

spécialité

# PHYSIQUE CHIMIE

*Méthode simple  
et efficace d'apprentissage*



Tle

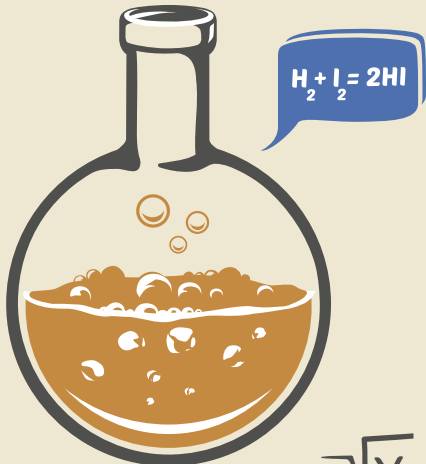
Questions-réponses

Exercices et corrigés

Cartes mentales

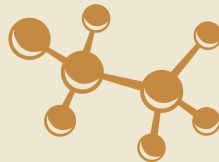
Codes Python à télécharger

Flashcards à découper



Fomesoutra.com  
ça soutra!

$\sqrt{x}$





spécialité

# PHYSIQUE-CHIMIE

*Méthode simple et efficace  
d'apprentissage*

T<sup>le</sup>

Hassan KHALIL

Professeur de Physique-Chimie au lycée Le Verger



Collection *Méthode et Flashcards*  
dirigée par Hassan KHALIL

Retrouvez tous les titres de la collection et des explications  
sur [www.editions-ellipses.fr](http://www.editions-ellipses.fr)



**Conception graphique couverture:** Nathalie FOULLOY

**Conception graphique intérieur:** Charline PINTO

**Mise en pages:** Soft Office

ISBN 9782340-085993

©Ellipses Édition Marketing S.A., 2023

8/10 rue la Quintinie 75015 Paris



Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5.2° et 3°a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

[www.editions-ellipses.fr](http://www.editions-ellipses.fr)

# *Avant-propos*

Le but de ce livre est d'aider les élèves de la classe de terminale de spécialité physique chimie à mieux apprendre et réviser les cours de physique et chimie fournis par leurs enseignants et leurs manuels scolaires.

La méthode adoptée est basée sur la diversification des outils d'apprentissage pour mobiliser les différentes formes de la mémoire.

Chaque chapitre débute avec 10 questions et réponses qui résument tout ce qu'il faut savoir sur le chapitre en termes de définitions et de formules. Cette présentation synthétique du cours permet de mieux le maîtriser en allant directement à l'essentiel.

Ces 10 questions et réponses ainsi que 2 autres en complément, sont présentées en fin de livre sous forme de flashcards à découper pour en faire un jeu de cartes. La technique des flashcards est une technique ludique très conseillée par les spécialistes des sciences cognitives car elle mobilise les mémoires auditive et visuelle et rend l'apprentissage plus facile pour certains élèves. Les flashcards peuvent être utilisées pour apprendre ou réviser un chapitre ou plusieurs chapitres; en solitaire ou en groupe d'élèves.

Chaque chapitre comprend aussi une série d'exercices avec leurs corrigés. Ces exercices ciblés permettent aux élèves de mobiliser leurs savoirs, d'apprendre à utiliser correctement les formules dans des situations variées et à proposer des protocoles expérimentaux. L'exercice utilisant le langage de programmation Python permet aux élèves d'acquérir la maîtrise des capacités numériques. Cette étape fait intervenir la mémoire kinesthésique; elle améliore l'apprentissage et le rend plus efficace.

La carte mentale fournie en fin de chaque chapitre est très utile pour apprendre le cours et le réviser surtout pour les élèves qui ont une mémoire visuelle (la plus répandue).

La méthode de travail et les outils présentés dans ce livre permettront de favoriser chez les élèves la mémoire de long terme et de les préparer efficacement aux évaluations. Ces techniques leur seront utiles tout au long de leur scolarité.



# Sommaire

## I. Constitution et transformation de la matière

1.	Transformations acide-base .....	7
2.	Méthodes physiques d'analyse d'un système chimique.....	19
3.	Méthodes chimiques d'analyse d'un système chimique .....	37
4.	Suivi temporel d'un système chimique.....	63
5.	Radioactivité.....	89
6.	Évolution spontanée d'un système chimique .....	107
7.	Force des acides et des bases.....	133
8.	Évolution forcée d'un système chimique .....	155
9.	Stratégies en synthèse organique .....	175

## II. Mouvement et interactions

10.	Description d'un mouvement .....	195
11.	Mouvement et forces.....	215
12.	Mouvement dans un champ uniforme .....	235
13.	Mouvements des satellites et des planètes .....	263
14.	Mouvements des fluides.....	285

## III. Énergie: conversion et transferts

15.	Modèle du gaz parfait.....	305
16.	Premier principe de la thermodynamique .....	323

## IV. Ondes et signaux


17.	Les phénomènes ondulatoires .....	345
18.	Lunette astronomique .....	369
19.	Interactions photons-matière.....	391
20.	Suivi temporel d'un système électrique capacitif.....	409

Flashcards à découper .....	437
-----------------------------	-----



# TRANSFORMATIONS ACIDE-BASE


## LES 10 QUESTIONS

1  C'est quoi un acide selon Brønsted?


↳ .....  
.....

2  C'est quoi une base selon Brønsted?

↳ .....  
.....

3  C'est quoi un couple acide-base?

↳ .....  
.....

4  C'est quoi une espèce amphotère?





↳ .....  
.....

5  C'est quoi une transformation acide-base?

↳ .....  
.....

6  Quelle est la formule chimique de la base conjuguée de l'eau?

↳ .....  
.....

- 7  Quelle est la formule chimique de l'acide conjugué de l'eau?  
 ↪ .....
- 8  Donner les deux couples acides bases auxquels appartient l'eau. Quel est le nom attribué à l'eau dans ces conditions?  
 ↪ .....
- 9  Donner le nom de l'ion  $\text{NH}_4^+$ . Donner le nom et la formule de sa base conjuguée.  
 ↪ .....
- 10  Dans une solution, une amine se comporte comme un acide ou comme une base? Justifier.  
 ↪ .....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Identifier des couples acide-base

Indiquer, parmi les couples ci-dessous ceux qui correspondent à des couples acide-base et écrire leurs demi-équations acide-base.

- 1  $\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})$
- 2  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})/\text{HO}^-(\text{aq})$
- 3  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- 4  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{HO}^-(\text{aq})$
- 5  $\text{Al}^{3+}(\text{aq})/\text{Al}(\text{s})$
- 6  $\text{NH}_3(\text{aq})/\text{NH}_4^+(\text{aq})$
- 7  $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})/\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$
- 8  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})/\text{HSO}_4^-(\text{aq})$


**EXERCICE 2 Identifier une transformation acide-base**

Indiquer, parmi les équations ci-dessous celles qui correspondent à une transformation acide-base et donner les couples acide-base qui y participent.

- 1  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{HO}^{-}(\text{aq}) = \text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$
- 2  $\text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq}) + \text{HO}^{-}(\text{aq}) = 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- 3  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- 4  $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{NH}_4^{+}(\text{aq}) + \text{HO}^{-}(\text{aq})$
- 5  $\text{HCO}_3^{-}(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq}) = \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- 6  $\text{Zn}(\text{s}) + 2 \text{H}^{+}(\text{aq}) = \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$


**EXERCICE 3 Équation d'une réaction acide-base**

Écrire les demi-équations et les équations des réactions acide-base suivantes :

- 1 Réaction entre les ions  $\text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq})$  et les molécules d'ammoniac  $\text{NH}_3(\text{aq})$ .
- 2 Réaction entre les molécules d'acide méthanoïque  $\text{HCOOH}(\text{aq})$  et les ions d'hydroxyde  $\text{OH}^{-}(\text{aq})$ .

Données: Les couples acide-base

$\text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ;  $\text{NH}_4^{+}(\text{aq})/\text{NH}_3(\text{aq})$ ;  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{HO}^{-}(\text{aq})$ ;  $\text{HCOOH}(\text{aq})/\text{HCOO}^{-}(\text{aq})$ .


**EXERCICE 4 Espèce chimique amphotère**

L'ion hydrogénocarbonate  $\text{HCO}_3^{-}(\text{aq})$  est une espèce chimique amphotère.

- a Rappeler la définition d'une espèce chimique amphotère.
- b Écrire les couples acide-base de l'ion  $\text{HCO}_3^{-}(\text{aq})$ .


**EXERCICE 5 Au sujet de la méthanimine**

La méthanimine de formule chimique  $\text{CH}_3\text{-NH}_2(\text{aq})$  est un composé utilisé comme antiseptique pour le traitement de certaines infections et dans la fabrication de résines.

- a Donner la formule chimique de l'acide conjugué de la méthanimine.
- b Écrire le couple acide-base auquel appartient la méthanimine.
- c Écrire l'équation de la réaction acide-base entre l'ion hydronium  $\text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq})$  et la méthanimine.


**EXERCICE 6 Question ouverte**

L'ion hydrogénophosphate  $\text{HPO}_4^{2-}(\text{aq})$  est une espèce chimique amphotère.  
Écrire les deux équations chimiques de ses deux réactions acide-base avec l'eau.


**EXERCICE 7 Au sujet de l'aspirine**

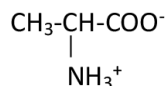
L'aspirine de formule brute  $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$  est une espèce chimique acide dont le nom est l'acide acétylsalicylique.

- Donner la formule chimique de la base conjuguée de l'aspirine.
- Écrire le couple acide-base que forme l'aspirine.
- Écrire l'équation de la réaction acide-base entre l'aspirine et les ions hydroxyde  $\text{HO}^-(\text{aq})$ .


**EXERCICE 8 Au sujet d'un zwitterion**









Un zwitterion est une molécule globalement neutre, qui comporte une charge positive et une charge négative.


Un exemple de zwitterion est donné par la formule ci-dessous :




- Écrire la formule chimique de la base conjuguée de ce zwitterion.
- Écrire la formule chimique de l'acide conjugué de ce zwitterion.
- Écrire les deux couples acide-base de ce zwitterion.
- Écrire l'équation de la réaction acide-base entre ce zwitterion et les ions  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ .
- Ce zwitterion est-il amphotère? Justifier.

## CORRIGÉS DES QUESTIONS

- 1  C'est quoi un acide selon Brønsted?
- + C'est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs protons  $H^+$ .
- 2  C'est quoi une base selon Brønsted?
- + C'est une espèce chimique capable de capter un ou plusieurs protons  $H^+$ .
- 3  C'est quoi un couple acide-base?
- + C'est le couple  $AH/A^-$  formé d'un acide  $AH$  et d'une base  $A^-$  conjugués de demi-équation:  $AH = A^- + H^+$ .
- 4  C'est quoi une espèce amphotère?
- + C'est une espèce qui peut se comporter comme un acide ou une base.
- 5  C'est quoi une transformation acide-base?
- + C'est un transfert de proton  $H^+$  entre l'acide  $A_1H$  d'un premier couple  $A_1H/A_1^-$  et la base  $A_2^-$  d'un second couple  $A_2H/A_2^-$ .
- 6  Quelle est la formule chimique de la base conjuguée de l'eau?
- + L'ion hydroxyde  $HO^-(aq)$ .
- 7  Quelle est la formule chimique de l'acide conjugué de l'eau?
- + L'ion hydronium  $H_3O^+(aq)$ .
- 8  Donner les deux couples acides bases auxquels appartient l'eau. Quel est le nom attribué à l'eau dans ces conditions?
- + Le couple  $H_2O/HO^-$  où l'eau joue le rôle d'acide et le couple  $H_3O^+/H_2O$  où l'eau joue le rôle de base. L'eau pouvant jouer le rôle d'acide et de base est dite amphotère.

- 9  Donner le nom de l'ion  $\text{NH}_4^+$ . Donner le nom et la formule de sa base conjuguée.

+  $\text{NH}_4^+$  est l'ion ammonium sa base conjuguée est l'ammoniac  $\text{NH}_3$ .

- 10  Dans une solution, une amine se comporte comme un acide ou comme une base? Justifier.

+ Dans une solution une amine se comporte comme une base car elle peut capter un proton.

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Identifier des couples acide-base

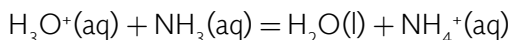
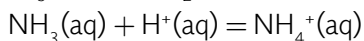
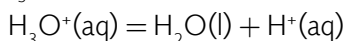
- 1  $\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})$  n'est pas un couple acide-base.  
Car l'équation  $\text{H}^+(\text{aq}) = \text{H}_2(\text{g}) + \text{H}^+(\text{aq})$  n'est pas valide.
- 2  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})/\text{HO}^-(\text{aq})$  n'est pas un couple acide-base.  
Car l'équation  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) = \text{HO}^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq})$  n'est pas valide.
- 3  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  est un couple acide base:  
$$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{H}^+(\text{aq})$$
- 4  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{HO}^-(\text{aq})$  est un couple acide base:  
$$\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{HO}^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq})$$
- 5  $\text{Al}^{3+}(\text{aq})/\text{Al}(\text{s})$  n'est pas un couple acide-base.  
Car l'équation  $\text{Al}^{3+}(\text{aq}) = \text{Al}(\text{s}) + \text{H}^+(\text{aq})$  n'est pas valide.
- 6  $\text{NH}_3(\text{aq})/\text{NH}_4^+(\text{aq})$  n'est pas un couple acide-base.  
Car l'équation  $\text{NH}_3(\text{aq}) = \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq})$  n'est pas valide.
- 7  $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})/\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$  est un couple acide base:  
$$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) = \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq})$$
- 8  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})/\text{HSO}_4^-(\text{aq})$  est un couple acide base:  
$$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) = \text{HSO}_4^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq})$$

**EXERCICE 2 Identifier une transformation acide-base**

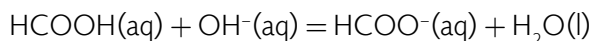
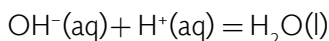
- 1  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{HO}^{-}(\text{aq}) = \text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ : ce n'est pas une équation d'une transformation acide-base.
- 2  $\text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq}) + \text{HO}^{-}(\text{aq}) = 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ : c'est une équation d'une transformation acide-base.  
Les deux couples sont:  $\text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  et  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{HO}^{-}(\text{aq})$ .
- 3  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ : ce n'est pas une équation d'une transformation acide-base.
- 4  $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{NH}_4^{+}(\text{aq}) + \text{HO}^{-}(\text{aq})$ : c'est une équation d'une transformation acide-base.  
Les deux couples sont:  $\text{NH}_4^{+}(\text{aq})/\text{NH}_3(\text{g})$  et  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{HO}^{-}(\text{aq})$ .
- 5  $\text{HCO}_3^{-}(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq}) = \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ : c'est une équation d'une transformation acide-base.  
Les deux couples sont:  $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})/\text{HCO}_3^{-}(\text{aq})$  et  $\text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ .
- 6  $\text{Zn}(\text{s}) + 2 \text{H}^{+}(\text{aq}) = \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$ : ce n'est pas une équation d'une transformation acide-base.

**EXERCICE 3 Équation d'une réaction acide-base**

- 1 Réaction entre les ions  $\text{H}_3\text{O}^{+}(\text{aq})$  et les molécules d'ammoniac  $\text{NH}_3(\text{aq})$ :



- 2 Réaction entre les molécules d'acide méthanoïque  $\text{HCOOH}(\text{aq})$  et les ions d'hydroxyde  $\text{OH}^{-}(\text{aq})$ :

**EXERCICE 4 Espèce chimique amphotère**

L'ion hydrogénocarbonate  $\text{HCO}_3^{-}(\text{aq})$  est une espèce chimique amphotère.

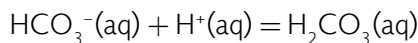
- a C'est une espèce qui peut se comporter comme un acide ou une base.
- b Les couples acide-base de l'ion  $\text{HCO}_3^{-}(\text{aq})$ :

L'ion  $\text{HCO}_3^{-}(\text{aq})$  peut céder un proton,



Donc le premier couple est  $\text{HCO}_3^-(\text{aq})/\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$

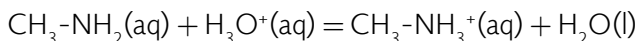
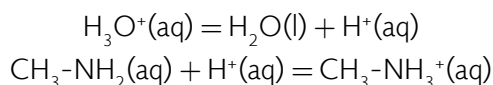
L'ion  $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$  peut capter un proton,



Donc le deuxième couple est  $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$

### EXERCICE 5 Au sujet de la méthanimine

- a** La formule chimique de l'acide conjugué de la méthanimine:  
Elle est obtenue en ajoutant un proton  $\text{H}^+$  à la molécule de la méthanimine
- $$\text{CH}_3\text{-NH}_3^+(\text{aq})$$
- b** Le couple acide-base auquel appartient la méthanimine:
- $$\text{CH}_3\text{-NH}_3^+(\text{aq})/\text{CH}_3\text{-NH}_2(\text{aq})$$
- c** L'équation de la réaction acide-base entre l'ion Oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$  et la méthanimine:

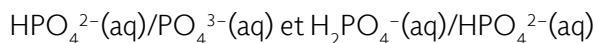


### EXERCICE 6 Question ouverte

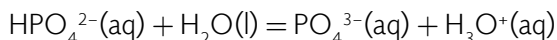
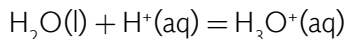
L'ion hydrogénophosphate  $\text{HPO}_4^{2-}(\text{aq})$  est une espèce chimique amphotère:

- Elle peut se comporter comme un acide et libérer un proton  $\text{H}^+$  pour se transformer en ion  $\text{PO}_4^{3-}(\text{aq})$ .
- Elle peut se comporter comme une base et capter un proton  $\text{H}^+$  pour se transformer en ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{aq})$ .

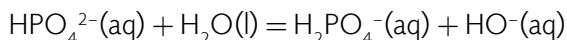
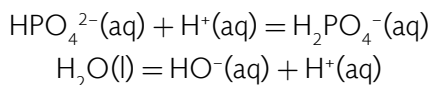
Ses deux couples acide-base sont tels que:



1<sup>re</sup> réaction de l'ion hydrogénophosphate avec l'eau:



2<sup>e</sup> réaction de l'ion hydrogénéphosphate avec l'eau :

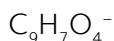


L'eau espèce chimique amphotère s'est comportée comme une base dans la première équation et comme un acide dans la seconde équation.

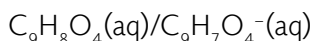
### EXERCICE 7 Au sujet de l'aspirine

- a** La formule chimique de la base conjuguée de l'aspirine :

Elle est obtenue en enlevant un proton  $\text{H}^+$  et en ajoutant une charge négative :

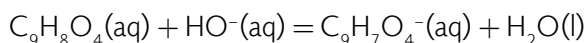
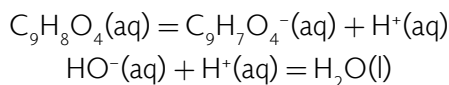


- b** Le couple acide-base que forme l'aspirine :



- c** L'équation de la réaction acide-base entre l'aspirine et les ions hydroxyde  $\text{HO}^-(\text{aq})$  :

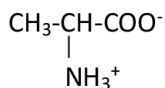
L'aspirine cède un proton  $\text{H}^+$  qui est capté par la base  $\text{HO}^-$ ,



### EXERCICE 8 Au sujet d'un zwitterion

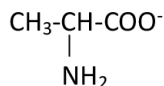
Un zwitterion est une molécule globalement neutre, qui comporte une charge positive et une charge négative.

Un exemple de zwitterion est donné par la formule ci-dessous :

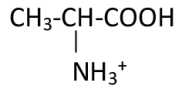


- a** La formule chimique de la base conjuguée de ce zwitterion :

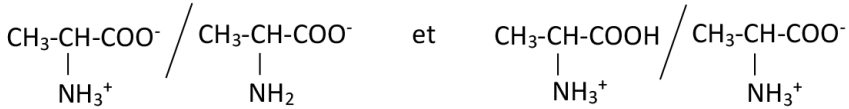
Elle est obtenue en enlevant un proton  $\text{H}^+$  à la formule du zwitterion.



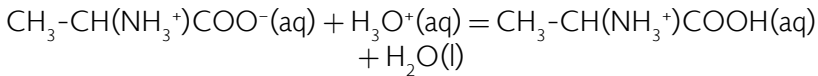
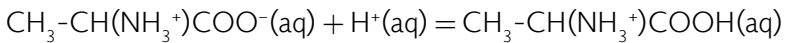
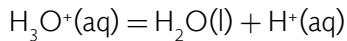
- b** La formule chimique de l'acide conjugué de ce zwitterion:  
Elle est obtenue en ajoutant un proton  $H^+$  à la formule du zwitterion.



- c** Les deux couples acide-base de ce zwitterion:

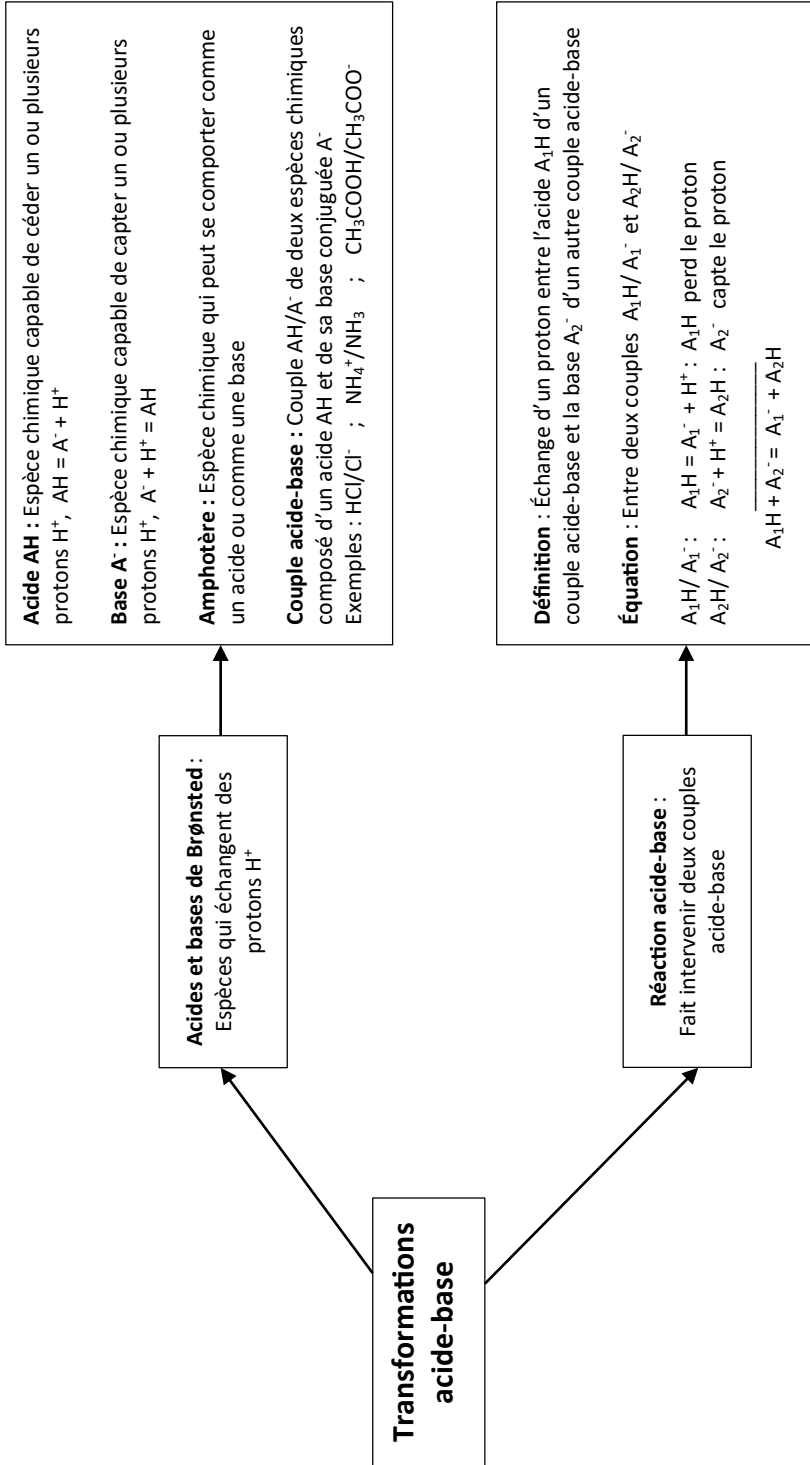


- d** L'équation de la réaction acide-base entre ce zwitterion et les ions  $H_3O^+(aq)$ :  
L'ion  $H_3O^+(aq)$  est un acide. Il va libérer un proton  $H^+$ , le zwitterion va se comporter comme une base en captant le proton.



- e** Ce zwitterion est bien un amphotère puisqu'il peut se comporter comme un acide ou une base.


TRANSFORMATIONS ACIDE-BASE





# MÉTHODES PHYSIQUES D'ANALYSE D'UN SYSTÈME CHIMIQUE

## LES 10 QUESTIONS

1  C'est quoi la spectroscopie?


↳ .....

.....

2  C'est quoi l'absorbance d'une solution?

↳ .....

.....

3  C'est quoi la loi de Beer-Lambert?

↳ .....

.....

4  C'est quoi un spectre UV-visible?


↳ .....

.....

5  C'est quoi un spectre infrarouge?


↳ .....

.....

6  C'est quoi la conductance d'une solution? La conductivité d'une solution?

↳ .....

.....

7  C'est quoi la loi de Kohlrausch?


↳ .....  
 .....

8  C'est quoi un dosage par étalonnage spectrophotométrique, conductimétrique?

↳ .....  
 .....

9  C'est quoi le pH d'une solution?

↳ .....  
 .....

10  Donner la formule permettant de calculer la valeur de la concentration en ions hydronium  $[H_3O^+]$  d'une solution à partir de la valeur de son pH.

↳ .....  
 .....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Calcul de pH

- a Rappeler la formule qui permet de calculer le pH d'une solution à partir de la concentration en quantité de matière d'ions hydronium  $H_3O^+$ .
- b Calculer le pH des solutions suivantes:

Solution	Jus de citron	Solution d'eau savonneuse
$[H_3O^+]$ en mol.L <sup>-1</sup>	$2,5 \times 10^{-2}$	$3,1 \times 10^{-9}$



### EXERCICE 2 pH de la salive

Le pH de la salive est un indicateur de l'équilibre acido-basique dans la bouche. Sa valeur est approximativement comprise entre 6,5 et 7,4.

- a) À partir de la formule du calcul de pH, exprimer  $[H_3O^+]$ .
- b) Calculer l'intervalle des concentrations en quantité de matière d'ions hydronium  $H_3O^+$  dans la bouche.



### EXERCICE 3 Calcul d'incertitude

Au cours d'une séance de travaux pratiques, un élève a introduit une quantité d'acide ascorbique  $n_A = (2,5 \pm 0,1) \times 10^{-3}$  mol dans une fiole jaugée de volume  $V = 100$  mL puis il a complété avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. La précision de la fiole est de 0,025 mL.

- a) Donner les valeurs des incertitudes  $\Delta n_A$  et  $\Delta V$ .
- b) Calculer la valeur de la concentration  $c_A$  de la solution d'acide ascorbique.
- c) Exprimer la valeur de  $c_A$  avec son incertitude  $\Delta c_A$ .
- d) La valeur du pH de cette solution mesurée à l'aide d'un pH-mètre est de 3,4. Exprimer la valeur du pH avec son incertitude sachant que la précision du pH-mètre est de 0,1 unité.

Donnée:

$$\Delta c_A = c_A \times \sqrt{\left(\frac{\Delta n_A}{n_A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2}.$$



### EXERCICE 4 Fatigue passagère

Le chlorure de magnésium  $MgCl_2(s)$  est un produit chimique efficace en cas de baisse de forme et d'énergie. Il aide à lutter contre la fatigue.

Le contenu d'un sachet de chlorure de magnésium de masse  $m = 20,0$  g est dissous dans un volume  $V = 1,00$  L d'eau.

- a) Calculer la valeur de la concentration massique  $C_m$  de la solution obtenue.
- b) En déduire la valeur de la concentration molaire  $c$  de cette solution.
- c) Calculer les concentrations  $[Mg^{2+}]$  et  $[Cl^-]$  des ions de la solution.
- d) En utilisant la loi de Kohlrausch, calculer la valeur de la conductivité électrique  $\sigma$  de la solution.

Données:

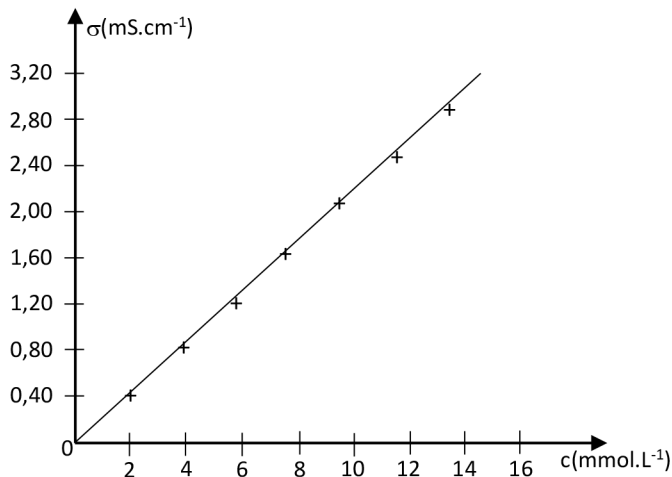
Atome	Mg	Cl
Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )	24,3	35,5

Ion	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>
Conductivité molaire ionique $\lambda_i$ (S.m <sup>2</sup> .mol <sup>-1</sup> )	$10,6 \times 10^{-3}$	$7,6 \times 10^{-3}$



### EXERCICE 5 Dosage par étalonnage conductimétrique

La courbe d'étalonnage obtenue au cours d'un dosage par étalonnage d'une solution de chlorure de baryum  $\text{BaCl}_2(\text{s})$  est donnée ci-dessous.



Droite d'étalonnage

Une solution de chlorure de baryum de concentration inconnue a été diluée 50 fois avant de mesurer sa conductivité à l'aide d'un conductimètre. La valeur obtenue est de  $1,39 \text{ mS.cm}^{-1}$ .

- Donner les noms et les formules des ions de la solution de chlorure de baryum.
- Déterminer la concentration molaire de la solution.
- En déduire les valeurs des concentrations molaires des ions de la solution de chlorure de baryum.



### EXERCICE 6 Question ouverte

La conductivité d'une solution de chlorure d'ammonium  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$  de concentration massique  $C_m = 2,2 \text{ g.L}^{-1}$  est de  $615 \text{ ms.m}^{-1}$ .

Déterminer la valeur de la conductivité molaire ionique des ions ammonium  $\text{NH}_4^+$ .

Données:

Atome	H	N	Cl
Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )	1	14	35,5

Ion	$\text{NH}_4^+$	$\text{Cl}^-$
Conductivité molaire ionique (S.m <sup>2</sup> .mol <sup>-1</sup> )	?	$7,6 \times 10^{-3}$



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

L'eau de Dakin est un liquide antiseptique utilisé pour le lavage des plaies et des muqueuses, sa couleur rose est due à la présence de permanganate de potassium  $\text{KMnO}_4(\text{s})$ .

Le dosage par étalonnage spectrophotométrique d'une solution de permanganate de potassium  $\text{KMnO}_4(\text{s})$  a permis de compléter le tableau de valeurs des mesures de la concentration  $c$  et de l'absorbance  $A$  ci-dessous :

$c(\text{mmol.L}^{-1})$	0	0,2	0,4	0,6	0,8
A	0	0,21	0,36	0,52	0,75

Le script du programme Python ci-dessous permet de tracer la droite d'étalonnage d'un dosage par étalonnage spectrophotométrique et de déterminer la valeur de la concentration d'une solution à partir de la valeur de son absorbance.

```
# Programme pour tracer une droite d'étalonnage
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats as sc
# Valeurs expérimentales de la concentration c
c =np.array([...,...,...,...,...])
# Valeurs expérimentales de l'absorbance A
A =np.array([...,...,...,...,...])
# Valeur de l'absorbance de l'eau de Dakin
A_Dakin = .....
# Représentation de la droite d'étalonnage
plt.plot(c, A, '+', color ='blue')
# Modélisation du graphique
droite =sc.linregress(c,A)
# Calcul du coefficient directeur de la droite linéaire
coefficient =droite.slope
# Calcul de la concentration de l'eau de Dakin
c_Dakin = .....
print("Coefficient directeur :",round(coefficient,3))
print("Concentration de l'eau de Dakin(mmol/L) = ",round(c_Dakin,3))
# Tracé de la droite de régression
Umodele =coefficient*c
plt.plot(c, Umodele, color ='red')
```

```
# Configuration du graphique
plt.xlabel("c (en mmol/L)")
plt.ylabel("A")
plt.title("A = f(c)")
plt.grid()
# Affichage
plt.show()
```

- a À l'aide du tableau des valeurs des mesures, compléter les listes  $c$  et  $A$  du programme.
- b La mesure de l'absorbance de l'eau de Dakin a donné la valeur  $A_{\text{Dakin}} = 0,05$ . Compléter la rubrique du programme liée à l'absorbance de l'eau de Dakin.
- c Compléter la ligne du programme qui permet de calculer la concentration de l'eau de Dakin.
- d Exécuter le programme. Donner le résultat affiché. En déduire la valeur de la concentration de l'eau de Dakin en  $\text{mol.L}^{-1}$ .



### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer la concentration molaire de la solution d'un sérum physiologique.




#### + Liste de matériel:



- Pipettes jaugées;
- Pro-pipette;
- Fiole jaugée;
- Pipette simple en plastique;
- Bécher;
- Bouchon;
- Conductimètre;
- Ordinateur + logiciel tableur grapheur.


#### + Produits:

- Solution de chlorure de sodium de concentration  $c_0 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Bouteille de sérum physiologique;
- Pissette d'eau distillée.

## CORRIGÉS DES QUESTIONS

- 1  C'est quoi la spectroscopie?
- + C'est envoyer des ondes électromagnétiques sur une solution puis analyser la fréquence de la partie de ces ondes qui a été absorbée pour obtenir des informations sur le ou les solutés de cette solution.
- 2  C'est quoi l'absorbance A d'une solution?
- + C'est une grandeur sans unité qui mesure la capacité d'une solution à absorber la lumière qui la traverse. Elle est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre.
- 3  C'est quoi la loi de Beer-Lambert?
- + Elle établit une relation de proportionnalité entre l'absorbance A et la concentration molaire c d'une solution:  

$$A = k \times c$$
- 4  C'est quoi un spectre UV-visible?
- + C'est la courbe représentant les variations de l'absorbance A d'une solution en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière qui l'a traversée:  $A = f(\lambda)$ .  
 Il permet d'identifier l'espèce chimique dissoute dans la solution.
- 5  C'est quoi un spectre infrarouge?
- + C'est la courbe représentant les variations de la transmittance T d'une solution en fonction du nombre d'onde  $\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda}$  de l'onde qui l'a traversée:  $T = f(\tilde{\nu})$ .  
 Il permet d'identifier les groupes caractéristiques présents dans l'espèce chimique dissoute dans la solution.

6  C'est quoi la conductance d'une solution? La conductivité d'une solution?

- + La conductance  $G$  d'une solution est l'inverse de sa résistance électrique:

$$G(\text{en Siemens } S) = \frac{1}{R(\text{en Ohm } \Omega)} = \frac{I(\text{A})}{U(\text{V})}$$

La conductivité est définie par:

$$\sigma = \frac{l}{S} \times G$$

$l$ : Écart entre les électrodes (en m).

$S$ : Surface des électrodes (en  $\text{m}^2$ ).

$G$ : Conductance (en  $S$ ).

$\sigma$ : Conductivité (en  $S \cdot \text{m}^{-1}$ ).


7  C'est quoi la loi de Kohlrausch?

+ 
$$\sigma = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times [X_i]$$

$\lambda_i$ : Conductivité molaire ionique de l'ion  $i$  (en  $S \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ).

$[X_i]$ : Concentration molaire de l'ion  $i$  (en  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

$\sigma$ : Conductivité (en  $S \cdot \text{m}^{-1}$ ).

8  C'est quoi un dosage par étalonnage spectrophotométrique, conductimétrique?


- + Il permet de déterminer la concentration molaire d'une solution en exploitant:
- La droite d'étalonnage  $A = f(c)$  dans le cas spectrophotométrique.
  - La droite d'étalonnage  $\sigma = f(c)$  dans le cas conductimétrique.

9  C'est quoi le pH d'une solution?

- + Il est défini à partir de la concentration d'ion hydronium  $\text{H}_3\text{O}^+$  dans la solution par:

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c^0} \right)$$

$c^0$ : Concentration standard qui vaut  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

- 10  Donner la formule permettant de calculer la valeur de la concentration en ions hydronium  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  d'une solution à partir de la valeur de son pH.

$$+ \quad [\text{H}_3\text{O}^+] = c^0 \times 10^{-\text{pH}}$$

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Calcul de pH

- a Formule de calcul du pH:

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c^0} \right)$$

Avec  $c^0$  est la concentration standard qui vaut  $1 \text{ mol.L}^{-1}$ .

- b Calcul du pH des solutions:

- Jus de citron:

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{2,5 \times 10^{-2}}{1} \right)$$

$$\text{pH} = 1,6$$

- Solution d'eau savonneuse:

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{3,1 \times 10^{-9}}{1} \right)$$

$$\text{pH} = 8,5$$

### EXERCICE 2 pH de la salive

- a Expression de  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ :

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c^0} \right) \Rightarrow -\text{pH} = \log \left( \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c^0} \right)$$

$$\Rightarrow 10^{-\text{pH}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c^0}$$

$$\text{Soit } [\text{H}_3\text{O}^+] = c^0 \times 10^{-\text{pH}}$$

- b.** Pour  $\text{pH} = 6,5$ :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-6,5}$$

Soit

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 3,2 \times 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$$

Pour  $\text{pH} = 7,4$ :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \times 10^{-7,4}$$

Soit

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 4,0 \times 10^{-8} \text{ mol.L}^{-1}$$

L'intervalle des concentrations en quantité de matière d'ions hydronium  $\text{H}_3\text{O}^+$  dans la bouche est  $[4,0 \times 10^{-8} \text{ mol.L}^{-1}; 3,2 \times 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}]$ .

### EXERCICE 3 Calcul d'incertitude

- a.** Les valeurs des incertitudes  $\Delta n_A$  et  $\Delta V$ :

$$\Delta n_A = 0,1 \times 10^{-3} \text{ mol et } \Delta V = 0,025 \text{ mL.}$$

- b.** Calcul de la concentration  $c_A$  de la solution d'acide ascorbique:

Par définition,

$$c_A = \frac{n_A}{V}$$

#### + Application numérique:

$$c_A = \frac{2,5 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}}$$

Soit

$$c_A = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

- c.** Expression de  $c_A$  avec son incertitude  $\Delta c_A$ :

$$\Delta c_A = c_A \times \sqrt{\left(\frac{\Delta n_A}{n_A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2}$$

**+ Application numérique:**

$$\Delta c_A = 2,5 \times 10^{-2} \times \sqrt{\left(\frac{0,1 \times 10^{-3}}{2,5 \times 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{0,025}{100}\right)^2}$$

Soit

$$\Delta c_A = 1 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

Donc

$$c_A = (2,5 \pm 0,1) \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

**d** Expression de la valeur du pH:

$$\text{pH} = 3,4 \pm 0,1$$

**EXERCICE 4 Fatigue passagère****a** Calcul de la valeur de  $C_m$ :

Par définition,

$$C_m = \frac{m}{V}$$

**+ Application numérique:**

$$C_m = \frac{20,0}{1,00}$$

Soit

$$C_m = 20,0 \text{ g.L}^{-1}$$

**b** Valeur de la concentration molaire  $c$  de cette solution:

Par définition,

$$c = \frac{C_m}{M}$$

**+ Application numérique:**

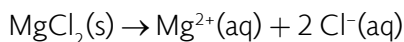
$$c = \frac{20,0}{24,3 + 2 \times 35,5}$$

Soit

$$c = 0,210 \text{ mol.L}^{-1}$$

- c Calcul des concentrations  $[\text{Mg}^{2+}]$  et  $[\text{Cl}^-]$  des ions de la solution:

Écrivons l'équation de dissolution du chlorure de magnésium dans l'eau:



D'après l'équation, une molécule de  $\text{MgCl}_2(\text{s})$  produit un ion  $\text{Mg}^{2+}$  et 2 ions  $\text{Cl}^-$ .  
Il en découle

$$[\text{Mg}^{2+}] = c \text{ et } [\text{Cl}^-] = 2 \times c$$

+ **Application numérique:**

$$[\text{Mg}^{2+}] = 0,210 \text{ mol.L}^{-1} \text{ et } [\text{Cl}^-] = 2 \times 0,210 = 0,420 \text{ mol.L}^{-1}$$

- d Calcul de la conductivité électrique  $\sigma$  de la solution:

D'après la loi de Kohlrausch, on a:

$$\sigma = \lambda_{\text{Mg}^{2+}} \times [\text{Mg}^{2+}] + \lambda_{\text{Cl}^-} \times [\text{Cl}^-]$$

+ **Application numérique:**

Les concentrations molaires des ions doivent être exprimées en  $\text{mol.m}^{-3}$ .

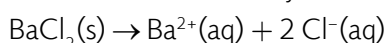
$$\sigma = 10,6 \times 10^{-3} \times \frac{0,210}{10^{-3}} + 7,6 \times 10^{-3} \times \frac{0,420}{10^{-3}}$$

Soit

$$\sigma = 5,4 \text{ S.m}^{-1}.$$

### EXERCICE 5 Dosage par étalonnage conductimétrique

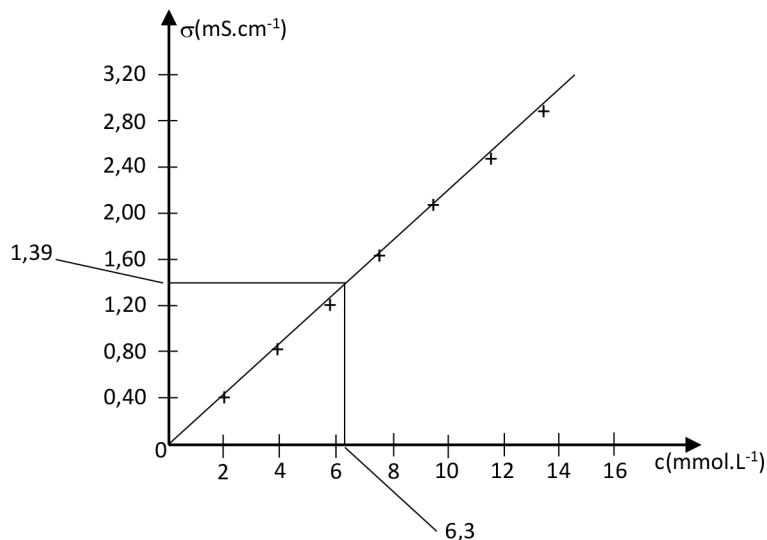
- a L'équation de la dissolution du chlorure de baryum:



La solution est composée d'ions baryum  $\text{Ba}^{2+}(\text{aq})$  et d'ions chlorure  $\text{Cl}^-(\text{aq})$ .

**b** La concentration molaire de la solution:

La valeur de la concentration molaire de la solution est lue sur la courbe d'étalonnage:



Droite d'étalonnage

La concentration diluée de la solution est de  $6,3 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ . Sa concentration avant dilution est 50 fois plus importante:

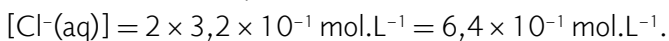
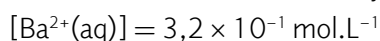
$$50 \times 6,3 \times 10^{-3}$$

Soit

$$3,2 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$$

**c** Les concentrations molaires des ions de la solution de chlorure de baryum:

D'après l'équation de la dissolution du chlorure de baryum, on peut écrire:



**EXERCICE 6** Question ouverte

- Calcul de la concentration molaire  $c$ :  
Par définition,

$$c = \frac{C_m}{M}$$

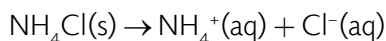
+ **Application numérique:**

$$c = \frac{2,2}{14 + 4 \times 1 + 35,5}$$

Soit

$$c = 4,1 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

- Calcul des concentrations des ions  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{Cl}^-$ :  
L'équation de dissolution s'écrit:



On peut en déduire:

$$[\text{NH}_4^+(\text{aq})] = [\text{Cl}^-(\text{aq})] = 4,1 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

- D'après la loi de Kohlrausch, on a:

$$\sigma = \lambda_{\text{NH}_4^+} \times [\text{NH}_4^+] + \lambda_{\text{Cl}^-} \times [\text{Cl}^-]$$

Ce qui donne:

$$\lambda_{\text{NH}_4^+} = \frac{\sigma - \lambda_{\text{Cl}^-} \times [\text{Cl}^-]}{[\text{NH}_4^+]}$$

+ **Application numérique:**

La conductivité doit être exprimée en  $\text{S.m}^{-1}$  et les concentrations en  $\text{mol.m}^{-3}$ .

$$\sigma = 615 \text{ mS.m}^{-1}$$

Soit

$$\sigma = 615 \times 10^{-3} \text{ S.m}^{-1}$$

Donc

$$\sigma = 0,615 \text{ S.m}^{-1}$$

$$[\text{NH}_4^+(\text{aq})] = [\text{Cl}^-(\text{aq})] = 4,1 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{NH}_4^+(\text{aq})] = [\text{Cl}^-(\text{aq})] = 4,1 \times 10^{-2} \text{ mol.} (10^{-3} \text{ m}^3)^{-1}$$

Soit

$$[\text{NH}_4^+(\text{aq})] = [\text{Cl}^-(\text{aq})] = 4,1 \times 10^1 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$$

Il vient

$$\lambda_{\text{NH}_4^+} = \frac{0,615 - 7,6 \times 10^{-3} \times 4,1 \times 10^1}{4,1 \times 10^1}$$

Soit

$$\lambda_{\text{NH}_4^+} = 7,4 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$$

### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

- a** Les listes `c` et `A` du programme complétées:

```
# Valeurs expérimentales de la concentration c
c = np.array([0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8])
# Valeurs expérimentales de l'absorbance A
A = np.array([0, 0.21, 0.36, 0.52, 0.75])
```

- b** La rubrique du programme liée à l'absorbance de l'eau de Dakin complétée:

```
# Valeur de l'absorbance de l'eau de Dakin
A_Dakin = 0.05
```

- c** La ligne du programme qui permet de calculer la concentration de l'eau de Dakin complétée:

```
# Calcul de la concentration de l'eau de Dakin
c_Dakin = A_Dakin/coefficient
```

- d** Le résultat affiché par le programme une fois exécuté:

```
Coefficient directeur : 0.905
Concentration de l'eau de Dakin(mmol/L) = 0.055
```

La valeur de la concentration de l'eau de Dakin est de  $5,5 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Voici le script du programme Python complété:

```
# Programme pour tracer une droite d'étalonnage
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats as sc
# Valeurs expérimentales de la concentration c
c = np.array([0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8])
```

```

# Valeurs expérimentales de l'absorbance A
A =np.array([0,0.21,0.36,0.52,0.75])
# Valeur de l'absorbance de l'eau de Dakin
A_Dakin = 0.05
# Représentation de la droite d'étalonnage
plt.plot(c, A, '+', color='blue')
# Modélisation du graphique
droite =sc.linregress(c,A)
# Calcul du coefficient directeur de la droite linéaire
coefficient =droite.slope
# Calcul de la concentration de l'eau de Dakin
c_Dakin = A_Dakin/coefficient
print("Coefficient directeur :",round(coefficient,3))
print("Concentration de l'eau de Dakin(mmol/L) = ",round(c_Dakin,3))
# Tracé de la droite de régression
Umodele =coefficient*c
plt.plot(c, Umodele, color='red')
# Configuration du graphique
plt.xlabel("c (en mmol/L)")
plt.ylabel("A")
plt.title("A = f(c)")
plt.grid()
# Affichage
plt.show()

```

### EXERCICE 8 Protocole ECE

#### + Liste de matériel:

- Pipettes jaugées;
- Pro-pipette;
- Fiole jaugée;
- Pipette simple en plastique;
- Bécher;
- Bouchon;
- Conductimètre;
- Ordinateur + logiciel tableur grapheur.

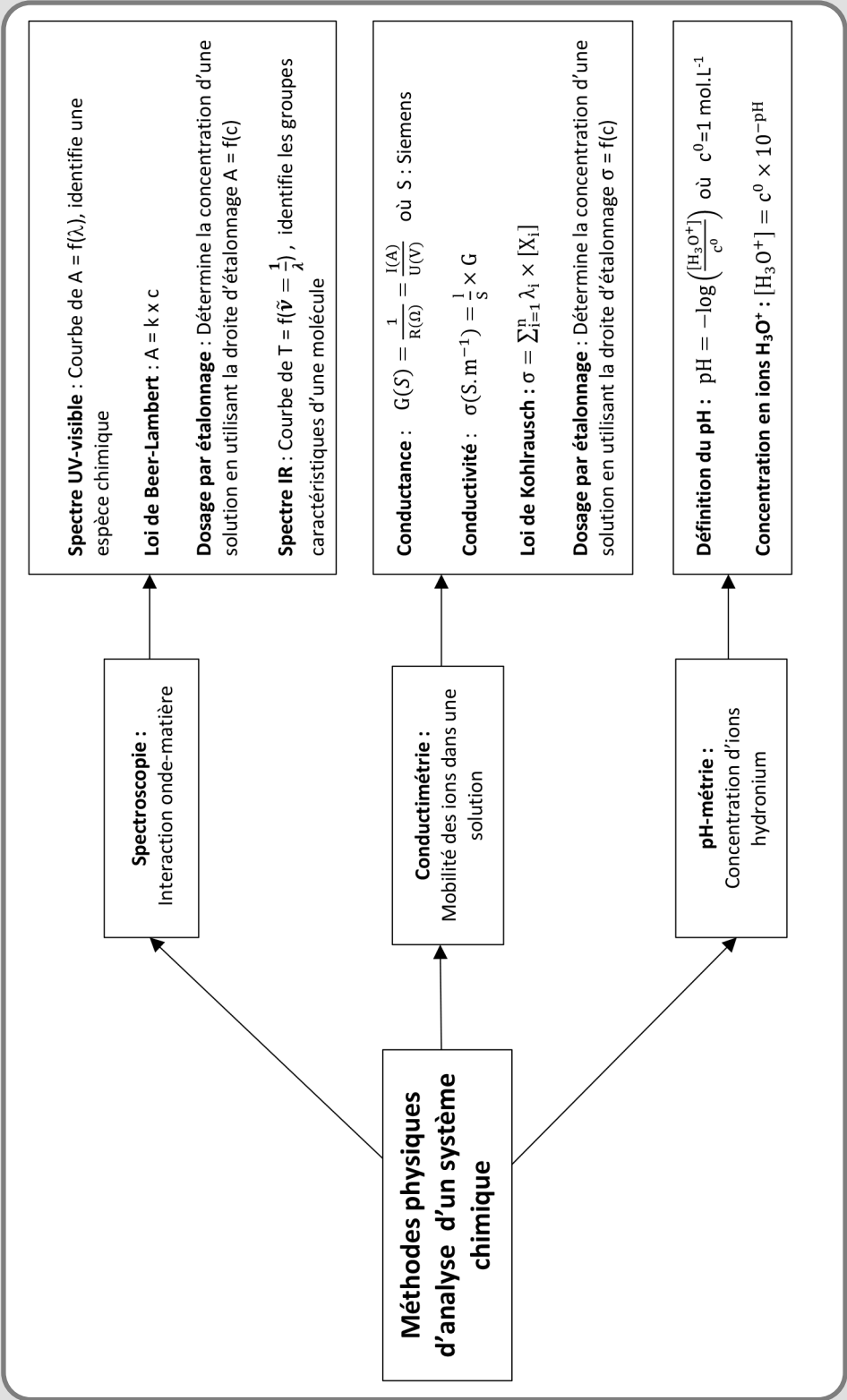
**+ Produits:**

- Solution de chlorure de sodium de concentration  $c_0 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Bouteille de sérum physiologique;
- Pissette d'eau distillée.

**+ Protocole:**






- Préparer à partir de la solution mère de chlorure de sodium de concentration  $c_0$ , quatre ou cinq solutions filles plus diluées;
- Mesurer à l'aide du conductimètre, la conductivité des solutions filles.
- Tracer la courbe  $\sigma = f(c)$ ;
- Modéliser la courbe obtenue par une droite linéaire; c'est la droite d'étalonnage;
- Mesurer à l'aide du conductimètre, la conductivité du sérum physiologique.
- Exploiter la droite d'étalonnage pour déterminer graphiquement la valeur de la concentration de la solution de sérum à partir de la valeur de sa conductivité mesurée.






MÉTHODES PHYSIQUES D'ANALYSE D'UN SYSTÈME CHIMIQUE



# MÉTHODES CHIMIQUES D'ANALYSE D'UN SYSTÈME CHIMIQUE

## LES 10 QUESTIONS

- 1  C'est quoi le titre massique  $w$  d'une solution?  
↳ .....
- 2  C'est quoi la masse volumique  $\rho$  d'une solution?  
↳ .....
- 3  C'est quoi la densité  $d$  d'une solution?  
↳ .....
- 4  Donner la formule de la masse  $m_{\text{soluté}}$  du volume  $V$  d'une solution de densité  $d$  et de titre massique  $w$ .  
↳ .....
- 5  C'est quoi un dosage par titrage?  
↳ .....

- 6  Quel est le dispositif expérimental mis en jeu lors d'un titrage?  
 ↪ .....  
 .....
- 7  À quoi correspond l'équivalence d'un titrage?  
 ↪ .....  
 .....
- 8  C'est quoi le volume équivalent d'un titrage?  
 ↪ .....  
 .....
- 9  Comment repère-t-on l'équivalence sur la courbe de titrage par suivi pH-métrique?  
 ↪ .....  
 .....
- 10  Comment repère-t-on l'équivalence sur la courbe de titrage par suivi conductimétrique?  
 ↪ .....  
 .....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Pourcentage massique

Une solution de masse  $m_s = 260$  g a été obtenue en mélangeant  $m_e = 235$  g d'eau et une masse  $m_A$  d'acide perchlorique  $\text{HClO}_4$ .

- Donner la formule de la base conjuguée de l'acide perchlorique.
- Quelle est la valeur de  $m_A$ ?
- Calculer le pourcentage massique  $w_A$  de l'acide perchlorique dans la solution.
- Calculer le pourcentage massique  $w_e$  de l'eau dans la solution.
- Calculer la quantité de matière  $n_A$  de l'acide perchlorique.

**f** Calculer le volume  $V$  de la solution sachant que sa densité est  $d = 1,46$ .

**g** En déduire la concentration molaire de l'acide perchlorique.

Données:

- Masse molaire de l'acide perchlorique:  $M = 100,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- Masse volumique de l'eau:  $\rho_E = 1,00 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ .



## EXERCICE 2 Ammoniac

Un bidon de 2,0 L d'ammoniac commercial indique un titre massique  $w = 25\%$  et une densité  $d = 0,96$ .

**a** Calculer la masse d'un litre d'ammoniac commercial.

**b** Calculer la masse d'ammoniac dans un litre d'ammoniac commercial.

**c** Calculer la quantité de matière d'ammoniac dans un litre d'ammoniac commercial.

**d** En déduire la concentration molaire en ammoniac dans le bidon.

Données:

Atome	H	N
Masse molaire $M \text{ (g}\cdot\text{mol}^{-1})$	1	14

Masse volumique de l'eau:  $\rho_E = 1,00 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$ .



## EXERCICE 3 Calcul d'incertitude

Les cafetières sont souvent perturbées par le dépôt de tartre. Il est indispensable de les détartrer régulièrement. Un détartrant à base d'acide lactique  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$  est commercialisé sous forme d'une solution aqueuse de concentration molaire  $c$ . La solution de détartrant étant trop concentrée, on prépare par dilution une solution 10 fois moins concentrée dont la concentration sera notée  $c_d$ .

On réalise un titrage pH-métrique d'un volume  $V_A = (8,0 \pm 0,1) \text{ mL}$  de la solution diluée par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$ ) de concentration molaire  $c_B = (0,10 \pm 0,01) \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Le volume  $V_E$  de la solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence est  $V_E = (12,5 \pm 0,1) \text{ mL}$ .

**a** Donner le schéma du montage nécessaire pour réaliser ce titrage.

**b** Écrire l'équation de la réaction support de ce titrage.

**c** Rappeler la définition de l'équivalence d'un titrage.

**d** Calculer la quantité d'hydroxyde de sodium versée à l'équivalence.

**e** Déterminer la valeur de  $c_d$  avec son incertitude.

**f** En déduire la valeur de  $c$ .

L'incertitude type  $u(c_d)$  sur la concentration  $c_d$  se calcule à l'aide de la formule:

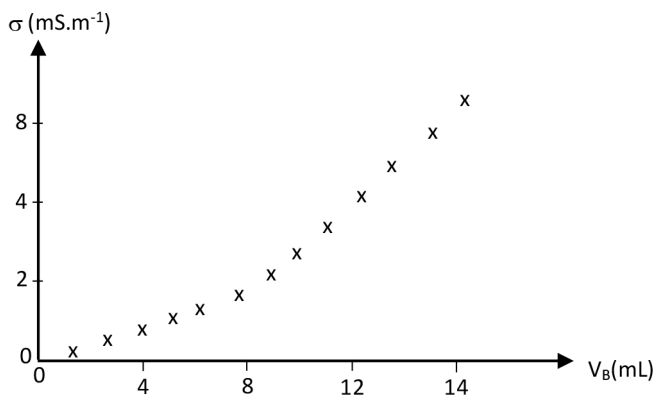
$$u(c_d) = c_d \times \sqrt{\left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u(V_A)}{V_A}\right)^2 + \left(\frac{u(c_B)}{c_B}\right)^2}$$



#### EXERCICE 4 Acide formique

L'acide méthanoïque  $\text{HCOOH}$  appelé également acide formique est le plus simple des acides carboxyliques. Son nom vient du mot latin « formica » qui signifie « fourmis ».

On réalise le titrage conductimétrique d'un volume  $V_A = 10,0 \text{ mL}$  d'une solution d'acide formique de concentration  $c_A = 0,15 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  à l'aide d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$ ) de concentration molaire  $c_B$ . La courbe ci-dessous, représente l'évolution de la conductivité du mélange au cours du titrage.



- Donner le schéma du montage nécessaire pour réaliser ce titrage.
- Écrire l'équation de la réaction support de ce titrage.
- Quels sont les ions qui sont majoritairement responsables de la conductivité de la solution avant l'équivalence?
- Quels sont les ions qui sont majoritairement responsables de la conductivité de la solution après l'équivalence?
- Justifier le changement de pente de la courbe de conductivité.
- Déterminer graphiquement la valeur du volume équivalent  $V_E$ .
- En déduire la valeur de  $c_B$ .

Données:

Ion	$\text{Na}^+$	$\text{HO}^-$	$\text{HCOO}^-$
$\lambda_{\text{ion}}$ (mS.m <sup>2</sup> .mol <sup>-1</sup> )	5,01	19,8	4,8

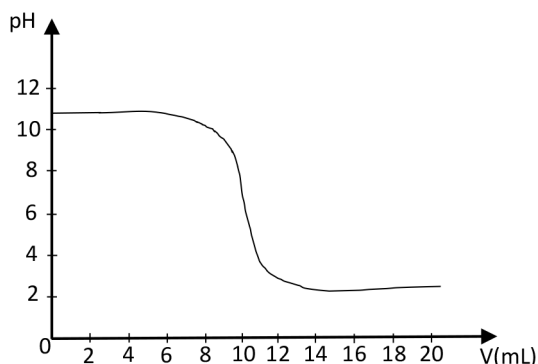

**EXERCICE 5 Déboucheur de canalisations domestiques**

Un déboucheur de canalisations domestiques est composé d'une solution très concentrée d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$ ).

Une solution commerciale d'un déboucheur de canalisations domestiques de concentration molaire  $c$  a été diluée 100 fois avant son titrage pH-métrique à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique ( $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ ) de concentration  $c_A = 0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

On prélève un volume  $V_B = 10,0 \text{ mL}$  de la solution diluée dont la concentration sera notée  $c_B$ .

La courbe du titrage est donnée ci-dessous:



- Écrire l'équation de la réaction support de ce titrage.
- Rappeler la définition de l'équivalence d'un titrage.
- Déterminer graphiquement la valeur du volume équivalent  $V_E$ .
- Déterminer la valeur de la concentration  $c_B$ .
- En déduire la valeur de la concentration  $c$ .


**EXERCICE 6 Question ouverte**

L'étiquette d'un flacon de 1,0 litre d'acide chlorhydrique HCl commercial indique les informations suivantes:

- Titre massique  $w = 37\%$ ;
- Densité:  $d = 1,18$ ;
- Masse molaire:  $M = 36,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- Masse volumique de l'eau:  $\rho_E = 1,0 \times 10^3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$

Calculer la quantité de matière d'acide chlorhydrique contenue dans le flacon.



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Au cours d'un titrage par suivi pH-métrique d'une solution d'un acide AH par une solution d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$ ), on a obtenu le tableau de valeurs ci-dessous :

$V_B(\text{mL})$	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10	11	11,5	12	12,5	13	14	16	17
pH	2,4	2,7	3,1	3,4	3,7	4,1	4,4	5,8	7,5	10,2	10,5	10,8	11,0	11,1

Les caractéristiques de ce titrage sont :

- Prise d'essai de l'acide:  $V_A = 10,0 \text{ mL}$  ;
- Concentration de la solution d'hydroxyde de sodium:  $c_B = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$ .
- Concentration molaire de l'acide AH:  $C_A$  à déterminer.

Le script du programme Python ci-dessous permet de déterminer le volume équiva-

lent d'un titrage pH-métrique à l'aide de la courbe  $\frac{dpH}{dV_B} = f(V_B)$ .

```
# Script pour tracer les courbes pH = f(VB) et dpH/dVB = f(VB)
# D'un titrage d'un acide par une solution d'hydroxyde de sodium.
import matplotlib.pyplot as plt
# Valeurs du volume de la solution de soude versée
VB = [..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ...]
# Valeurs de pH mesurées
pH = [..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ..., ...]
# Création de la liste de la dérivée du pH
derive_pH = []
# Calcul et Remplissage de la liste derive_pH
for i in range(1,13):
    derive_pH.append(round((pH[i+1]-pH[i-1])/(VB[i+1]-VB[i-1]),2))
# Représentation de la courbe pH =f(VB) sous forme d'un nuage de points
plt.plot(VB,pH,'o',markersize =4)
# Création d'une nouvelle liste VBbis
VBbis =[2.0,4.0,6.0,8.0,10,11,11.5,12,12.5,13,14,16]
# Représentation de la courbe dpH/dVB =f(VBbis) sous forme d'un nuage
de points
plt.plot(VBbis,derive_pH,'o',markersize =4)
# Configuration du graphique
plt.xlabel("VB (en mL)")
plt.ylabel("dpH/dVB (en mL-1)")
plt.title("Courbes : pH =f(VB) et dpH/dVB =f(VBbis)")
# Affichage des courbes
plt.show()
```

- a) Écrire l'équation de support de ce dosage par titrage.
- b) Compléter les deux rubriques du programme liées aux valeurs de  $V_B$  et pH.
- c) Dans la rubrique du programme liée au calcul de  $\frac{dpH}{dV_B}$ , le calcul se fait que pour 12 valeurs au lieu de 14 pourquoi?
- d) Expliquer comment on a obtenu la nouvelle liste VB\_bis à partir de la liste  $V_B$ ?
- e) Exécuter le programme et relever de la courbe la valeur de  $V_E$ .
- f) En déduire la valeur de la concentration  $C_A$ .



### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Le vinaigre est une solution aqueuse d'acide éthanóïque  $CH_3COOH$ .

L'étiquette d'une bouteille de vinaigre indique les informations suivantes :

- Titre massique  $w = 8\%$ ;
- Densité:  $d = 1,0$

Proposer un protocole expérimental permettant de mesurer le titre massique du vinaigre.


#### + Liste de matériel:

- Pipettes jaugées;
- Pro-pipette;
- Fiole jaugée;
- Pipette simple en plastique;
- Bécher;
- Bouchon;
- Erlenmeyer;
- Burette;
- Agitateur magnétique + barreau aimanté;
- pH-mètre + ses deux solutions tampons;
- Ordinateur ou Smartphone + logiciel tableur-grapheur.


#### + Produits:

- Bouteille de vinaigre;
- Solution de soude à  $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Pissette d'eau distillée.

## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  C'est quoi le titre massique  $w$  d'une solution?


$$+ \quad W(\%) = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{\text{solution}}} \times 100$$

2  C'est quoi la masse volumique  $\rho$  d'une solution?

$$+ \quad \rho(\text{kg.L}^{-1}) = \frac{m(\text{kg})}{V(\text{L})}$$

3  C'est quoi la densité  $d$  d'une solution?

$$+ \quad d = \frac{\rho_{\text{solution}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

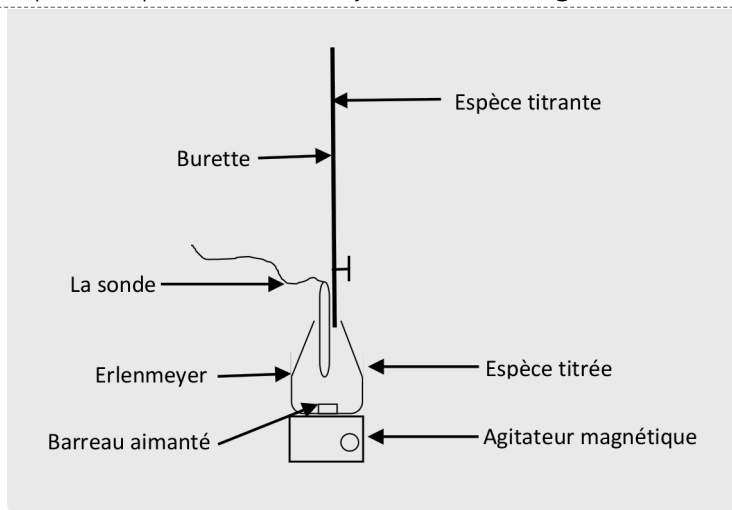
4  Donner la formule de la masse  $m_{\text{soluté}}$  du volume  $V$  d'une solution de densité  $d$  et de titre massique  $w$ .

$$+ \quad m_{\text{soluté}} = \frac{\rho_{\text{eau}} \times W \times d \times V}{100}$$

5  C'est quoi un dosage par titrage?

+ Il permet de déterminer la concentration d'une solution à l'aide d'une réaction chimique entre l'espèce chimique de la solution appelée espèce titrée et une autre espèce chimique appelée espèce titrante.

