0,18\text{ mol}.$$

$n(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) > n(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O})$, l'acide acé-

tique est donc en excès, l'alcool isoamylique est le réactif limitant.

2. La quantité théorique d'acétate d'isoamyle formé est :

$$n_{\text{th}}(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}) = n(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}) = 0,18\text{ mol}.$$

La quantité expérimentale d'acétate d'isoamyle formé est :

$$n_{\text{exp}}(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}) = \frac{\rho(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}) \cdot V(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O})}{M(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O})} = \frac{20,4 \times 0,87}{130,3} = 0,14\text{ mol}.$$

Le rendement de la réaction est :

$$\eta = \frac{n_{\text{exp}}(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O})}{n_{\text{th}}(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O})} = \frac{0,14}{0,18} = 0,74 = 75\%.$$

16 • La quantité de matière souhaitée de benzoate de méthyle est :

$$n_{\text{exp}}(\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2) = \frac{m(\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2)}{M(\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2)} = \frac{10}{136} = 7,4 \times 10^{-2}\text{ mol}.$$

Le rendement de la réaction est de 70 %, donc

$$n_{\text{exp}}(\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2) = 0,70 n_{\text{th}}(\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2) \text{ donc}$$

$$n_{\text{th}}(\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2) = \frac{n_{\text{exp}}(\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2)}{0,70} = 0,11\text{ mol}.$$

Or $n_{\text{th}}(\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2) = n_0(\text{CH}_4\text{O}) = n_0(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2)$
 $= 0,11\text{ mol}.$

Donc le volume minimal de méthanol est :

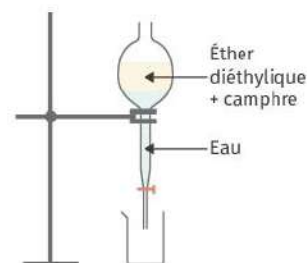
$$V(\text{CH}_4\text{O}) = \frac{n_0(\text{CH}_4\text{O}) \cdot M(\text{CH}_4\text{O})}{\rho(\text{CH}_4\text{O})} = \frac{0,11 \times 32}{0,80} = 4,2\text{ mL}.$$

La masse minimale d'acide benzoïque est :

$$m(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2) = n_0(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2) \cdot M(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2) = 0,11 \times 122 = 13\text{ g}.$$

17 1. On réalise ici une extraction liquide-liquide. On utilise de l'éther diéthylique car le camphre est très soluble dans l'éther diéthylique, et l'eau et ce solvant ne sont pas miscibles.

2.



3. Pour éliminer l'éther diéthylique, on peut faire une distillation fractionnée.

18 1. La quantité initiale d'acide salicylique est :

$$n_0(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3) = \frac{m(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3)}{M(\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3)} = \frac{10,0}{138} = 7,25 \times 10^{-2}\text{ mol}.$$

La quantité initiale d'anhydride éthanoïque est :

$$n_0(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3) = \frac{\rho(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3) \cdot V(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3)}{M(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3)}$$

$$= \frac{14,0 \times 1,082}{102}$$

$$= 0,149 \text{ mol.}$$

L'acide salicylique est donc le réactif limitant et l'anhydride éthanóïque est en excès.

2. La quantité d'aspirine formée est :

$$n_0(\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4) = \frac{m(\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4)}{M(\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4)} = \frac{6,2}{180}$$

$$= 3,4 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

La quantité d'aspirine maximale est :

$$n_{\text{max}}(\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4) = n_0(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3)$$

$$= 7,25 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

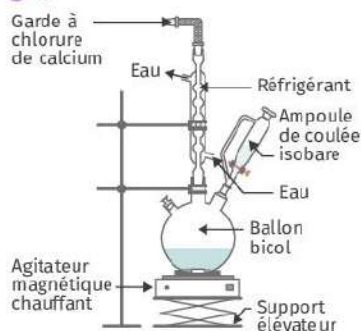
Le rendement de la réaction est :

$$r = \frac{n_{\text{exp}}(\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4)}{n_{\text{max}}(\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4)} = \frac{3,4 \times 10^{-2}}{7,25 \times 10^{-2}}$$

$$= 0,48 = 48 \text{ \%}.$$

3. Cette synthèse n'est pas très efficace car le rendement est assez faible.

26 1.



2. Le tube latéral sur le ballon permet d'ajouter du réactif au cours de la transformation chimique sans ouvrir le montage.

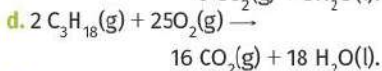
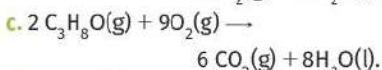
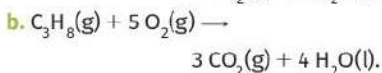
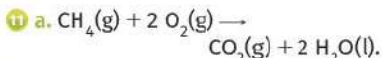
Chapitre 10 p. 188

QCM : 1. B. - 2. B. - 3. A. - 4. C.

2. 1. A. - 2. A. - 3. C. - 4. B. - 5. B.

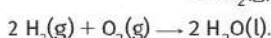
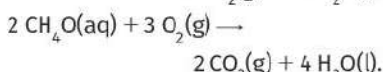
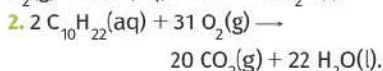
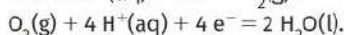
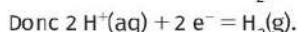
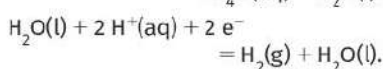
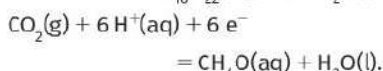
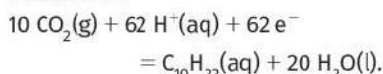
Jeopardy : 3 a. Quelle forme d'énergie possède un combustible ?
b. Comment s'appelle l'énergie libérée lors de la rupture des liaisons covalentes d'une espèce chimique ?

Parcours d'apprentissage :



13 1. Les demi-équations des couples

redox sont :



16 1. La quantité de matière est :

$$n(\text{C}_7\text{H}_{16}) = \frac{m(\text{C}_7\text{H}_{16})}{M(\text{C}_7\text{H}_{16})}$$

$$= \frac{2000}{100,2} = 20,0 \text{ mol.}$$

2. La variation d'énergie lors de la combustion est :

$$E = n \cdot E_r(\text{C}_7\text{H}_{16}) = -20,0 \times 4857$$

$$= -96,3 \times 10^4 \text{ kJ} = -96,3 \text{ MJ.}$$

3. Le pouvoir calorifique du heptane est :

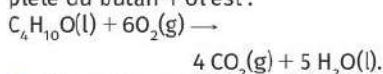
$$PC(\text{C}_7\text{H}_{16}) = \frac{E_r(\text{C}_7\text{H}_{16})}{M(\text{C}_7\text{H}_{16})} = \frac{-4817}{100,2}$$

$$= -48,1 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$$

$$= -48,1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

17 1. La molécule de butan-1-ol possède un groupement hydroxyle caractéristique de la famille des alcools.

2. L'équation de la combustion complète du butan-1-ol est :



3. L'énergie molaire de dissociation des réactifs est : $E_d = 3E_1(\text{C}-\text{C}) + 9E_1(\text{C}-\text{H}) + E_1(\text{C}-\text{O}) + E_1(\text{O}-\text{H}) + 6E_1(\text{O}=\text{O}) = 8,52 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

4. L'énergie molaire de formation des produits est :

$$E_f = 8E_f(\text{C}=\text{O}) + 10E_f(\text{O}-\text{H})$$

$$= 8 \times 795 + 10 \times 459$$

$$= 11,0 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

5. L'énergie molaire de réaction est :

$$E_r(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}) = E_d - E_f$$

$$= 8,52 \times 10^3 - 11,0 \times 10^3$$

$$= -2,48 \times 10^3 < 0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1},$$

la réaction est exothermique.

6. Le pouvoir calorifique du butanol est :

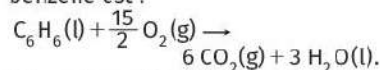
$$PC(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}) = \frac{E_r(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O})}{M(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O})}$$

$$= \frac{-2,48 \times 10^3}{74,1}$$

$$= -33,5 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$$

$$= -33,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

18 • L'équation de combustion du benzène est :



L'énergie molaire de dissociation des réactifs est :

$$E_d = 3E_1(\text{C}-\text{C}) + 6E_1(\text{C}-\text{H}) + 3E_1(\text{C}=\text{C}) + \frac{15}{2}E_1(\text{O}=\text{O})$$

$$= 9,02 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

L'énergie molaire de formation des produits est :

$$E_f = 12E_f(\text{C}=\text{O}) + 6E_f(\text{O}-\text{H})$$

$$= 12 \times 795 + 6 \times 459$$

$$= 1,23 \times 10^4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

L'énergie molaire de réaction est :

$$E_r(\text{C}_6\text{H}_6) = E_d - E_f$$

$$= 9,02 \times 10^3 - 1,23 \times 10^4$$

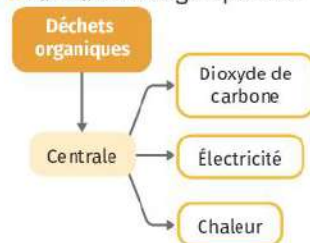
$$= -3,28 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Le pouvoir calorifique du benzène est :

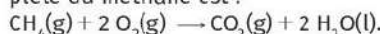
$$PC(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{E_r(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)} = \frac{-3,28 \times 10^3}{78,1}$$

$$= -42,0 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} = -42,0 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

20 1. La chaîne énergétique est :



2. L'équation de combustion complète du méthane est :



3. $n(\text{CH}_4) = \frac{m(\text{CH}_4)}{M(\text{CH}_4)} = \frac{29,5 \times 10^6}{16,0}$

$$= 1,84 \times 10^6 \text{ mol.}$$

$$n(\text{CO}_2) = n(\text{CH}_4) = 1,84 \times 10^6 \text{ mol.}$$

$$m(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2) = 81,1 \text{ t.}$$

4. Le nombre de bouteilles que l'on peut gazéifier est :

$$1 \text{ bouteille} \rightarrow 7 \text{ g}$$

$$N \text{ bouteilles} \rightarrow 8,11 \times 10^7$$

$$N = \frac{8,11 \times 10^6}{7} = 1,16 \times 10^7 \text{ bouteilles.}$$

21 1. Le pouvoir calorifique du propan-2-ol est :

$$PC(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = \frac{E_r(\text{C}_3\text{H}_8\text{O})}{M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O})}$$

$$= \frac{-2569}{3 \times 12,0 + 8 \times 1,0 + 16,0}$$

$$= 42,8 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$$

$$= -42,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

→ réponse c.

2. $E_d(\text{C}_5\text{H}_{12}) = 4E_1(\text{C}-\text{C}) + 12E_1(\text{C}-\text{H})$

$$= 6356 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

→ réponse a.

L'énergie de réaction molaire de la combustion du dihydrogène est :

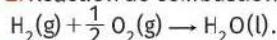
$$E_r = PC \cdot M(H_2) = -\frac{120,5 \times 2,0}{1000}$$

$$= 0,241 \text{ MJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 241 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

→ réponse b.

32. 1. Demi-équation redox du carburant : $2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- = \text{H}_2(\text{g})$.
Demi-équation redox du comburant : $\text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 4 \text{e}^- = 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

2. Réaction de combustion :



3. Le véhicule est dit propre car il ne rejette que de l'eau.

$$4. E_d = E_f(\text{H-H}) + \frac{1}{2} E_f(\text{O=O})$$

$$= 432 + \frac{1}{2} \times 494 = 679 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

L'énergie molaire de formation des produits est :

$$E_f = 2E_f(\text{O-H}) = 2 \times 459 = 918 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

L'énergie molaire de réaction est :

$$E_r(\text{CH}_4\text{O}) = E_d - E_f = -239 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

$$5. V(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{\rho_{\text{H}_2}} = \frac{3000}{0,090}$$

$$= 33 \times 10^3 \text{ L} = 33 \text{ m}^3.$$

6. Il est nécessaire de mettre le dihydrogène sous pression pour que le volume soit plus faible. La mise sous pression d'un gaz peut présenter des risques.