6  Quel est le dispositif expérimental mis en jeu lors d'un titrage?




7  À quoi correspond l'équivalence d'un titrage?

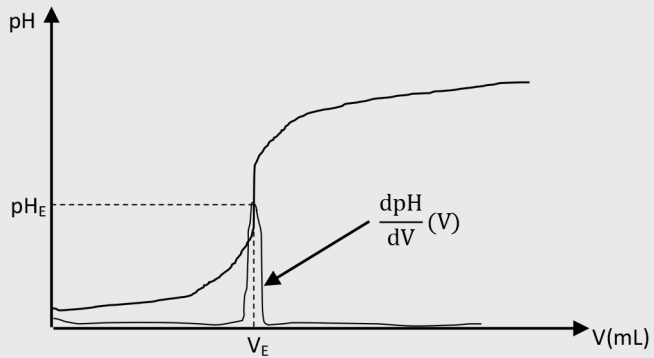
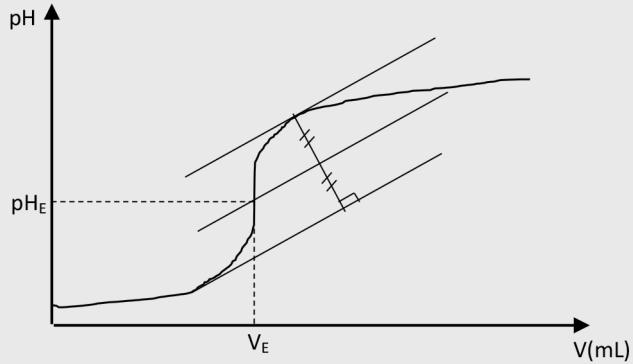
- + C'est l'état du système chimique où les espèces titrante et titrée ont été mélangées dans les proportions stoechiométriques et donc totalement consommées.

8  C'est quoi le volume équivalent  $V_E$  d'un titrage?

- + C'est le volume de l'espèce titrante rajouté pour obtenir l'équivalence.

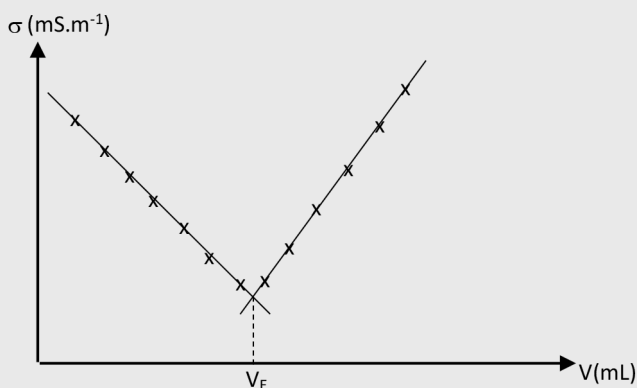
9  Comment repère-t-on l'équivalence sur la courbe de titrage par suivi pH-métrique?

- + À l'aide de la méthode des tangentes ou de la dérivée de la fonction  $\text{pH} = f(V)$ .



10  Comment repère-t-on l'équivalence sur la courbe de titrage par suivi conductimétrique?

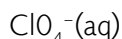
- + À l'aide de la méthode des deux tangentes de la fonction  $\sigma = f(V)$  ou  $G = f(V)$ .



## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Pourcentage massique

- a La formule de la base conjuguée de l'acide perchlorique:



- b La valeur de  $m_A$ :

On sait que:  $m_S = m_E + m_A$

Donc  $m_A = m_S - m_E$

- + Application numérique:

$$m_A = 260 - 235$$

Soit

$$m_A = 25 \text{ g}$$

- c Le pourcentage massique  $w_A$  de l'acide perchlorique dans la solution:

$$w_A = \frac{m_A}{m_S} \times 100$$

**+ Application numérique:**

$$w_A = \frac{25}{260} \times 100$$

Soit  $w_A = 9,6 \%$

- d** Le pourcentage massique  $w_E$  de l'acide perchlorique dans la solution:

$$w_E = \frac{m_E}{m_S} \times 100$$

**+ Application numérique:**

$$w_A = \frac{235}{260} \times 100$$

Soit  $w_A = 90,4 \%$

- e** Calcul de la quantité de matière  $n_A$  de l'acide perchlorique:

Par définition,

$$n_A = \frac{m_A}{M}$$

**+ Application numérique:**

$$n = \frac{25}{100,5}$$

Soit  $n_A = 2,5 \times 10^{-1} \text{ mol}$

- f** Calcul du volume  $V$  de la solution

Par définition,

$$d = \frac{\rho_S}{\rho_E}$$

Soit

$$\rho_S = d \times \rho_E$$

Par ailleurs,

$$\rho_S = \frac{m_S}{V}$$

Soit

$$V = \frac{m_S}{\rho_S}$$

Il vient

$$V = \frac{m_S}{d \times \rho_E}$$

+ **Application numérique:**

$$V = \frac{260}{1,46 \times 1,00}$$

Soit  $V = 178 \text{ mL}$

g La concentration molaire de l'acide perchlorique:

Par définition,

$$c = \frac{n_A}{V}$$

+ **Application numérique:**

$$c = \frac{2,5 \times 10^{-1}}{178 \times 10^{-3}}$$

Soit  $c = 1,4 \text{ mol.L}^{-1}$

## EXERCICE 2 Ammoniac

Un bidon de 2,0 L d'ammoniac commercial indique un titre massique  $w = 25\%$  et une densité  $d = 0,96$ .

a Calcul de la masse d'un litre d'ammoniac commercial:

Par définition,

$$d = \frac{\rho}{\rho_E}$$

Soit

$$\rho = d \times \rho_E$$

Par ailleurs,

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Soit

$$m = \rho \times V$$

Il vient

$$m = d \times \rho_E \times V$$

**+ Application numérique:**

$$m = 0,96 \times 1,00 \times 1,0$$

Soit

$$m = 0,96 \text{ kg .}$$

- b** Calcul de la masse d'ammoniac dans un litre d'ammoniac commercial:  
D'après la définition du titre massique,

$$m_{\text{Ammoniac}} = \frac{w \times m}{100}$$

**+ Application numérique:**

$$m_{\text{Ammoniac}} = \frac{25 \times 0,96}{100}$$

Soit  $m_{\text{Ammoniac}} = 0,24 \text{ kg}$

- c** Calcul de la quantité de matière d'ammoniac dans un litre d'ammoniac commercial:

$$n_{\text{Ammoniac}} = \frac{m_{\text{Ammoniac}}}{M}$$

**+ Application numérique:**

$$n_{\text{Ammoniac}} = \frac{0,24 \times 10^{-3}}{14 + 3 \times 1}$$

Soit  $n_{\text{Ammoniac}} = 14 \text{ mol.}$

- d** La concentration molaire en ammoniac dans le bidon:  
Par définition,

$$c = \frac{n_{\text{Ammoniac}}}{V}$$

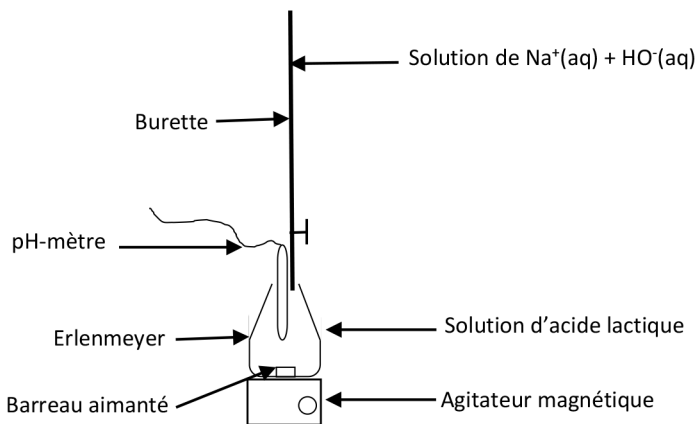
**+ Application numérique:**

$$c = \frac{14}{1,0}$$

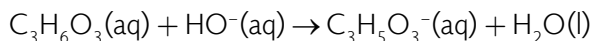
Soit  $c = 14 \text{ mol.L}^{-1}$

**EXERCICE 3** Calcul d'incertitude

- a** Le schéma du montage nécessaire pour réaliser ce titrage :



- b** L'équation de la réaction support de ce titrage :



- c** La définition de l'équivalence d'un titrage :

C'est l'état du mélange où l'acide lactique et l'hydroxyde de sodium sont dans les proportions stoechiométriques et donc totalement consommés.

Dans ces conditions, on peut écrire :

$$c_d \times V_A = c_B \times V_E$$

- d** La quantité d'hydroxyde de sodium versée à l'équivalence :

$$c_B \times V_E = 0,10 \times 12,5 \times 10^{-3}$$

Soit

$$c_B \times V_E = 1,3 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

- e** Calcul de la valeur de  $c_d$  avec son incertitude :

On a,

$$c_d \times V_A = c_B \times V_E$$

Soit

$$c_d = \frac{c_B \times V_E}{V_A}$$

+ Application numérique:

$$c_d = \frac{1,3 \times 10^{-3}}{8,0 \times 10^{-3}}$$

Soit  $c_d = 1,625 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$

Par ailleurs,

$$u(c_d) = c_d \times \sqrt{\left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u(V_A)}{V_A}\right)^2 + \left(\frac{u(c_B)}{c_B}\right)^2}$$

+ Application numérique:

$$u(c_d) = 1,625 \times 10^{-1} \times \sqrt{\left(\frac{0,1}{12,5}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{8,0}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{0,10}\right)^2}$$

$$u(c_d) = 0,0164 \text{ mol L}^{-1}$$

L'incertitude type  $u(c_d)$  doit être exprimée avec un seul chiffre significatif.

$$\text{Soit } u(c_d) = 0,02 \text{ mol.L}^{-1}$$

Il vient

$$c_d = 0,16 \pm 0,02 \text{ mol.L}^{-1}$$

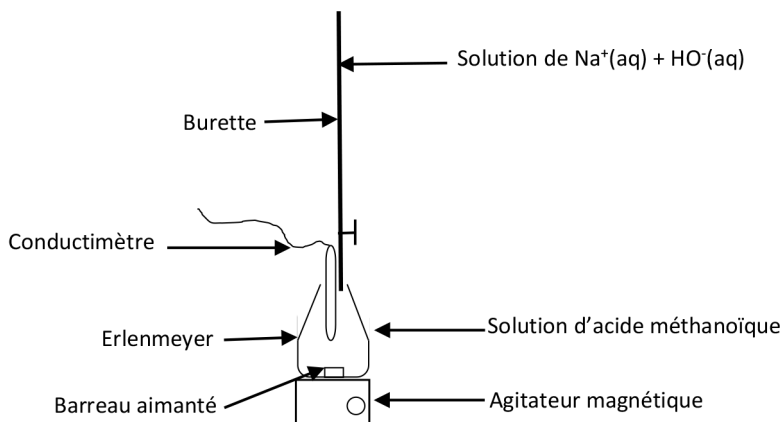
⚡ La valeur de  $c$ :

La solution de détartrant est 10 fois plus concentrée, donc

$$c = 1,6 \pm 0,2 \text{ mol.L}^{-1}$$

**EXERCICE 4 Acide formique**

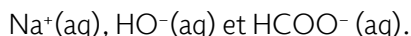
- a** Le schéma du montage nécessaire pour réaliser ce titrage :



- b** L'équation de la réaction support de ce titrage :
- $$\text{HCOOH}(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{HCOO}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$$
- c** Les ions qui sont majoritairement responsables de la conductivité de la solution avant l'équivalence :

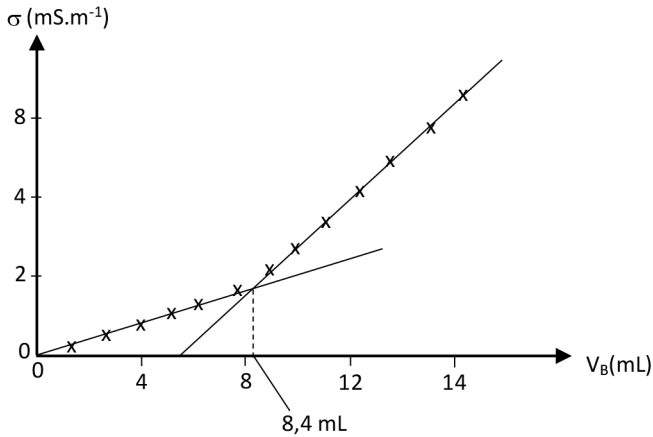


- d** Les ions qui sont majoritairement responsables de la conductivité de la solution après l'équivalence :



- e** Le changement de pente de la courbe de conductivité :
- Avant l'équivalence, les ions  $\text{Na}^+(\text{aq})$  s'ajoutent au mélange et la réaction de support produit des ions  $\text{HCOO}^-(\text{aq})$ . À cause des faibles valeurs de  $\lambda_{\text{Na}^+}$  et de  $\lambda_{\text{HCOO}^-}$  la conductivité augmente lentement.
  - Après l'équivalence, il n'y a plus de production d'ions  $\text{HCOO}^-(\text{aq})$  et les ions  $\text{Na}^+(\text{aq})$  et  $\text{HO}^-(\text{aq})$  s'accumulent dans le mélange. Vu les valeurs de  $\lambda_{\text{Na}^+}$  et de  $\lambda_{\text{HO}^-}$  la conductivité augmente rapidement.

- ⚡ Détermination graphique de la valeur du volume équivalent  $V_E$ :



$$V_E = 8,4 \text{ mL.}$$

- ⚡ La valeur de  $c_B$ :

À l'équivalence, on peut écrire:

$$c_B \times V_E = c_A \times V_A$$

$$c_B = \frac{c_A \times V_A}{V_E}$$

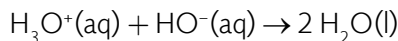
+ Application numérique:

$$c_B = \frac{0,15 \times 10,0}{8,4}$$

Soit  $c_B = 0,18 \text{ mol.L}^{-1}$

### EXERCICE 5 Déboucheur de canalisations domestiques

- a) L'équation de la réaction support de ce titrage:



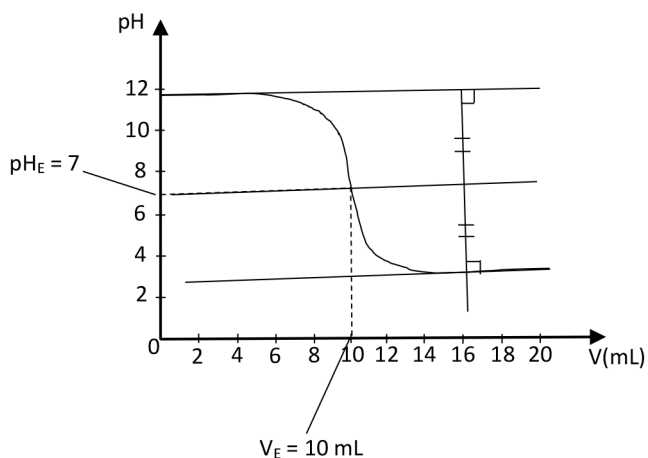
- b) La définition de l'équivalence d'un titrage:

C'est l'état du mélange où l'acide chlorhydrique et l'hydroxyde de sodium sont dans les proportions stoechiométriques et donc totalement consommés.

Dans ces conditions, on peut écrire:

$$c_B \times V_B = c_A \times V_E$$

c Détermination graphique du volume équivalent  $V_E$ :



D'après le graphe ci-dessus,  $V_E = 10$  mL.

d La valeur de la concentration  $c_B$ :

À l'équivalence, on a

$$c_B \times V_B = c_A \times V_E$$

Soit

$$c_B = \frac{c_A \times V_E}{V_B}$$

+ Application numérique:

$$c_B = \frac{0,10 \times 10}{10,0}$$

Soit  $c_B = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$

e La valeur de la concentration  $c$ :

$$c = 100 \times c_B$$

+ Application numérique:

$$c = 100 \times 0,10$$

Soit  $c_B = 10 \text{ mol.L}^{-1}$

**EXERCICE 6** Question ouverte

- Calcul de la masse d'un litre d'acide chlorhydrique commercial:  
Par définition,

$$d = \frac{\rho}{\rho_E}$$

Soit

$$\rho = d \times \rho_E$$

Par ailleurs,

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Soit

$$m = \rho \times V$$

Il vient

$$m = d \times \rho_E \times V$$

**+ Application numérique:**

$$m = 1,18 \times 1,0 \times 10^3 \times 1,0$$

$$\text{Soit } m = 1,2 \times 10^3 \text{ g}$$

- Calcul de la masse d'acide chlorhydrique dans un litre d'acide chlorhydrique commercial:  
D'après la définition du titre massique,

$$m_{\text{HCl}} = \frac{w \times m}{100}$$

**+ Application numérique:**

$$m_{\text{HCl}} = \frac{37 \times 1,2 \times 10^3}{100}$$

$$\text{Soit } m_{\text{HCl}} = 437 \text{ g}$$

- Calcul de la quantité de matière d'acide chlorhydrique HCl contenue dans le flacon:

$$n_{\text{HCl}} = \frac{m_{\text{HCl}}}{M}$$

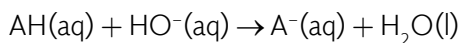
**+ Application numérique:**

$$n_{\text{HCl}} = \frac{4,4 \times 10}{36,5}$$

$$\text{Soit } n_{\text{HCl}} = 12 \text{ mol}$$

**EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python**

- a** L'équation de support de ce dosage par titrage pH-métrique:



- b** Les deux rubriques du programme liées aux valeurs de  $V_B$  et pH complétées:

```
# Valeurs du volume de la solution de soude versée
VB =[0,2.0,4.0,6.0,8.0,10,11,11.5,12,12.5,13,14,16,17]
# Valeurs de pH mesurées
pH=[2.4,2.7,3.1,3.4,3.7,4.1,4.4,5.8,7.5,10.2,10.5,10.8,11.0,11.1]
```

- c** La rubrique du programme liée au calcul de  $\frac{dpH}{dV_B}$  :

Car la formule de calcul de la dérivée de pH par rapport à  $V_B$ , utilise le point avant et le point après.

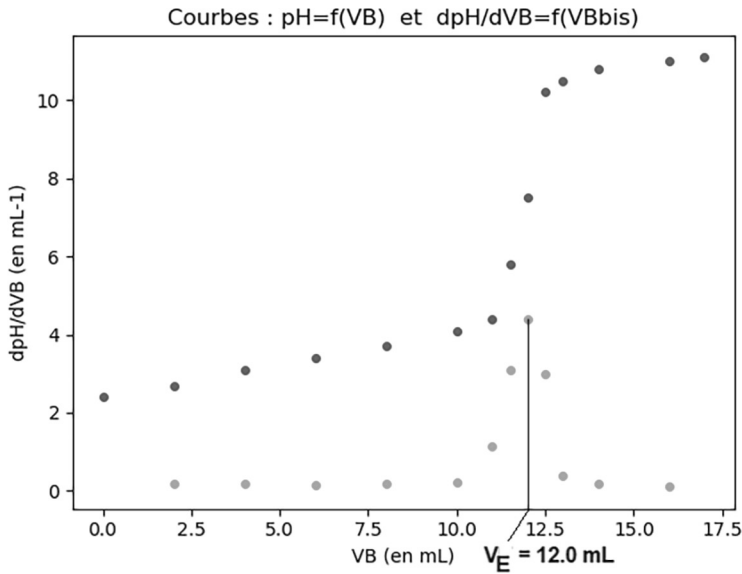
$$\frac{dpH}{dV_B}[i] = \frac{pH[i+1] - pH[i-1]}{V_B[i+1] - V_B[i-1]}$$

Ce calcul n'est pas possible pour le premier point de la liste et pour le dernier point de la liste.

- d** Obtention de la liste  $VB\_bis$  à partir de la liste  $V_B$  :

Puisque la dérivée n'a pas été effectuée pour la première valeur et la dernière valeur de la liste  $V_B$ , ces deux valeurs doivent être supprimées. On obtient une nouvelle liste, la liste  $VB\_bis$ .

e Résultat de l'exécution du programme:



La valeur du volume à l'équivalence est  $V_E = 12,0$  mL.

f Calcul de la valeur de la concentration  $C_A$ :

À l'équivalence, on peut écrire:

$$C_A \times V_A = C_B \times V_E$$

$$C_A = \frac{C_B \times V_E}{V_A}$$

+ Application numérique:

$$C_A = \frac{0,20 \times 12,0}{10,0}$$

Soit  $c_A = 0,24 \text{ mol.L}^{-1}$

Voici le script du programme Python complété:

```
# Script pour tracer les courbes pH = f(VB) et dpH/dVB = f(VB)
# D'un titrage d'un acide par une solution d'hydroxyde de sodium.
import matplotlib.pyplot as plt
# Valeurs du volume de la solution de soude versée
VB =[0,2.0,4.0,6.0,8.0,10,11,11.5,12,12.5,13,14,16,17]
# Valeurs de pH mesurées
pH=[2.4,2.7,3.1,3.4,3.7,4.1,4.4,5.8,7.5,10.2,10.5,10.8,11.0,11.1]
```

```

# Création de la liste de la dérivée du pH
derive_pH = []
# Calcul et Remplissage de la liste derive_pH
for i in range(1,13):
derive_pH.append(round((pH[i+1]-pH[i-1])/(VB[i+1]-VB[i-1]),2))
# Représentation de la courbe pH =f(VB) sous forme d'un nuage
de points
plt.plot(VB,pH,'o',markersize =4)
# Création d'une nouvelle liste VBbis
VBbis =[2.0,4.0,6.0,8.0,10,11,11.5,12,12.5,13,14,16]
# Représentation de la courbe dpH/dVB =f(VBbis) sous forme d'un
nuage de points
plt.plot(VBbis,derive_pH,'o',markersize =4)
# Configuration du graphique
plt.xlabel("VB (en mL)")
plt.ylabel("dpH/dVB (en mL-1)")
plt.title("Courbes : pH =f(VB) et dpH/dVB =f(VBbis)")
# Affichage des courbes
plt.show()

```

### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Le vinaigre est une solution aqueuse d'acide éthanóique  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

L'étiquette d'une bouteille de vinaigre indique les informations suivantes:

- Titre massique  $w = 8\%$ ;
- Densité:  $d = 1,0$ .

Protocole expérimental permettant de mesurer le titre massique du vinaigre:

#### + Liste de matériel:

- Pipettes jaugées;
- Pro-pipette;
- Fiole jaugée;
- Pipette simple en plastique;
- Bécher;
- Bouchon;
- Erlenmeyer;
- Burette;
- Agitateur magnétique + barreau aimanté;
- pH-mètre + ses deux solutions tampons;
- Ordinateur ou Smartphone + logiciel tableur-grapheur.

**+ Produits:**

- Bouteille de vinaigre;
- Solution de soude à  $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Pissette d'eau distillée.

**+ Protocole:**

- Rincer la burette avec la pissette d'eau distillée;
- Remplir la burette avec la solution de soude;
- Faire le zéro de la burette avec la solution de soude en prenant le soin de mettre un bécher sous la burette;
- À l'aide d'une fiole jaugée de 100 mL et d'une pipette jaugée de 10 mL, préparer à partir du vinaigre une solution fille dix fois diluée;
- À l'aide d'une pipette jaugée de 10 mL, prélever un volume  $V_A = 10,0 \text{ mL}$  de la solution diluée et l'introduire dans un erlenmeyer;
- Ajouter dans l'erlenmeyer un barreau aimanté et le placer sous la burette sur un agitateur magnétique;
- Introduire dans l'erlenmeyer la sonde du pH-mètre et rajouter de l'eau distillée pour que la sonde soit correctement immergée.
- Mettre en marche une agitation modérée;
- Relever la valeur du pH du mélange;
- Faire de même après chaque ajout de la solution de soude, mL par mL;
- Reporter les valeurs dans un tableur grapheur et tracer la courbe  $\text{pH} = f(V_B)$ ;
- En utilisant la fonctionnalité méthode des tangentes du tableur-grapheur, déterminer la valeur du volume à l'équivalence  $V_E$  du titrage;
- En utilisant la formule de l'équivalence

$$c_A \times V_A = c_B \times V_E$$

Calculer la concentration de la solution diluée du vinaigre à partir de la formule:

$$c_A = \frac{c_B \times V_E}{V_A}$$

- En déduire la valeur de la concentration du vinaigre:  $c = 10 \times c_A$ ;

- Le titre massique du vinaigre se déduit de la manière suivante:

$$w = \frac{m_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{m_{\text{Solution}}} \times 100$$

Il vient

$$w = \frac{n_{\text{CH}_3\text{COOH}} \times M}{d \times \rho_{\text{eau}} \times V} \times 100$$

Soit

$$w = \frac{c \times M}{d \times \rho_{\text{eau}}} \times 100$$

**Montage :** Burette + Erlenmeyer + sonde + agitateur magnétique  
**Burette :** Contient l'espèce titrante de concentration  $c$   
**Erlenmeyer :** Contient un volume  $V_1$  de la solution de l'espèce titrée de concentration  $c_1$  à déterminer  
**Équivalence :** Obtenue au volume  $V_{eq}$  versé de l'espèce titrante  
**Exploitation :**  $\frac{c \times V_{eq}}{a} = \frac{c_1 \times V_1}{b}$  soit  $c_1 = \frac{c \times V_{eq} \times b}{a \times V_1}$   
 a et b sont les coefficients stoechiométriques des espèces titrante et titrée

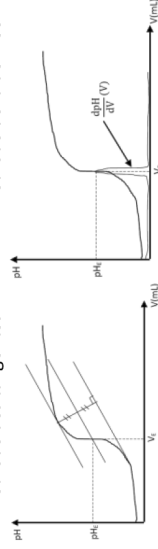
**Dosage par titrage :**  
 Utilisation d'une réaction de support

**Dosage par titrage pH-métrique :**  
 La sonde est un pH-mètre

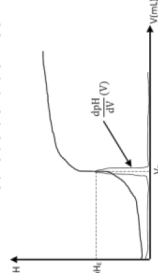
**Dosage par titrage Conductimétrique :**  
 La sonde est un conductimètre

**Repérage de l'équivalence :**

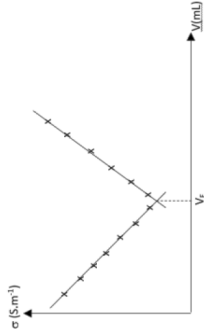
Méthode des tangentes



Méthode de la dérivée




**Repérage de l'équivalence :** Méthode des 2 tangentes au niveau du changement de pente



**Méthodes chimiques d'analyse d'un système chimique**

# SUIVI TEMPOREL D'UN SYSTÈME CHIMIQUE


## LES 10 QUESTIONS

1  C'est quoi une transformation lente? C'est quoi une transformation rapide?


↳ .....  
.....

2  C'est quoi un facteur cinétique? Donner deux exemples.


↳ .....  
.....

3  C'est quoi un catalyseur?

↳ .....  
.....

4  C'est quoi une catalyse homogène?


↳ .....  
.....

5  C'est quoi une catalyse hétérogène?

↳ .....  
.....


6  C'est quoi une catalyse enzymatique?

↳ .....  
.....

7  C'est quoi un catalyseur sélectif? Un catalyseur spécifique?

↳ .....

.....

8  Donner l'expression de la vitesse d'une réaction à partir d'un réactif? À partir d'un produit?


↳ .....

.....

9  C'est quoi le temps de demi-réaction  $t_{1/2}$  d'une transformation chimique?

↳ .....

.....

10  Que signifie une réaction d'ordre 1 par rapport au réactif A? Comment le prouver pour une transformation chimique?

↳ .....

.....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



## EXERCICE 1 Suivi de transformations chimiques

Associer à chacune des transformations ci-dessous, le capteur le plus adapté pour suivre son évolution:

Transformation qui consomme  
ou produit une ou plusieurs  
entités chargées

pH-mètre

Transformation qui consomme  
ou produit une ou plusieurs  
entités colorées

Conductimètre

Transformation où il y a échange  
d'un ou plusieurs protons

Manomètre

Transformation qui consomme  
ou produit un ou plusieurs gaz

Spectrophotomètre



## EXERCICE 2 Facteurs cinétiques

- a** Expliquer pourquoi en augmentant la température d'un milieu réactionnel la transformation chimique se fait plus vite;
- b** Pourquoi la vitesse d'une transformation chimique croît lorsque l'on augmente les quantités initiales des réactifs.
- c** Lorsqu'on garde un morceau de mie de pain dans la bouche, il finit par devenir sucré. Pourquoi?



### EXERCICE 3 Histoire de dromadaires

Un homme avait 3 fils et un troupeau composé de 17 dromadaires. Après sa mort, il a laissé un testament qui précise le partage des dromadaires entre ses trois enfants :

- La moitié pour l'aîné;
- Le tiers pour le cadet;
- Le Neuvième pour le benjamin;
- Les dromadaires doivent rester vivants et entiers.

N'ayant pas réussi à trouver la solution, les trois fils ont demandé l'aide à leur tante Drissia. Cette dernière a trouvé la réponse en utilisant un catalyseur.

L'opération de partage des dromadaires peut être assimilée à une transformation chimique qui au vu des règles de partage ne peut pas se faire sans l'intervention d'un catalyseur.

- a) Rappeler la définition d'un catalyseur;
- b) Quel est le catalyseur que Drissia a utilisé pour débloquent la situation.



### EXERCICE 4 Eau oxygénée

L'eau oxygénée ou peroxyde d'hydrogène est un composé chimique de formule  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Elle possède de multiples propriétés et bienfaits.

L'eau oxygénée appartient à deux couples oxydant-réducteur,  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ . Elle peut réagir lentement sur elle-même, on parle de dismutation.

- a) Dans quel couple l'eau oxygénée joue le rôle d'oxydant?
- b) Dans quel couple l'eau oxygénée joue le rôle de réducteur?
- c) Écrire l'équation de dismutation de l'eau oxygénée.
- d) La dismutation de l'eau oxygénée peut être activée par
  - Ajout de quelques gouttes d'une solution d'ion fer II  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ ;
  - Ajout d'un morceau de navet;
  - L'introduction d'un fil de platine.

Préciser dans chacun des cas, le type de la catalyse.



### EXERCICE 5 Vitesses de transformation chimique

La réaction entre les molécules d'eau oxygénée  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$  et les ions iode  $\text{I}^-(\text{aq})$  est une transformation lente qui produit une coloration brune à cause de la formation des molécules de diiode  $\text{I}_2$ .

- a) Déterminer l'équation de cette transformation chimique.
- b) Avec quels capteurs peut-on suivre l'évolution de cette transformation chimique?

- c Exprimer les vitesses de disparition des entités,  $I^-$ ,  $H^+$  et  $H_2O_2$ .
- d Exprimer la vitesse d'apparition de l'entité  $I_2$ .
- e Le suivi de cette transformation chimique a donné les résultats résumés dans le tableau de valeurs suivant:

T(min)	0	3	6	12	18	24	27	32
$[I_2](\text{mmol.L}^{-1})$	0	1,9	2,8	4,2	5,0	5,6	5,6	5,6

Calculer la vitesse d'apparition du diiode aux dates:

3 min, 6 min, 18 min et 27 min.

- f Déterminer le temps de demi-réaction  $t_{1/2}$  de cette transformation chimique.

Données:

Couples oxydant-réducteur:  $H_2O_2(\text{aq})/H_2O(\text{l})$  et  $I_2(\text{aq})/I^-(\text{aq})$ .



### EXERCICE 6 Sites réactifs

Indiquer pour chacune des entités chimiques ci-dessous, les sites donneurs et les sites accepteurs de doublets d'électrons:



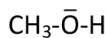
(a)



(b)



(c)



(d)



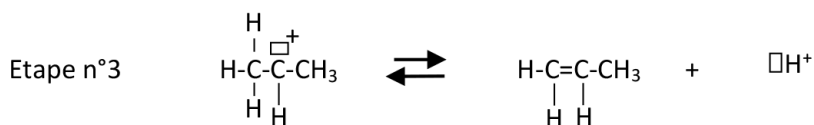
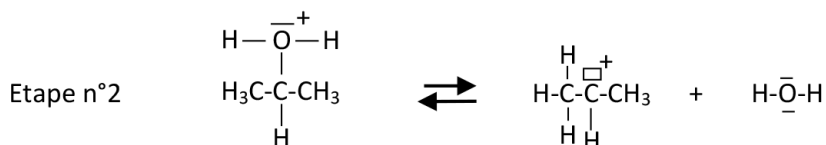
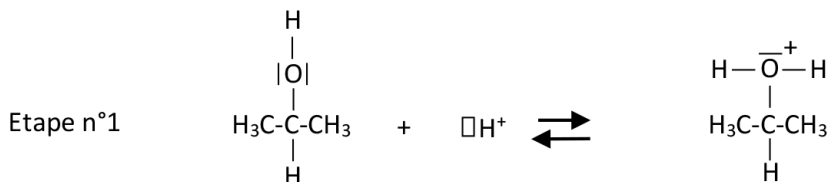
(e)



(f)


**EXERCICE 7 Mécanisme réactionnel**

L'hydrolyse acide d'un alcool produit un alcène. Le mécanisme réactionnel à trois étapes de cette transformation chimique est donné ci-dessous.