7. On peut synthétiser le dihydrogène par électrolyse de l'eau, par vaporeformage ou par gazéification du charbon de bois.

Chapitre 11

p. 214

QCM : 1. B. - 2. C. - 3. B.

2. 1. C. - 2. A. - 3. B.

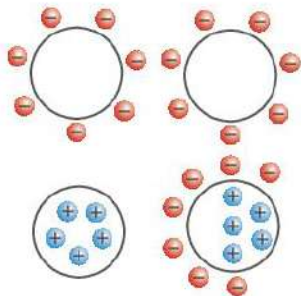
3. 1. B. - 2. B.

Jeopardy : 4. a. Représenter les lignes de champ électrostatique à proximité de deux sources chargées positivement. b. Calculer la valeur du champ gravitationnel de la Terre à 10^9 m de son centre.

Parcours d'apprentissage :

15. 1. Le cuivre est chargé négativement.

2.



21. 1.



$$2. \vec{G}_{\text{Soleil}} = -G \cdot \frac{m_{\text{Soleil}}}{d^2} \vec{e}_r.$$

3.

$$G_{\text{Soleil}}(d_{\text{Soleil/Terre}}) = 5,931 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$G_{\text{Soleil}}(d_{\text{Soleil/Jupiter}}) = 2,190 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

4. Le champ gravitationnel exercé par le Soleil est plus intense au niveau de la Terre qu'au niveau de Jupiter.

22. 1.



$$2. \vec{G}_{\text{Terre}} = -G \cdot \frac{m_{\text{Terre}}}{d^2} \vec{e}_r$$

soit sur la Lune

$$G_{\text{Terre}}(d_{\text{Terre/Lune}}) = 2,697 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

$$3. d_{\text{Terre/Lune}} = \sqrt{G \cdot \frac{m_{\text{Terre}}}{G_{\text{Terre}}}}.$$

$$4. d'_{\text{Terre/Lune}} = 3,844 \times 10^{11} \text{ m}.$$

$$23. \bullet G_{\text{Soleil}} = G \cdot \frac{m_{\text{Soleil}}}{d^2} \text{ soit}$$

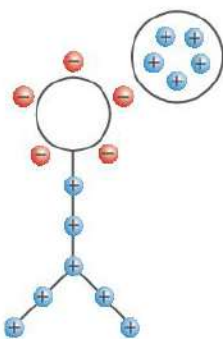
$$d = \sqrt{G \cdot \frac{m_{\text{Soleil}}}{G_{\text{Soleil}}}}. \text{ Soit } d' \text{ la nouvelle}$$

distance, telle que :

$$d' = \sqrt{G \cdot \frac{m_{\text{Soleil}}}{G_{\text{Soleil}}}} \quad d' \text{ o } \ddot{u} \quad d' = \sqrt{2} d$$

$$d' = 1,101 \times 10^{12} \text{ m}.$$

25.



26. 1. L'atome d'hélium 4 est constitué de deux protons, deux neutrons et de deux électrons.

$$2. F_e(\text{proton/électron}) = 2,4 \times 10^{-7} \text{ N}.$$

3.

$$\vec{F}_e(\text{proton/électron})$$

Électron Proton

$$4. F_g(\text{proton/électron}) = 1,1 \times 10^{-46} \text{ N}.$$

$$5. \frac{F_e(\text{proton/électron})}{F_g(\text{proton/électron})} = 2,2 \times 10^{39};$$

la force d'interaction gravitationnelle est négligeable à l'échelle de l'atome.

32. d.

33. 1.



$$2. F_e(\text{cuivre/verre}) = F_e(\text{verre/cuivre})$$

$$= k \cdot \frac{q_{\text{cuivre}} \cdot q_{\text{verre}}}{d^2} = 1,7 \times 10^{-22} \text{ N}.$$

$$3. E_{\text{cuivre}}(\text{verre}) = k \cdot \frac{q_{\text{cuivre}}}{d^2}$$

$$= 2,2 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}.$$

4. Les valeurs des forces et du champ ne sont pas modifiées.

34. 1. L'éloignement est négligeable par rapport à la distance Terre-Lune, il n'influence pas la valeur de la force gravitationnelle entre les deux astres.

$$2. \Delta d = 380 \text{ m}.$$

3. La valeur de la force gravitationnelle reste inchangée car la différence calculée est encore négligeable devant la distance entre les deux astres.

Chapitre 12

p. 234

QCM : 1. C. - 2. C. - 3. B.

2. 1. A. - 2. C. - 3. A.

3. 1. A. - 2. C. - 3. B.

Jeopardy : 4. a. Quelle est la différence entre un liquide et un gaz ? b. Pourquoi la pression augmente-t-elle dans une chambre à air lorsque l'on utilise une pompe à vélo ?

Parcours d'apprentissage :

$$10. 1. F = 10^5 \text{ N}.$$

2. Comme la pression est la même des deux côtés de la vitre, les deux forces pressantes exercées par l'air sur la vitre se compensent empêchant celle-ci de se casser.

13. • La pression est plus forte dans le volume de droite en raison d'une agitation thermique plus importante.

$$14. \bullet P_{\text{fond}} = \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot h + P_0$$

$$= 1,4 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

$$15. 1. P \cdot V = \text{cste}.$$

$$2. P_0 \cdot V_0 = P_b \cdot V_b.$$

$$3. P_b = \frac{P_0 \cdot V_0}{V_b} = 5,7 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

$$17. 1. P_b = \frac{P_0 \cdot V_0}{V_b} = 1,77 \times 10^7 \text{ Pa}.$$

2. La pression étant 30 fois plus grande que la première bouteille, celle-ci nécessite des précautions supplémentaires pour être manipulée.

$$18. \bullet P_1 = \frac{P_0 \cdot V_0}{V_1} = 1,35 \times 10^3 \text{ Pa}.$$

20. 1. La résultante des forces pressantes exercées par l'air sur chacune des hémisphères sont opposées en sens et tendent à les pousser l'une vers l'autre. Avec du vide à l'intérieur, aucune autre force ne peut les compenser et écarter les deux hémisphères devient difficile.

2. $F = P_0 \cdot \pi \cdot R^2 = 2,5 \times 10^4 \text{ N}$.

31. 1. $P_{\text{tonneau}} = \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot h + P_0$
 $= 1,99 \times 10^5 \text{ Pa}$.

2. La surpression étant deux fois plus grande que la surpression maximale supportable, le tonneau a cédé.

3. $V = \pi h \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$ donc

$D = 2\sqrt{\frac{V}{\pi h}} = 1,1 \times 10^{-2} \text{ m} = 1,1 \text{ cm}$,
 le tonneau cédera car la surpression ne dépend que de la hauteur du tube.

31. 1. $P_{\text{air}} - P_{\text{fluïde}} = \rho_{\text{huile}} \cdot g \cdot h$.

2. Le pont élévateur subit le poids de la voiture $\vec{P}$, la force que l'air exerce sur le pont $\vec{F}_{\text{air/pont}}$ et la force que le fluide exerce sur le pont $\vec{F}_{\text{fluïde/pont}}$.

3. $\vec{P} + \vec{F}_{\text{air/pont}} + \vec{F}_{\text{fluïde/pont}} = \vec{0}$ soit

$P_{\text{fluïde}} = P_0 + \frac{m_{\text{voiture}} \cdot g}{S}$.

En remplaçant $P_{\text{fluïde}}$, on a :

$P_{\text{air}} = \rho_{\text{huile}} \cdot g \cdot h + P_0 + \frac{m_{\text{voiture}} \cdot g}{S}$
 $= 1,34 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Chapitre 13

p. 254

QCM : 1. 1. A. - 2. C.

2. 1. C. - 2. C. - 3. B.

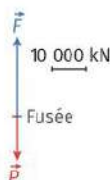
3. 1. B. - 2. A. - 3. C.

Jeopardy : 4. a. Quelles caractéristiques le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ a-t-il en commun avec la résultante des forces $\Sigma \vec{F}$? b. Dans quel cas le vecteur variation de vitesse est-il indépendant de la masse de l'objet en mouvement ?

Parcours d'apprentissage :

13. 1. La fusée subit son poids $\vec{P}$ et la poussée exercée par les moteurs $\vec{F}$.

2.



3. $P = m \cdot g = 13900000 \text{ N}$
 et $F = 22800000 \text{ N}$.

4. $m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = -m \cdot g + F$ soit
 $\Delta v = (-g + \frac{F}{m}) \cdot \Delta t = 6,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $= 22 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

14. 1. $\Sigma \vec{F} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$
 avec $\vec{R}$ réaction du sol, $\vec{P}$ poids du palet et $\vec{F}$ force exercée par le joueur. En projetant sur l'axe vertical, on a $F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = 66 \text{ N}$.

2. $P = m \cdot g = 1,7 \text{ N} \ll F$.

15. 1. $\Delta \vec{v}_2 = \vec{v}_3 - \vec{v}_2$. Comme $\vec{v}_3$ et $\vec{v}_2$ sont colinéaires, on a :
 $\Delta v_2 = v_3 - v_2 = 1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. $\Sigma \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$

soit $\Sigma F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = 2,4 \times 10^{-2} \text{ N}$.

3. À l'instant t_2 s'exercent le poids $\vec{P}$ et les forces de frottement $\vec{f}$. Ces deux vecteurs sont verticaux, le poids est orienté vers le bas, les forces de frottement vers le haut.

4. $P = m \cdot g = 0,196 \text{ N}$ or $\Sigma \vec{F} = \vec{P} + \vec{f}$
 d'où suivant l'axe vertical $-F = -P + f$
 soit $f = P - F = 0,172 \text{ N}$.

16. • $\Sigma \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ soit

$\Sigma F = \rho \cdot V \cdot \frac{v_{G3} - v_{G2}}{t_3 - t_2} = 0,2 \text{ N}$.

Les forces qui s'exercent sont le poids $\vec{P}$ et les forces de frottement $\vec{f}$.

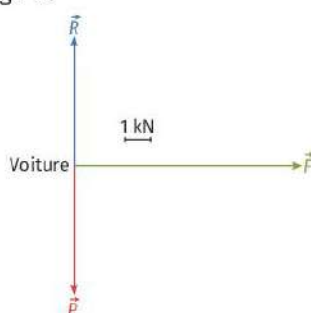
$P = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = 0,5 \text{ N}$ et

$-F = -P + f$ soit $f = P - F = 0,3 \text{ N}$.

17. • $\Sigma F = m \cdot \frac{\Delta v_1}{t_2 - t_1} = 4000 \text{ N}$ or

$P = m \cdot g = 900 \text{ N}$; $F = \Sigma F + P = 5000 \text{ N}$.

18. 1. Les forces sont le poids $\vec{P}$, la réaction du sol $\vec{R}$ et la force de freinage $\vec{F}$.



$\Sigma \vec{F} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = \vec{F}$ car le poids et la réaction se compensent. Donc $\Sigma \vec{F}$ est dirigé selon l'horizontale, dans le même sens que $\vec{F}$.

2. $\Delta v = \Delta t \cdot \frac{F}{m} = \Delta t \cdot \frac{g \cdot F}{P} = 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $= 62 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

19. 1. Les deux forces sont le poids $\vec{P}$ et la réaction du tee $\vec{R}$.

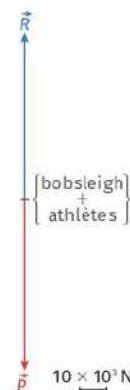


2. La force exercée par le club sur la balle permet la mise en mouvement.

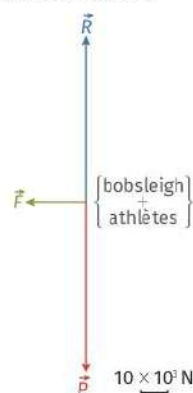
3. $\tau = 0,010 \text{ s}$, $B_0 B_2 = 1,1 \text{ m}$ en utilisant l'échelle fournie (120 cm correspond à la longueur du club) d'où

$v_1 = \frac{B_0 B_2}{2\tau} = 55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

21. 1. Le poids $\vec{P}$ et la réaction de la glace $\vec{R}$ s'appliquent sur le système.



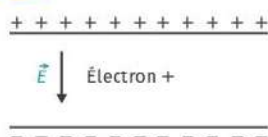
2. La poussée $\vec{F}$ est responsable de la mise en mouvement.



3. $v = 40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ or

$\Sigma F = F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = 2,3 \times 10^3 \text{ N}$.

22 1.



$$2. P_{\text{électron}} = m_{\text{électron}} \cdot g = 8,9 \times 10^{-30} \text{ N}$$

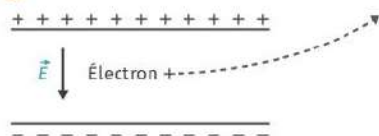
$$\text{et } F_e = e \cdot E = 2,4 \times 10^{-15} \text{ N}$$

donc $F \gg P$.

$$3. \Sigma \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \text{ soit } -e \cdot \vec{E} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

4. Le vecteur variation de vitesse est vertical, orienté vers le haut.

5.



6. Comme l'électron est attiré vers la plaque positive, on peut en déduire que l'électron porte une charge électrique négative.

Chapitre 14

p. 278

QCM : 1. B. - 2. B.

2. 1. C. - 2. B. - 3. C.

3. 1. B. - 2. A. - 3. B.

Jeopardy : 4 a. Comment s'exprime l'énergie électrique E fournie à un dipôle ? b. Comment calcule-t-on le rendement global d'une chaîne énergétique ?

Parcours d'apprentissage :

12 1. $v = 110 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. Si $I = 3,0 \text{ A}$, alors $v = 225 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3. $v = a \cdot t$ (modèle linéaire) avec $a = 75 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{A}^{-1}$.

4. $d = v \cdot \Delta t = a \cdot I \cdot \Delta t = 6800 \mu\text{m}$.

14 1. $I = 0,15 \text{ A}$.

2. $P = U \cdot I = 0,75 \text{ W} = 750 \text{ mW}$.

16 1. $U = R \cdot I$. 2. $P = U \cdot I$.

3. $P = R \cdot I^2$. 4. $P = 1 \text{ W}$.

17 1. $I = \frac{P}{U}$. 2. $I = 5,2 \text{ A}$.

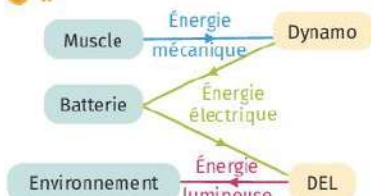
3. $\Delta q = I \cdot \Delta t$. 4. $\Delta q = 310 \text{ C}$.

5. $E = P \cdot \Delta t$. 6. $E = 72000 \text{ J}$.

18 • $E = P_1 \cdot \Delta t_1 + P_2 \cdot \Delta t_2 = 3,2 \times 10^6 \text{ J}$.

19 • $E = (P_m + P_e) \cdot \Delta t + P'_m \cdot \Delta t'_m = 5,8 \times 10^6 \text{ J}$.

23 1.



2. $E_e = P_e \cdot \Delta t = 3 \times 10^3 \text{ J}$.

3. $E_l = P_{\text{DEL}} \cdot \Delta t' = 3 \times 10^2 \text{ J} = 8 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{h}$.

4. $\eta = \frac{E_l}{E_e} = 10 \%$.

5. Le rendement est faible car beaucoup d'énergie est perdue par effet Joule sous forme thermique.

6. Pour éclairer plus longtemps, il faut faire tourner la dynamo plus longtemps et recharger davantage la batterie.

24 1. $P = 31 \text{ W}$.

2. 182 kWh de consommation énergétique annuelle moyenne.

3. Durée annuelle : $\frac{E_{\text{annum}}}{P} = 5,8 \times 10^3 \text{ h}$.

Durée journalière : $\frac{5,8 \times 10^3}{365,25} = 16 \text{ h}$.

Cette durée journalière moyenne correspond à un usage très important de la télévision.

Chapitre 15

p. 296

QCM : 1. 1. A. - 2. B. - 3. C. - 4. C.

2. 1. A. - 2. B.

3. 1. B. - 2. C.

Jeopardy : 4 a. Qu'est-ce qu'une force conservative ? b. Comment évolue l'énergie cinétique d'un système lorsque sa vitesse est doublée ?

Parcours d'apprentissage :

11 1. $\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \frac{1}{2} m \cdot (v_B^2 - v_A^2) = -30 \text{ J}$.

2. Le poids ne travaille pas dans ce problème car l'altitude est invariante. D'après le théorème de l'énergie cinétique : $\Delta E_c = \Sigma W(\vec{F}) = W(\vec{f})$ donc $W(\vec{f}) = -30 \text{ J}$.13 1. E_{pp} est proportionnelle à la hauteur h du plongeur. Or celle-ci diminue au cours du saut. Le graphe B est donc concordant.

2. $E_{\text{pp}}(t=0 \text{ s}) = m \cdot g \cdot h$
donc $h = \frac{E_{\text{pp}}(t=0 \text{ s})}{m \cdot g} = 3,9 \text{ m}$.

14 1. L'énergie mécanique se conserve au cours du mouvement (les frottements étant négligés) donc il s'agit de la courbe 1. Comme le ballon prend de la hauteur au début de son mouvement, E_{pp} doit augmenter : il s'agit donc de la courbe 3. La courbe 2 est donc associée à l'énergie cinétique.

2. L'énergie mécanique se conserve en l'absence de frottement.

3. a. $E_{\text{pp}}(A) = 13 \text{ J}$.

b. $z_A = \frac{E_{\text{pp}}(A)}{m \cdot g} = 2,2 \text{ m}$.

4. a. $E_m(O) = E_m(A)$

soit $E_c(O) = E_c(A) + E_{\text{pp}}(A)$

d'où $\frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 + m \cdot g \cdot z_A$

soit $v_A = \sqrt{v_0^2 - 2g \cdot z_A}$.

b. $v_A = 13,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

15 1. Le ballon n'est pas soumis à des forces de frottements car E_m , associée à la courbe 1, est une droite constante. Si E_m se conserve, les forces de frottement sont donc négligées.

2. $E_m(O) = E_m(A)$

soit $\frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 + E_{\text{pp}}(A)$

donc : $v_A = \sqrt{v_0^2 - \frac{2E_{\text{pp}}(A)}{m}}$.

Graphiquement, on a $E_{\text{pp}}(A) = 3 \text{ J}$

d'où $v_A = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

16 • Comme l'énergie mécanique se conserve au cours du mouvement, on a :

$$\frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 + E_{\text{pp}}(A)$$

or $E_c(O) = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$ donc $m = \frac{2E_c(O)}{v_0^2}$

$$v_A^2 = v_0^2 - \frac{2E_{\text{pp}}(A)}{m}$$

$$v_A = v_0 \sqrt{1 - \frac{E_{\text{pp}}(A)}{E_c(O)}}$$

Graphiquement, on a $E_c(O) = 40 \text{ J}$ et $E_{\text{pp}}(A) = 3 \text{ J}$ donc : $v_A = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

17 1. $W_{AB}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot (z_B - z_A) = 200 \text{ J}$.

2. $E_m(A) = m \cdot g \cdot z_A = 200 \text{ J}$

et $E_m(B) = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 = 50 \text{ J}$.

3. D'après le théorème de l'énergie cinétique, $\Delta E_c = W(\vec{f}) + W(\vec{P})$ soit $f \cdot z_A = E_c(B) - W(\vec{P})$ et donc $f = \frac{E_c(B) - W(\vec{P})}{z_A} = 7,5 \times 10^{-3} \text{ N}$.20 1. À $t = 1,3 \text{ s}$, l'énergie potentielle s'annule, donc l'altitude h est égale à 0 m. On a $E_m = 2,5 \text{ J}$.2. L'énergie mécanique ne se conserve pas au cours du mouvement en raison des frottements importants entre l'air et le parachute. La courbe de E_m décroît.31 1. Dans le référentiel terrestre, on étudie le mouvement de la pierre. Les forces en jeu : le poids $\vec{P}$, la réaction de la glace $\vec{R}$ et les forces de frottement $\vec{f}$.2. En raison de l'orthogonalité des vecteurs $\vec{P}$ et $\vec{R}$ avec $\vec{AB}$, seules les forces de frottement $\vec{f}$ travaillent.

3. $W(\vec{f}) = \Delta E_m = \Delta E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = -66 \text{ J}$.

4. $W(\vec{f}) = -f \cdot AB$

d'où $f = \frac{-W(f)}{AB} = 2,3 \text{ N}$.

5. Le balayage permet de réduire l'intensité des forces de frottement que la glace exerce sur la pierre.

Chapitre 16

p. 320

QCM : ① 1. B. - 2. A. - 3. B. - 4. A.

② 1. C. - 2. C. - 3. B.

③ 1. A. - 2. A. - 3. B. - 4. A.

Jeopardy : ④ a. Quelle est la condition nécessaire pour qu'une onde mécanique puisse se propager ? b. Comment se nomme la grandeur caractérisant la périodicité spatiale d'une onde périodique ?

⑪ • Pour une onde sonore, une oreille reçoit une partie de l'énergie permettant ainsi la perception sensorielle de l'ouïe. Pour une onde à la surface de l'eau, les bateaux reçoivent une partie de l'énergie et se balancent au gré de la houle. Pour une onde sismique, les habitations à la surface reçoivent une partie de l'énergie pouvant potentiellement les endommager.

⑫ 1. $\tau = \frac{d}{v_{\text{acier}}} = 1,2 \text{ s}$.

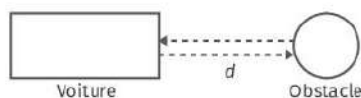
2. $\tau' = \frac{d}{v_{\text{air}}} = 19 \text{ s}$.

⑬ 1. $T = 2,26 \text{ ms}$ et $f = \frac{1}{T} = 442 \text{ Hz}$.

Il s'agit d'un La3.

2. $\lambda = \frac{v_{\text{air}}}{f} = 0,77 \text{ m}$.

⑭ 1.



2. $d = \frac{v_{\text{son}} \cdot \Delta t}{2}$.

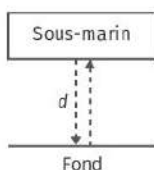
3. $\Delta t = \frac{2d_{\text{min}}}{v_{\text{son}}} = 1,7 \text{ ms}$ soit Δt_1 .

4. En dessous, le récepteur étant inactif, il ne peut pas capter les ultrasons déjà revenus à lui.

5. Pour abaisser cette distance minimale, il faut envoyer des salves plus courtes.

⑮ 1. Lorsqu'elles rencontrent le fond sous-marin, les ultrasons se réfléchissent.

2.



3. $h = \frac{\Delta t \cdot v_{\text{eau}}}{2} = 620 \text{ m}$.

⑲ • $\Delta t = N \cdot k_H = 4,0 \times 10^{-4} \text{ s}$.

$d = \frac{\Delta t \cdot v_{\text{air}}}{2} = 6,9 \text{ cm}$.

⑳ 1. Mécanique : car l'onde nécessite un milieu matériel pour se propager ; progressive : car l'onde se propage, son diamètre s'agrandit ; périodique : car le motif se répète, identique à lui-même sur un intervalle de temps régulier.