- Donner la définition d'un mécanisme réactionnel.
- Identifier les sites donneurs et accepteurs de doublets d'électrons de l'étape n° 1.
- Représenter par une flèche courbe le déplacement d'électrons de l'étape n° 1.
- Représenter par des flèches courbes le déplacement d'électrons des étapes n° 2 et n° 3.
- Rappeler la différence entre un intermédiaire réactionnel et un catalyseur.
- Quelle est l'entité chimique qui joue le rôle de catalyseur au cours de cette transformation chimique?
- Quelles sont les entités chimiques qui jouent le rôle d'intermédiaires réactionnels au cours de cette transformation chimique?
- Écrire l'équation bilan de cette transformation chimique en précisant les noms de l'alcool et de l'alcène obtenu.



### EXERCICE 8 Question ouverte

L'évolution de la concentration d'un réactif R d'une transformation chimique est donnée par le tableau de valeurs ci-dessous :

t(min)	0	1	2	3	4	6	10	15
[R](mmol.L <sup>-1</sup> )	5,0	4,8	4,6	3,6	3,1	2,6	2,2	1,5

Montrer que cette réaction est d'ordre 1 et calculer la constante de vitesse k.



### EXERCICE 9 Le coup de pouce de Python

L'eau de Javel est un produit ménager désinfectant. C'est une solution d'hypochlorite de sodium (Na<sup>+</sup>(aq) + ClO<sup>-</sup>(aq)). L'ion hypochlorite oxyde lentement l'eau pour produire du dioxygène gazeux. Pour ralentir cette transformation, l'eau de Javel doit être conservée au frais, à l'abri de l'air et de la lumière. La vitesse de dégradation de l'eau de Javel dépend de la constante de vitesse k.

La concentration d'ion hypochlorite dans un flacon d'eau de Javel entre 0 et 420 jours est donnée par le tableau de valeurs ci-dessous :

t(jours)	0	40	90	130	190	220	310	370	420
[ClO <sup>-</sup> ](mol.L <sup>-1</sup> )	2,00	1,71	1,41	1,20	0,95	0,85	0,60	0,47	0,39

Le script du programme Python ci-dessous permet de déterminer la valeur de la constante k pour la dégradation de l'eau de Javel.

```
# Programme pour tracer une droite d'étalonnage
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats as sc
import math
# Valeurs des dates t en jours
t = np.array([0, 40, 90, 130, 190, 220, 310, 370, 420])
# Valeurs des concentrations en mol/L
c = np.array([2, 1.71, 1.41, 1.2, 0.95, 0.85, 0.6, 0.47, 0.39])
# Calcul des valeurs de -Ln(c/c0)
Ln_c = -np.log(c/2)
# Modélisation du graphique
droite = sc.linregress(t, Ln_c)
# Calcul du coefficient directeur de la droite linéaire
coefficient = round(droite.slope, 4)
# Calcul de la droite de modélisation
droite_modele = coefficient*t
```

```

# Calcul de la concentration au bout de 2 ans
c_2_ans = .....
print("Concentration de l'eau de Javel au bout de 2 ans (mol/L) = ",
      round(c_2_ans,4))
#Tracé de la courbe Ln(c/C0) = f(t)
plt.plot(t, Ln_c,'+', color ='red')
#Tracé de la droite modélisée
plt.plot(t,droite_modele)
# Configuration du graphique
plt.xlabel("t (en jours)")
plt.ylabel("-Ln(c/c0)")
plt.title("-Ln(c/c0) = f(t)" + "*/ Constante de vitesse k = "+ str(coef-
ficient/2)+ "jour-1")
plt.grid()
# Affichage
plt.show()

```

- a Écrire l'équation de la réaction d'oxydation de l'eau par l'ion hypochlorite.
- b Dans le cas où la loi de vitesse de cette transformation est d'ordre 1, écrire la relation entre la vitesse de disparition de l'ion hypochlorite, la concentration molaire  $[\text{ClO}^-]$  et la constante de vitesse  $k$ .
- c De quoi dépend la valeur de  $k$ ?
- d Quelle est l'unité de la constante  $k$  dans le cadre de cette étude?
- e Compléter les deux rubriques du programme liées aux valeurs de  $t$  et  $c$ .
- f Compléter la rubrique du programme liée au calcul des valeurs de  $\text{Ln}(c/c_0)$ .
- g Compléter la rubrique du programme liée au calcul de la concentration au bout de 2 ans (1 an correspond à 365,25 jours).
- h Exécuter le programme et donner les valeurs de  $k$  et de la concentration molaire  $[\text{ClO}^-]$  au bout de 2 ans.

Données:

Couples oxydant-réducteur:  $\text{ClO}^-(\text{aq})/\text{Cl}^-(\text{aq})$  et  $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ .

**EXERCICE 10** Protocole TP ECE

Proposer un protocole expérimental permettant de suivre la réaction d'oxydation des ions iodures  $I^-(aq)$  par des ions peroxodisulfate  $S_2O_8^{2-}(aq)$ .







**+ Liste de matériel:**


- Bêchers;
- Éprouvettes graduées;
- Agitateur en verre;
- Spectrophotomètre + cuves;
- Ordinateur ou Smartphone + logiciel tableur-grapheur.

**+ Produits:**

- Solution d'iodure de potassium ( $K^+(aq) + I^-(aq)$ ) de concentration molaire  $5,00 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Solution de peroxodisulfate de sodium ( $2Na^+(aq) + S_2O_8^{2-}(aq)$ ) de concentration molaire  $2,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Pissette d'eau distillée.


## CORRIGÉS DES QUESTIONS

- 1  C'est quoi une transformation lente? C'est quoi une transformation rapide?
- + Une transformation lente peut être suivie à l'œil nu ou à l'aide d'un appareil de mesure. Une transformation rapide a une durée plus petite que  $1/10^e$  de seconde.
- 2  C'est quoi un facteur cinétique? Donner deux exemples.
- + C'est une grandeur dont la valeur agit sur la vitesse donc sur la durée d'une transformation chimique. Exemples: la température et la concentration initiale des réactifs.
- 3  C'est quoi un catalyseur?
- + C'est une espèce chimique qui accélère et oriente une transformation chimique sans modifier l'état final du système chimique.
- 4  C'est quoi une catalyse homogène?
- + Au cours d'une catalyse homogène, le catalyseur et les réactifs sont dans une même phase.
- 5  C'est quoi une catalyse hétérogène?
- + Au cours d'une catalyse hétérogène, le catalyseur et les réactifs forment deux phases distinctes.
- 6  C'est quoi une catalyse enzymatique?
- + Une catalyse est enzymatique si le catalyseur est une enzyme c'est-à-dire une protéine capable d'accélérer les réactions biochimiques.

7  C'est quoi un catalyseur sélectif? Un catalyseur spécifique?

- + Lorsqu'au cours d'une transformation entre deux réactifs, plusieurs réactions sont possibles, un catalyseur sélectif oriente la transformation vers une possibilité.

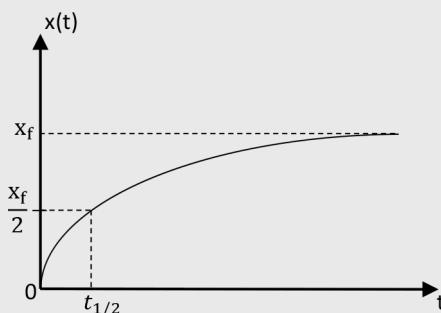
Un catalyseur spécifique est un catalyseur enzymatique qui n'agit que sur un réactif donné et pour une transformation particulière.

8  Donner l'expression de la vitesse d'une réaction à partir d'un réactif? À partir d'un produit?

$$+ \quad v = -\frac{dn_{\text{réactif}}}{dt} \text{ ou } -\frac{d[\text{réactif}]}{dt} \text{ et } v = \frac{dn_{\text{produit}}}{dt} \text{ ou } \frac{d[\text{produit}]}{dt}$$

9  C'est quoi le temps de demi-réaction  $t_{1/2}$  d'une transformation chimique?

- + C'est la durée au bout de laquelle l'avancement de la transformation vaut la moitié de l'avancement final  $x_f$ .

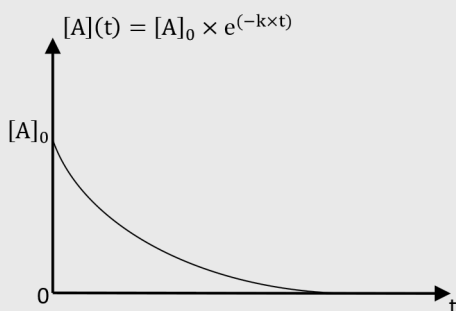


10  Que signifie une réaction d'ordre 1 par rapport au réactif A? Comment le prouver pour une transformation chimique?

- + Sa vitesse  $v$  est proportionnelle à la concentration en réactif A:

$$v = -\frac{d[A](t)}{dt} = k \times [A](t) \text{ soit } [A](t) = [A](0) \times e^{-kt}$$

$k$  est la constante de vitesse.

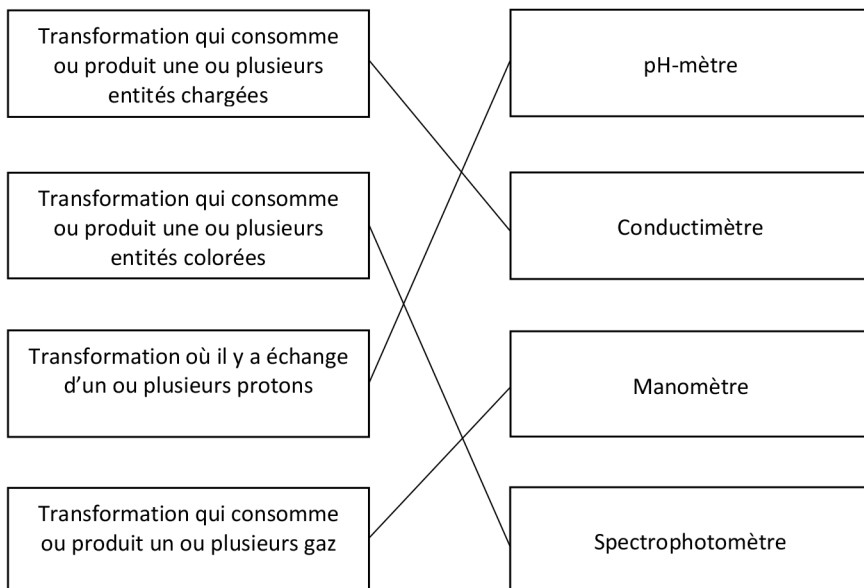


Pour le prouver, il suffit de tracer la courbe  $\ln\left(\frac{[A](t)}{[A](0)}\right) = f(t)$  et montrer qu'elle est modélisable par une droite linéaire dont le coefficient directeur est la constante  $k$ .

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Entités chimiques

Capteur le plus adapté pour suivre l'évolution de chaque transformation :



**EXERCICE 2 Facteurs cinétiques**

- a** Pourquoi en augmentant la température d'un milieu réactionnel la transformation chimique se fait plus vite:  
Car plus la température d'un milieu est élevée, plus l'agitation des entités chimiques est importante, plus les collisions entre elles sont plus fréquentes. Ceci augmente l'interaction entre les entités et la vitesse des transformations chimiques.
- b** Pourquoi la vitesse d'une transformation chimique croît lorsque l'on augmente les quantités initiales des réactifs:  
Car plus les quantités initiales des réactifs sont importantes, plus les fréquences des collisions entre les entités sont importantes. Ceci fait augmenter les vitesses des transformations chimiques.
- c** Lorsqu'on garde un morceau de mie de pain dans la bouche, il finit par devenir sucré. Pourquoi?  
Le pain est composé essentiellement de la farine contenant de l'amidon. Au bout de quelques secondes de mastication de cet aliment, un goût sucré apparaît dans la bouche. Il traduit l'apparition du glucose, un sucre issu de la transformation de l'amidon catalysée par l'enzyme de la salive appelée amylase. Il s'agit d'une catalyse enzymatique.

**EXERCICE 3 Histoire de dromadaires**

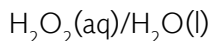
Un homme avait 3 fils et un troupeau composé de 17 dromadaires. Après sa mort, il a laissé un testament qui précise le partage des dromadaires entre ses trois enfants:

- La moitié pour l'aîné;
- Le tiers pour le cadet;
- Le neuvième pour le benjamin;
- Les dromadaires doivent rester vivants et entiers.

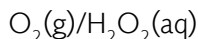
- a** La définition d'un catalyseur:  
C'est une espèce chimique qui accélère et oriente une transformation chimique sans modifier l'état final du système chimique. Elle est consommée au début de la transformation et régénérée à la fin.
- b** Utilisation d'un catalyseur pour résoudre le problème de partage:  
Dans ce cas, le catalyseur est un autre chameau qui pourrait être emprunté. Ceci fait passer le nombre de chameaux à 18.
- La moitié de 18 est 9;
  - Le tiers de 18 est 6;
  - Le neuvième de 18 est 2.
- La somme des trois parts:  $9 + 6 + 2 = 17$  chameaux. Le partage a bien respecté les règles du testament. Le 18<sup>e</sup> chameau peut être restitué à son propriétaire.

**EXERCICE 4 Eau oxygénée**

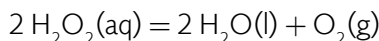
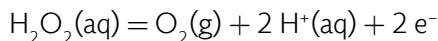
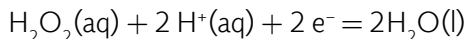
- a Le couple où l'eau oxygénée joue le rôle d'oxydant :



- b Le couple où l'eau oxygénée joue le rôle de réducteur ?



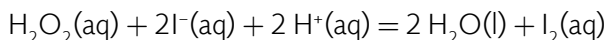
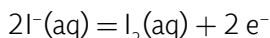
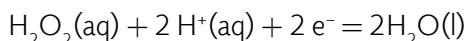
- c L'équation de dismutation de l'eau oxygénée :



- d Activation de la dismutation de l'eau oxygénée :
- L'activation par les ions fer II  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  est dite homogène car les ions  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  et l'eau oxygénée sont dans un même état aqueux.
  - L'activation par le morceau de navet est dite enzymatique car le navet agit par le biais de la catalase qui est une enzyme.
  - L'activation par l'introduction d'un fil de platine est dite hétérogène car le fil de platine est à l'état solide et l'eau oxygénée à l'état aqueux. L'ensemble constitue deux phases distinctes.

**EXERCICE 5 Vitesses de transformation chimique**

- a L'équation de cette transformation chimique :



- b Les capteurs pouvant suivre l'évolution de cette transformation chimique :  
D'après l'équation, cette transformation :
- Consomme des ions  $\text{I}^-(\text{aq})$ , elle peut être suivie par conductimétrie ;
  - Produit des entités chimiques colorées, les molécules de diiode  $\text{I}_2(\text{aq})$ , elle peut être suivie par spectrophotométrie.
- c Vitesses de disparition des entités,  $\text{I}^-$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{H}_2\text{O}_2$  :

$$v_{\text{disparition}, \text{I}^-} = -\frac{1}{2} \frac{d[\text{I}^-]}{dt}$$

$$v_{\text{disparition}, \text{H}^+} = -\frac{1}{2} \frac{d[\text{H}^+]}{dt}$$

$$v_{\text{disparition}, \text{H}_2\text{O}_2} = -\frac{d[\text{H}_2\text{O}_2]}{dt}$$

- d** Vitesse d'apparition de l'entité  $\text{I}_2$ :

$$v_{\text{apparition}, \text{I}_2} = +\frac{d[\text{I}_2]}{dt}$$

- e** Le suivi de cette transformation chimique a donné les résultats résumés dans le tableau de valeurs suivant:

T(min)	0	3	6	12	18	24	27	32
$[\text{I}_2](\text{mmol.L}^{-1})$	0	1,9	2,8	4,2	5,0	5,6	5,6	5,6

Vitesse d'apparition du diiode:

- À la date  $t_i$ , on peut écrire:

$$v_{\text{apparition}, \text{I}_2}(t_i) = +\frac{[\text{I}_2]_{i+1} - [\text{I}_2]_i}{t_{i+1} - t_i}$$

- À 3 min,

$$v_{\text{apparition}, \text{I}_2}(3 \text{ min}) = +\frac{2,8 - 1,9}{6 - 3}$$

Soit

$$v_{\text{apparition}, \text{I}_2}(3 \text{ min}) = 0,3 \text{ mmol.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$$

- À 6 min,

$$v_{\text{apparition}, \text{I}_2}(6 \text{ min}) = +\frac{4,2 - 2,8}{12 - 6}$$

Soit

$$v_{\text{apparition}, \text{I}_2}(6 \text{ min}) = 0,23 \text{ mmol.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$$

- À 18 min,

$$v_{\text{apparition}, \text{I}_2}(18 \text{ min}) = +\frac{5,6 - 5,0}{24 - 18}$$

Soit

$$v_{\text{apparition}, \text{I}_2}(18 \text{ min}) = 0,10 \text{ mmol.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$$

- À 27 min,

$$v_{\text{apparition}, I_2}(27 \text{ min}) = + \frac{5,6 - 5,6}{32 - 27}$$

Soit

$$v_{\text{apparition}, I_2}(27 \text{ min}) = 0 \text{ mmol.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$$

- ⚡ Le temps de demi-réaction  $t_{1/2}$  de cette transformation chimique:

À partir de la date de 24 min, la concentration de  $I_2$  reste constante. Cette valeur représente la concentration à l'état final  $[I_2]_f$ .

Le temps de demi-réaction  $t_{1/2}$  correspond à la date où  $[I_2]$  vaut la moitié de  $[I_2]_f$ .

$$[I_2]_f = 5,6 \text{ mmol.L}^{-1} \text{ et } \frac{[I_2]_f}{2} = 2,8 \text{ mmol.L}^{-1}.$$

D'après le tableau de valeurs,  $t_{1/2} = 6 \text{ min}$ .

#### EXERCICE 6 Sites réactifs

Les sites donneurs et les sites accepteurs de doublets d'électrons des entités chimiques suivantes:



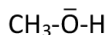
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

#### + Sites donneurs:

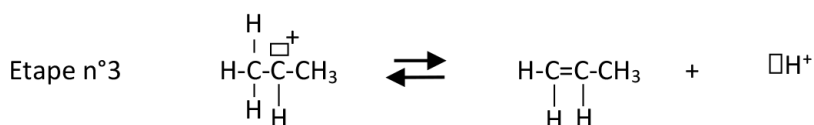
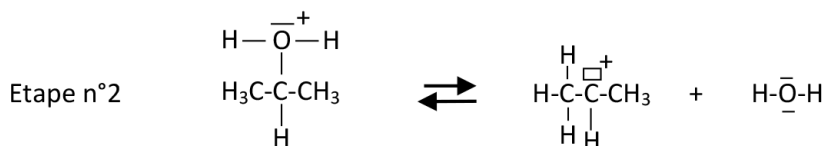
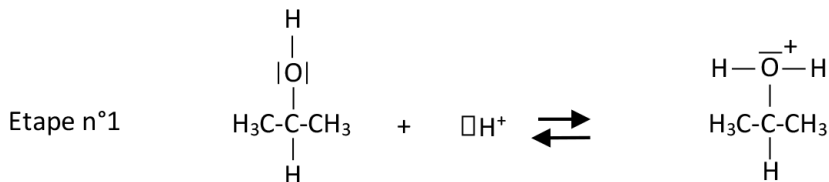
- L'atome O de (a);
- L'atome Br de (c);
- L'atome O de (d);
- L'atome O de (f).

#### + Sites accepteurs:

- La lacune de (b);
- L'atome C de (e).

**EXERCICE 7 Mécanisme réactionnel**

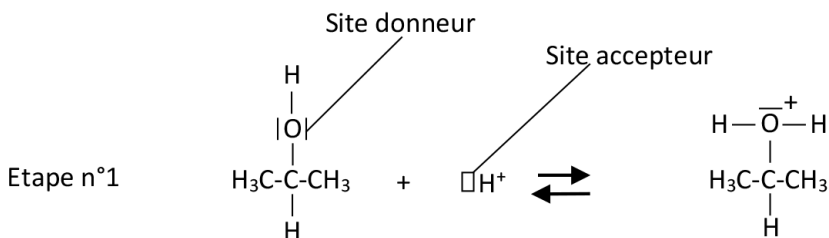
L'hydrolyse acide d'un alcool produit un alcène. Le mécanisme réactionnel à trois étapes de cette transformation chimique est donné ci-dessous.



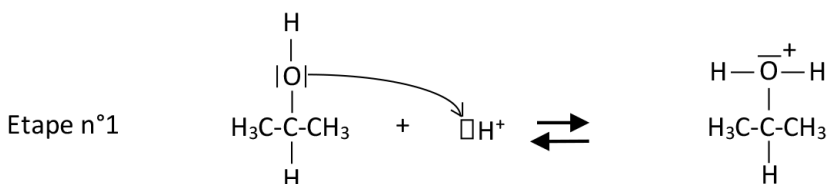
**a** La définition d'un mécanisme réactionnel:

C'est l'ensemble des actes élémentaires (composés d'une seule étape) qui permettent de rendre compte, à l'échelle microscopique, de la formation à l'échelle macroscopique, de produits à partir de réactifs.

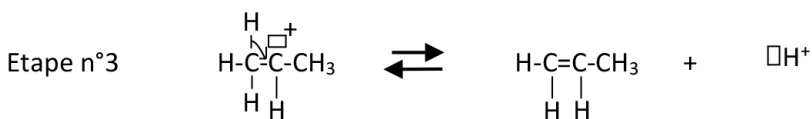
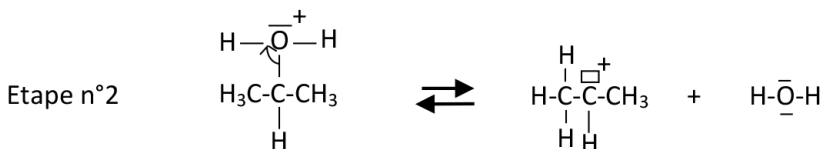
- b** Les sites donneurs et accepteurs de doublets d'électrons de l'étape n° 1 :



- c** Représentation par une flèche courbe le déplacement d'électrons de l'étape n° 1.



- d** Représentation par des flèches courbes le déplacement d'électrons des étapes n° 2 et n° 3.



- e La différence entre un intermédiaire réactionnel et un catalyseur:

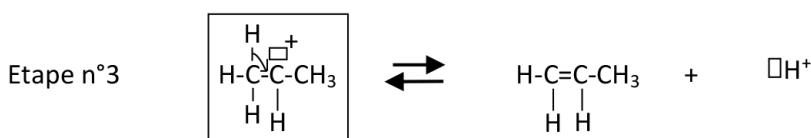
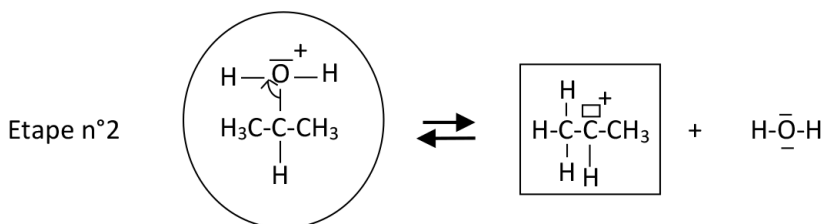
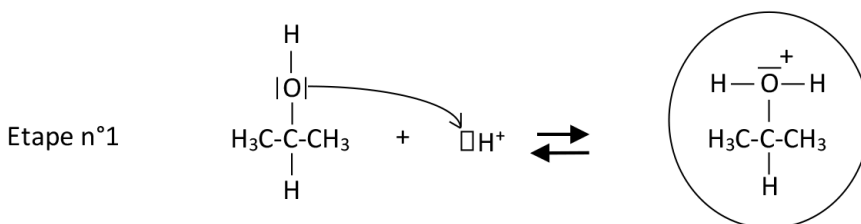
Un intermédiaire réactionnel est une entité produite au cours d'un acte élémentaire puis totalement consommé dans un autre. Un catalyseur accélère une réaction chimique. Il est consommé puis régénéré pendant la transformation chimique.

- f L'entité chimique qui joue le rôle de catalyseur au cours de cette transformation chimique:

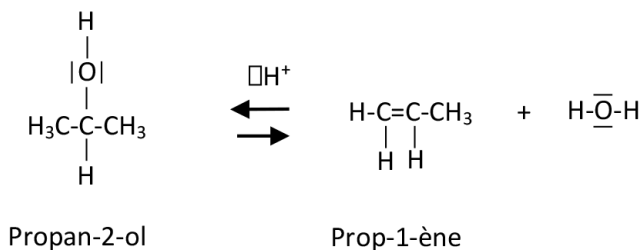
C'est l'ion  $H^+$  puisqu'il a été consommé puis régénéré à la fin de la transformation.

- g Les entités chimiques qui jouent le rôle d'intermédiaires réactionnels au cours de cette transformation chimique:

Ce sont les deux entités entourées avec un cercle et un rectangle.



**h** L'équation bilan de cette transformation chimique:



### EXERCICE 8 Question ouverte

Preuve que cette réaction est d'ordre 1 et calcul de la constante de vitesse  $k$ :

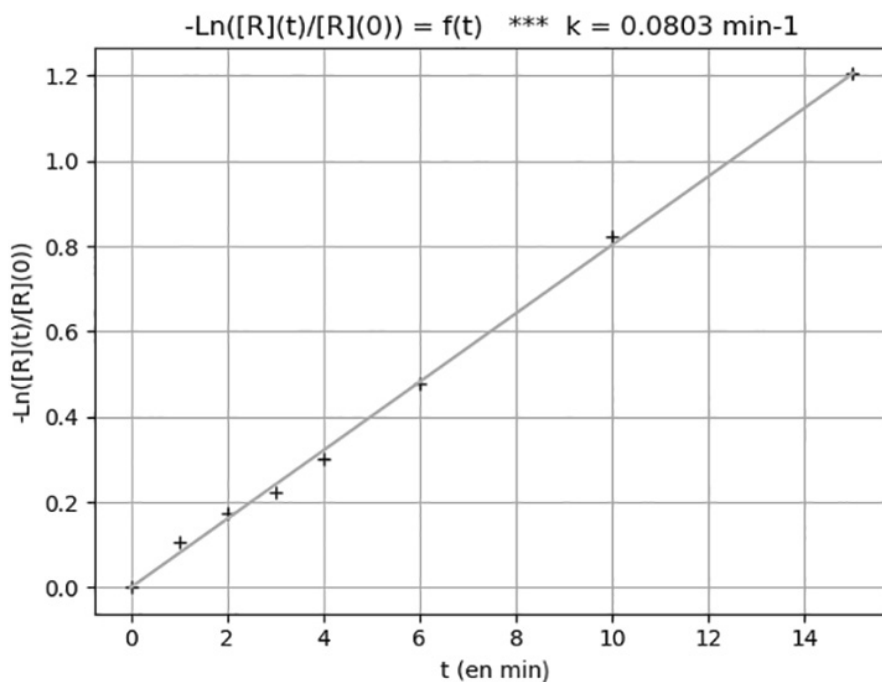
- Calculons les valeurs  $-\ln\left(\frac{[\text{R}](t)}{[\text{R}](0)}\right)$  et ajoutons une nouvelle ligne dans le tableau précédent.

t(min)	0	1	2	3	4	6	10	15
[R](mmol.L <sup>-1</sup> )	5,0	4,5	4,2	4,0	3,7	3,1	2,2	1,5
$-\ln\left(\frac{[\text{R}](t)}{[\text{R}](0)}\right)$	0	0,11	0,17	0,22	0,30	0,48	0,82	1,20

- Traçons la courbe  $-\ln\left(\frac{[\text{R}](t)}{[\text{R}](0)}\right) = f(t)$ .

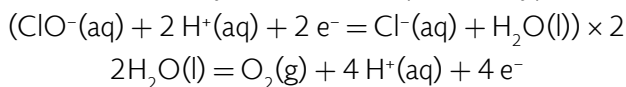
- Modélisons la courbe  $-\ln\left(\frac{[R](t)}{[R](0)}\right) = f(t)$  par une droite linéaire. Le coefficient directeur de cette droite correspond à la valeur de  $k$ :

$$k = 0,08 \text{ min}^{-1}$$



### EXERCICE 9 Le coup de pouce de Python

- a** L'équation de la réaction d'oxydation de l'eau par l'ion hypochlorite:



- b** Dans le cas où la loi de vitesse de cette transformation est d'ordre 1, on a:

$$-\frac{1}{2} \frac{d[\text{ClO}^-]}{dt} = k \times [\text{ClO}^-]$$

- c** De quoi dépend la valeur de  $k$ ?  
 $k$  dépend de la température.

- d** L'unité de la constante  $k$  dans le cadre de cette étude est le jour<sup>-1</sup>.
- e** Les deux rubriques du programme liées aux valeurs de  $t$  et  $c$  complétées:

```
# Valeurs des dates t en jours
t =np.array([0,40,90,130,190,220,310,370,420])
# Valeurs des concentrations en mol/L
c =np.array([2,1.71,1.41,1.20,0.95,0.85,0.60,0.47,0.39])
```

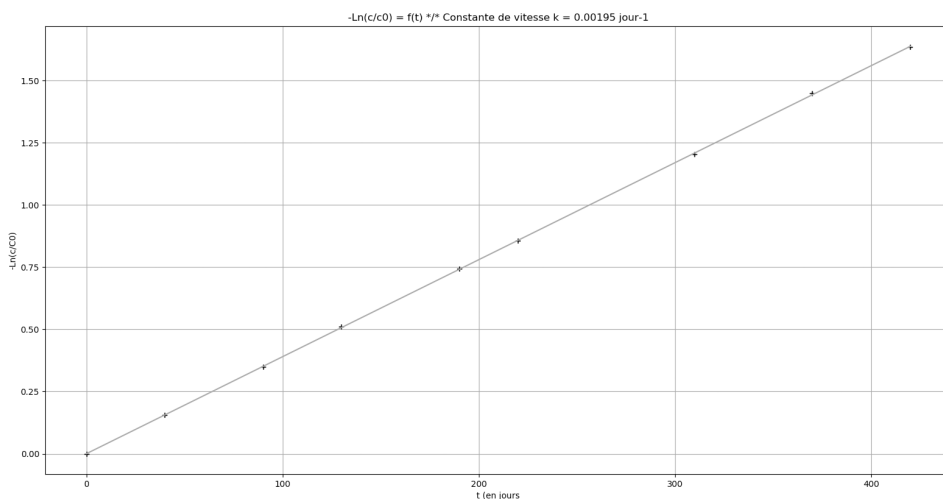
- f** La rubrique du programme liée au calcul des valeurs de  $\ln(c/c_0)$  complétée:

```
# Calcul des valeurs de  $-\ln(c/c_0)$ 
Ln_c = -1*np.log(c/c[0])
```

- g** La rubrique du programme liée au calcul de la concentration au bout de 2 ans complétée:

```
# Calcul de la concentration au bout de 2 ans
c_2_ans = c[0]*math.exp(-1*coefficient*730.5)
```

- h** Résultats de l'exécution du programme:



$k = 0.00195 \text{ jour}^{-1}$ .

Concentration de l'eau de Javel au bout de 2 ans (mol/L) = 0.1158

Voici le script du programme Python complété:

```
# Programme pour tracer une droite d'étalonnage
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats as sc
import math
```

```

# Valeurs des dates t en jours
t =np.array([0,40,90,130,190,220,310,370,420])
# Valeurs des concentrations en mol/L
c =np.array([2,1.71,1.41,1.20,0.95,0.85,0.60,0.47,0.39])
# Calcul des valeurs de  $-\ln(c/c_0)$ 
Ln_c = -1*np.log(c/c[0])
# Modélisation du graphique
droite = sc.linregress(t,Ln_c)
# Calcul du coefficient directeur de la droite linéaire
coefficient =round(droite.slope,4)
# Calcul de la droite de modélisation
droite_modele = coefficient*t
# Calcul de la concentration au bout de 2 ans
c_2_ans = c[0]*math.exp(-1*coefficient*730.5)
print("Concentration de l'eau de Javel au bout de 2 ans (mol/L)
= ", round(c_2_ans,4))
#Tracé de la courbe  $\ln(c/C_0) = f(t)$ 
plt.plot(t,Ln_c,'+', color = 'red')
#Tracé de la droite modélisée
plt.plot(t,droite_modele)
# Configuration du graphique
plt.xlabel("t (en jours)")
plt.ylabel("-ln(c/C0)")
plt.title("-ln(c/c0) = f(t)" + "/* Constante de vitesse k
= "+ str(coefficient/2)+ "jour-1")
plt.grid()
# Affichage
plt.show()

```

### EXERCICE 10 Protocole TP ECE

Protocole expérimental permettant de suivre la réaction d'oxydation des ions iodures  $I^-(aq)$  par des ions peroxodisulfate  $S_2O_8^{2-}(aq)$ :

#### + Liste de matériel:

- Béchers;
- Éprouvettes graduées;
- Agitateur en verre;
- Spectrophotomètre + cuves;
- Ordinateur ou Smartphone + logiciel tableur-grapheur.

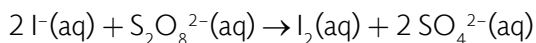
**+ Produits:**

- Solution d'iodure de potassium ( $K^+(aq) + I^-(aq)$ ) de concentration molaire  $5,00 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Solution de peroxydisulfate de sodium ( $2Na^+(aq) + S_2O_8^{2-}(aq)$ ) de concentration molaire  $2,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Pissette d'eau distillée.