2. $f = \frac{N}{\Delta t} = 1,2 \text{ Hz}$.

3. $T = \frac{1}{f} = 0,83 \text{ s}$.

4. D'après le texte, $d = 20 \text{ cm}$.

5. $\Delta t = T = 0,83 \text{ s}$.

6. $v = \frac{d}{\Delta t} = 0,24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

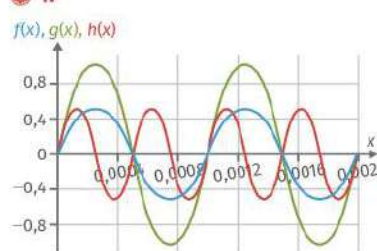
㉑ 1. La valeur avec le bon nombre de chiffres significatifs est 4,5 s.

2. La grandeur est ici la longueur d'onde λ . Le calcul donne $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{7,2 \times 10^{-2}} = 470 \text{ Hz}$.

3. Elle est périodique car la perturbation se répète identique à elle-même à intervalle de temps régulier.

4. Non, en revanche une onde périodique peut être décomposée en somme de sinusoïdes.

㉒ 1.



2. Graphiquement, on peut lire que $T_f = T_g = 0,0010$, $T_h = 0,0005$, cela donne des fréquences respectives de $f_f = f_g = 1000$ et $f_h = 2000$.

3. Le coefficient multiplié par 2π est la fréquence f des courbes sinusoïdales.

4. Le coefficient placé devant la fonction sinus permet d'augmenter ou de diminuer l'amplitude de la sinusoïde.

5. L'ajout de A permet de déplacer sur l'axe horizontal la fonction sinusoïde, cela traduit la position initiale de la perturbation. Son unité serait le radian.

Chapitre 17

p. 340

QCM : ① 1. C. - 2. B. - 3. C.

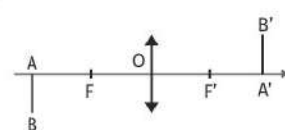
② 1. A. - 2. A. - 3. B.

③ 1. A. - 2. A. - 3. B.

Jeopardy : ④ a. Quelle est la couleur perçue d'un objet absorbant les radiations vertes ? b. Comment apparaît un objet jaune si l'éclairage est de couleur cyan ?

Parcours d'apprentissage :

⑫ •



⑬ 1. $\overline{OA} = \frac{f' \cdot \overline{OA'}}{f' + \overline{OA'}}$. 2. $\overline{OA} = -60 \text{ cm}$.

⑭ 1. Il s'agit d'une synthèse additive.

2. Les trois sous-pixels sont de couleur rouge, verte et bleue.

3. Il faut diviser l'écran en trois parties, dont celle de gauche a seulement les sous-pixels bleus activés, celle du milieu les trois sous-pixels activés et celle de droite les sous-pixels rouges et verts.

⑮ 1. Il s'agit de la synthèse soustractive.

2.



3. Pour faire du bleu, il faut mélanger le cyan et le magenta. Pour faire le rouge, il faut mélanger le jaune et le magenta. Pour faire le vert, il faut mélanger le cyan et le jaune. Et pour le noir, il faut mélanger les trois.

⑯ 1. Il s'agit de la synthèse soustractive.

2.



3. Le filtre cyan absorbe le rouge.

4. Les lumières transmises sont de couleur bleue et verte.

5.



⑰ 1. Il s'agit de la synthèse soustractive.

2. Le filtre vert absorbe le rouge et le

bleu, le filtre rouge absorbe le bleu et le vert.

3. Œil gauche :



Œil droit :



21. ♦ Le verre gauche ne laisse passer que le rouge et le bleu :



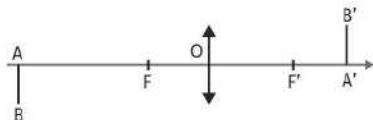
Le verre droit ne laisse passer que le bleu :



22. 1. Le cristallin est modélisé par une lentille mince convergente et la rétine par l'écran.

$$2. \overline{OA'} = \frac{f' \cdot \overline{OA}}{f' + \overline{OA}} = 25 \text{ cm.}$$

3.



4. Le cristallin est trop épais pour être modélisé par une lentille mince.

$$27. 1. \overline{OA'} = \frac{\overline{OA} \cdot \overline{A'B'}}{\overline{AB}} = 5,55 \text{ m.}$$

$$2. f' = \frac{\overline{OA} \cdot \overline{OA'}}{\overline{OA} - \overline{OA'}} = 5,00 \text{ m.}$$

3. $\overline{OA} = \frac{f' \cdot \overline{OA'}}{f' - \overline{OA'}} = 3,33 \text{ m}$, l'objet est dès lors virtuel.

$$28. 1. \overline{FA} = \overline{FO} + \overline{OA} = \overline{OA} + f' = 5 \text{ cm.}$$

$$2. \overline{OA'} = \frac{f' \cdot \overline{OA}}{f' + \overline{OA}} = -60 \text{ cm}$$
 cette image est virtuelle.

3. L'instrument d'optique courant est la loupe.

29. 1. Ce sont les cônes rouges qui ne fonctionnent pas chez cette personne.

2. Une personne daltonienne doit retenir la position des lumières pour bien s'arrêter.

3. Si les trois feux sont perçus noirs par la personne daltonienne, cela signifie probablement que le feu est

au rouge. Elle doit bien évidemment s'arrêter.

Chapitre 18

p. 360

QCM : 1. 1. A. - 2. B. - 3. C.

2. 1. A. - 2. A. - 3. B.

3. 1. B. - 2. B. - 3. C.

Jeopardy : 4. a. À quoi correspondent les niveaux d'énergie d'un atome ?
b. Que se passe-t-il lorsque le niveau d'énergie maximal d'un atome est atteint ?

Parcours d'apprentissage :

10. 1. D'après le graphique, $\lambda = 550 \text{ nm}$. Cette longueur d'onde fait partie de la lumière visible.

2. La photodiode n'est sensible qu'entre 400 nm et 725 nm , ce domaine est compris dans le domaine du visible. Par conséquent, elle ne peut pas détecter les infrarouges et les ultraviolets.

11. ♦ $\lambda = \frac{c}{\nu} = 1,06 \times 10^{-5} \text{ m} = 10600 \text{ nm}$. Cette longueur d'onde appartient aux infrarouges.

$$13. 1. E = h \cdot \nu = 2 \times 10^{-13} \text{ J} = 1 \text{ MeV.}$$

2. Cette énergie est un million de fois plus élevée que celle de la lumière visible et dix millions de fois plus élevée que celle des infrarouges.

$$14. 1. \Delta E = E_7 - E_3 = 1,23 \text{ eV.}$$

$$2. \Delta E = 2,0 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

3. L'atome cède cette énergie en émettant un photon d'énergie E égale à cette différence d'énergie entre les deux niveaux.

$$4. \nu = \frac{E}{h} = 3,0 \times 10^{14} \text{ Hz et}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = 9,9 \times 10^{-7} \text{ m.}$$

$$15. 1. \Delta E = E_3 - E_2 = 1,88 \text{ eV} = 3,00 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

2. Pour E , l'énergie du photon émis, égale à ΔE , on a :

$$\nu = \frac{E}{h} = 4,52 \times 10^{14} \text{ Hz et}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = 6,63 \times 10^{-7} \text{ m} = 663 \text{ nm.}$$

3. Cette longueur d'onde appartient au domaine du visible.

16. ♦ L'énergie du photon associé à cette longueur d'onde est égale à $E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 1,64 \times 10^{-18} \text{ J} = 10,2 \text{ eV}$. On l'associe à une différence d'énergie entre deux niveaux. Celle correspondante est la transition entre le

niveau 2 et le niveau 1.

18. 1. Les limites du domaine du visible sont 400 nm et 800 nm .

2. Soit $\lambda = 600 \text{ nm}$ la longueur d'onde moyenne, $E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 3,3 \times 10^{-19} \text{ J}$.

$$3. N \cdot E = P \cdot \Delta t \text{ soit}$$

$$N = \frac{P \cdot \Delta t}{E} = 4,5 \times 10^{17}.$$

21. 1. $330,3 \text{ nm}$ appartient aux ultraviolets, $568,8 \text{ nm}$ et $615,4 \text{ nm}$ appartiennent à la lumière visible et $819,5 \text{ nm}$ et $1138,2 \text{ nm}$ appartiennent aux infrarouges.

$$2. E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 3,38 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,11 \text{ eV.}$$

3. Cette énergie précédente correspond à la différence entre $E_m = -3,03 \text{ eV}$ et $E_n = -5,14 \text{ eV}$.

4. On constate que pour la partie apparente du spectre expérimental, il n'y a pas qu'une raie mais deux raies proches de $589,0 \text{ nm}$.

25. 1. L'atmosphère terrestre est composée à 80% de diazote et 20% de dioxygène.

2. Pour détecter la présence de dioxygène, la sonde spatiale doit établir le spectre d'absorption de l'exoplanète (lumière reçue par l'étoile la plus proche puis réémise par réflexion vers la sonde spatiale) et mesurer les longueurs d'onde des raies sombres. Si celles-ci coïncident avec celles connues du dioxygène, on peut en conclure que le dioxygène est présent dans l'atmosphère de l'exoplanète.

27. 1. Le spectre de la lampe à incandescence est coloré et continu, le spectre de la lampe à sodium est constitué de raies colorées sur fond noir.

2. Le niveau 1 est le niveau d'état fondamental et le niveau ∞ est le niveau d'état d'ionisation. Tous les autres sont des niveaux d'états intermédiaires dits excités.

3. Ces niveaux d'énergie sont quantifiés.

$$4. \Delta E = E_2 - E_1 = 2,11 \text{ eV.}$$

5. Ces photons sont émis.

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E} = 5,89 \times 10^{-7} \text{ m} = 589 \text{ nm.}$$

6. La lampe à incandescence a un spectre d'origine thermique tandis que la lampe à vapeur de sodium a un spectre d'émission atomique.

Constitution et transformations de la matière

1. Suivi de l'évolution d'un système, siège d'une transformation

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
A. Détermination de la composition du système initial à l'aide de grandeurs physiques	
Relation entre masse molaire d'une espèce, masse des entités et constante d'Avogadro. Masse molaire atomique d'un élément. Volume molaire d'un gaz. Concentration en quantité de matière. Absorbance, spectre d'absorption, couleur d'une espèce en solution, loi de Beer-Lambert.	Déterminer la masse molaire d'une espèce à partir des masses molaires atomiques des éléments qui la composent. Déterminer la quantité de matière contenue dans un échantillon de corps pur à partir de sa masse et du tableau périodique. Utiliser le volume molaire d'un gaz pour déterminer une quantité de matière. Déterminer la quantité de matière de chaque espèce dans un mélange (liquide ou solide) à partir de sa composition. Déterminer la quantité de matière d'un soluté à partir de sa concentration en masse ou en quantité de matière et du volume de solution. Expliquer ou prévoir la couleur d'une espèce en solution à partir de son spectre UV-visible. Déterminer la concentration d'un soluté à partir de données expérimentales relatives à l'absorbance de solutions de concentrations connues. <i>Proposer et mettre en œuvre un protocole pour réaliser une gamme étalon et déterminer la concentration d'une espèce colorée en solution par des mesures d'absorbance. Tester les limites d'utilisation du protocole.</i>
B. Suivi et modélisation de l'évolution d'un système chimique	
Transformation modélisée par une réaction d'oxydo-réduction : oxydant, réducteur, couple oxydant-réducteur, demi-équation électronique. Évolution des quantités de matière lors d'une transformation. État initial, notion d'avancement (mol), tableau d'avancement, état final. Avancement final, avancement maximal. Transformations totale et non totale. Mélanges stœchiométriques.	À partir de données expérimentales, identifier le transfert d'électrons entre deux réactifs et le modéliser par des demi-équations électroniques et par une réaction d'oxydoréduction. Établir une équation de la réaction entre un oxydant et un réducteur, les couples oxydant-réducteur étant donnés. <i>Mettre en œuvre des transformations modélisées par des réactions d'oxydoréduction.</i> Décrire qualitativement l'évolution des quantités de matière des espèces chimiques lors d'une transformation. Établir le tableau d'avancement d'une transformation chimique à partir de l'équation de la réaction et des quantités de matière initiales des espèces chimiques. Déterminer la composition du système dans l'état final en fonction de sa composition initiale pour une transformation considérée comme totale. Déterminer l'avancement final d'une réaction à partir de la description de l'état final et comparer à l'avancement maximal. <i>Déterminer la composition de l'état final d'un système et l'avancement final d'une réaction.</i> Capacité numérique : Déterminer la composition de l'état final d'un système siège d'une transformation chimique totale à l'aide d'un langage de programmation. Capacité mathématique : Utiliser une équation linéaire du premier degré.
C. Détermination d'une quantité de matière grâce à une transformation chimique	
Titrage avec suivi colorimétrique. Réaction d'oxydoréduction support du titrage ; changement de réactif limitant au cours du titrage. Définition et repérage de l'équivalence.	Relier qualitativement l'évolution des quantités de matière de réactifs et de produits à l'état final au volume de solution titrante ajoutée. Relier l'équivalence au changement de réactif limitant et à l'introduction des réactifs en proportions stœchiométriques. Établir la relation entre les quantités de matière de réactifs introduites pour atteindre l'équivalence. Expliquer ou prévoir le changement de couleur observé à l'équivalence d'un titrage mettant en jeu une espèce colorée. <i>Réaliser un titrage direct avec repérage colorimétrique de l'équivalence pour déterminer la quantité de matière d'une espèce dans un échantillon.</i>

2. De la structure des entités aux propriétés physiques de la matière

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
A. De la structure à la polarité d'une entité	
Schéma de Lewis d'une molécule, d'un ion mono ou polyatomique. Lacune électronique. Géométrie des entités. Électronégativité des atomes, évolution dans le tableau périodique. Polarisation d'une liaison covalente, polarité d'une entité moléculaire.	Établir le schéma de Lewis de molécules et d'ions mono ou polyatomiques, à partir du tableau périodique : O_2 , H_2 , N_2 , H_2O , CO_2 , NH_3 , CH_4 , HCl , H^+ , H_3O^+ , Na^+ , NH_4^+ , Cl^- , OH^- , O^{2-} . Interpréter la géométrie d'une entité à partir de son schéma de Lewis. <i>Utiliser des modèles moléculaires ou des logiciels de représentation moléculaire pour visualiser la géométrie d'une entité.</i> Déterminer le caractère polaire d'une liaison à partir de la donnée de l'électronégativité des atomes. Déterminer le caractère polaire ou apolaire d'une entité moléculaire à partir de sa géométrie et de la polarité de ses liaisons.
B. De la structure des entités à la cohésion et à la solubilité/miscibilité d'espèces chimiques	
Cohésion dans un solide. Modélisation par des interactions entre ions, entre entités polaires, entre entités apolaires et/ou par pont hydrogène. Dissolution des solides ioniques dans l'eau. Équation de réaction de dissolution. Extraction par un solvant. Solubilité dans un solvant. Miscibilité de deux liquides. Hydrophilie/lipophilie/amphiphilie d'une espèce chimique organique.	Expliquer la cohésion au sein de composés solides ioniques et moléculaires par l'analyse des interactions entre entités. Expliquer la capacité de l'eau à dissocier une espèce ionique et à solvater les ions. Modéliser, au niveau macroscopique, la dissolution d'un composé ionique dans l'eau par une équation de réaction, en utilisant les notations (s) et (aq). Calculer la concentration des ions dans la solution obtenue. Expliquer ou prévoir la solubilité d'une espèce chimique dans un solvant par l'analyse des interactions entre les entités. <i>Comparer la solubilité d'une espèce solide dans différents solvants (purs ou en mélange).</i> Interpréter un protocole d'extraction liquide-liquide à partir des valeurs de solubilités de l'espèce chimique dans les deux solvants. <i>Choisir un solvant et mettre en œuvre un protocole d'extraction liquide-liquide d'un soluté moléculaire.</i> Expliquer le caractère amphiphile et les propriétés lavantes d'un savon à partir de la formule semi-développée de ses entités. Citer des applications usuelles de tensioactifs. <i>Illustrer les propriétés des savons.</i>

3. Propriétés physico-chimiques, synthèses et combustions d'espèces chimiques organiques

A. Structure des entités organiques	
Formules brutes et semi-développées. Squelettes carbonés saturés, groupes caractéristiques et familles fonctionnelles. Lien entre le nom et la formule semi-développée. Identification des groupes caractéristiques par spectroscopie infrarouge.	Identifier, à partir d'une formule semi-développée, les groupes caractéristiques associés aux familles de composés : alcool, aldéhyde, cétone et acide carboxylique. Justifier le nom associé à la formule semi-développée de molécules simples possédant un seul groupe caractéristique et inversement. Exploiter, à partir de valeurs de référence, un spectre d'absorption infrarouge. <i>Utiliser des modèles moléculaires ou des logiciels pour visualiser la géométrie de molécules organiques.</i>
B. Synthèses d'espèces chimiques organiques	
Étapes d'un protocole. Rendement d'une synthèse.	Identifier, dans un protocole, les étapes de transformation des réactifs, d'isolement, de purification et d'analyse (identification, pureté) du produit synthétisé. Justifier, à partir des propriétés physico-chimiques des réactifs et produits, le choix de méthodes d'isolement, de purification ou d'analyse. Déterminer, à partir d'un protocole et de données expérimentales, le rendement d'une synthèse. Schématiser des dispositifs expérimentaux des étapes d'une synthèse et les légender. <i>Mettre en œuvre un montage à reflux pour synthétiser une espèce chimique organique.</i> <i>Isoler, purifier et analyser un produit formé.</i>

C. Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique

Combustibles organiques usuels Modélisation d'une combustion par une réaction d'oxydoréduction. Énergie molaire de réaction, pouvoir calorifique massique, énergie libérée lors d'une combustion. Interprétation microscopique en phase gazeuse : modification des structures moléculaires, énergie de liaison. Combustions et enjeux de société.	Citer des exemples de combustibles usuels. Écrire l'équation de réaction de combustion complète d'un alcane et d'un alcool. Estimer l'énergie molaire de réaction pour une transformation en phase gazeuse à partir de la donnée des énergies des liaisons. <i>Mettre en œuvre une expérience pour estimer le pouvoir calorifique d'un combustible.</i> Citer des applications usuelles qui mettent en œuvre des combustions et les risques associés. Citer des axes d'étude actuels d'applications s'inscrivant dans une perspective de développement durable.
--	---

Mouvement et interactions

Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
1. Interactions fondamentales et introduction à la notion de champ	
Charge électrique, interaction électrostatique, influence électrostatique. Loi de Coulomb. Force de gravitation et champ de gravitation. Force électrostatique et champ électrostatique.	Interpréter des expériences mettant en jeu l'interaction électrostatique. Utiliser la loi de Coulomb. Citer les analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle. Utiliser les expressions vectorielles : - de la force de gravitation et du champ de gravitation ; - de la force électrostatique et du champ électrostatique. Caractériser localement une ligne de champ électrostatique ou de champ de gravitation. <i>Illustrer l'interaction électrostatique. Cartographier un champ électrostatique.</i>

2. Description d'un fluide au repos

Échelles de description. Grandeurs macroscopiques de description d'un fluide au repos : masse volumique, pression, température. Modèle de comportement d'un gaz : loi de Mariotte. Actions exercées par un fluide sur une surface : forces pressantes. Loi fondamentale de la statique des fluides.	Expliquer qualitativement le lien entre les grandeurs macroscopiques de description d'un fluide et le comportement microscopique des entités qui le constituent. Utiliser la loi de Mariotte. <i>Tester la loi de Mariotte, par exemple en utilisant un dispositif comportant un microcontrôleur.</i> Exploiter la relation $F = P \cdot S$ pour déterminer la force pressante exercée par un fluide sur une surface plane S soumise à la pression P. Dans le cas d'un fluide incompressible au repos, utiliser la relation fournie exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides : $P_2 - P_1 = \rho \cdot g \cdot (z_1 - z_2)$. <i>Tester la loi fondamentale de la statique des fluides.</i>
--	--

3. Mouvement d'un système

Vecteur variation de vitesse. Lien entre la variation du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées sur celui-ci. Rôle de la masse.	Utiliser la relation approchée entre la variation du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées sur celui-ci : - pour en déduire une estimation de la variation de vitesse entre deux instants voisins, les forces appliquées au système étant connues ; - pour en déduire une estimation des forces appliquées au système, le comportement cinématique étant connu. <i>Réaliser et/ou exploiter une vidéo ou une chronophotographie d'un système modélisé par un point matériel en mouvement pour construire les vecteurs variation de vitesse. Tester la relation approchée entre la variation du vecteur vitesse entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées au système.</i> Capacité numérique : Utiliser un langage de programmation pour étudier la relation approchée entre la variation du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées sur celui-ci. Capacité mathématique : Sommer et soustraire des vecteurs.
---	---

L'énergie : conversions et transferts

Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
1. Aspects énergétiques des phénomènes électriques	
Porteur de charge électrique. Lien entre intensité d'un courant continu et débit de charges. Modèle d'une source réelle de tension continue comme association en série d'une source idéale de tension continue et d'une résistance. Puissance et énergie. Bilan de puissance dans un circuit. Effet Joule. Cas des dipôles ohmiques. Rendement d'un convertisseur.	Relier intensité d'un courant continu et débit de charges. Expliquer quelques conséquences pratiques de la présence d'une résistance dans le modèle d'une source réelle de tension continue. <i>Déterminer la caractéristique d'une source réelle de tension et l'utiliser pour proposer une modélisation par une source idéale associée à une résistance.</i> Citer quelques ordres de grandeur de puissances fournies ou consommées par des dispositifs courants. Définir le rendement d'un convertisseur. <i>Évaluer le rendement d'un dispositif</i>
2. Aspects énergétiques des phénomènes mécaniques	
Énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel. Travail d'une force. Expression du travail dans le cas d'une force constante. Théorème de l'énergie cinétique. Forces conservatives. Énergie potentielle. Cas du champ de pesanteur terrestre. Forces non conservatives : exemple des frottements. Énergie mécanique. Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique. Gain ou dissipation d'énergie.	Utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel. Utiliser l'expression du travail $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$ dans le cas de forces constantes. Énoncer et exploiter le théorème de l'énergie cinétique. Établir et utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur pour un système au voisinage de la surface de la Terre. Calculer le travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne. Identifier des situations de conservation et de non-conservation de l'énergie mécanique. Exploiter la conservation de l'énergie mécanique dans des cas simples : chute libre en l'absence de frottement, oscillations d'un pendule en l'absence de frottement, etc. Utiliser la variation de l'énergie mécanique pour déterminer le travail des forces non conservatives. <i>Utiliser un dispositif (smartphone, logiciel de traitement d'images, etc.) pour étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un système dans différentes situations : chute d'un corps, rebond sur un support, oscillations d'un pendule, etc.</i> Capacité numérique : Utiliser un langage de programmation pour effectuer le bilan énergétique d'un système en mouvement. Capacité mathématique : Utiliser le produit scalaire de deux vecteurs.

Numérique

Retrouvez et téléchargez l'intégralité du programme officiel sur [LLS.fr/PC1Programme](https://lls.fr/PC1Programme).