**+ Protocole:**

- Réglez le spectrophotomètre à la longueur d'onde  $\lambda = 470 \text{ nm}$ .
- Paramétrez le logiciel qui pilote le spectrophotomètre (faire le zéro) pour l'acquisition.
- Prélever à l'aide de deux éprouvettes graduées  $10,00 \text{ mL}$  de chacune des deux solutions.
- Versez les contenus des deux éprouvettes graduées dans un bécher et agitez le mélange réactionnel.
- Remplissez rapidement une cuve, placez-la dans le spectrophotomètre et lancez l'acquisition.
- Le logiciel va tracer la courbe  $A = f(\text{temps})$ .

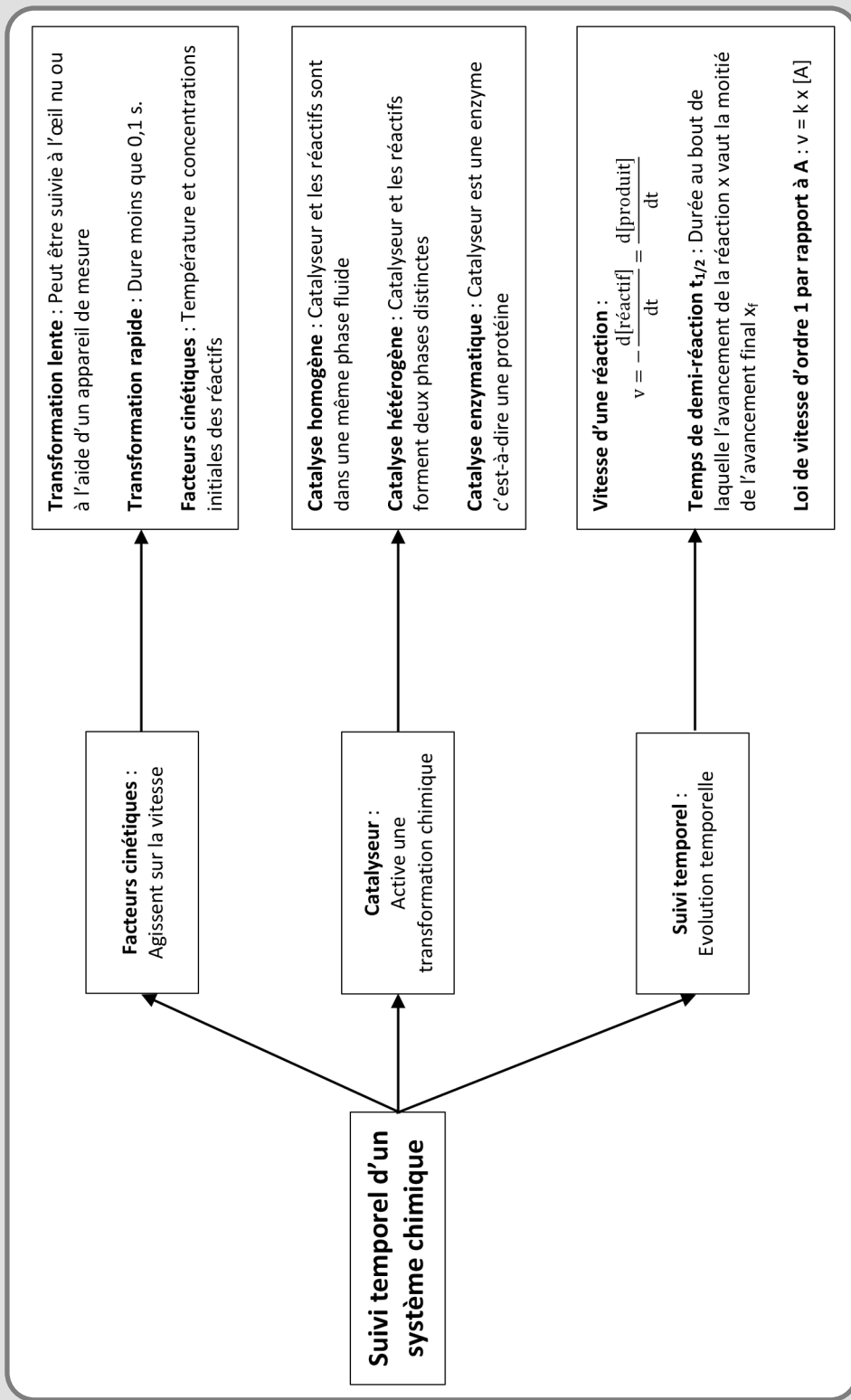
L'équation de cette réaction est:



D'après la loi de Bee-Lambert,  $A = k \times [I_2(aq)]$

Donc la courbe  $A = f(\text{temps})$  nous renseigne sur l'évolution de la concentration de  $I_2$  en fonction du temps.

SUIVI TEMPOREL D'UN SYSTÈME CHIMIQUE



**Transformation lente** : Peut être suivie à l'œil nu ou à l'aide d'un appareil de mesure

**Transformation rapide** : Dure moins que 0,1 s.

**Facteurs cinétiques** : Température et concentrations initiales des réactifs

**Catalyse homogène** : Catalyseur et les réactifs sont dans une même phase fluide

**Catalyse hétérogène** : Catalyseur et les réactifs forment deux phases distinctes

**Catalyse enzymatique** : Catalyseur est une enzyme c'est-à-dire une protéine

**Vitesse d'une réaction** :

$$v = - \frac{d[\text{réactif}]}{dt} = \frac{d[\text{produit}]}{dt}$$

**Temps de demi-réaction  $t_{1/2}$**  : Durée au bout de laquelle l'avancement de la réaction  $x$  vaut la moitié de l'avancement final  $x_f$

**Loi de vitesse d'ordre 1 par rapport à A** :  $v = k x [A]$

**Facteurs cinétiques** :  
Agissent sur la vitesse

**Catalyseur** :  
Active une transformation chimique

**Suivi temporel** :  
Evolution temporelle

**Suivi temporel d'un système chimique**




# RADIOACTIVITÉ

## LES 10 QUESTIONS

1  C'est quoi les isotopes d'un élément chimique? À quoi sert le diagramme (N,Z)?


↳ .....

.....

2  C'est quoi un noyau radioactif?

↳ .....

.....

3  C'est quoi une désintégration  $\alpha$ ?

↳ .....

.....

4  C'est quoi une désintégration  $\beta^-$ ?


↳ .....

.....

5  C'est quoi une désintégration  $\beta^+$ ?


↳ .....

.....

6  C'est quoi une radioactivité  $\gamma$ ?


↳ .....

.....

7  C'est quoi la constante radioactive d'un noyau radioactif? Le temps de demi-vie  $t_{1/2}$ ?



.....  
 .....

8  C'est quoi l'activité  $A(t)$  d'un échantillon radioactif à la date  $t$ ?



.....  
 .....

9  C'est quoi la loi de décroissance radioactive?



.....  
 .....

10  Citer deux applications de la radioactivité.



.....  
 .....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



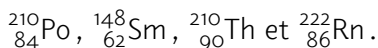
### EXERCICE 1 Noyaux instables

- Définir un noyau stable.
- Définir un noyau instable.
- Pourquoi certains noyaux sont instables?
- Que doivent faire les noyaux instables pour acquérir la stabilité.


**EXERCICE 2 Désintégration  $\alpha$** 

La désintégration  $\alpha$  concerne les noyaux lourds qui possèdent trop de nucléons. Ces noyaux émettent des particules  $\alpha$ .

- C'est quoi une particule  $\alpha$ ?
- Écrire l'équation générale de cette désintégration d'un noyau père qui donne naissance à un noyau fils  ${}_{Z'}^{A'}X'$ . Exprimer  $A'$  en fonction de  $A$  et  $Z'$  en fonction de  $Z$ .
- Écrire les équations de la désintégration  $\alpha$  des noyaux suivants:



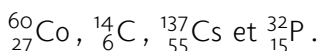
Données:

X	Nd	Pb	Po	Ra
Z	60	82	84	88


**EXERCICE 3 Désintégration  $\beta^-$** 

Au cours d'une désintégration  $\beta^-$ , un noyau père  ${}_{Z}^AX$  se désintègre pour former un noyau fils  ${}_{Z'}^{A'}X'$  avec émission d'un électron.

- Écrire les symboles d'un électron, d'un proton et d'un neutron.
- On sait qu'un noyau d'atome est composé uniquement de nucléons c'est-à-dire de protons et de neutrons. Expliquer pourquoi un noyau arrive à émettre un électron.
- Écrire l'équation générale de désintégration  $\beta^-$  d'un noyau père  ${}_{Z}^AX$  qui donne naissance à un noyau fils  ${}_{Z'}^{A'}X'$ . Exprimer  $A'$  en fonction de  $A$  et  $Z'$  en fonction de  $Z$ .
- Écrire les équations de la désintégration  $\beta^-$  des noyaux suivants:



Données:

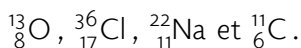
X	N	S	Ni	Ba
Z	7	16	28	56



#### EXERCICE 4 Désintégration $\beta^+$

Au cours d'une désintégration  $\beta^+$ , un noyau père  ${}^A_ZX$  se désintègre pour former un noyau fils  ${}^{A'}_{Z'}X'$  avec émission d'un positon.

- Écrire le symbole d'un positon.
- On sait qu'un noyau d'atome est composé uniquement de nucléons c'est-à-dire des protons et des neutrons. Expliquer pourquoi un noyau arrive à émettre un positon.
- Écrire l'équation générale de désintégration  $\beta^+$  d'un noyau père  ${}^A_ZX$  qui donne naissance à un noyau fils  ${}^{A'}_{Z'}X'$ . Exprimer  $A'$  en fonction de  $A$  et  $Z'$  en fonction de  $Z$ .
- Écrire les équations de désintégration  $\beta^-$  des noyaux suivants:



Données:

X	B	N	Ne	S
Z	5	7	10	16



#### EXERCICE 5 Loi de décroissance radioactive

La désintégration d'un noyau radioactif est un phénomène aléatoire. La diminution du nombre de noyaux dans un échantillon à une date  $t$  est proportionnelle au nombre de noyaux à cette date. Le facteur de proportionnalité s'appelle la constante radioactive  $\lambda$  qui est caractéristique du noyau radioactif de l'échantillon.

Soit  $N(t)$  le nombre de noyaux radioactifs de l'échantillon à la date  $t$ .

$N_0 = 5,0 \times 10^{32}$  est le nombre de noyaux radioactifs à  $t = 0$ .

- Donner l'expression de la diminution du nombre de noyaux radioactifs à la date  $t$ .
- En déduire l'équation différentielle vérifiée par  $N(t)$ .
- Vérifier que  $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$  est solution de cette équation différentielle.
- Déterminer la date  $t_{1/2}$  appelée demi-vie au bout de laquelle le nombre de noyaux radioactifs atteint la valeur  $\frac{N_0}{2}$ . Calculer la valeur de  $t_{1/2}$  pour un noyau dont la constante radioactive est  $\lambda = 8,6 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ .

- e L'activité  $A(t)$  d'un échantillon de noyaux radioactifs est définie par:

$$A(t) = \lambda \times \frac{dN(t)}{dt}$$

Calculer l'expression de  $A(t)$ .

- f Calculer en Becquerel Bq, l'activité de l'échantillon à l'état initial et au bout d'un an.



### EXERCICE 6 Question ouverte

L'estimation de l'âge d'un vestige peut être déterminée à l'aide de la datation au carbone 14. Déterminer l'âge d'un morceau de bois de masse  $m = 450$  g dont l'activité du carbone 14 est 495 désintégrations par minute.

Données:

- Constante radioactive du  $^{14}\text{C} = 3,93 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$ .
- Activité du C 14 pour 10 g de bois vivant est: 0,25 Bq.



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Voici un script du programme Python qui permet de simuler la décroissance radioactive dans un échantillon de noyaux radioactifs.

```
# Script pour calculer par simulation numérique le nombre de noyaux
radioactifs
# Qui restent dans un échantillon en fonction du temps
import matplotlib.pyplot as plt
import math
# Le pas de temps en s
Dt =...
# Nombre initial de noyaux radioactifs
N0 =.....
# Constante radioactive en s-1
Lambda =.....
# Initialisation des listes avec les données initiales
t =[0]
N =[N0]
# Remplissage de la liste t
for i in range(1,201):
t.append(i*Dt)
# Calcul et Remplissage de la liste N du nombre de noyaux
for i in range(1,201):
N.append(.....)
```

```
# Représentation de la courbe de décroissance radioactive
plt.plot(t,N,'o',markersize =1)
# Configuration du graphique
plt.xlabel("t (en s)")
plt.ylabel("N")
plt.title("Décroissance radioactive")
plt.show()
```

Le programme résout numériquement de proche en proche, l'équation différentielle qui décrit la désintégration des noyaux radioactifs dans un échantillon.

Il suffit de saisir le nombre initial de noyaux  $N_0$  et la constante radioactive  $\lambda$ .

L'équation différentielle qui régit la décroissance radioactive s'écrit:

$$-\frac{dN(t)}{dt} = \lambda \times N(t)$$

Soit

$$-\frac{N_{i+1} - N_i}{t_{i+1} - t_i} = \lambda \times N_i$$

Ce qui s'écrit:

$$N_{i+1} = N_i - \lambda \times N_i \times (t_{i+1} - t_i)$$

Soit

$$N_{i+1} = N_i - \lambda \times N_i \times \Delta t$$

$\Delta t$  est le pas de temps.


Connaissant les valeurs de  $\Delta t$ ,  $\lambda$  et  $N_0$ , on peut calculer les valeurs ultérieures de  $N$ .

On considère un échantillon composé initialement de  $N_0 = 800$  noyaux radioactifs de constante radioactive  $\lambda = 1,386 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ . On souhaite suivre toutes les secondes l'évolution du nombre de noyaux radioactifs qui restent dans l'échantillon.


- a** Compléter les rubriques du programme liées au pas de temps et aux données initiales.
- b** Compléter la rubrique du programme liée au calcul des valeurs de  $N$ .
- c** Exécuter le programme et déterminer graphiquement la valeur de  $t_{1/2}$ .
- d** Comparer la valeur trouvée avec celle que l'on peut calculer à l'aide de la formule suivante:

$$t_{1/2} = \frac{\text{Ln}(2)}{\lambda}$$


## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  C'est quoi les isotopes d'un élément chimique? À quoi sert le diagramme (N,Z)?

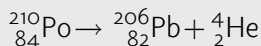
- + Ce sont les noyaux possédant le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent.
- + Le diagramme (N,Z) avec N le nombre de neutrons d'un noyau et Z son nombre de protons, permet de repérer les noyaux instables.


2  C'est quoi un noyau radioactif?

- + C'est un noyau instable car il possède un excès de nucléons ou une proportion neutrons/protons déséquilibrée. Il se désintègre spontanément en d'autres noyaux en émettant des rayonnements sous forme de particules.

3  C'est quoi une désintégration  $\alpha$ ?


- + C'est une désintégration d'un noyau radioactif possédant trop de nucléons qui libère un noyau d'atome d'Hélium He:



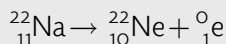
4  C'est quoi une désintégration  $\beta^-$ ?

- + C'est une désintégration d'un noyau radioactif possédant un excès de neutrons par rapport aux protons qui libère un électron:



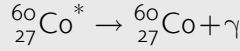
5  C'est quoi une désintégration  $\beta^+$ ?


- + C'est une désintégration d'un noyau radioactif possédant un excès de protons par rapport aux neutrons qui libère un positon:



6  C'est quoi une radioactivité gamma  $\gamma$ ?


- + C'est une onde électromagnétique appelée rayonnement  $\gamma$  qui est émise par un noyau fils à l'état excité (souvent noté par une étoile), résultant d'une désintégration pour se désexciter.



7  C'est quoi la constante radioactive  $\lambda$  d'un noyau radioactif? Le temps de demi-vie  $t_{1/2}$ ?

- +  $\lambda$  est une caractéristique d'un noyau radioactif. Elle s'exprime en  $\text{s}^{-1}$ .
- +  $t_{1/2}$  est la durée nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux radioactifs présents dans un échantillon à  $t = 0$ :

$$t_{1/2} = \frac{\text{Ln}(2)}{\lambda}$$

8  C'est quoi l'activité  $A(t)$  d'un échantillon radioactif à la date  $t$ ?

- + 
$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda \times N(t)$$

$N(t)$  est le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à la date  $t$ .

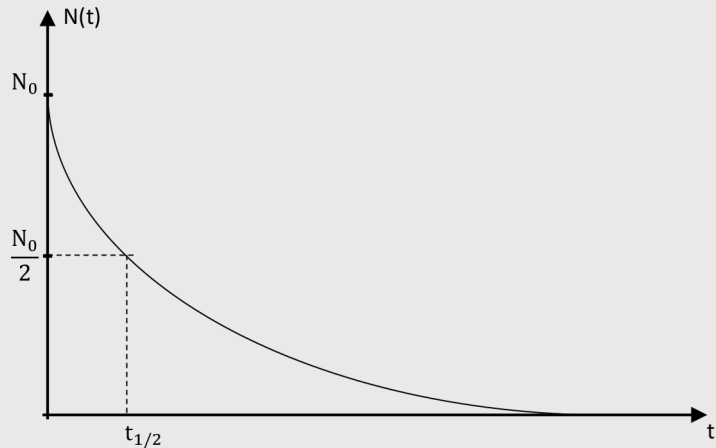
Unité: becquerel Bq.

1 Bq = 1 désintégration/s.

9  C'est quoi la loi de décroissance radioactive?

$$+ \quad N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$$

$N_0$  est le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à la date  $t = 0$ .



10  Citer deux applications de la radioactivité.

- + Datation isotopique: Dater l'âge d'un échantillon à la date  $t$  si l'on connaît  $N_0$  et  $N(t)$  de noyaux radioactifs.
- + La radiothérapie et l'imagerie médicale qui utilisent des éléments radioactifs artificiels.

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Noyaux instables

a Définition d'un noyau stable:

C'est un noyau qui ne se désintègre pas. Son nombre dans l'Univers reste constant.

b Définition d'un noyau instable:

C'est un noyau qui n'est pas satisfait de ses nombres de protons et de neutrons. Il se désintègre pour acquérir la stabilité. Son nombre dans l'Univers diminue.

- c** Certains noyaux sont instables car ils présentent :
- Soit un excès de protons par rapport aux neutrons ;
  - Soit un excès de neutrons par rapport aux protons ;
  - Soit un excès de protons et de neutrons.
- d** Pour acquérir la stabilité les noyaux instables se désintègrent en émettant :
- Soit des particules  $\alpha$  ;
  - Soit des électrons ;
  - Soit des positons ;
  - Soit des photons  $\gamma$ .

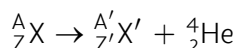
### EXERCICE 2 Désintégration $\alpha$

La désintégration  $\alpha$  concerne les noyaux lourds qui possèdent trop de nucléons. Ces noyaux émettent des particules  $\alpha$ .

- a** Définition d'une particule  $\alpha$  :

Une particule  $\alpha$  est un noyau d'atome d'hélium de formule  ${}^4_2\text{He}$ .

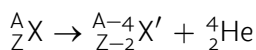
- b** L'équation générale d'une désintégration  $\alpha$  :



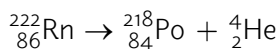
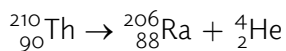
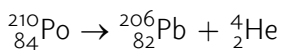
D'après les lois de conservation de A et Z, on peut écrire :

$$\begin{cases} A' = A - 4 \\ Z' = Z - 2 \end{cases}$$

Il vient :



- c** Les équations de désintégration  $\alpha$  des noyaux :



**EXERCICE 3 Désintégration  $\beta^-$** 

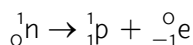
Au cours d'une désintégration  $\beta^-$ , un noyau père  ${}^A_ZX$  se désintègre pour former un noyau fils  ${}^{A'}_{Z'}X'$  avec émission d'un électron.

**a** Symboles des particules élémentaires:

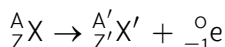
- Électron:  ${}^0_{-1}e$
- Proton:  ${}^1_1p$
- Neutron:  ${}^1_0n$

**b** Un noyau arrive à émettre un électron:

L'émission d'un électron à partir d'un noyau s'obtient en transformant un neutron en un proton + un électron:



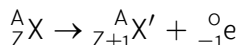
**c** L'équation générale la désintégration  $\beta^-$  d'un noyau père  ${}^A_ZX$ :



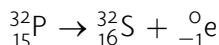
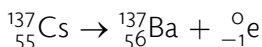
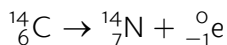
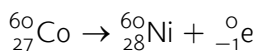
D'après les lois de conservation de A et Z, on peut écrire:

$$\begin{cases} A' = A - 0 \\ Z' = Z + 1 \end{cases}$$

Il vient:



**d** Les équations de désintégration  $\beta^-$  des noyaux:

**EXERCICE 4 Désintégration  $\beta^+$** 

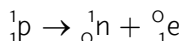
Au cours d'une désintégration  $\beta^+$ , un noyau père  ${}^A_ZX$  se désintègre pour former un noyau fils  ${}^{A'}_{Z'}X'$  avec émission d'un positon.

**a** Symboles des particules élémentaires:

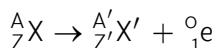
Positon:  ${}^0_1e$

- b** Un noyau arrive à émettre un positon :

L'émission d'un positon à partir d'un noyau s'obtient en transformant un proton en un neutron + un positon :



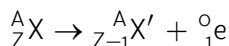
- c** L'équation générale la désintégration  $\beta^+$  d'un noyau père  ${}_Z^AX$  :



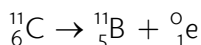
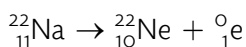
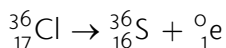
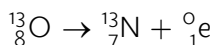
D'après les lois de conservation de A et Z, on peut écrire :

$$\begin{cases} A' = A - 0 \\ Z' = Z - 1 \end{cases}$$

Il vient :



- d** Les équations de désintégration  $\beta^+$  des noyaux :



### EXERCICE 5 Loi de décroissance radioactive

La désintégration d'un noyau radioactif est un phénomène aléatoire. La diminution du nombre de noyaux dans un échantillon à une date t est proportionnelle au nombre de noyaux à cette date. Le facteur de proportionnalité s'appelle la constante radioactive  $\lambda$  qui est caractéristique du noyau radioactif de l'échantillon.

Soit  $N(t)$  le nombre de noyaux radioactifs de l'échantillon à la date t.

$N_0 = 5,0 \times 10^{32}$  est le nombre de noyaux radioactifs à  $t = 0$ .

- a** L'expression de la diminution du nombre de noyaux radioactifs à la date t :

$$-\frac{dN(t)}{dt}$$

- b** L'équation différentielle vérifiée par  $N(t)$  :

$$-\frac{dN(t)}{dt} = \lambda \times N(t)$$

Soit

$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda \times N(t) = 0$$

- c** Vérifions que  $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$  est solution de cette équation différentielle:

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{d}{dt} (N_0 \times e^{-\lambda t})$$

Soit

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \times N_0 \times e^{-\lambda t}$$

Par ailleurs,  $\lambda \times N(t) = \lambda \times N_0 \times e^{-\lambda t}$

Il vient en faisant la somme des deux termes:

$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda \times N(t) = -\lambda \times N_0 \times e^{-\lambda t} + \lambda \times N_0 \times e^{-\lambda t} = 0$$

La fonction  $N_0 \times e^{-\lambda t}$  est bien solution de l'équation différentielle précédente.

- d** Expression de  $t_{1/2}$  appelée demi-vie au bout de laquelle le nombre de noyaux radioactifs atteint la valeur  $\frac{N_0}{2}$ .

$$N(t_{1/2}) = N_0 \times e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{N_0}{2}$$

En divisant par  $N_0$ , on obtient:

$$e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

En appliquant la fonction logarithme népérien sur les membres de l'égalité:

$$\text{Ln}(e^{-\lambda t_{1/2}}) = \text{Ln}\left(\frac{1}{2}\right)$$

Soit

$$-\lambda t_{\frac{1}{2}} = -\text{Ln}(2)$$

Il vient

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\text{Ln}(2)}{\lambda}$$

+ **Application numérique:**

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\text{Ln}(2)}{8,6 \times 10^{-7}}$$

Soit

$$t_{\frac{1}{2}} = 8,1 \times 10^5 \text{ s}$$

e L'expression de  $A(t)$ :

$$A(t) = \lambda \times \frac{dN(t)}{dt}$$

$$A(t) = \lambda \times N_0 \times e^{-\lambda t}$$

f L'activité de l'échantillon à l'état initial et au bout d'un an.

+ **Application numérique:**

• À l'état initial:

$$A_0 = \lambda \times N_0$$

$$A_0 = 8,6 \times 10^{-7} \times 5,0 \times 10^{32}$$

$$A_0 = 4,3 \times 10^{26} \text{ Bq}$$

• Au bout d'un an:

$$A(1\text{an}) = \lambda \times N_0 \times e^{(-\lambda 1\text{an})}$$

$$A(1\text{an}) = 8,6 \times 10^{-7} \times 5,0 \times 10^{32} \times e^{(-8,610^{-7} \times 365,25 \times 24 \times 3600)}$$

$$A_0 = 7,0 \times 10^{14} \text{ Bq}$$

### EXERCICE 6 Question ouverte

L'estimation de l'âge d'un vestige peut être estimée à l'aide de la datation au carbone 14. Déterminer l'âge d'un morceau de bois de masse  $m = 460 \text{ g}$  dont l'activité du carbone 14 est 495 désintégrations par minute.

• Conversion de l'activité du carbone 14 en Becquerel Bq:

+ **Application numérique:**

$$A(450 \text{ g}) = \frac{495}{60}$$

Soit

$$A(450\text{ g}) = 8,25\text{ Bq}$$

- Calcul de  $A_0(450)$  pour la même masse  $m = 450\text{ g}$ :

+ **Application numérique:**

$$A_0(450\text{ g}) = \frac{450 \times 0,25}{10}$$

Soit

$$A_0(450\text{ g}) = 11,3\text{ Bq}$$

- Appliquons la formule de décroissance radioactive:

$$A(450\text{ g}) = A_0(450\text{ g})e^{-\lambda t}$$

Soit

$$\frac{A(450\text{ g})}{A_0(450\text{ g})} = e^{-\lambda t}$$

Soit

$$\ln\left(\frac{A(450\text{ g})}{A_0(450\text{ g})}\right) = -\lambda t$$

Il vient

$$t = \frac{\ln\left(\frac{A(450\text{ g})}{A_0(450\text{ g})}\right)}{-\lambda}$$

+ **Application numérique:**

$$t = \frac{\ln\left(\frac{8,25}{11,3}\right)}{-3,93 \times 10^{-12}}$$

Soit

$$t = 8,00 \times 10^{10}\text{ s}$$

Ce qui correspond à:

$$t = \frac{8,00 \times 10^{10}}{365,25 \times 24 \times 3600}\text{ ans}$$

Soit 2535 ans.

L'âge du morceau de bois est 2535 ans.

**EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python**

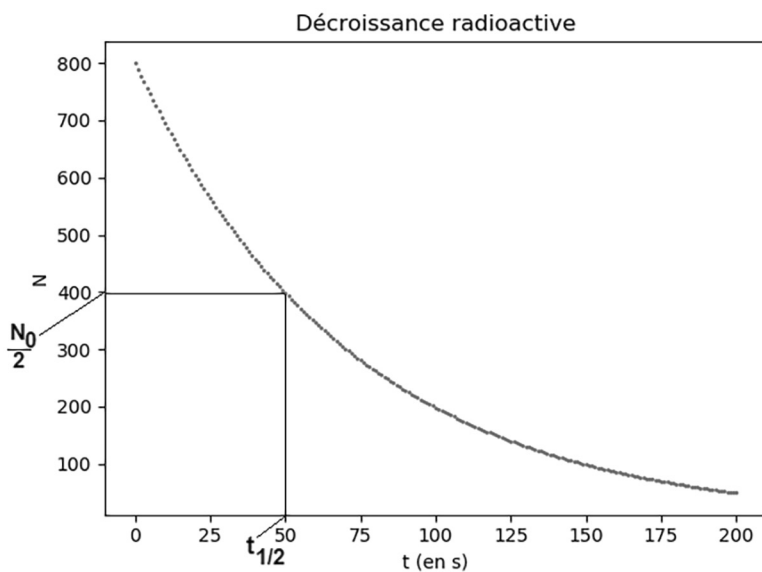
- a** Les rubriques du programme liées au pas de temps et aux données initiales complétées:

```
# Le pas de temps en s
Dt =1
# Nombre initial de noyaux radioactifs
N0 =8e2
# Constante radioactive en s-1
Lambda =1.386e-2
```

- b** La rubrique du programme liée au calcul des valeurs de N complétée:

```
# Calcul et Remplissage de la liste N du nombre de noyaux
for i in range(1,201):
    N.append(N[i-1]-Lambda*Dt*N[i-1])
```

- c** Exécution du programme et détermination graphique de la valeur de  $t_{1/2}$ :



$$t_{1/2} = 50 \text{ s}$$

- d** Comparons la valeur trouvée avec celle que l'on peut calculer à l'aide de la formule suivante:

$$t_{1/2} = \frac{\text{Ln}(2)}{\lambda}$$

**+ Application numérique:**

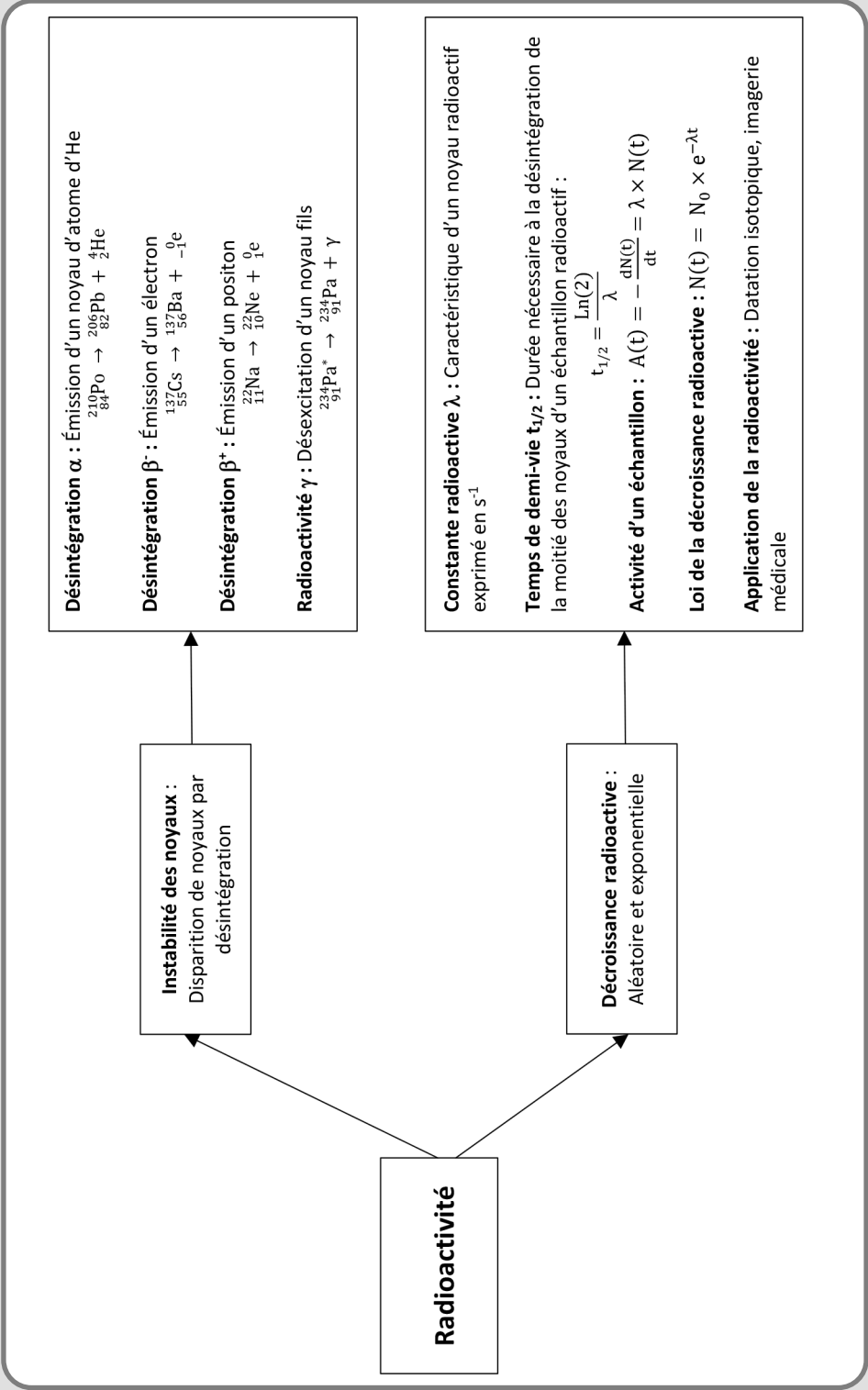
$$t_{1/2} = \frac{\text{Ln}(2)}{1,386 \times 10^{-2}}$$

Soit

$$t_{1/2} = 50\text{s}$$


Les deux valeurs sont bien en accord.