Ondes et signaux

1. Ondes mécaniques

Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
Onde mécanique progressive. Grandeurs physiques associées.	Décrire, dans le cas d'une onde mécanique progressive, la propagation d'une perturbation mécanique d'un milieu dans l'espace et au cours du temps : houle, ondes sismiques, ondes sonores, etc. Expliquer, à l'aide d'un modèle qualitatif, la propagation d'une perturbation mécanique dans un milieu matériel. <i>Produire une perturbation et visualiser sa propagation dans des situations variées, par exemple : onde sonore, onde le long d'une corde ou d'un ressort, onde à la surface de l'eau.</i>
Célérité d'une onde. Retard.	Exploiter la relation entre la durée de propagation, la distance parcourue par une perturbation et la célérité, notamment pour localiser une source d'onde. <i>Déterminer, par exemple à l'aide d'un microcontrôleur ou d'un smartphone, une distance ou la célérité d'une onde.</i> <i>Illustrer l'influence du milieu sur la célérité d'une onde.</i>
Ondes mécaniques périodiques. Ondes sinusoïdales. Période. Longueur d'onde. Relation entre période, longueur d'onde et célérité.	Distinguer périodicité spatiale et périodicité temporelle. Justifier et exploiter la relation entre période, longueur d'onde et célérité. Déterminer les caractéristiques d'une onde mécanique périodique à partir de représentations spatiales ou temporelles. <i>Déterminer la période, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale à l'aide d'une chaîne de mesure.</i> Capacités numériques : Représenter un signal périodique et illustrer l'influence de ses caractéristiques (période, amplitude) sur sa représentation. Simuler à l'aide d'un langage de programmation, la propagation d'une onde périodique. Capacité mathématique : Utiliser les représentations graphiques des fonctions sinus et cosinus.

2. La lumière : images et couleurs, modèles ondulatoire et particulaire

A. Images et couleurs

Relation de conjugaison d'une lentille mince convergente. Grandissement. Image réelle, image virtuelle, image droite, image renversée.	Exploiter les relations de conjugaison et de grandissement fournies pour déterminer la position et la taille de l'image d'un objet-plan réel. Déterminer les caractéristiques de l'image d'un objet-plan réel formée par une lentille mince convergente. <i>Estimer la distance focale d'une lentille mince convergente.</i> <i>Tester la relation de conjugaison d'une lentille mince convergente.</i> <i>Réaliser une mise au point en modifiant soit la distance focale de la lentille convergente soit la géométrie du montage optique.</i> Capacités mathématiques : Utiliser le théorème de Thalès. Utiliser des grandeurs algébriques.
Couleur blanche, couleurs complémentaires. Couleur des objets. Synthèse additive, synthèse soustractive. Absorption, diffusion, transmission. Vision des couleurs et trichromie.	Choisir le modèle de la synthèse additive ou celui de la synthèse soustractive selon la situation à interpréter. Interpréter la couleur perçue d'un objet à partir de celle de la lumière incidente ainsi que des phénomènes d'absorption, de diffusion et de transmission. Prévoir le résultat de la superposition de lumières colorées et l'effet d'un ou plusieurs filtres colorés sur une lumière incidente. <i>Illustrer les notions de synthèse additive, de synthèse soustractive et de couleur des objets.</i>

B. Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière

Domaines des ondes électromagnétiques. Relation entre longueur d'onde, célérité de la lumière et fréquence. Le photon. Énergie d'un photon. Description qualitative de l'interaction lumière-matière : absorption et émission. Quantification des niveaux d'énergie des atomes.	Utiliser une échelle de fréquences ou de longueurs d'onde pour identifier un domaine spectral. Citer l'ordre de grandeur des fréquences ou des longueurs d'onde des ondes électromagnétiques utilisées dans divers domaines d'application (imagerie médicale, optique visible, signaux wifi, micro-ondes, etc.). Utiliser l'expression donnant l'énergie d'un photon. Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie en utilisant les relations $\lambda = \frac{c}{\nu}$ et $\Delta E = h \cdot \nu$. <i>Obtenir le spectre d'une source spectrale et l'interpréter à partir du diagramme de niveaux d'énergie des entités qui la constituent.</i>
---	---

A

Amplitude	325
Athermique	195
Au repos	242
Avancement final	54
Avancement x	54

C

Célérité	326
Chaîne carbonée	156
Champ	222
Charge électrique	220
Cohésion	136
Concentration en masse	32
Concentration en quantité de matière	32
Combustible	194
Corpuscule	366

D

Degré Celsius	241
Demi-équation	72
Dosage	36
Doublet non liant	115

E

Élongation	325
Endothermique	195
Espèce chimique pure	176
État fondamental	367
Exothermique	195

F

Fluide	240
Fréquence	327, 365

I

Impureté	177
Incompressible	242

K

Kelvin	241
--------------	-----

L

Liaison covalente	115, 156
Longueur d'onde	327, 365

N

Nombre stœchiométrique	53
------------------------------	----

O

Oxydant	68
Oxydation	69

P

Période	327
Perturbation	325
Photon	366
Point matériel	260
Pont hydrogène (ou liaison hydrogène)	136
Propagation	325
Proportions stœchiométriques	54

Q

Quantum	366
---------------	-----

R

Radiation	366
Réactif limitant	89
Réducteur	68
Réduction	69

S

Solvant extracteur	138
Solvant initial	138
Stœchiométrie	89

T

Température de fusion	176
Transition	367

X

$X_{\max}$	54
------------------	----

Couverture : Jenson/Shutterstock, Aurelien Laforet/Shutterstock, sharonjoy17/Pixabay, Digital Images Studio/Shutterstock, Amanda Phingbodhipakkiya/Wikimedia, yotin Pakhongchai/Shutterstock, noicherybeans/Shutterstock, E.R. Degginger/Alamy

Sommaire : 4 Anastasio71/Shutterstock, 5 NaMo Stock/Shutterstock

Chapitre 1 : 12-13 Anastasio71/Shutterstock, 14 National Gallery of Victoria Melbourne/Felton Bequest/Bridgeman, Viktoriia Reuta/Shutterstock, 15 Service Optique CSG/AFP/ESA/CNES/Arianespace/AFP, 16 BSIP SA/Alamy, 18 Nevezhin Nikolay/Shutterstock, 22 magnetix/Shutterstock, LindseyRN/Shutterstock, 23 Movements for watchbrands/Wikimedia, houl Broadbent/Alamy, 25 ibex73/Wikimedia, Ana del Castillo/Shutterstock, 26 Kekyalayaynen/Shutterstock, 27 Musée Curie (coll. ACJC), North Wind Picture Archives/Alamy, AdinaVoicu/6021 photos/Pixabay, 28 National Gallery of Victoria Melbourne/Felton Bequest/Bridgeman, Xander/Wikimedia

Chapitre 2 : 30 dpa picture alliance/Alamy, 31 Maksym Yemelyanov/Alamy, 32 Manu5/Wikimedia, 33 Andrew Lambert Photography/SPL, 34 E.R. Degginger/Alamy, 36 Dorling Kindersley Ltd/Alamy, 39 BSIP SA/Alamy, 43 Frederic Legrand-COMEO/Shutterstock, ZeWrestler/Vancouver Aquarium/Wikimedia, 44 Babyboom/Shutterstock, 45 Andrew James/Alamy, 46 Starover Sibirskii/Shutterstock

Chapitre 3 : 48 Steve Tulley/Alamy, 49 Universal History Archive/UiG/Bridgeman, 50 Agencia Fotografica Caro/Alamy, Agencia Fotografica Caro/Alamy, Agencia Fotografica Caro/Alamy, 51 iGTimeline/Shutterstock, 52 Maks Namdenko/Shutterstock, 57 Chris Knapton/Alamy, 58 Kapuska/Shutterstock, 59 Counselling/Pixabay, 61 George Sweney/Alamy, 62 Remaew Roman Mozijs/Shutterstock, 63 Look and Learn/Bridgeman, Look and Learn/Bridgeman, 64 New Africa/Shutterstock, Voin_Sveta/Shutterstock

Chapitre 4 : 66 sciencephotos/Alamy, CCI/Bridgeman, 67 Melinda Nagy/Shutterstock, 68 milart/Shutterstock, yotin Pakhongchai/Shutterstock, 70 VenturiAutomobiles/Wikimedia, 71 Pkhere, 72 Taavi Adamberg/Wikimedia, 75 after_noon/Shutterstock, Tony Mach/Wikimedia, 76 forben/Shutterstock, Ihor Masliwskyi/Shutterstock, 77 Martyn F. Chillmaid/SPL/Cosmos, arthurgphotography/Shutterstock, 78 Eric Magnan/Wikimedia, Jakkt Orassri/Shutterstock, 79 Leeds Museums and Galleries (Leeds Art Gallery) U.K./Bridgeman, 80 Courtesy of Swann Auction Galleries/Bridgeman, 81 Museo di Palazzo Poggi/Wikimedia, World History Archive/Alamy, 82 CostaPPPR/Wikimedia, 83 Wellcome Images/Wikimedia, avec l'aimable autorisation des Editions Vuibert/Wikimedia, avec l'aimable autorisation des Editions Vuibert/Wikimedia, Arne Beruldsen/Shutterstock

Chapitre 5 : 84 Jose Carlos Aguilar/Shutterstock, 85 Picture Partners/Alamy, 86 Anucha Cheechang/Shutterstock, Sherry Yates Young/Shutterstock, Adragan/Shutterstock, ET1972/Shutterstock, 87 Suphakdithep Chueachot/Shutterstock, 88 BSIP SA/Alamy, Enriscares/Shutterstock, 93 chaoss/Shutterstock, 99 Beauty of science/SPL, 101 Bo982/Shutterstock, 102 Valerio/Shutterstock, 104 Eric.Coffinet/Wikimedia, CobarCZ/Shutterstock, 105 ManiacParisien/Wikimedia, 107 ManiacParisien/Wikimedia, Andrew Lambert Photography/SPL/Cosmos, Inc/Shutterstock, Francesco Scatena/Shutterstock, Strickla/Wikimedia, Rainold Speking/Wikimedia

Chapitre 6 : 108-109 Rabbittindphoto/Shutterstock, 110 ibreakstock/Shutterstock, Magcom/Shutterstock, molekul_be/Shutterstock, Idambies/Shutterstock, Junaan Wossink/Shutterstock, 111 World History Archive/Alamy, 112 Science History Images/Alamy, 114 Magcom/Shutterstock, 116 molekul_be/Shutterstock, molekul_be/Shutterstock, ibreakstock/Shutterstock, 119 ibreakstock/Shutterstock, 120 studio23/Shutterstock, 121 petag/Shutterstock, petag/Shutterstock, 122 Fotokosic/Shutterstock, 123 BSIP SA/Alamy, 124 NASA Image Collection/Alamy, 125 petag/Shutterstock, war posters/Alamy, 126 S. Bianchetti/Bridgeman, Spenk/Wikimedia, Interfoto/Alamy, Art Collection Z/Alamy, Juraan Wossink/Shutterstock, 127 Ananda Phingbodhipakkiya/Wikimedia

Chapitre 7 : 130 Bogachyova Ariana/Shutterstock, robuart/Shutterstock, 131 CCI/Bridgeman, 132 bismandarinas/Shutterstock, Eloy/Wikimedia, 133 molekul_be/Shutterstock, 134 gggw/Shutterstock, 135 molekul_be/Shutterstock, molekul_be/Shutterstock, molekul_be/Shutterstock, 136 SweetNature/Shutterstock, 139 Viktoriia Prusakova/Shutterstock, Inna Bigun/Shutterstock, 141 lineira/Shutterstock, 142 molekul_be/Alamy, 144 Seroff/Shutterstock, Benjah-bm27/Wikimedia, 145 Miguel G. Saavedra/Shutterstock, 146 Valentin Volokov/Shutterstock, Edoma/Shutterstock, 147 Aleksandr Pobedinski/Shutterstock, 148 Karyna/Shutterstock, 149 kitirat roekuri/Shutterstock