RADIOACTIVITÉ




# ÉVOLUTION SPONTANÉE D'UN SYSTÈME CHIMIQUE


## LES 10 QUESTIONS

1  Quelle différence y a-t-il entre une transformation chimique totale et non totale?

↳ .....  
.....

2  C'est quoi le taux d'avancement final  $\tau$  d'une transformation chimique?


↳ .....  
.....

3  Dans quelles conditions un système chimique  $aA + bB = cC + dD$  est dit en état d'équilibre dynamique?

↳ .....  
.....

4  C'est quoi le quotient de réaction d'une transformation chimique?

↳ .....  
.....

5  C'est quoi la constante d'équilibre d'une transformation chimique et de quoi dépend-t-elle?

↳ .....  
.....

6  Quels sont les critères d'évolution d'un système chimique?

↳ .....

.....

7  C'est quoi une réaction d'oxydo-réduction?

↳ .....

.....

8  C'est quoi une demi-pile? Donner un exemple.

↳ .....

.....

9  Préciser la constitution et le fonctionnement d'une pile à travers un exemple.

↳ .....

.....

10  C'est quoi la capacité Q d'une pile?

↳ .....

.....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Types de transformations

Au cours d'une transformation chimique deux réactifs A et B interagissent pour donner les produits C et D.

Transformation 1 :

Entités	A	B	C	D
État initial	2 mol	2 mol	0	0
État final	1 mol	1 mol	1 mol	1 mol

Transformation 2 :

Entités	A	B	C	D
État initial	2 mol	3 mol	0	0
État final	0 mol	1 mol	2 mol	2 mol

Transformation 3 :

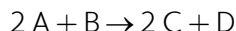
Entités	A	B	C	D
État initial	2 mol	2 mol	0	0
État final	0 mol	0 mol	2 mol	2 mol

- a** Attribuer à chacune des transformations les noms totale ou non totale. Justifier.  
**b** Traduire chacune des transformations par une équation.



### EXERCICE 2 Transformation totale

Une transformation chimique est modélisée par une réaction d'équation suivante :



Le mélange initial est tel que :

$$n_A(0) = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}; n_B(0) = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}; n_C(0) = 0 \text{ et } n_D(0) = 0.$$

- a** Cette transformation est-elle totale ou non totale? Justifier.  
**b** Établir le tableau d'avancement de cette transformation.  
**c** Déterminer la valeur de l'avancement final  $x_f$ .  
**d** En déduire les quantités de matière des réactifs et des produits à l'état final.



### EXERCICE 3 Réaction d'estérification

La réaction entre l'acide éthanoïque et le méthanol produit l'éthanoate de méthyle et de l'eau.

Le tableau d'avancement de cette transformation chimique est donné ci-dessous :

Réaction	$\text{CH}_3\text{COOH}$	+	$\text{CH}_3\text{OH}$	=	$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2$	+	$\text{H}_2\text{O}$
État du système	Quantité de matière en mol						
Initial	$4,5 \cdot 10^{-3}$		$3,0 \cdot 10^{-4}$		0		0
Intermédiaire							
Final							
Maximal							

- a Compléter le tableau d'avancement ci-dessus.
- b À la fin de la réaction, il reste  $2,6 \cdot 10^{-4}$  mol d'alcool. Calculer l'avancement  $x_f$  de la réaction.
- c En déduire les quantités de matière finales des réactifs et des produits.
- d Calculer la valeur de  $x_{\max}$ .
- e Calculer le taux d'avancement  $\tau$  de cette transformation.
- f Cette transformation est-elle totale? Justifier.



#### EXERCICE 4 Systèmes chimiques

Exprimer le quotient de réaction des systèmes chimiques suivants:

- a  $\text{MgCl}_2(\text{s}) = \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^{-}(\text{aq})$
- b  $2 \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq}) = 2 \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})$
- c  $\text{HCOOH}(\text{l}) + \text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) = \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
- d  $\text{Fe}(\text{s}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) = \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s})$
- e  $\text{Cd}(\text{s}) + \text{NO}_3^{-}(\text{aq}) + 2 \text{H}^{+}(\text{aq}) = \text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + \text{NO}_2^{-}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$



#### EXERCICE 5 Sens d'évolution

Le tableau de valeurs ci-dessous, donne les constantes d'équilibres de trois sels mesurées à 25 °C.

Sel	Équilibre chimique	Constante d'équilibre
$\text{PbCl}_2(\text{s})$	$\text{PbCl}_2(\text{s}) = \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^{-}(\text{aq})$	$1,70 \times 10^{-5}$
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2(\text{s})$	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2(\text{s}) = \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{NO}_3^{-}(\text{aq})$	$4,64 \times 10^{-3}$
$\text{CaSO}_4(\text{s})$	$\text{CaSO}_4(\text{s}) = \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$	$4,90 \times 10^{-5}$

Indiquer le sens d'évolution des systèmes chimiques dont la composition initiale est telle que:

- a 10 g de  $\text{PbCl}_2(\text{s})$ ;  $[\text{Pb}^{2+}(\text{aq})] = 1,20 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$  et  $[\text{Cl}^{-}(\text{aq})] = 3,10 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .
- b 8 g de  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2(\text{s})$ ;  $[\text{Ba}^{2+}(\text{aq})] = 0,50 \text{ mol.L}^{-1}$  et  $[\text{NO}_3^{-}(\text{aq})] = 4,50 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .
- c 20 g de  $\text{CaSO}_4(\text{s})$ ;  $[\text{Ca}^{2+}(\text{aq})] = 7,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  et  $[\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})] = 7,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .


**EXERCICE 6 Question ouverte**

La solubilité est la quantité maximale de soluté que l'on peut dissoudre à une température déterminée dans une quantité de solvant déterminée. Entre le solide et sa solution saturée s'établit un équilibre de dissolution dont la constante d'équilibre est notée  $K_s$ .

Déterminer en  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , la solubilité  $s$  du fluorure de cadmium  $\text{CdF}_2(\text{s})$ .

Donnée:

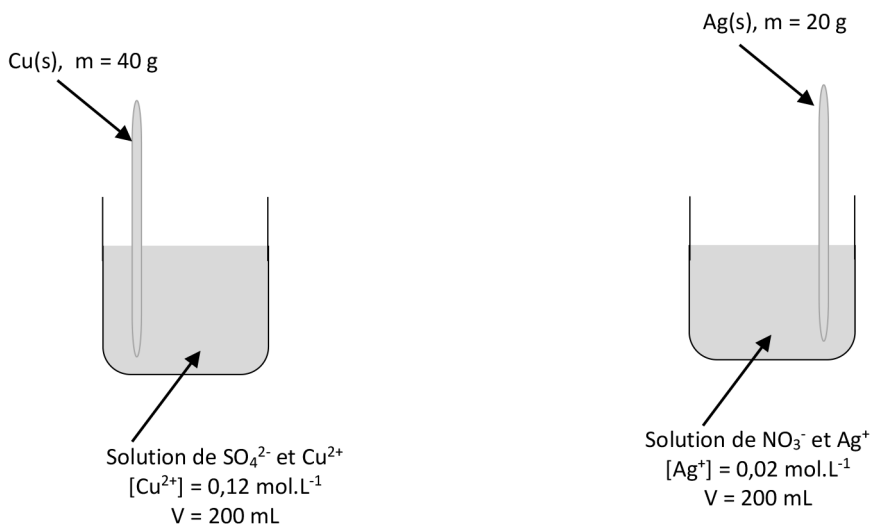
Constante d'équilibre de  $\text{CdF}_2(\text{s})$  à  $25\text{ }^\circ\text{C}$ :  $K_s = 6,44 \times 10^{-3}$ .


**EXERCICE 7 Au sujet d'une pile**

Une pile est composée de deux demi-piles reliées par un pont salin.

Lorsque l'on plonge une lame de cuivre  $\text{Cu}(\text{s})$  dans une solution d'ions argent  $\text{Ag}^+(\text{aq})$ , la lame est partiellement rongée et il se forme un dépôt d'argent solide  $\text{Ag}(\text{s})$  sur la partie immergée de la lame.

- Rappeler la définition d'une demi-pile.
- La figure ci-dessous donne deux demi-piles:



Donner le schéma de la pile que l'on peut réaliser à partir de ces deux demi-piles en y figurant un ampèremètre et un dipôle ohmique  $R$ .

- Écrire les demi-équations aux électrodes et en déduire l'équation de la réaction.
- Établir le tableau d'avancement de cette transformation chimique.
- Quel est le réactif limitant?
- En déduire la valeur en coulomb de la capacité électrique  $q_{\text{max}}$  de cette pile.

**EXERCICE 8 Le coup de pouce de Python**

Le script du programme Python ci-dessous permet de calculer le quotient initial d'un système chimique et de prévoir le sens d'évolution si l'on connaît sa constante d'équilibre  $K$ .

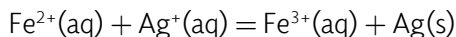
```
# Programme de prévision de l'évolution d'un système chimique.
# Valeur de la constante d'équilibre.
K = ...
#Nature des entités chimiques
# Nature de l'entité 1, sol, liq ou aq
Nat_1 = "..."
# Nature de l'entité 2, sol, liq ou aq
Nat_2 = "..."
# Nature de l'entité 3, sol, liq ou aq
Nat_3 = "..."
# Nature de l'entité 4, sol, liq ou aq
Nat_4 = "..."
# Valeurs des concentrations initiales
# Concentration initiale de l'entité 1.
c_1 = ...
# Concentration initiale de l'entité 2.
c_2 = ...
# Concentration initiale de l'entité 3.
c_3 = ...
# Concentration initiale de l'entité 4.
c_4 = ...
#Valeurs des coefficients stoechiométriques
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 1.
a = ...
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 2.
b = ...
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 3.
c = ...
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 4.
d = ...
```

```

# Calcul du quotient de réaction initial.
if Nat_1!="aq":
c_1 = 1
if Nat_2 != "aq":
c_2 = 1
if Nat_3 != "aq":
c_3 = 1
if Nat_4 != "aq":
c_4 = 1
Qri = .....
# Affichage des quantités de matière des réactifs et des produits
print("Quotient de réaction initial = ", round(Qri,2))
# Test pour déterminer le sens d'évolution.
if .....:
print("Qri<K, évolution du système dans le sens direct.")
elif .....:
print("Qri =K, le système est en équilibre, pas d'évolution.")
else:
print("Qri>K, évolution du système dans le sens inverse.")

```

Un système chimique est modélisé par la réaction d'équation:



La constante d'équilibre à 25 °C est:  $K = 3,2$ .

Les conditions initiales des entités chimiques sont:

- Les réactifs:  $[\text{Fe}^{2+}(\text{aq})]_0 = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$ ;  $[\text{Ag}^+(\text{aq})]_0 = 0,30 \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Les produits:  $[\text{Fe}^{3+}(\text{aq})]_0 = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$ ;  $n_0(\text{Ag}(\text{s})) = 0,40 \text{ mol}$ .

- a** Compléter la rubrique du programme liée à la valeur de  $K$ .
- b** Compléter les rubriques du programme liées:
  - à la nature des entités chimiques.
  - aux valeurs des concentrations.
  - aux valeurs des coefficients stoechiométriques.
- c** Compléter la rubrique du programme liée au calcul du quotient de réaction initial  $Q_{ri}$ .
- d** Compléter la rubrique du programme liée au test pour déterminer le sens d'évolution du système chimique.
- e** Exécuter le programme et donner les résultats affichés.

**EXERCICE 9** Protocole TP ECE

Proposer un protocole expérimental permettant de réaliser une pile et de mesurer la tension électrique entre ses deux bornes en circuit ouvert.


**+ Liste de matériel:**

- Béchers;
- Multimètre;
- Fils électriques + pinces crocodiles.

**+ Produits:**

- Solution aqueuse de sulfate de cuivre ( $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) de concentration  $c_1 = 1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Solution aqueuse de sulfate de zinc ( $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) de concentration  $c_2 = 1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Solution aqueuse de nitrate de potassium ( $\text{K}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$ ) de concentration  $c_3 = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Papier filtre;
- Électrode de zinc  $\text{Zn}(\text{s})$ ;
- Électrode de cuivre  $\text{Cu}(\text{s})$ .


## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  Quelle différence y a-t-il entre une transformation chimique totale et non totale?

- + Transformation totale: un des réactifs est totalement consommé à l'état final.
- + Transformation non totale: il y a présence à la fois des réactifs et des produits à l'état final.

2  C'est quoi le taux d'avancement final  $\tau$  d'une transformation chimique?


- + 
$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}}$$
  
 $x_f$  et  $x_{\max}$  sont les avancements final et maximal.

3  Dans quelles conditions un système chimique  $aA + bB = cC + dD$  est dit en état d'équilibre dynamique?

- + Lorsque la réaction entre A et B compensent exactement la réaction entre C et D.

4  C'est quoi le quotient de réaction d'une transformation chimique?

- +  $a.A + b.B = c.C + d.D \rightarrow Q_r = \frac{\left(\frac{[C]}{c^0}\right)^c \cdot \left(\frac{[D]}{c^0}\right)^d}{\left(\frac{[A]}{c^0}\right)^a \cdot \left(\frac{[B]}{c^0}\right)^b}$   
 où  $c^0 = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

- 5  C'est quoi la constante d'équilibre d'une transformation chimique et de quoi dépend-t-elle?

$$+ K(T) = \frac{\left(\frac{[C]_f}{c^o}\right)^c \cdot \left(\frac{[D]_f}{c^o}\right)^d}{\left(\frac{[A]_f}{c^o}\right)^a \cdot \left(\frac{[B]_f}{c^o}\right)^b} \quad K(T) \text{ ne dépend que de la température.}$$


où  $c^o = 1 \text{ mol.L}^{-1}$ .

- 6  Quels sont les critères d'évolution d'un système chimique?

- + Si  $Q_{ri} < K(T)$  alors évolution dans le sens direct (de gauche à droite);
- + Si  $Q_{ri} > K(T)$  alors évolution dans le sens inverse (de droite à gauche);
- + Si  $Q_{ri} = K(T)$  alors pas d'évolution, le système est en équilibre.

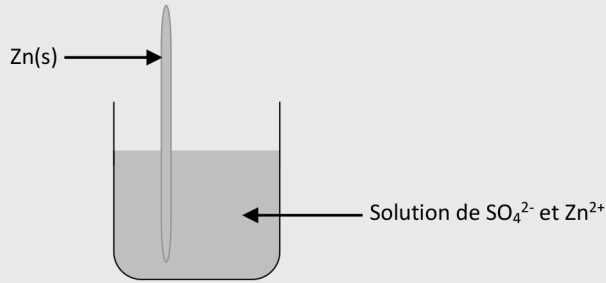
- 7  C'est quoi une réaction d'oxydo-réduction?

- + C'est une réaction d'échange d'un ou plusieurs électrons entre un réducteur et un oxydant.

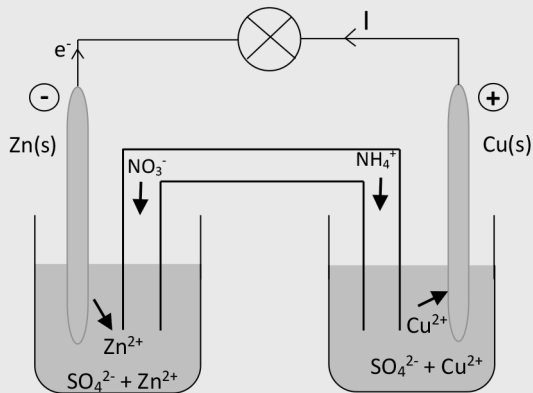
8  C'est quoi une demi-pile? Donner un exemple.

+ C'est un métal plongeant dans une solution d'ion métallique correspondant.

Exemple: Plaque de zinc qui plonge dans une solution de sulfate de  $Zn^{2+}$ .



9  Préciser la constitution et le fonctionnement d'une pile à travers un exemple.



L'oxydation de l'électrode de zinc (anode) consomme du zinc solide et produit des électrons et des ions  $Zn^{2+}$ . La réduction au niveau de l'électrode de cuivre (cathode) consomme des électrons et des ions  $Cu^{2+}$  et produit du cuivre solide.

10  C'est quoi la capacité  $Q$  d'une pile?

+ C'est la quantité maximale de charge électrique qu'elle peut fournir au cours de son fonctionnement.

## CORRIGÉS DES EXERCICES

**EXERCICE 1** Types de transformations**a** Nature des transformations:

Transformation 1:

Entités	A	B	C	D
État initial	2 mol	2 mol	0	0
État final	1 mol	1 mol	1 mol	1 mol

À l'état final, les réactifs et les produits coexistent. La transformation 1 est non totale.

Transformation 2:

Entités	A	B	C	D
État initial	2 mol	3 mol	0	0
État final	0 mol	1 mol	2 mol	2 mol

La transformation 2 est totale car le réactif A est totalement consommé.

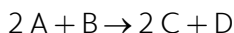
Transformation 3:

Entités	A	B	C	D
État initial	2 mol	2 mol	0	0
État final	0 mol	0 mol	2 mol	2 mol

La transformation 3 est totale car les réactifs A et B sont totalement consommés.

**b** Équations associées aux transformations:Transformation 1:  $A + B = C + D$ Transformation 2:  $A + B \rightarrow C + D$ Transformation 3:  $A + B \rightarrow C + D$ **EXERCICE 2** Transformation totale

Une transformation chimique est modélisée par une réaction d'équation suivante:



Le mélange initial est tel que:

$n_A(0) = 2,0 \times 10^{-2}$  mol;  $n_B(0) = 1,5 \times 10^{-2}$  mol;  $n_C(0) = 0$  et  $n_D(0) = 0$ .

**a** Cette transformation totale car elle est représentée par une flèche.

**b** Tableau d'avancement de cette transformation :

Réaction	2 A	+ B	→	2 C <sub>3</sub>	+ D
État du système	Quantité de matière en mol				
Initial	$2,0 \times 10^{-2}$			0	0
Intermédiaire	$2,0 \times 10^{-2} - 2x$			2x	x
Final	$2,0 \times 10^{-2} - 2x_f$			2x <sub>f</sub>	x <sub>f</sub>

**c** Calcul de la valeur de l'avancement final  $x_f$  :

Pour déterminer la valeur de  $x_f$ , on doit résoudre le système d'équation ci-dessous et retenir que la plus petite des deux solutions :

$$\begin{cases} 2,0 \times 10^{-2} - 2x_f = 0 \\ 1,5 \times 10^{-2} - x_f = 0 \end{cases} \text{ Soit } \begin{cases} x_f = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \\ x_f = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol} \end{cases}$$

Donc

$$x_f = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

**d** Les quantités de matière des réactifs et des produits à l'état final :

$$n_A(f) = 2,0 \times 10^{-2} - 2x_f = 0 \text{ mol};$$

$$n_B(f) = 1,5 \times 10^{-2} - x_f = 0,5 \times 10^{-2} \text{ mol};$$

$$n_C(f) = 2x_f = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol};$$

$$n_D(f) = x_f = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}.$$

### EXERCICE 3 Réaction d'estérification

**a** Le tableau d'avancement complété :

Réaction	CH <sub>3</sub> COOH	+ CH <sub>3</sub> OH	=	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	+ H <sub>2</sub> O
État du système	Quantité de matière en mol				
Initial	$4,5 \times 10^{-3}$			0	0
Intermédiaire	$4,5 \times 10^{-3} - x$			x	x
Final	$4,5 \times 10^{-3} - x_f$			x <sub>f</sub>	x <sub>f</sub>
Maximal	$4,5 \times 10^{-3} - x_{\max}$			x <sub>max</sub>	x <sub>max</sub>
		$3,0 \times 10^{-4} - x_{\max}$			

**b** Calcul de  $x_f$ :

Puisque la quantité finale de l'alcool est  $2,6 \times 10^{-4}$  mol, on peut écrire:

$$3,0 \times 10^{-4} - x_f = 2,6 \times 10^{-4}$$

Il vient

$$x_f = 3,0 \times 10^{-4} - 2,6 \times 10^{-4}$$

Soit

$$x_f = 0,4 \times 10^{-4} \text{ mol.}$$

**c** Quantités de matière finales des réactifs et des produits:

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 4,5 \times 10^{-3} - x_f = 4,46 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

$$n_{\text{CH}_3\text{OH}} = 3,0 \times 10^{-4} - x_f = 2,6 \times 10^{-4} \text{ mol.}$$

$$n_{\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2} = x_f = 0,4 \times 10^{-4} \text{ mol.}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = x_f = 0,4 \times 10^{-4} \text{ mol.}$$

**d** Pour déterminer la valeur de  $x_{\text{max}}$ , on doit résoudre le système d'équation ci-dessous et retenir que la plus petite des deux solutions:

$$\begin{cases} 4,5 \times 10^{-3} - x_{\text{max}} = 0 \\ 3,0 \times 10^{-4} - x_{\text{max}} = 0 \end{cases} \text{ Soit } \begin{cases} x_{\text{max}} = 4,5 \times 10^{-3} \text{ mol} \\ x_{\text{max}} = 3,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \end{cases}$$

Donc

$$x_{\text{max}} = 3,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

**e** Calcul du taux d'avancement  $\tau$  de cette transformation:

Par définition,

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\text{max}}}$$

**+ Application numérique:**

$$\tau = \frac{0,4 \times 10^{-4}}{3,0 \times 10^{-4}}$$

Soit

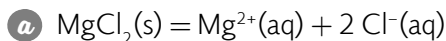
$$\tau = 0,13$$

**f** Nature de la transformation:

$\tau = 0,13 < 1$ , cette transformation n'est pas totale.

**EXERCICE 4** Systèmes chimiques

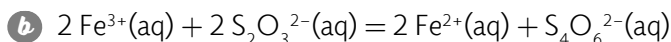
Lorsqu'une entité chimique est solide, liquide ou gaz non dissout alors sa concentration n'est pas définie et elle est remplacée par 1 dans le quotient de réaction.



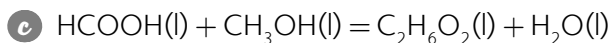
$$Q_{r,i} = \frac{\frac{[\text{Mg}^{2+}]}{c^{\circ}} \times \left( \frac{[\text{Cl}^{-}]}{c^{\circ}} \right)^2}{1}$$

Soit

$$Q_{r,i} = \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{c^{\circ}} \times \left( \frac{[\text{Cl}^{-}]}{c^{\circ}} \right)^2$$



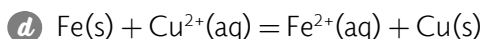
$$Q_{r,i} = \frac{[\text{Fe}^{2+}]^2 \times [\text{S}_4\text{O}_6^{2-}]}{[\text{Fe}^{3+}]^2 \times [\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]^2}$$



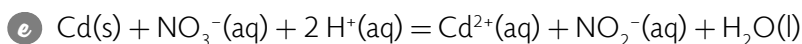
$$Q_i = \frac{1 \times 1}{1 \times 1}$$

Soit

$$Q_{r,i} = 1$$



$$Q_{r,i} = \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$$



$$Q_{r,i} = \frac{[\text{Cd}^{2+}] \times [\text{NO}_2^{-}] \times 1}{1 \times [\text{NO}_3^{-}] \times [\text{H}^{+}]^2}$$

Soit

$$Q_{r,i} = \frac{[\text{Cd}^{2+}] \times [\text{NO}_2^{-}]}{[\text{NO}_3^{-}] \times [\text{H}^{+}]^2}$$

**EXERCICE 5** Sens d'évolution

Sel	Équilibre chimique	Constante d'équilibre
PbCl <sub>2</sub> (s)	PbCl <sub>2</sub> (s) = Pb <sup>2+</sup> (aq) + 2 Cl <sup>-</sup> (aq)	1,70 × 10 <sup>-5</sup>
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (s)	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (s) = Ba <sup>2+</sup> (aq) + 2 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq)	4,64 × 10 <sup>-3</sup>
CaSO <sub>4</sub> (s)	CaSO <sub>4</sub> (s) = Ca <sup>2+</sup> (aq) + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (aq)	4,90 × 10 <sup>-5</sup>

Pour prévoir le sens d'évolution d'un système chimique, on doit calculer la valeur du quotient de réaction  $Q_{r,i}$  et comparer sa valeur à celle de la constante d'équilibre:

- a** 10 g de PbCl<sub>2</sub>(s); [Pb<sup>2+</sup>(aq)] = 1,20 × 10<sup>-1</sup> mol.L<sup>-1</sup> et [Cl<sup>-</sup>(aq)] = 3,10 × 10<sup>-2</sup> mol.L<sup>-1</sup>

$$Q_{r,i} = \frac{[\text{Pb}^{2+}]}{c^0} \times \left( \frac{[\text{Cl}^-]}{c^0} \right)^2$$

**+ Application numérique:**

$$Q_{r,i} = \frac{1,20 \times 10^{-1}}{1} \times \left( \frac{3,10 \times 10^{-2}}{1} \right)^2$$

Soit

$$Q_{r,i} = 1,15 \times 10^{-4}$$

$$Q_{r,i} > K = 1,70 \times 10^{-5}$$

Le système doit évoluer dans le sens inverse c'est-à-dire le sens qui produit du chlorure de plomb PbCl<sub>2</sub>(s).

- b** 8 g de Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(s); [Ba<sup>2+</sup>(aq)] = 0,50 mol.L<sup>-1</sup> et [NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq)] = 4,50 × 10<sup>-2</sup> mol.L<sup>-1</sup>.

$$Q_{r,i} = \frac{[\text{Ba}^{2+}]}{c^0} \times \left( \frac{[\text{NO}_3^-]}{c^0} \right)^2$$

**+ Application numérique:**

$$Q_{r,i} = \frac{0,50}{1} \times \frac{(4,50 \times 10^{-2})^2}{1^2}$$

Soit

$$Q_{r,i} = 1,01 \times 10^{-3}$$

$$Q_{r,i} < K = 4,64 \times 10^{-3}$$

Le système doit évoluer dans le sens direct c'est-à-dire le sens qui consomme du nitrate de baryum Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(s).

- c 20 g de  $\text{CaSO}_4(\text{s})$ ;  $[\text{Ca}^{2+}(\text{aq})] = 7,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  et  $[\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})] = 7,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .

$$Q_{r,i} = \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{c^o} \times \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{c^o}$$

+ **Application numérique:**

$$Q_{r,i} = \frac{7,0 \times 10^{-3}}{1} \times \frac{7,0 \times 10^{-3}}{1}$$

Soit

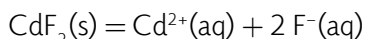
$$Q_{r,i} = 4,9 \times 10^{-5}$$

$$Q_i = K$$

Le système est déjà en équilibre. Il ne doit pas évoluer.

**EXERCICE 6** Question ouverte

- Équation de la dissolution aqueuse du fluorure de cadmium  $\text{CdF}_2(\text{s})$ :



La solubilité  $s$  de cette solution est égale à la concentration molaire en ions  $\text{Cd}^{2+}(\text{aq})$ .

$$s = [\text{Cd}^{2+}(\text{aq})].$$

D'après l'équation de cette réaction, on peut écrire:

$$[\text{F}^{-}(\text{aq})] = 2 \times [\text{Cd}^{2+}(\text{aq})] = 2s$$

- Expression de  $K_s$ :

$$K_s = \frac{[\text{Cd}^{2+}]}{c^o} \times \left( \frac{[\text{F}^{-}]}{c^o} \right)^2$$

Soit

$$K_s = \frac{s}{c^o} \times \left( \frac{2s}{c^o} \right)^2$$

$$K_s = 4 \left( \frac{s}{c^o} \right)^3$$

Il vient:

$$s = c^0 \left( \frac{K_s}{4} \right)^{\frac{1}{3}}$$

+ **Application numérique:**

$$s = 1 \times \left( \frac{6,44 \times 10^{-3}}{4} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Soit

$$s = 1,17 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$$

### EXERCICE 7 Au sujet d'une pile

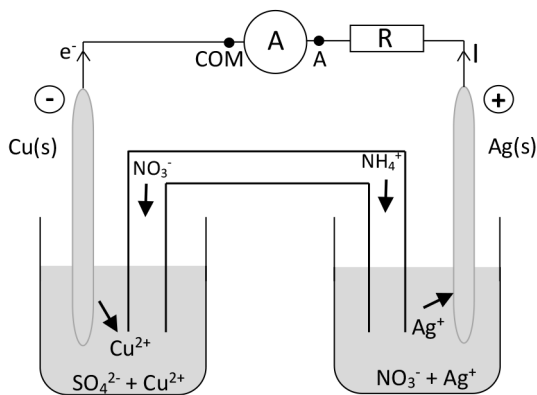
Une pile est composée de deux demi-piles reliées par un pont salin.

Lorsque l'on plonge une lame de cuivre  $\text{Cu(s)}$  dans une solution d'ions argent  $\text{Ag}^+(\text{aq})$ , la lame est partiellement rongée et il se forme un dépôt d'argent solide  $\text{Ag(s)}$  sur la partie immergée de la lame.

**a** Définition d'une demi-pile:

Une demi-pile est composée d'une lame métallique qui plonge dans une solution contenant les ions métalliques.

**b** Schéma de la pile:

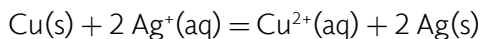
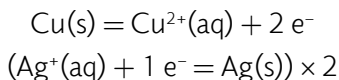


c Les demi-équations aux électrodes:

Anode, oxydation:  $\text{Cu(s)} = \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$

Cathode, réduction:  $\text{Ag}^+(\text{aq}) + 1 \text{e}^- = \text{Ag(s)}$ .

Équation de la réaction:



d Tableau d'avancement de cette transformation chimique:

Calcul des quantités initiales:

• Cu(s):

$$n_o(\text{Cu(s)}) = \frac{40}{63,5}$$

$$n_o(\text{Cu(s)}) = 0,63 \text{ mol}$$

• Ag<sup>+</sup>(aq):

$$n_o(\text{Ag}^+(\text{aq})) = 0,20 \times 0,02$$

$$n_o(\text{Ag}^+(\text{aq})) = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

• Cu<sup>2+</sup>(aq):

$$n_o(\text{Cu}^{2+}(\text{aq})) = 0,20 \times 0,12$$

$$n_o(\text{Cu}^{2+}(\text{aq})) = 2,4 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

• Ag(s):

$$n_o(\text{Ag(s)}) = \frac{20}{107,9}$$

$$n_o(\text{Ag(s)}) = 0,19 \text{ mol}$$

Réaction	$\text{Cu(s)} + 2 \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Ag(s)}$			
État du système	Quantité de matière en mol			
Initial	0,63	$4,0 \times 10^{-3}$	0,024	0,19
Intermédiaire	$0,63 - x$	$4,0 \times 10^{-3} - 2x$	$0,024 + x$	$0,19 + 2x$
Final	$0,63 - x_f$	$4,0 \times 10^{-3} - 2x_f$	$0,024 + x_f$	$0,19 + 2x_f$

e Le réactif limitant:

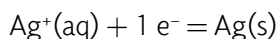
$$\frac{n_o(\text{Cu(s)})}{1} = \frac{0,63}{1} = 0,63 \text{ mol}$$

$$\frac{n_o(\text{Ag}^+(\text{aq}))}{2} = \frac{4,0 \times 10^{-3}}{2} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\frac{n_o(\text{Cu(s)})}{1} > \frac{n_o(\text{Ag}^+(\text{aq}))}{2}$$

L'ion  $\text{Ag}^+$  est le réactif limitant.

f Valeur en coulomb de la capacité électrique  $q_{\text{max}}$  de cette pile:  
D'après l'équation,



$$n_{e^-} = n_o(\text{Ag}^+(\text{aq}))$$

$$q_{\text{max}} = n_{e^-} \times N_A \times e$$

+ **Application numérique:**

$$q_{\text{max}} = 4,0 \times 10^{-3} \times 6,02 \times 10^{23} \times 1,6 \times 10^{-19}$$

Soit

$$q_{\text{max}} = 385 \text{ C}$$

**EXERCICE 8 Le coup de pouce de Python**

- a** La rubrique du programme liée à la valeur de K complétée:

```
# Valeur de la constante d'équilibre.  
K = 3.2
```

- b** Les trois rubriques du programme complétées:

```
#Nature des entités chimiques  
# Nature de l'entité 1, sol, liq ou aq  
Nat_1 = "aq"  
# Nature de l'entité 2, sol, liq ou aq  
Nat_2 = "aq"  
# Nature de l'entité 3, sol, liq ou aq  
Nat_3 = "aq"  
# Nature de l'entité 4, sol, liq ou aq  
Nat_4 = "sol"  
# Valeurs des concentrations initiales  
# Concentration initiale de l'entité 1.  
c_1 = 0.20  
# Concentration initiale de l'entité 2.  
c_2 = 0.30  
# Concentration initiale de l'entité 3.  
c_3 = 0.20  
# Concentration initiale de l'entité 4.  
c_4 = 0.40  
#Valeurs des coefficients stoechiométriques  
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 1.  
a = 1  
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 2.  
b = 1  
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 3.  
c = 1  
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 4.  
d = 1
```

- c La rubrique du programme liée au calcul du quotient de réaction initial  $Q_{ri}$  complétée:

```
# Calcul du quotient de réaction initial.
if Nat_1!="aq":
    c_1 = 1
if Nat_2 != "aq":
    c_2 = 1
if Nat_3 != "aq":
    c_3 = 1
if Nat_4 != "aq":
    c_4 = 1
Qri =(c_3**c*c_4**d)/(c_1**a*c_2**b)
```

- d La rubrique du programme liée au test pour déterminer le sens d'évolution du système chimique complétée:

```
# Test pour déterminer le sens d'évolution.
if Qri<K:
    print("Qri<K, évolution du système dans le sens direct.")
elif Qri ==K:
    print("Qri =K, le système est en équilibre, pas d'évolution.")
else:
    print("Qri>K, évolution du système dans le sens inverse.")
```

- e Les résultats affichés:

```
Quotient de réaction initial = 3.33
Qri>K, évolution du système dans le sens inverse.
```

Voici le script du programme Python complété:

```
# Programme de prévision de l'évolution d'un système chimique.
# Valeur de la constante d'équilibre.
K = 3.2
#Nature des entités chimiques
# Nature de l'entité 1, sol, liq ou aq
Nat_1 = "aq"
# Nature de l'entité 2, sol, liq ou aq
Nat_2 = "aq"
# Nature de l'entité 3, sol, liq ou aq
Nat_3 = "aq"
# Nature de l'entité 4, sol, liq ou aq
Nat_4 = "sol"
```

```
# Valeurs des concentrations initiales
# Concentration initiale de l'entité 1.
c_1 = 0.20
# Concentration initiale de l'entité 2.
c_2 = 0.30
# Concentration initiale de l'entité 3.
c_3 = 0.20
# Concentration initiale de l'entité 4.
c_4 = 0.40
# Valeurs des coefficients stoechiométriques
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 1.
a = 1
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 2.
b = 1
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 3.
c = 1
# Coefficient stoechiométrique de l'entité 4.
d = 1
# Calcul du quotient de réaction initial.
if Nat_1 != "aq":
    c_1 = 1
if Nat_2 != "aq":
    c_2 = 1
if Nat_3 != "aq":
    c_3 = 1
if Nat_4 != "aq":
    c_4 = 1
Qri = (c_3**c*c_4**d)/(c_1**a*c_2**b)
# Affichage des quantités de matière des réactifs et des produits
print("Quotient de réaction initial = ", round(Qri,2))
# Test pour déterminer le sens d'évolution.
if Qri < K:
    print("Qri < K, évolution du système dans le sens direct.")
elif Qri == K:
    print("Qri = K, le système est en équilibre, pas d'évolution.")
else:
    print("Qri > K, évolution du système dans le sens inverse.")
```

**EXERCICE 9** Protocole TP ECE

Protocole expérimental permettant de réaliser une pile:

**+ Liste de matériel:**

- Bêchers;
- Multimètre;
- Fils électriques + pinces crocodiles.

**+ Produits:**

- Solution aqueuse de sulfate de cuivre ( $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) de concentration  $c_1 = 1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Solution aqueuse de sulfate de zinc ( $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) de concentration  $c_2 = 1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Solution aqueuse de nitrate de potassium ( $\text{K}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$ ) de concentration  $c_3 = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ ;
- Papier filtre;
- Électrode de zinc  $\text{Zn}(\text{s})$ ;
- Électrode de cuivre  $\text{Cu}(\text{s})$ .

**+ Protocole:**

- Introduire dans un bécher l'électrode de zinc et le remplir à moitié avec la solution de sulfate de zinc;
- Introduire dans un deuxième bécher l'électrode de cuivre et le remplir à moitié avec la solution de sulfate de cuivre;
- Relier les solutions des deux béchers à l'aide d'une bande de papier filtre imbibée de la solution de nitrate de potassium.
- Relier le voltmètre aux deux électrodes de la pile, la borne COM sur l'électrode de zinc puis relever la valeur de la tension à vide de la pile.

# ÉVOLUTION SPONTANÉE D'UN SYSTÈME CHIMIQUE

**Taux d'avancement final :**  $\tau = \frac{x_f}{x_{\max}}$

**Quotient de réaction :** Les espèces solides et liquides n'y figurent pas

$$a.A + b.B = c.C + d.D \rightarrow Q_r = \frac{\left(\frac{[C]}{c_0}\right)^c \cdot \left(\frac{[D]}{d_0}\right)^d}{\left(\frac{[A]}{a_0}\right)^a \cdot \left(\frac{[B]}{b_0}\right)^b}$$

**Constante d'équilibre :** Ne dépend que de la température

$$a.A + b.B = c.C + d.D \rightarrow K(T) = \frac{\left(\frac{[C]}{c_0}\right)^c \cdot \left(\frac{[D]}{d_0}\right)^d}{\left(\frac{[A]}{a_0}\right)^a \cdot \left(\frac{[B]}{b_0}\right)^b}$$

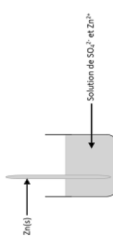
**Critères d'évolution :**

- Si  $Q_{ri} < K(T)$  alors évolution vers la droite ;
- Si  $Q_{ri} > K(T)$  alors évolution vers la gauche ;
- Si  $Q_{ri} = K(T)$  alors pas d'évolution, le système est en équilibre.

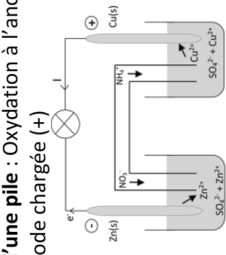
**Équilibre chimique :**  
Les deux sens de la transformation ont des vitesses égales

**Évolution spontanée d'un système chimique**

**Demi-pile :** Plaque d'un métal + solution de son ion



**Fonctionnement d'une pile :** Oxydation à l'anode chargée (-) et réduction à la cathode chargée (+)



**Capacité d'une pile :** Charge électrique maximale qu'elle peut fournir au cours de son fonctionnement

$$Q = I \times \Delta t = n \times x_f \times F$$







n : nombre d'électrons échangés ;  $F = e \times N_A = 9,65 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$


**Les piles :**  
Ensemble de 2 demi-piles




# FORCE DES ACIDES ET DES BASES

## LES 10 QUESTIONS


- 1  C'est quoi la réaction d'autoprotolyse de l'eau?  
 ↪ .....  
 .....
- 2  Quelle est l'expression du produit ionique  $K_e$  de l'eau? De  $pK_e$ ?  
 ↪ .....  
 .....
- 3  C'est quoi un acide faible? Donner un exemple.  
 ↪ .....  
 .....
- 4  C'est quoi une base faible? Donner un exemple.  
 ↪ .....  
 .....
- 5  C'est quoi la constante d'acidité  $K_A$  du couple acide base  $AH/A^-$ ? Le  $pK_A$ ?  
 ↪ .....  
 .....
- 6  C'est quoi un acide fort? Une base forte?  
 ↪ .....  
 .....

7  Quelle est l'expression du pH d'une solution d'acide fort? D'une base forte?

↳ .....  
 .....

8  Quelle l'expression qui relie le pH, le  $pK_A$  et les concentrations  $[AH]$  et  $[A^-]$  du couple  $AH/A^-$ ?

↳ .....  
 .....

9  C'est quoi le diagramme de prédominance du couple  $AH/A^-$  qui est caractérisé par  $pK_A$ ?

↳ .....  
 .....

10  C'est quoi le diagramme de distribution?

↳ .....  
 .....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Eau pure

Le tableau de valeurs ci-dessous, donne les valeurs du produit ionique de l'eau à deux températures différentes.

T(°C)	25	80
$K_e$	$1,0 \times 10^{-14}$	$2,4 \times 10^{-13}$

- Calculer les valeurs des concentrations  $[H_3O^+]$  et  $[HO^-]$  d'une eau pure à 25 °C.
- Quelle est la valeur du pH d'une solution neutre à 25 °C.
- Calculer les valeurs des concentrations  $[H_3O^+]$  et  $[HO^-]$  d'une eau pure à 80 °C.
- Quelle est la valeur du pH d'une solution neutre à 80 °C.
- Commenter cette phrase « Une solution est neutre si son  $pH = 7$  ».


**EXERCICE 2 Acide fort ou faible**

- Rappeler la définition d'un acide fort. Donner un exemple.
- Rappeler la définition d'un acide faible. Donner un exemple.
- Le tableau de valeurs ci-dessous, donne des exemples de solutions d'acides. Quels sont les acides qui sont forts et ceux qui sont faibles? Justifier.

Acide	Concentration (mol.L <sup>-1</sup> )	pH
HF	$1,2 \times 10^{-3}$	2,9
C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	$2,5 \times 10^{-2}$	2,4
HClO	$2,1 \times 10^{-3}$	3,7
HNO <sub>3</sub>	$4,1 \times 10^{-4}$	3,4


**EXERCICE 3 Acide propanoïque**

L'acide propanoïque est un acide carboxylique à trois atomes de carbone, de formule C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>COOH et de pK<sub>A</sub> = 4,87. Un volume V = 50 mL d'une solution d'acide propanoïque de concentration molaire c =  $1,2 \times 10^{-2}$  mol.L<sup>-1</sup> a un pH de 3,2.

- Écrire l'équation de la réaction entre l'acide propanoïque et l'eau.
- Établir le tableau d'avancement de cette transformation chimique.
- Quelle la valeur de l'avancement final x<sub>f</sub> de cette transformation chimique?
- Donner la composition du système chimique à l'état final.
- Représenter le diagramme de prédominance du couple d'acide propanoïque.
- Quelle est l'espèce qui prédomine dans la solution?


**EXERCICE 4 Base forte ou faible**

- Rappeler la définition d'une base forte. Donner un exemple.
- Rappeler la définition d'une base faible. Donner un exemple.
- Le tableau de valeurs ci-dessous, donne des exemples de solutions de bases. Quelles sont les bases qui sont fortes et celles qui sont faibles? Justifier.

Base	Concentration (mol.L <sup>-1</sup> )	pH
NH <sub>3</sub>	$4,0 \times 10^{-4}$	9,4
KOH	$3,2 \times 10^{-2}$	12,5
NaCH <sub>3</sub> COO	$2,5 \times 10^{-5}$	8,9
NaOH	$2,7 \times 10^{-3}$	11,4



### EXERCICE 5 Indicateurs colorés

Un indicateur coloré est une solution contenant un couple dont l'acide et la base conjuguée ont des teintes différentes. Il permet de repérer l'équivalence lors d'un dosage par titrage pH-métrique.

Le tableau ci-dessous donne les teintes et les zones de virage de quelques indicateurs colorés.

Indicateur	Teinte acide	Zone de virage	Teinte basique
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	Jaune
Bleu de bromothymol	Jaune	6,0 – 7,6	Bleu
Phénolphthaléine	Incolore	8,2 – 10	Pourpre

Choisir du tableau ci-dessus, s'il existe, l'indicateur coloré le plus adapté pour chacun des titrages qui sont donnés par le tableau suivant :

Titration	$\text{pH}_E$ (pH à l'équivalence)
1	5
2	7
3	9
4	4



### EXERCICE 6 Question ouverte

Soit une solution obtenue en dissolvant l'acide faible HA de constante d'acidité  $K_A$  à la concentration  $c$ . L'acide HA introduit se répartit entre les espèces HA et  $A^-$ . On peut écrire :

$$c = [\text{HA}] + [A^-]$$

La concentration en ions hydronium  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  sera notée  $h$ .

Montrer que les pourcentages de l'acide et de la base sont donnés par :

$$\% \text{HA} = \frac{[\text{AH}]}{c} \times 100 = \frac{h}{K_A + h} \times 100$$

$$\% A^- = \frac{[A^-]}{c} \times 100 = \frac{K_A}{K_A + h} \times 100$$



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Le script du programme Python donné ci-dessous permet de tracer le diagramme de distribution d'un acide faible HA de constante d'acidité  $K_A$ .

```
# Programme pour tracer un diagramme de distribution
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
# Valeur de KA
KA = .....
# Remplissage de la liste des valeurs de pH
pH = np.linspace(0,14,100)
# Calcul des valeurs de h
h =.....
# Calcul des valeurs de % HA
p_HA =.....
# Calcul des valeurs de % A-
p_A =.....
#Tracé de la courbe % HA = f(pH)
plt.plot(pH,p_HA)
#Tracé de la courbe % A- = f(pH)
plt.plot(pH,p_A)
# Configuration du graphique
plt.xlabel("pH")
plt.ylabel("% HA et % A-")
plt.title("Diagramme de distribution")
plt.show()
```

Dans une solution d'acide faible HA de constante d'acidité  $K_A = 10^{-2,76}$  les pourcentages de l'acide et de la base sont donnés par :

$$\%HA = \frac{h}{K_A + h} \times 100$$

$$\%A^- = \frac{K_A}{K_A + h} \times 100$$

$h$  étant la concentration en ion hydronium  $H_3O^+(aq)$ ,  $h = [H_3O^+]$ .

- a** Compléter la rubrique du programme liée à la valeur de  $K_A$ .
- b** Exprimer  $h$  en fonction du pH de la solution et compléter la rubrique du programme liée au calcul des valeurs de  $h$ .

- c Compléter la rubrique du programme liée au calcul des valeurs de % AH.
- d Compléter la rubrique du programme liée au calcul des valeurs de % A<sup>-</sup>.
- e Exécuter le programme pour afficher le diagramme de distribution. À quoi correspond le point d'intersection des deux courbes?



### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer la constante d'acidité d'un acide faible.

+ **Liste de matériel:**

- Éprouvettes graduées;
- Bêchers;
- Agitateur magnétique + barreau aimanté;
- pH-mètre + ses deux solutions tampons;
- Ordinateur ou Smartphone + logiciel tableur-grapheur.

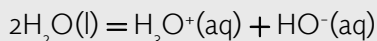
+ **Produits:**


- Solution d'acide faible à 0,10 mol.L<sup>-1</sup>;
- Solution d'hydroxyde de sodium (Na<sup>+</sup>(aq) + HO<sup>-</sup>(aq)) à 0,10 mol.L<sup>-1</sup>;
- Pissette d'eau distillée.

## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  C'est quoi la réaction d'autoprotolyse de l'eau?

+ C'est une réaction entre deux molécules d'eau:



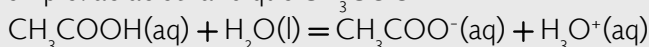
2  Quelle est l'expression du produit ionique  $K_e$  de l'eau? De  $\text{p}K_e$ ?

+ 
$$K_e = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_f \times [\text{HO}^-]_f}{(c^0)^2}$$
 et  $\text{p}K_e = -\log(K_e) = 14$  à  $25^\circ\text{C}$ .

3  C'est quoi un acide faible? Donner un exemple.

+ Un acide faible AH ne réagit pas totalement avec l'eau: sa transformation conduit à un équilibre.

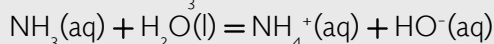
Exemple: acide éthanoïque  $\text{CH}_3\text{COOH}$



4  C'est quoi une base faible? Donner un exemple.

+ Une base faible  $\text{A}^-$  ne réagit pas totalement avec l'eau: sa transformation conduit à un équilibre.

Exemple: ammoniac  $\text{NH}_3$



5  C'est quoi la constante d'acidité  $K_A$  du couple acide base  $\text{AH}/\text{A}^-$ ? Le  $\text{p}K_A$ ?

+ 
$$K_A = \frac{[\text{A}^-(\text{aq})]_f \cdot [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]_f}{[\text{AH}(\text{aq})]_f \times c^0}$$

$$\text{p}K_A = -\log(K_A)$$


Plus un acide est faible, plus la valeur de son  $\text{p}K_A$  est élevée.

6  C'est quoi un acide fort? Une base forte?


- + Un acide fort réagit totalement avec l'eau:  

$$\text{HCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$$
- + Une base forte réagit totalement avec l'eau:  

$$\text{NaOH}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$$

7  Quelle est l'expression du pH d'une solution d'acide fort de concentration  $c$ ?  
D'une base forte de concentration  $c$ ?

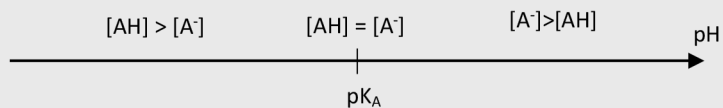
- + Acide fort:  $\text{pH} = -\log\left(\frac{c}{c^0}\right)$ ;
- Base forte:  $\text{pH} = \text{pK}_e + \log\left(\frac{c}{c^0}\right)$ .

8  Quelle l'expression qui relie le pH, le  $\text{pK}_A$  et les concentrations  $[\text{AH}]$  et  $[\text{A}^-]$  du couple  $\text{AH}/\text{A}^-$ ?

- + 
$$\text{pH} = \text{pK}_A + \log\left(\frac{[\text{A}^-(\text{aq})]_f}{[\text{AH}(\text{aq})]_f}\right)$$

9  C'est quoi le diagramme de prédominance du couple  $\text{AH}/\text{A}^-$  qui est caractérisé par  $\text{pK}_A$ ?

- + Le diagramme de prédominance indique les domaines de prédominance de l'acide et de la base en fonction du pH de la solution.



**Diagramme de prédominance**

10  C'est quoi le diagramme de distribution?

- + Le diagramme de distribution indique les pourcentages de l'acide et de la base en fonction du pH de la solution.

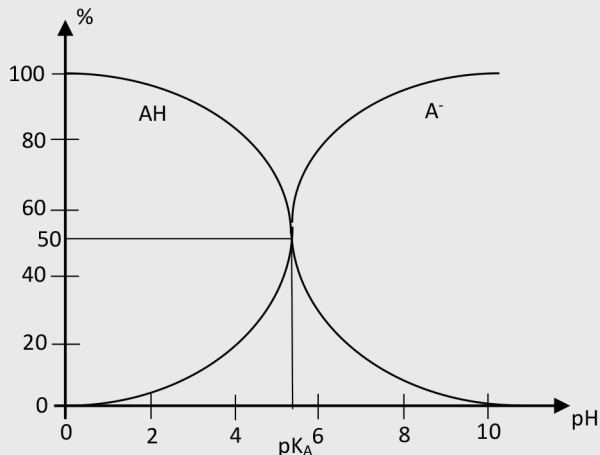


Diagramme de distribution

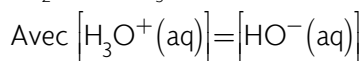
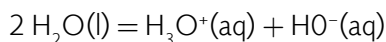
## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Eau pure

Le tableau de valeurs ci-dessous, donne les valeurs du produit ionique de l'eau à deux températures différentes.

T(°C)	25	80
K <sub>e</sub>	1,0 × 10 <sup>-14</sup>	2,4 × 10 <sup>-13</sup>

- a Calcul des valeurs des concentrations [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] et [HO<sup>-</sup>] d'une eau pure à 25 °C :  
D'après la réaction d'autoprotolyse de l'eau,



L'expression du produit ionique de l'eau:

$$K_e = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] \times [\text{HO}^-(\text{aq})]}{(c^\circ)^2}$$

$$K_e = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]^2}{(c^\circ)^2}$$

Soit

$$[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] = c^\circ \times \sqrt{K_e}$$

**+ Application numérique:**

$$[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] = \sqrt{1,0 \times 10^{-14}}$$

Soit

$$[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] = [\text{HO}^-(\text{aq})] = 1,0 \times 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$$

- b** La valeur du pH d'une solution neutre à 25 °C:

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]}{c^\circ} \right)$$

**+ Application numérique:**

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{1,0 \times 10^{-7}}{1} \right)$$

Soit

$$\text{pH} = 7,0$$

- c** Les valeurs des concentrations  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  et  $[\text{HO}^-]$  d'une eau pure à 80 °C:

$$[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] = [\text{HO}^-(\text{aq})] = c^\circ \times \sqrt{K_e}$$

**+ Application numérique:**

$$[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] = [\text{HO}^-(\text{aq})] = 1 \times \sqrt{2,4 \times 10^{-13}}$$

Soit

$$[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})] = [\text{HO}^-(\text{aq})] = 4,9 \times 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$$

- d** La valeur du pH d'une solution neutre à 80 °C:

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]}{c^0} \right)$$

**+ Application numérique:**

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{4,9 \times 10^{-7}}{1} \right)$$

Soit

$$\text{pH} = 6,3$$

- e** La phrase « Une solution est neutre si son  $\text{pH} = 7$  » est vraie uniquement pour  $T = 25$  °C.

**EXERCICE 2 Acide fort ou faible**

- a** Définition d'un acide fort:

Un acide fort réagit totalement avec l'eau. La valeur de pH d'une solution d'acide fort de concentration  $c$  est donnée par:  $\text{pH} = -\log \left( \frac{c}{c^0} \right)$ .

Exemple, acide nitrique  $\text{HNO}_3$ .

- b** Définition d'un acide faible:

Un acide faible réagit partiellement avec l'eau et conduit à un équilibre caractérisé par une constante d'acidité  $K_A$ . La valeur de pH d'une solution d'acide faible de concentration  $c$  est telle que:  $\text{pH} > -\log \left( \frac{c}{c^0} \right)$ .

Exemple, acide méthanoïque  $\text{HCOOH}$ .

- c** Acide faible ou fort:

Acide	Concentration (mol.L <sup>-1</sup> )	pH
HF	$1,2 \times 10^{-3}$	2,9
$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$	$2,5 \times 10^{-2}$	2,4
HClO	$2,1 \times 10^{-3}$	3,7
$\text{HNO}_3$	$4,1 \times 10^{-4}$	3,4

• Cas de l'acide fluorhydrique HF:  $-\log\left(\frac{c}{c^0}\right) = -\log\left(\frac{1,2 \times 10^{-3}}{1}\right) = 2,9$ .

Puisque  $\text{pH} = -\log\left(\frac{c}{c^0}\right)$  l'acide fluorhydrique HF est un acide fort.

• Cas de l'acide benzoïque:  $-\log\left(\frac{c}{c^0}\right) = -\log\left(\frac{2,5 \times 10^{-2}}{1}\right) = 1,6$ .

Puisque  $\text{pH} > -\log\left(\frac{c}{c^0}\right)$  l'acide benzoïque est un acide faible.

• Cas de l'acide hypochloreux HClO:  $-\log\left(\frac{c}{c^0}\right) = -\log\left(\frac{2,1 \times 10^{-3}}{1}\right) = 2,7$ .

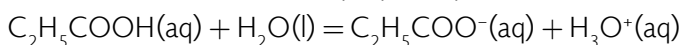
Puisque  $\text{pH} > -\log\left(\frac{c}{c^0}\right)$  l'acide hypochloreux est un acide faible.

• Cas de l'acide nitrique HNO<sub>3</sub>:  $-\log\left(\frac{c}{c^0}\right) = -\log\left(\frac{4,1 \times 10^{-4}}{1}\right) = 3,4$ .

Puisque  $\text{pH} = -\log\left(\frac{c}{c^0}\right)$  l'acide nitrique HNO<sub>3</sub> est un acide fort.

### EXERCICE 3 Acide propanoïque

**a** L'équation de la réaction entre l'acide propanoïque et l'eau:



**b** Le tableau d'avancement de cette transformation chimique:

Calcul de la quantité initial de l'acide:

$$n_{\text{Acide}} = c \times V$$

**+ Application numérique:**

$$n_{\text{Acide}} = 1,2 \times 10^{-2} \times 50 \times 10^{-3}$$

$$n_{\text{Acide}} = 6,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Réaction	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$			
État du système	Quantité de matière en mol			
Initial	$6,0 \times 10^{-4}$	excès	0	0
Intermédiaire	$6,0 \times 10^{-4} - x$	excès	x	x
Final	$6,0 \times 10^{-4} - x_f$	excès	$x_f$	$x_f$

- c La valeur de l'avancement final  $x_f$  de cette transformation chimique:

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]}{c^0} \right)$$

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{x_f}{c^0} \right)$$

Soit

$$x_f = c^0 \times V \times 10^{-\text{pH}}$$

- + **Application numérique:**

$$x_f = c^0 \times 50 \times 10^{-3} \times 10^{-3,2}$$

Soit

$$x_f = 3,2 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

- d La composition du système chimique à l'état final:

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = 6,0 \times 10^{-4} - 3,2 \times 10^{-5} = 5,7 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^-) = n(\text{H}_3\text{O}^+) = 3,2 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

- e Le diagramme de prédominance du couple d'acide propanoïque:

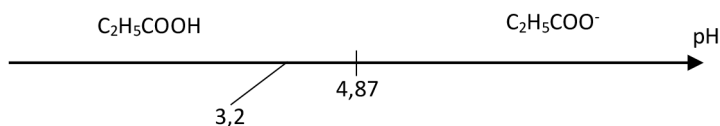


Diagramme de prédominance

- f L'espèce qui prédomine dans la solution:  
 $\text{pH} = 3,2 < \text{pK}_A = 4,87$ , c'est la forme acide  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$  qui prédomine.

#### EXERCICE 4 Base forte ou faible

- a Définition d'une base forte:  
 Une base forte réagit totalement avec l'eau. La valeur de pH d'une solution d'une base forte de concentration  $c$  est donnée par:  $\text{pH} = \text{pK}_E + \log \left( \frac{c}{c^0} \right)$ .

Exemple, hydroxyde de sodium  $\text{NaOH}(\text{s})$ .

**b** Définition d'une base faible:

Une base faible réagit partiellement avec l'eau et conduit à un équilibre. La valeur de pH d'une solution de base faible de concentration  $c$  est telle que:

$$\text{pH} < \text{p}K_E + \log\left(\frac{c}{c^0}\right).$$

Exemple, hydrogénocarbonate de sodium  $\text{NaHCO}_3(\text{s})$ .

**c** Base faible ou forte:

Base	Concentration (mol.L <sup>-1</sup> )	pH
$\text{NH}_3$	$4,0 \times 10^{-4}$	9,4
KOH	$3,2 \times 10^{-2}$	12,5
$\text{NaCH}_3\text{COO}$	$2,5 \times 10^{-5}$	8,9
NaOH	$2,7 \times 10^{-3}$	11,4

- Cas de la base ammoniac  $\text{NH}_3$ :  $\text{p}K_E + \log\left(\frac{c}{c^0}\right) = 14 + \log\left(\frac{4,0 \times 10^{-4}}{1}\right) = 10,6$ .

Puisque  $\text{pH} < \text{p}K_E + \log\left(\frac{c}{c^0}\right)$  la base ammoniac  $\text{NH}_3$  est une base faible.

- Cas de la base hydroxyde de potassium KOH:

$$\text{p}K_E + \log\left(\frac{c}{c^0}\right) = 14 + \log\left(\frac{3,2 \times 10^{-2}}{1}\right) = 12,5.$$

Puisque  $\text{pH} = \text{p}K_E + \log\left(\frac{c}{c^0}\right)$  la base hydroxyde de potassium KOH est forte.

- Cas de la base éthanoate de sodium  $\text{NaCH}_3\text{COO}$ :

$$\text{p}K_E + \log\left(\frac{c}{c^0}\right) = 14 + \log\left(\frac{2,5 \times 10^{-5}}{1}\right) = 9,4.$$

Puisque  $\text{pH} < \text{p}K + \log\left(\frac{c}{c^0}\right)$  la base éthanoate de sodium  $\text{NaCH}_3\text{COO}$  est faible.

- Cas de la base hydroxyde de sodium NaOH:

$$\text{p}K_E + \log\left(\frac{c}{c^0}\right) = 14 + \log\left(\frac{2,7 \times 10^{-3}}{1}\right) = 11,4.$$

Puisque  $\text{pH} = \text{p}K_E + \log\left(\frac{c}{c^0}\right)$  la base hydroxyde de potassium NaOH est forte.

**EXERCICE 5 Indicateurs colorés**

- Tableau des teintes et les zones de virage de quelques indicateurs colorés:

Indicateur	Teinte acide	Zone de virage	Teinte basique
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	Jaune
Bleu de bromothymol	Jaune	6,0 – 7,6	Bleu
Phénolphtaléine	Incolore	8,2 – 10	Pourpre

- Tableau des pH à l'équivalence:

Titrage	PH <sub>E</sub> (pH à l'équivalence)
1	5
2	7
3	9
4	4

- Titrage n° 1 :  
La valeur de PH<sub>E</sub> n'appartient à aucune zone de virage des indicateurs donnés. Aucun de ces indicateurs n'est adapté à ce titrage.
- Titrage n° 2 :  
C'est le bleu de bromothymol qui est adapté à ce titrage car son PH<sub>E</sub> appartient à l'intervalle [6,0; 7,6].
- Titrage n° 3 :  
C'est la phénolphtaléine qui est adaptée à ce titrage car son PH<sub>E</sub> appartient à l'intervalle [8,2; 10].
- Titrage n° 4 :  
C'est l'hélianthine qui est adapté à ce titrage car son PH<sub>E</sub> appartient à l'intervalle [3,1; 4,4].

**EXERCICE 6 Question ouverte**

Soit une solution obtenue en dissolvant l'acide faible HA de constante d'acidité  $K_A$  à la concentration  $c$ . L'acide HA introduit se répartit entre les espèces HA et A<sup>-</sup>. On peut écrire:

$$c = [\text{HA}] + [\text{A}^-]$$

La concentration en ions [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] sera notée  $h$ .

- Expression de la constante d'acidité  $K_A$  :

$$K_A = \frac{[A^-] \times [H_3O^+]}{[AH]}$$

Soit

$$K_A = \frac{[A^-] \times h}{[AH]}$$

Il vient

$$\frac{K_A}{h} = \frac{[A^-]}{[AH]}$$

- Calcul de % AH :

$$\%AH = \frac{[AH]}{c} \times 100$$

Or

$$c = [HA] + [A^-]$$

Ce qui donne :

$$\frac{c}{[AH]} = 1 + \frac{[A^-]}{[AH]}$$

En remplaçant l'expression de  $\frac{[A^-]}{[AH]}$ , il vient :

$$\frac{c}{[AH]} = 1 + \frac{K_A}{h}$$

$$\frac{c}{[AH]} = \frac{h + K_A}{h}$$

Donc

$$\frac{[AH]}{c} = \frac{h}{h + K_A}$$

D'où

$$\%AH = \frac{h}{h+K_A} \times 100$$

• Calcul de % A<sup>-</sup>:

$$\%A^- = \frac{[A^-]}{c} \times 100$$

Or

$$\frac{K_A}{h} = \frac{[A^-]}{[AH]}$$

Ce qui donne

$$[A^-] = \frac{K_A}{h} [AH]$$

D'où

$$\%A^- = \frac{\frac{K_A}{h} [AH]}{c} \times 100$$

Donc

$$\%A^- = \%AH \times \frac{K_A}{h}$$

Soit

$$\%A^- = \frac{h}{K_A + h} \times 100 \times \frac{K_A}{h}$$

Il vient

$$\%A^- = \frac{K_A}{K_A + h} \times 100$$

**EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python**

Dans une solution d'acide faible HA de constante d'acidité  $K_A = 10^{-2,76}$  les pourcentages de l'acide et de la base sont donnés par :

$$\%HA = \frac{h}{K_A + h} \times 100$$

$$\%A^- = \frac{K_A}{K_A + h} \times 100$$

$h$  étant la concentration en ion hydronium  $H_3O^+(aq)$ ,  $h = [H_3O^+]$ .

- a** La rubrique du programme liée à la valeur de  $K_A$  complétée :

```
# Valeur de KA
KA = 10**-2.76
```

- b** Expression de  $h$  en fonction du pH :  
D'après la définition du pH,

$$pH = -\log \left( \frac{[H_3O^+]}{c^o} \right)$$

Donc

$$[H_3O^+] = h = c^o \times 10^{-pH}$$

La rubrique du programme liée aux valeurs de  $h$  complétée :

```
# Calcul des valeurs de h
for i in range(0,9):
h.append(10**(-pH[i]))
```

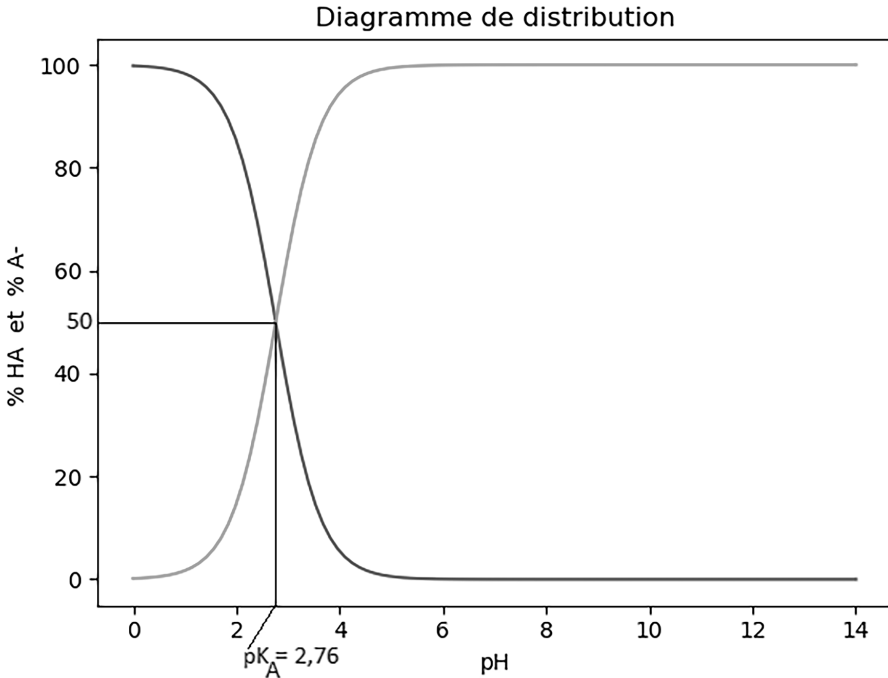
- c** La rubrique du programme liée au calcul des valeurs de % AH complétée :

```
# Calcul des valeurs de % HA
for i in range(0,9):
p_HA.append(100*h[i]/(KA+h[i]))
```

- d** La rubrique du programme liée au calcul des valeurs de % A<sup>-</sup> complétée :

```
# Calcul des valeurs de % A-
for i in range(0,9):
p_A.append(100*KA/(KA+h[i]))
```

e Le diagramme de distribution:



Le point d'intersection des deux courbes est le point où le  $\text{pH} = \text{pK}_A$ .