Chapitre 8 : 150 noicherybeans/Shutterstock, Thongden Studio/Shutterstock, 151 Yoann Stoeckel/DR, 152 ibreakstock/Shutterstock, molekul_be/Shutterstock, 154 molekul_be/Shutterstock, Kim Christensen/Shutterstock, 155 petag/Shutterstock, ibreakstock/Shutterstock, 156 petag/Shutterstock, 160 ibreakstock/Shutterstock, 161 molekul_be/Shutterstock, 162 molekul_be/Shutterstock, 163 molekul_be/Shutterstock, 164 ibreakstock/Shutterstock, molekul_be/Shutterstock, 165 petag/Shutterstock, 166 Hafidzu/Shutterstock, molekul_be/Shutterstock, ibreakmedia/Alamy, 167 petag/Shutterstock, yogoiggo/Shutterstock, Look and Learn/Bridgeman, 168 Science Photo Library/Alamy, petag/Shutterstock

Chapitre 9 : 170 Peter Horree/Alamy, Ian Shaw/Alamy, 172 Eliane Haykal, 177 Matyas Rehak, 183 Wasanajai, Mitch Shark, 184 Nishihama, 185 Luisa Pucini, Kevin Wells/Alamy, 187 Ian Dagnall Computing/Alamy, Stefano Baldini/Bridgeman, Alexis Jaz/Wikimedia

Chapitre 10 : 188 Bildagentur Zoonar GmbH/Shutterstock, Tatsiana Tsyhanova/Shutterstock, 189 Frank Fox/SPL-Science Photo Library/Biosphoto, 190 kubais/Shutterstock, Kaca Skokanova/Shutterstock, Ken StockPhoto/Shutterstock, Rudmer Zwerner/Shutterstock, Lepas/Shutterstock, Hamik/

Shutterstock, IhorL/Shutterstock, Red Ivory/Shutterstock, 192 NASA/Bill Ingalls/Wikimedia, petag/Shutterstock, 194 CWcraftsman/Shutterstock, 198 Gita Kulnitch Studio/Shutterstock, Davis Laurins Photography/Shutterstock, 199 ClubhouseArts/Shutterstock, 200 MarinaGrigoriyina/Shutterstock, 201 Veneridis Vasilis/Shutterstock, Piotr Zajda/Shutterstock, 202 designmaestro/Shutterstock, Natalia Sokolovska/Shutterstock, 203 Andrew Makedonski/Shutterstock, 204 Metropolitan Museum of Art/Wikimedia, Menno Schaefer/Shutterstock, Alcyon-Media-Group/Wikimedia, 205 Tanguy de Saint-Cyr/Shutterstock, Leonid Andronov/Shutterstock, 206 Whitevector/Shutterstock, Alain Le Toquin/Biosphoto, 207 Oil and Gas Photographer/Shutterstock, 208 Jbdodane/Flickr, 210 Usa-Pyron/Shutterstock

Chapitre 11 : 214 Private Collection/Bridgeman, 215 Klagivik Viktor/Shutterstock, 219 Look and Learn/Bridgeman, 225 Bjørn Wylezich/Shutterstock, 226 Digital Images Studio/Shutterstock, 227 Dusan Zidar/Shutterstock, 228 haryigit/Shutterstock, Sergey Nivens/Shutterstock, kneirra/Shutterstock, 229 Greg K._ca/Shutterstock, 230 N.paporn Panyachareon/Shutterstock, Johan Swanepoel/Shutterstock, 231 Jacek Halicki/Wikimedia, 232 Heather Drake/Alamy, Anton Sariiiev/Shutterstock, Den Rozhnovsky/Shutterstock

Chapitre 12 : 234 Jarp2/Shutterstock, 235 javier gonzalez leyva/Shutterstock, 237 SEMM Université Lille 1/phymainuisciel.fr/Lapina/Shutterstock, Dan Kosmayer/Shutterstock, 245 NASA/Wikimedia/Shutterstock, 246 outpost/Shutterstock, David R. Frazier Photo Library, Inc./Alamy, 248 World History Archive/Alamy, 249 JIM Photography/Shutterstock, Popart/Shutterstock, 250 Look and Learn/Bridgeman, 251 age fotostock/Alamy, 252 Johan Holmdahl/Shutterstock, Lorenzo Lippi/Wikimedia, De Agostini Picture Library/Bridgeman

Chapitre 13 : 254 Granger/Bridgeman, 255 Marvel Studios/TC/DR, 256 Vera Larina/Shutterstock, Baranov E/Shutterstock, 257 Steve Hynes/Alamy, 258 Hunter/Wikimedia, 259 Prod DB/Warner Bros./Esperanto Film/Heyday Films/TC/DR, 260 Marco Scisetti/Shutterstock, 261 dpa picture alliance/Alamy, Rick Neves/Shutterstock, 264 enchanted_fairy/Shutterstock, 265 Kent Weakley/Shutterstock, 267 Stock image/Shutterstock, HansPhoto motion/DR, 268 Iuri Osadchii/Shutterstock, 270 Nikolay Litov/Shutterstock, 273 Gedor Ar Minou-Shippotter/Flickr, 274 The History Collection/Alamy, 275 Index Fototeca/Bridgeman, RZ Images/Shutterstock

Chapitre 14 : 276-277 Jenson/Shutterstock, 278 goory/Shutterstock, Taras Verkhovynets/Shutterstock, 279 RossHelen/Shutterstock, 282 Chicobodif/Shutterstock, 283 Kenishiroite/Shutterstock, 284 Sopotnicki/Shutterstock, optimarc/Shutterstock, AnimaLora Pics/Shutterstock, 285 stanley/Shutterstock, Jr Images/Shutterstock, risteki goce/Shutterstock, JNT Visual/Shutterstock, buy this/Shutterstock, 288 Neil Bussey/Shutterstock, 289 Ner Gal/Shutterstock, carballo/Shutterstock, 291 Redpixel.PL/Shutterstock, Daniel Krasov/Shutterstock, jayk67/Shutterstock, 292 Barocz Peter/Shutterstock, 293 Alizada Studios/Shutterstock, 294 Ryan Fletcher/Shutterstock

Chapitre 15 : 296 ImageBROKER/Alamy, Science History Images/Alamy, 297 Denis Kozlenko/Alamy, 298 Pit Stock/Shutterstock, 299 Nikolay Kuleshin/Shutterstock, 300 Alexey Boldin/Shutterstock, 302 bezkus/Shutterstock, 303 marino bocelli/Shutterstock, 306 Vikki/Shutterstock, debby Wong/Shutterstock, 309 EDB Image Archive/Alamy, 310 PhilipImage/Shutterstock, Jarek Tuszyński/Wikimedia, 311 action sports/Shutterstock, Robson Vieira/Shutterstock, 312 Dragon Images/Shutterstock, PicureLux/The Hollywood Archive/Alamy, Peter Stein/Shutterstock, 313 Anton Gvozdkov/Shutterstock, 314 Photocab/Shutterstock, Entertainment Pictures/Alamy, 315 NASA/Novapix/Bridgeman, 316 Presslab/Shutterstock, 317 Song_about_summer/Shutterstock

Chapitre 16 : 318-319 hxdyl/Shutterstock, 320 Roman Nogin/Shutterstock, kiojungboy/Shutterstock, 321 Sayan Moongklang/Shutterstock, 322 Arelles/Shutterstock, alexich/Shutterstock, 330 Marco Iacobucci EPP/Shutterstock, Natalinaosova/Shutterstock, 331 Tatiana Popova/Shutterstock, 332 Valery Rothin/Shutterstock, AlesiaKan/Shutterstock, 334 Fototaras/Shutterstock, ChrisVanLennep-Photo, 335 Attilac/Shutterstock, coleritalk/Shutterstock, 336 Bookend/Alamy, Josefukub/Shutterstock, 337 Eduard Gebel/Shutterstock

Chapitre 17 : 340 sharonjoy17/Pixabay, Marek Mosinski/Shutterstock, 341 Mila Supinskaya Glaschenko/Shutterstock, 344 Pkhere, 346 Ekhalak Ngamjarasavani/Shutterstock, Scisetti Afro/Shutterstock, 347 Saioev Evgeniy/Shutterstock, Zanaiah Salam/Shutterstock, 348 Gal Csilla/Shutterstock, 351 Maxim Khytra/Shutterstock, 352 PictureLux/The Hollywood Archive/Alamy, 353 Elena Rudyk/Shutterstock, 354 decade3d-anatomy online/Shutterstock, LanaN/Shutterstock, 355 pinxio, 356 Food Travel Stockforlife/Shutterstock, North Wind Picture Archives/Alamy, Royal Society, London/Bridgeman, 357 Lebrecht Music & Arts/Alamy, Dmytro Balkhovit/Shutterstock, 358 fer Gregry/Shutterstock, Pit Stock/Shutterstock

Chapitre 18 : 360 Dar1930/Shutterstock, Kerckwe/Shutterstock, Olga Kot Photo/Shutterstock, 361 Jamen Percy/Shutterstock, 365 Yes-Royalty Free/Shutterstock, 370 Heintje Joseph T. Lee/Shutterstock, 371 Ivan Smuk/Shutterstock, Mark Kostich/Shutterstock, 372 NASA, ESA, M. Robberto/Wikimedia, 374 Jeremy Benthall/Shutterstock, Doug McLean/Shutterstock, 376 HalloweenNight/Wikimedia, Zarex/Wikimedia, 377 National Portrait Gallery/Wikimedia, Gemeentemuseum Den Haag/Haags Historisch Museum/Wikimedia, GL Archive/Alamy, Louis Figuiet/Wikimedia, Nicu/Shutterstock, Orren Jack Turner/Wikimedia, Heritage Image Partnership Ltd/Alamy, 378 Spaceaem2/Wikimedia, 379 andersphoto/Shutterstock, Chamille White/Shutterstock, 380 Science History Images/Alamy, 381 Zyabich/Shutterstock

Remerciements : Nous remercions l'administration et le personnel de laboratoire de l'École Normale Supérieure de Lyon (ENS) et du lycée J. Brel de Vénissieux (69) pour leur précieuse contribution à la réalisation des montages photographiques et vidéos. Nous remercions également Uptale et Thomas Van Peteghem, Mohamed Zekri pour leur participation. Un remerciement tout particulier à Geneviève Ponnomet et Sébastien Ferron pour leur implication dans le projet, ainsi qu'Arnaud Cetoute, Aude Leray, Jeanne Naudet et Mathilde Yzébe.

Dépôt légal : juin 2019.

ISBN : 978-2-37760-144-8.

Imprimé en France par BLG.

Fabrication : Brigitte Bourgeas.

Lelivrescolaire.fr Éditions
14 rue Rhin et Danube
69009 Lyon
contact@lelivrescolaire.fr



L'ensemble des contenus rédigés par les auteurs du manuel sont sous licence libre Creative Commons CC BY SA.

Sécurité



Explosif



Inflammable



Comburent



Dangereux pour l'environnement



Nocif, irritant, sensibilisant



Toxique



Corrosif



Gaz sous pression

Les bons réflexes à avoir

Pour prévenir les accidents

Toujours porter la blouse pour les manipulations réalisées au laboratoire.

Cette remarque est valable lorsqu'on est en train de manipuler ou bien posté à proximité.

Porter des lunettes ou des surlunettes de sécurité lors de la manipulation d'espèces chimiques :

- toxiques ;
- irritantes ou sensibilisantes ;
- corrosives.

Enfiler une paire de gants de protection adaptés lors de la manipulation d'espèces chimiques :

- toxiques ;
- irritantes ou sensibilisantes ;
- corrosives.

Récupérer dans un bécher poubelle les espèces chimiques identifiées en début de séance par le professeur ou par l'énoncé.

En cas d'accident

En cas de contact sur la peau d'une espèce toxique, irritante ou corrosive :

Appeler immédiatement le professeur et passer la zone touchée sous l'eau pendant 5 à 10 minutes.

En cas de projection dans les yeux :

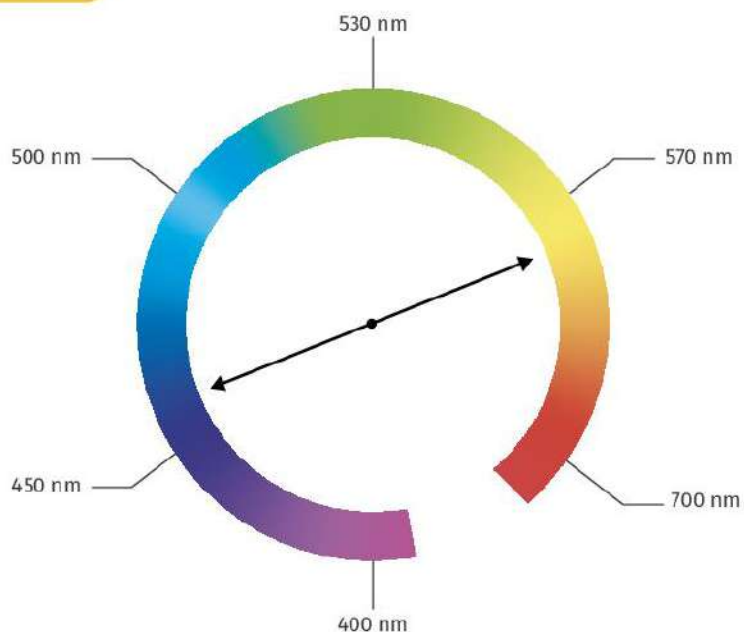
Appeler immédiatement le professeur, rincer au plus vite à l'aide d'un rince-œil.

GROUPES CARACTÉRISTIQUES EN CHIMIE ORGANIQUE

Fonction	Groupe caractéristique	Formule et nom générique
alcane	$\begin{array}{c} \\ -C- \\ \end{array}$	$C_n H_{2n+2}$ alcane
alcène	$\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ C=C \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$	$C_n H_{2n}$ alc-i-ène
alcyne	$-C \equiv C-$	$C_n H_{2n-2}$ alc-i-yne
alcool	$\begin{array}{c} \\ -C-\bar{O}H \\ \end{array}$	ROH alcan-i-ol
aldéhyde	$\begin{array}{c} \bar{O} \\ // \\ -C \\ \\ H \end{array}$	RCHO alcanal
cétone	$\begin{array}{c} \bar{O} \\ // \\ -C-C- \\ \quad \diagdown \end{array}$	RCOR' alcan-i-one
acide carboxylique	$\begin{array}{c} \bar{O} \\ // \\ -C \\ \\ \bar{O}H \end{array}$	RCOOH acide alcanoi-que
ester	$\begin{array}{c} \bar{O} \\ // \\ -C \\ \quad \\ \bar{O} \quad C- \\ \quad \end{array}$	RCOOR' alcanoate d'alkyle

Exemple avec un alcool : $\begin{array}{c} \overset{1}{CH_3}-\overset{2}{\underset{\underset{HO}{|}}{CH}}-\overset{3}{CH_2}-\overset{4}{CH_2}-\overset{5}{CH_3} \end{array}$ l'alcan-i-ol s'écrit ici pentan-2-ol.

CERCLE CHROMATIQUE



1	¹ H hydrogène 1,0	2	⁹ Be béryllium 9,0	3	²³ Na sodium 23,0	4	²⁴ Mg magnésium 24,3	5	²⁵ Al aluminium 27,0	6	²⁶ Si silicium 28,1	7	³¹ P phosphore 31,0	8	³² S soufre 32,1	9	³⁵ Cl chlore 35,5	10	⁴⁰ Ar argon 40,0	11	³⁹ K potassium 39,1	12	⁴⁰ Ca calcium 40,1	13	³⁹ K potassium 39,1	14	⁴⁰ Ca calcium 40,1	15	⁴¹ Sc scandium 45,0	16	⁴² Ti titane 47,9	17	⁴³ V vanadium 50,9	18	⁴⁴ Cr chrome 52,0	19	⁴⁵ Mn manganèse 54,9	20	⁴⁶ Fe fer 55,9	21	⁴⁷ Co cobalt 58,9	22	⁴⁸ Ni nickel 58,7	23	⁴⁹ Cu cuivre 63,6	24	⁵⁰ Zn zinc 65,4	25	⁵¹ Ga gallium 69,7	26	⁵² Ge germanium 72,6	27	⁵³ As arsenic 74,9	28	⁵⁴ Se sélénium 79,0	29	⁵⁵ Br brome 79,9	30	⁵⁶ Kr krypton 83,8	31	⁵⁷ Rb rubidium 85,5	32	⁵⁸ Sr strontium 87,6	33	⁵⁹ Y yttrium 88,9	34	⁶⁰ Zr zirconium 91,2	35	⁶¹ Nb niobium 92,9	36	⁶² Mo molybdène 96	37	⁶³ Tc technétium 98	38	⁶⁴ Ru ruthénium 101,1	39	⁶⁵ Rh rhodium 102,9	40	⁶⁶ Pd palladium 106,4	41	⁶⁷ Ag argent 107,9	42	⁶⁸ Cd cadmium 112,4	43	⁶⁹ In indium 114,8	44	⁷⁰ Sn étain 118,7	45	⁷¹ Pb plomb 207,2	46	⁷² Bi bismuth 208,0	47	⁷³ Po polonium 210	48	⁷⁴ At astate 210	49	⁷⁵ Rn radon 222	50	⁷⁶ Og oganesson 284	51	⁷⁷ Fr francium 223	52	⁷⁸ Ra racium 226	53	⁷⁹ Ac actinium 227	54	⁸⁰ Th thorium 232	55	⁸¹ Pa protactinium 231	56	⁸² U uranium 238	57	⁸³ Np neptunium 237	58	⁸⁴ Pu plutonium 244	59	⁸⁵ Am américium 243	60	⁸⁶ Cm curium 247	61	⁸⁷ Bk berkélium 247	62	⁸⁸ Cf californium 251	63	⁸⁹ Es einsteinium 254	64	⁹⁰ Fm fermium 257	65	⁹¹ Md mendelevium 258	66	⁹² No nobélium 259	67	⁹³ Lr lawrencium 260	68	⁹⁴ He hélium 4,0	69	⁹⁵ Ne néon 20,2	70	⁹⁶ Ar argon 40,0	71	⁹⁷ Kr krypton 83,8	72	⁹⁸ Xe xénon 131,3	73	⁹⁹ Rn radon 222	74	¹⁰⁰ Og oganesson 284	75	¹⁰¹ Fr francium 223	76	¹⁰² Ra racium 226	77	¹⁰³ Ac actinium 227	78	¹⁰⁴ Th thorium 232	79	¹⁰⁵ Pa protactinium 231	80	¹⁰⁶ U uranium 238	81	¹⁰⁷ Np neptunium 237	82	¹⁰⁸ Pu plutonium 244	83	¹⁰⁹ Am américium 243	84	¹¹⁰ Cm curium 247	85	¹¹¹ Bk berkélium 247	86	¹¹² Cf californium 251	87	¹¹³ Es einsteinium 254	88	¹¹⁴ Fm fermium 257	89	¹¹⁵ Md mendelevium 258	90	¹¹⁶ No nobélium 259	91	¹¹⁷ Lr lawrencium 260	92	¹¹⁸ He hélium 4,0	93	¹¹⁹ Ne néon 20,2	94	¹²⁰ Ar argon 40,0	95	¹²¹ Kr krypton 83,8	96	¹²² Xe xénon 131,3	97	¹²³ Rn radon 222	98	¹²⁴ Og oganesson 284	99	¹²⁵ Fr francium 223	100	¹²⁶ Ra racium 226	101	¹²⁷ Ac actinium 227	102	¹²⁸ Th thorium 232	103	¹²⁹ Pa protactinium 231	104	¹³⁰ U uranium 238	105	¹³¹ Np neptunium 237	106	¹³² Pu plutonium 244	107	¹³³ Am américium 243	108	¹³⁴ Cm curium 247	109	¹³⁵ Bk berkélium 247	110	¹³⁶ Cf californium 251	111	¹³⁷ Es einsteinium 254	112	¹³⁸ Fm fermium 257	113	¹³⁹ Md mendelevium 258	114	¹⁴⁰ No nobélium 259	115	¹⁴¹ Lr lawrencium
---	---	---	--	---	---	---	--	---	--	---	---	---	---	---	--	---	---	----	--	----	---	----	--	----	---	----	--	----	---	----	---	----	--	----	---	----	--	----	--	----	---	----	---	----	---	----	---	----	--	----	--	----	--	----	---	----	--	----	--	----	---	----	--	----	---	----	--	----	--	----	--	----	---	----	---	----	---	----	---	----	--	----	---	----	--	----	---	----	---	----	---	----	--	----	--	----	---	----	---	----	--	----	--	----	--	----	---	----	--	----	--	----	---	----	---	----	---	----	--	----	---	----	---	----	---	----	---	----	---	----	--	----	--	----	--	----	---	----	--	----	--	----	---	----	---	----	--	----	---	----	---	----	---	----	--	----	---	----	---	----	--	----	--	----	--	----	---	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	---	----	---	----	---	----	--	----	---	----	---	----	--	----	--	----	--	----	---	-----	---	-----	---	-----	--	-----	---	-----	---	-----	--	-----	--	-----	--	-----	---	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	---	-----	--

1. Le nombre de masse (nombre de nucléons) indiqué est celui de l'isotope stable majoritaire.
2. La masse molaire indiquée est la masse molaire moyenne pondérée par l'abondance des isotopes.

CONNECTEZ-VOUS SUR
www.lelivrescolaire.fr

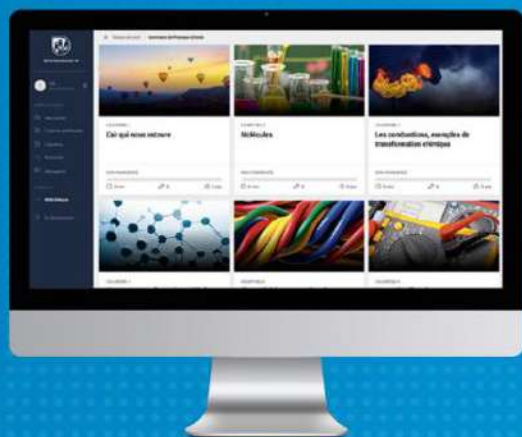
Gratuit et libre d'accès

Gratuit pour le professeur

- **VIDÉOPROJECTION**
Toutes les ressources du manuel projetables en un clic : zoomez sur les schémas, agrandissez les textes, etc.
- **LIVRE DU PROFESSEUR**
Des compléments pédagogiques à télécharger sur LLS.fr/LivreDuProf.
- **ENRICHISSEMENTS**
Des dizaines d'exercices supplémentaires et des vidéos pour compléter vos cours.

Gratuit pour l'élève

- **LABO DE SCIENCES**
Une bibliothèque d'outils et de ressources pour enrichir sa pratique de la Physique-Chimie.
- **VIDÉOS**
Des résumés de cours et des travaux pratiques en vidéo sur LLS.fr/PC1Videos.
- **RÉVISIONS**
Tout le contenu du manuel accessible en ligne pour réviser sur son ordinateur ou sur son smartphone.
- **EXERCICES**
Des milliers d'exercices interactifs pour s'entraîner en ligne.
- **DYSLEXIE**
Un mode de lecture spécial, adapté aux élèves dyslexiques.



Sur abonnement

- + Application tablette, connexion ENT, GAR et Pronote, remédiation, personnalisation du manuel, accès hors connexion, évaluation : beaucoup d'autres fonctionnalités pour basculer dans une expérience numérique incomparable !



IMPRIMÉ
EN FRANCE

www.lelivrescolaire.fr/abonnement