Voici le script du programme Python complété:

```
# Programme pour tracer un diagramme de distribution
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
# Valeur de KA
KA = 10**-2.76
# Remplissage de la liste des valeurs de pH
pH = np.linspace(0,14,100)
# Calcul des valeurs de h
h =10**(-pH)
# Calcul des valeurs de % HA
p_HA =100*h/(KA+h)
# Calcul des valeurs de % A-
p_A =100*KA/(KA+h)
#Tracé de la courbe % HA = f(pH)
plt.plot(pH,p_HA)
#Tracé de la courbe % A- = f(pH)
plt.plot(pH,p_A)
```

```
# Configuration du graphique
plt.xlabel("pH")
plt.ylabel("% HA et % A-")
plt.title("Diagramme de distribution")
plt.show()
```

### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Protocole expérimental permettant de déterminer la constante d'acidité d'un acide faible:

#### + Liste de matériel:

- Éprouvettes graduées;
- Bêchers;
- Agitateur magnétique + barreau aimanté;
- pH-mètre + ses deux solutions tampons;
- Ordinateur ou Smartphone + logiciel tableur-grapheur.

#### + Produits:

- Solution d'acide faible à 0,10 mol.L<sup>-1</sup>;
- Solution d'hydroxyde de sodium (Na<sup>+</sup>(aq) + HO<sup>-</sup>(aq)) à 0,10 mol.L<sup>-1</sup>;
- Pissette d'eau distillée.

#### + Protocole:

- À l'aide de deux éprouvettes graduées, mesurer les volumes des deux solutions acide et basique comme indiqué dans le tableau suivant:

V(AH)(mL)	20	30	40	50	60	70	80	90
V(soude)(mL)	10	10	10	10	10	10	10	10
pH								
$n(\text{HA})_{\text{final}}$ (mmol)								
$n(\text{A}^-)_{\text{final}}$ (mmol)								
$x = \log \left( \frac{n(\text{A}^-)_{\text{final}}}{n(\text{AH})_{\text{final}}} \right)$								

- Ajouter les deux volumes dans un bêcher posé sur agitateur magnétique;
- Mesurer le pH du mélange et compléter le tableau ci-dessus.

- En utilisant le tableau d'avancement, compléter le remplissage du tableau ci-dessus;

On sait que:

$$\text{pH} = \text{pK}_A + \log \left( \frac{[\text{A}^-]_{\text{final}}}{[\text{AH}]_{\text{final}}} \right)$$

En simplifiant le volume, la formule précédente devient:

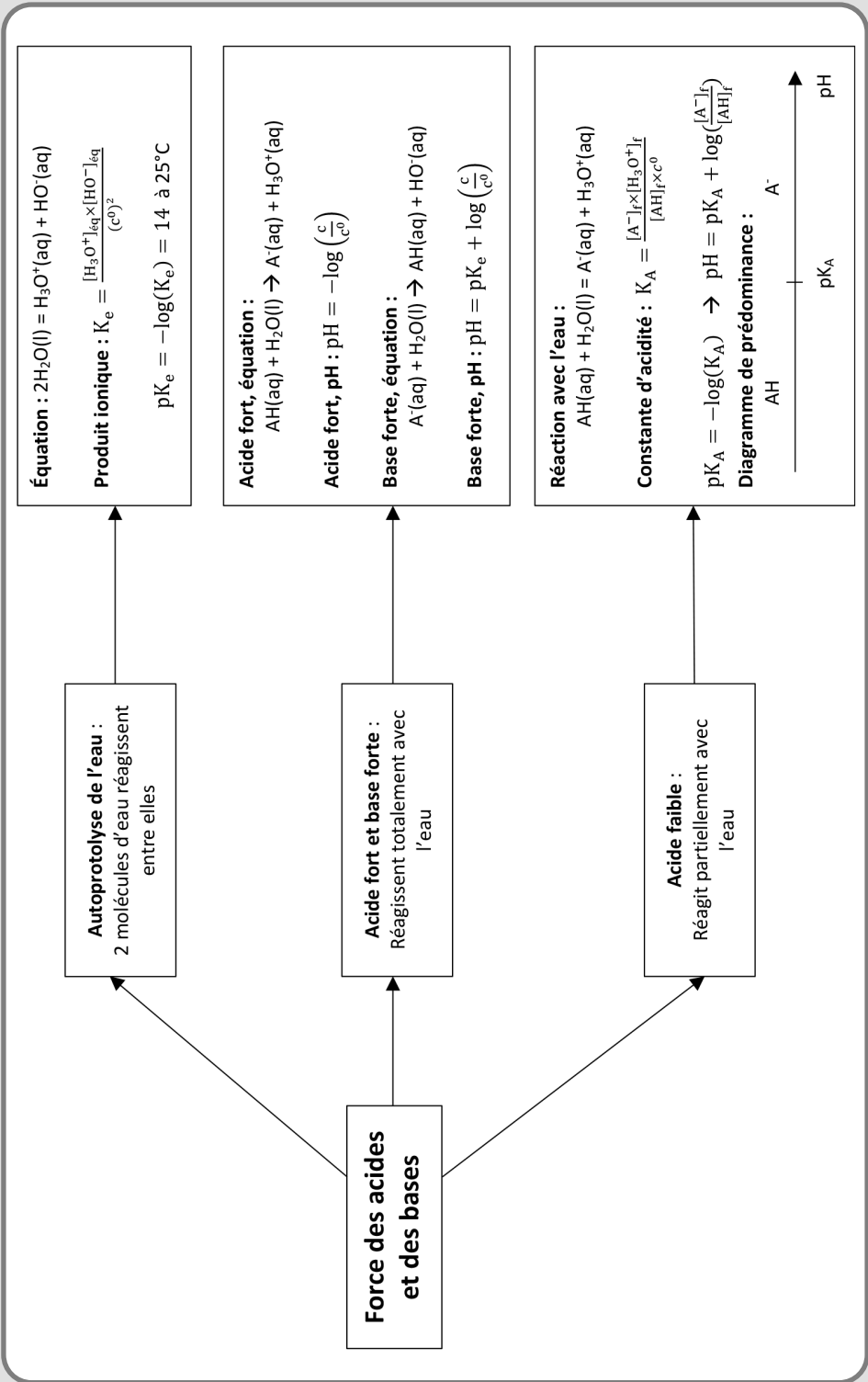
$$\text{pH} = \text{pK}_A + \log \left( \frac{n(\text{A}^-)_{\text{final}}}{n(\text{AH})_{\text{final}}} \right)$$

Soit

$$\text{pH} = \text{pK}_A + x$$

- À l'aide du tableur-grapheur, tracer la courbe  $\text{pH} = f(x)$ .
- L'ordonnée à l'origine de la courbe donne accès à la valeur de  $\text{pK}_A$ .

FORCE DES ACIDES ET DES BASES



# ÉVOLUTION FORCÉE D'UN SYSTÈME CHIMIQUE

## LES 10 QUESTIONS

1  C'est quoi une transformation chimique spontanée?


↳ .....

.....

2  C'est quoi une transformation chimique forcée?


↳ .....

.....

3  Comment peut-on forcer un système chimique à évoluer dans le sens opposé à son sens d'évolution spontanée?

↳ .....

.....

4  C'est quoi un électrolyseur?

↳ .....

.....

5  C'est quoi l'anode d'un électrolyseur?

↳ .....

.....

6  C'est quoi la cathode d'un électrolyseur?


↳ .....

.....

7  Quelle est la quantité de charges électriques mise en jeu lors d'une électrolyse?


↳ .....

.....

8  C'est quoi une pile?


↳ .....

.....

9  C'est quoi un accumulateur?

↳ .....

.....

10  Pourquoi la photosynthèse des organismes chlorophylliens est une transformation forcée?

↳ .....

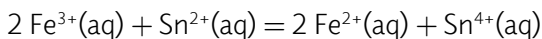
.....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Transformation spontanée ou forcée

La constante d'équilibre de la réaction d'équation donnée ci-dessous est  $K = 4,6 \times 10^{20}$ .



On mélange dans un bécher,

- $1,2 \times 10^{-2}$  mol d'ions étain (II)  $\text{Sn}^{2+}(\text{aq})$ ;
- $2,5 \times 10^{-2}$  mol d'ions fer (III)  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ ;
- $3,2 \times 10^{-3}$  mol d'ions étain (IV)  $\text{Sn}^{4+}(\text{aq})$ ;
- et  $1,6 \times 10^{-3}$  mol d'ions fer (II)  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ .

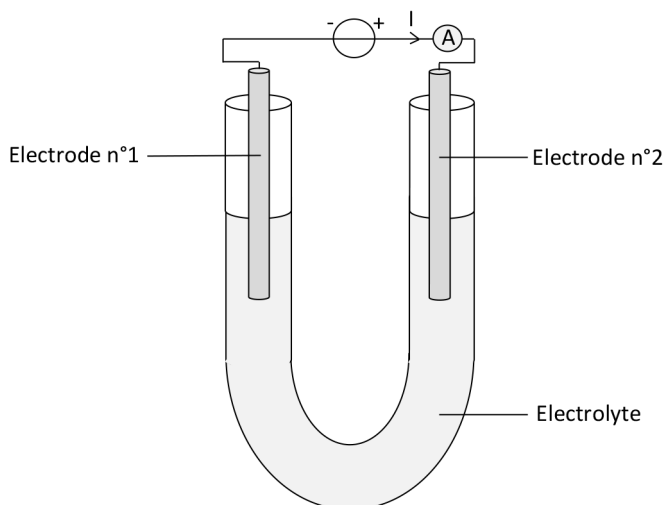
Le volume total du mélange est  $V = 100$  mL.

- a Calculer la valeur du quotient de réaction initial  $Q_{r,i}$ .
- b Dans quel sens la réaction évolue-t-elle spontanément?
- c Est-il possible de déplacer le système chimique dans le sens inverse à partir de l'état initial?



## EXERCICE 2 Électrolyse

On réalise l'électrolyse d'une solution ionique appelée électrolyte dans un tube en U dans lequel on place deux électrodes en carbone graphite reliées à un générateur de tension continue et un ampèremètre. Le dispositif expérimental est donné par la figure ci-dessous :



- Indiquer l'électrode qui joue le rôle d'anode.
- Indiquer l'électrode qui joue le rôle de cathode.



## EXERCICE 3 Production du zinc

Au cours de l'électrolyse d'une solution de sulfate de zinc ( $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ ,  $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) On observe sur l'anode le dégagement d'un gaz et la cathode la formation d'un dépôt métallique.

- Quelle est la demi-équation qui se produit au niveau de l'anode?
- Quelle est la demi-équation qui se produit au niveau de la cathode?
- En déduire l'équation de l'électrolyse.



## EXERCICE 4 Production de deux gaz

L'électrolyse d'une solution d'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$  produit deux gaz, un au niveau de l'anode et l'autre au niveau de la cathode.

- Quelle est la demi-équation qui se produit au niveau de l'anode?
- Quelle est la demi-équation qui se produit au niveau de la cathode?
- En déduire l'équation de l'électrolyse.
- Quel est le nom donné à cette réaction?



### EXERCICE 5 Masse du chrome déposée

On réalise pendant une heure l'électrolyse d'une solution d'ions chrome  $\text{Cr}^{3+}(\text{aq})$  sous un courant électrique d'intensité constante  $I = 1,2 \text{ A}$ . On observe sur la cathode la formation d'un dépôt de chrome métallique  $\text{Cr}(\text{s})$ .

- Écrire la demi-équation qui se produit au niveau de la cathode.
- Calculer la quantité de charge électrique  $q$  mise en jeu.
- Calculer la quantité de matière  $n_{e^-}$  d'électrons qui ont circulé.
- En déduire la masse  $m_{\text{Cr}}$  du chrome qui a été déposée sur la cathode.

Données:

- Couple oxydant-réducteur:  $\text{Cr}^{3+}(\text{aq})/\text{Cr}(\text{s})$ .
- Masse molaire du chrome:  $M = 52 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- Constante d'Avogadro:  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .
- La valeur de la charge élémentaire:  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .



### EXERCICE 6 Question ouverte

Le dépôt d'une couche d'or d'épaisseur  $h$  sur une bague en bronze a été réalisé à l'aide d'une électrolyse d'une solution d'ions or  $\text{Au}^{3+}(\text{aq})$  dans laquelle la bague joue le rôle de cathode. La surface totale de la bague est de  $10 \text{ cm}^2$ .

Caractéristiques de l'électrolyse:

- Intensité du courant:  $I = 205 \text{ mA}$ .
- Durée:  $\Delta t = 34 \text{ min } 31 \text{ s}$ .

Calculer la valeur de l'épaisseur  $h$  de la couche d'or.

Données:

- Masse volumique de l'or  $\text{Au}(\text{s}) = 19,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .
- Masse molaire de l'or:  $M = 197 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- Constante d'Avogadro:  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .
- Valeur de la charge élémentaire:  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

L'électrolyse peut être utilisée pour déposer sur la surface d'une pièce une couche métallique pour la décorer ou la protéger.

Voici, ci-dessous, un script du programme Python qui permet de déterminer la durée d'électrolyse pour déposer une couche métallique d'épaisseur  $h$  sur une pièce de surface  $S$ .

```
# Programme de calcul de la durée d'électrolyse
# La constante d'Avogadro
NA = .....
```

```

# Valeur de la charge élémentaire e
e = .....
# Le nombre de charge du cation métallique
Nombre_charge = .....
# Masse volumique du métal à déposer en g.m-3
Rau = .....
# Masse molaire du métal à déposer en g.mol-1
M = .....
# L'épaisseur du dépôt métallique en m
h = .....
# Surface de la pièce métallique en m²
S = .....
# Valeur de l'intensité I du courant de l'électrolyse en A
I = .....
# Calcul de la quantité de matière de la couche métallique déposée
n_Metal = .....
# Calcul de la quantité de matière d'électrons échangée
N_electron = .....
# Calcul de la quantité de matière de charges électriques échangées
q = .....
# Calcul de la durée de l'électrolyse
Dt = .....
# Affichage du résultat
print("La durée nécessaire pour réaliser le dépôt est : ", str(round(Dt,2)) + "s")

```

L'étamage (dépôt d'une couche d'étain Sn(s) d'épaisseur  $h = 20 \mu\text{m}$ ) d'une boîte de conserve de surface totale  $S = 0,058 \text{ m}^2$  a été réalisé par électrolyse sous un courant électrique d'intensité constante  $I = 6,0 \text{ A}$ .

À l'aide du programme ci-dessus, on va déterminer la durée nécessaire pour réaliser l'électrolyse de la boîte de conserve.

Données:

- Couple oxydant-réducteur mis en jeu:  $\text{Sn}^{2+}(\text{aq})/\text{Sn}(\text{s})$ .
- Constante d'Avogadro:  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .
- Valeur de la charge élémentaire:  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .
- Masse molaire de l'étain:  $M = 118,7 \text{ g. mol}^{-1}$ .
- Masse volumique de l'étain:  $\rho = 7,29 \times 10^6 \text{ g.m}^{-3}$ .

- Compléter les rubriques du programme liées à toutes les données du problème.
- Compléter les rubriques du programme liées aux calculs des quantités de matière.

- c Compléter la rubrique du programme liée au calcul de la durée de l'électrolyse.
- d Exécuter le programme et afficher le résultat.
- e Exprimer cette durée en minutes et en secondes.



### EXERCICE 8 **Électrolyse de l'eau**

Proposer un protocole expérimental permettant de réaliser une électrolyse de l'eau.

**+ Liste de matériel:**

- Electrolyseur;
- 2 grands tubes à essai pour électrolyse;
- 2 bouchons;
- Générateur de tension continue;
- Ampèremètre;
- Voltmètre;
- Fils électriques;
- Bûchette;
- Briquet ou allumettes;
- Chronomètre;
- Gants.

**+ Produit:**

- Solution d'acide sulfurique à  $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ .


## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  C'est quoi une transformation chimique spontanée?


- + C'est une transformation dont le quotient de réaction initial du système chimique est inférieur à sa constante d'équilibre  $K$ .

2  C'est quoi une transformation chimique forcée?

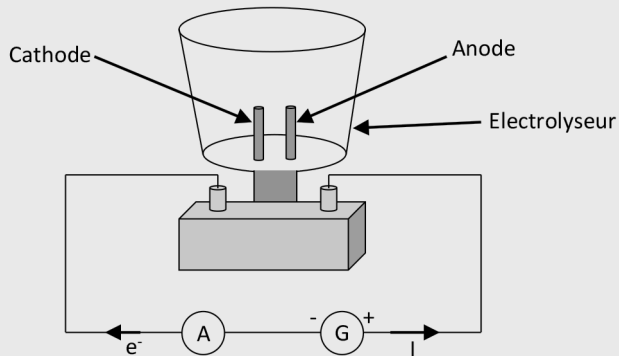
- + C'est une transformation dont le sens d'évolution est opposé à celui de la transformation spontanée du système chimique.

3  Comment peut-on forcer un système chimique à évoluer dans le sens opposé à son sens d'évolution spontanée?

- + À l'aide d'un électrolyseur qui utilise un générateur de tension continue.

4  C'est quoi un électrolyseur?

- + C'est une cuve équipée de deux électrodes qui peuvent être reliées à un générateur de tension continue où l'on peut effectuer une réaction d'oxydoréduction forcée.




5  C'est quoi l'anode d'un électrolyseur?

- + L'anode est la borne de l'électrolyseur où a lieu l'oxydation. Elle est reliée à la borne positive du générateur.

6  C'est quoi la cathode d'un électrolyseur?

- + La cathode est la borne de l'électrolyseur où se produit la réduction. Elle est reliée à la borne négative du générateur.


7  Quelle est la quantité de charges électriques mise en jeu lors d'une électrolyse?

- + 
$$q = I \cdot \Delta t = n(e^-) \cdot N_A \cdot e$$

$I$  : Intensité du courant délivré par le générateur (en A)

$\Delta t$  : Durée de l'électrolyse (en s)

$n(e^-)$  : Quantité d'électrons échangés durant l'électrolyse (en mol)

8  C'est quoi une pile d'un point de vue énergétique?

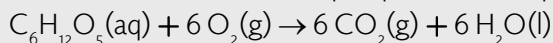
- + C'est un dispositif chimique qui transforme l'énergie chimique en énergie électrique à l'aide d'une réaction d'oxydoréduction spontanée.

9  C'est quoi un accumulateur d'un point de vue énergétique?

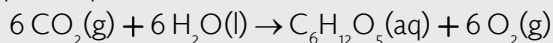
- + C'est une pile qui peut être rechargée à l'aide d'une électrolyse.

10  Pourquoi la photosynthèse des organismes chlorophylliens est une transformation forcée?

- + La respiration des organismes chlorophylliens qui se fait jour et nuit, est une transformation chimique spontanée d'équation:



La photosynthèse qui se fait que le jour, est une transformation chimique d'équation:

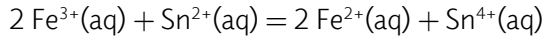


Elle n'est pas spontanée puisqu'elle nécessite de l'énergie lumineuse apportée par une lumière.

## CORRIGÉS DES EXERCICES

**EXERCICE 1** Transformation spontanée ou forcée

La constante d'équilibre de la réaction d'équation donnée ci-dessous est  $K = 4,6 \times 10^{20}$ .



**a** Calcul de  $Q_{r,i}$ :

$$Q_{r,i} = \frac{\left( \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{c^0} \right)^2 \times \frac{[\text{Sn}^{4+}]}{c^0}}{\left( \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{c^0} \right)^2 \times \frac{[\text{Sn}^{2+}]}{c^0}}$$

**+ Application numérique:**

$$Q_{r,i} = \frac{\left( \frac{1,6 \times 10^{-3}}{0,100} \right)^2 \times \frac{3,2 \times 10^{-3}}{0,100}}{\left( \frac{2,5 \times 10^{-2}}{0,100} \right)^2 \times \frac{1,2 \times 10^{-2}}{0,100}}$$

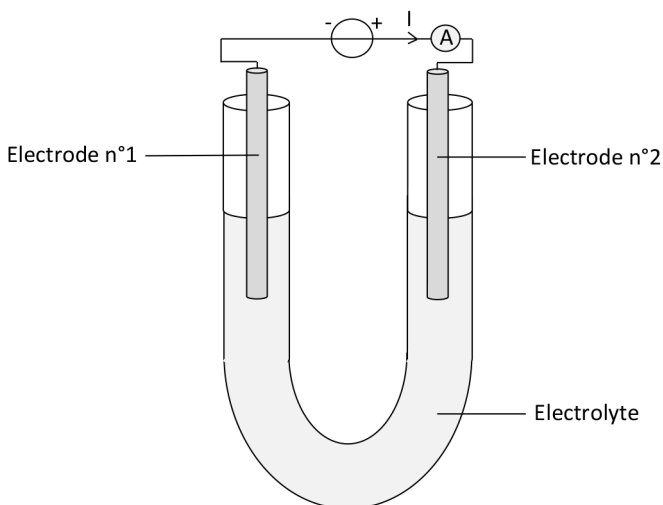
Soit

$$Q_{r,i} = 1,1 \times 10^{-3}$$

**b** Le sens d'évolution spontané de la réaction:

$Q_{r,i} < K$ , le système évolue dans le sens direct.

**c** On peut déplacer le système chimique dans le sens inverse à partir de l'état initial en utilisant un électrolyseur.

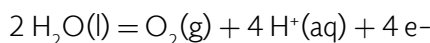
**EXERCICE 2** Électrolyse

- a** L'électrode qui joue le rôle d'anode:  
D'après le dispositif expérimental, le courant électrique arrive sur l'électrode n° 2, donc, les électrons en partent. Puisque l'oxydation produit des électrons, elle se produit au niveau de l'électrode n° 2 qui joue le rôle d'anode.
- b** L'électrode qui joue le rôle de cathode:  
Puisque les électrons arrivent sur l'électrode n° 1, elle est le lieu de la réduction et elle joue le rôle de cathode.

**EXERCICE 3** Production du zinc

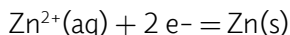
L'électrolyse d'une solution de sulfate de zinc ( $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}), \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) On observe sur l'anode le dégagement d'un gaz et la cathode la formation d'un dépôt métallique.

- a** La demi-équation qui se produit au niveau de l'anode:



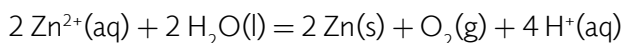
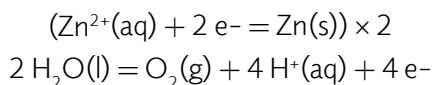
Le gaz qui se dégage au niveau de l'anode est le dioxygène  $\text{O}_2(\text{g})$ .

- b** La demi-équation qui se produit au niveau de la cathode:



Le métal qui se dépose sur la cathode est le zinc  $\text{Zn}(\text{s})$ .

- c** L'équation de l'électrolyse:

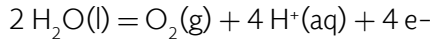


**EXERCICE 4 Production de deux gaz**

L'électrolyse d'une solution d'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$  produit deux gaz, un au niveau de l'anode et l'autre au niveau de la cathode.

- a** La demi-équation qui se produit au niveau de l'anode:

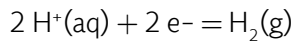
L'anode est le lieu de l'oxydation,



Le gaz qui se dégage au niveau de l'anode est le dioxygène  $\text{O}_2(\text{g})$ .

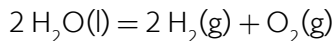
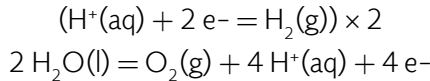
- b** La demi-équation qui se produit au niveau de la cathode:

La cathode est le lieu de la réduction,



Le gaz qui se dégage au niveau de la cathode est le dihydrogène  $\text{H}_2(\text{g})$ .

- c** L'équation de l'électrolyse:



- d** Le nom donné à cette réaction:

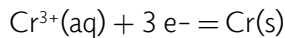
Il s'agit de l'autoprotolyse de l'eau.

**EXERCICE 5 Masse du chrome déposée**

On réalise pendant une heure l'électrolyse d'une solution d'ions chrome  $\text{Cr}^{3+}(\text{aq})$  sous un courant électrique d'intensité constante  $I = 1,2 \text{ A}$ . On observe sur la cathode la formation d'un dépôt de chrome métallique  $\text{Cr}(\text{s})$ .

- a** La demi-équation qui se produit au niveau de la cathode:

Il s'agit d'une réduction,



- b** Calcul de la quantité de charge électrique  $q$  mise en jeu:

Par définition,

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

Ce qui donne

$$q = I \times \Delta t$$

**+ Application numérique:**

$$q = 1,2 \times 3600$$

Soit

$$q = 4320 \text{ C}$$

- c** Calcul de la quantité de matière  $n_{e^-}$  d'électrons qui ont circulé:

$$n_{e^-} = \frac{q}{N_A \times e}$$

**+ Application numérique:**

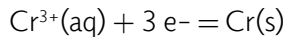
$$n_{e^-} = \frac{4320}{6,02 \times 10^{23} \times 1,6 \times 10^{-19}}$$

Soit

$$n_{e^-} = 4,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- d** Calcul de la masse  $m_{\text{Cr}}$  du chrome qui a été déposée sur la cathode:  
Calculons la quantité  $n_{\text{Cr}}$  du chrome déposée:

D'après la demi-équation,



$$n_{\text{Cr}} = \frac{n_{e^-}}{3}$$

**+ Application numérique:**

$$n_{\text{Cr}} = \frac{4,5 \times 10^{-2}}{3}$$

Soit

$$n_{\text{Cr}} = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

Calculons la masse  $m_{\text{Cr}}$  du chrome déposée:

On sait que:

$$n_{\text{Cr}} = \frac{m_{\text{Cr}}}{M}$$

Il vient

$$m_{\text{Cr}} = n_{\text{Cr}} \times M$$

**+ Application numérique:**

$$m_{\text{Cr}} = 1,5 \times 10^{-2} \times 52$$

Soit

$$m_{\text{Cr}} = 0,78 \text{ g}$$

Donc, la masse du chrome qui a été déposée sur la cathode est de 780 mg.

**EXERCICE 6 Question ouverte**

Le dépôt d'une couche d'or d'épaisseur  $h$  sur une bague en bronze a été réalisé à l'aide d'une électrolyse d'une solution d'ions or  $\text{Au}^{3+}(\text{aq})$  dans laquelle la bague joue le rôle de cathode. La surface totale de la bague est de  $10 \text{ cm}^2$ .

Caractéristiques de l'électrolyse:

Intensité du courant:  $I = 205 \text{ mA}$ .

Durée:  $\Delta t = 34 \text{ min } 31 \text{ s}$ .

- Calcul de la quantité de charges électriques échangées  $q$ :

$$q = I \times \Delta t$$

**+ Application numérique:**

$$q = 0,205 \times (34 \times 60 + 31)$$

Soit

$$q = 425 \text{ C}$$

- Calcul de la quantité de matière des électrons:

$$n_{e^-} = \frac{q}{N_A \times e}$$

**+ Application numérique:**

$$n_{e^-} = \frac{425}{6,02 \times 10^{23} \times 1,6 \times 10^{-19}}$$

Soit

$$n_{e^-} = 4,41 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

- Calcul de la quantité de matière de l'or déposée:

La réduction des ions  $\text{Au}^{3+}(\text{aq})$  s'écrit:



Donc

$$n_{\text{Au}} = \frac{n_{e^-}}{3}$$

**+ Application numérique:**

$$n_{\text{Au}} = \frac{4,41 \times 10^{-3}}{3}$$

Soit

$$n_{\text{Au}} = 1,47 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

- Calcul de la masse d'or déposée:

$$n_{\text{Au}} = \frac{m_{\text{Au}}}{M}$$

Ce qui donne:

$$m_{\text{Au}} = n_{\text{Au}} \times M$$

**+ Application numérique:**

$$m_{\text{Au}} = 1,47 \times 10^{-3} \times 197$$

Soit

$$m_{\text{Au}} = 0,290 \text{ g}$$

- Calcul du volume d'or déposé:

$$\rho_{\text{Au}} = \frac{m_{\text{Au}}}{V}$$

Soit

$$V = \frac{m_{\text{Au}}}{\rho_{\text{Au}}}$$

**+ Application numérique:**

$$V = \frac{0,290}{19,3}$$

Soit

$$V = 1,50 \times 10^{-2} \text{ cm}^3$$

- Calculer la valeur de l'épaisseur  $h$  de la couche d'or:

$$V = h \times S$$

Donc

$$h = \frac{V}{S}$$

**+ Application numérique:**

$$h = \frac{1,5 \times 10^{-2}}{10}$$

Donc

$$h = 1,5 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

Soit

$$h = 15 \mu\text{m}$$

**EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python**

**a** Les rubriques du programme liées à toutes les données du problème complétées:

```
# La constante d'Avogadro
NA = 6.02e23
# Valeur de la charge élémentaire e
e = 1.6e-19
# Le nombre de charge du cation métallique
Nombre_charge = 2
# Masse volumique du métal à déposer en g.m-3
Rau = 7.29e6
# Masse molaire du métal à déposer en g.mol-1
M = 118.7
# L'épaisseur du dépôt métallique en m
h = 20e-6
# Surface de la pièce métallique en m²
S = 0.058
# Valeur de l'intensité I du courant de l'électrolyse en A
I = 6
```

**b** Les rubriques du programme liées au calcul des quantités de matière complétées:

```
# Calcul de la quantité de matière de la couche métallique déposée
n_Metal = h*S*Rau/M
# Calcul de la quantité de matière d'électrons échangée
N_electron = Nombre_charge*n_Metal
# Calcul de la quantité de matière de charges électriques échangées
q = N_electron*NA*e
```

**c** La rubrique du programme liée au calcul de la durée de l'électrolyse complétée:

```
# Calcul de la durée de l'électrolyse
Dt = q/I
```

**d** Le résultat affiché:

La durée nécessaire pour réaliser le dépôt est : 2287.34 s

**e** Expression de la durée en minutes et en secondes:

On divise la durée par 60 pour l'exprimer en minutes:

$$\frac{2287,34}{60} = 38,122 \text{ min}$$

Pour convertir 0,122 min en secondes, on doit multiplier par 60.

$$0,122 \times 60 = 7,32 \text{ s}$$

La durée de l'électrolyse est de 38 min 7 s.

Voici le script du programme Python complété:

```
# Programme de calcul de la durée d'électrolyse
# La constante d'Avogadro
NA = 6.02e23
# Valeur de la charge élémentaire e
e = 1.6e-19
# Le nombre de charge du cation métallique
Nombre_charge = 2
# Masse volumique du métal à déposer en g.m-3
Rau = 7.29e6
# Masse molaire du métal à déposer en g.mol-1
M = 118.7
# L'épaisseur du dépôt métallique en m
h = 20e-6
# Surface de la pièce métallique en m²
S = 0.058
# Valeur de l'intensité I du courant de l'électrolyse en A
I = 6
# Calcul de la quantité de matière de la couche métallique déposée
n_Metal = h*S*Rau/M
# Calcul de la quantité de matière d'électrons échangée
N_electron = Nombre_charge*n_Metal
# Calcul de la quantité de matière de charges électriques échangées
q = N_electron*NA*e
# Calcul de la durée de l'électrolyse
Dt = q/I
# Affichage du résultat
print("La durée nécessaire pour réaliser le dépôt est : ",
str(round(Dt,2)) + "s")
```

**EXERCICE 8** **Électrolyse de l'eau**

Protocole expérimental permettant de réaliser une électrolyse de l'eau :

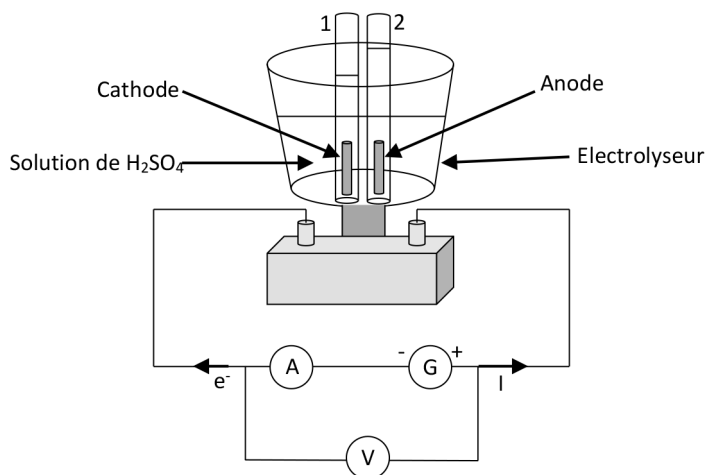
+ **Liste de matériel:**

- Électrolyseur;
- 2 grands tubes à essai pour électrolyse;
- 2 bouchons;
- Générateur de tension continue;
- Ampèremètre;
- Voltmètre;
- Fils électriques;
- Bûchette;
- Briquet ou allumettes;
- Chronomètre;
- Gants.

+ **Produit:**

- Solution d'acide sulfurique à  $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ .

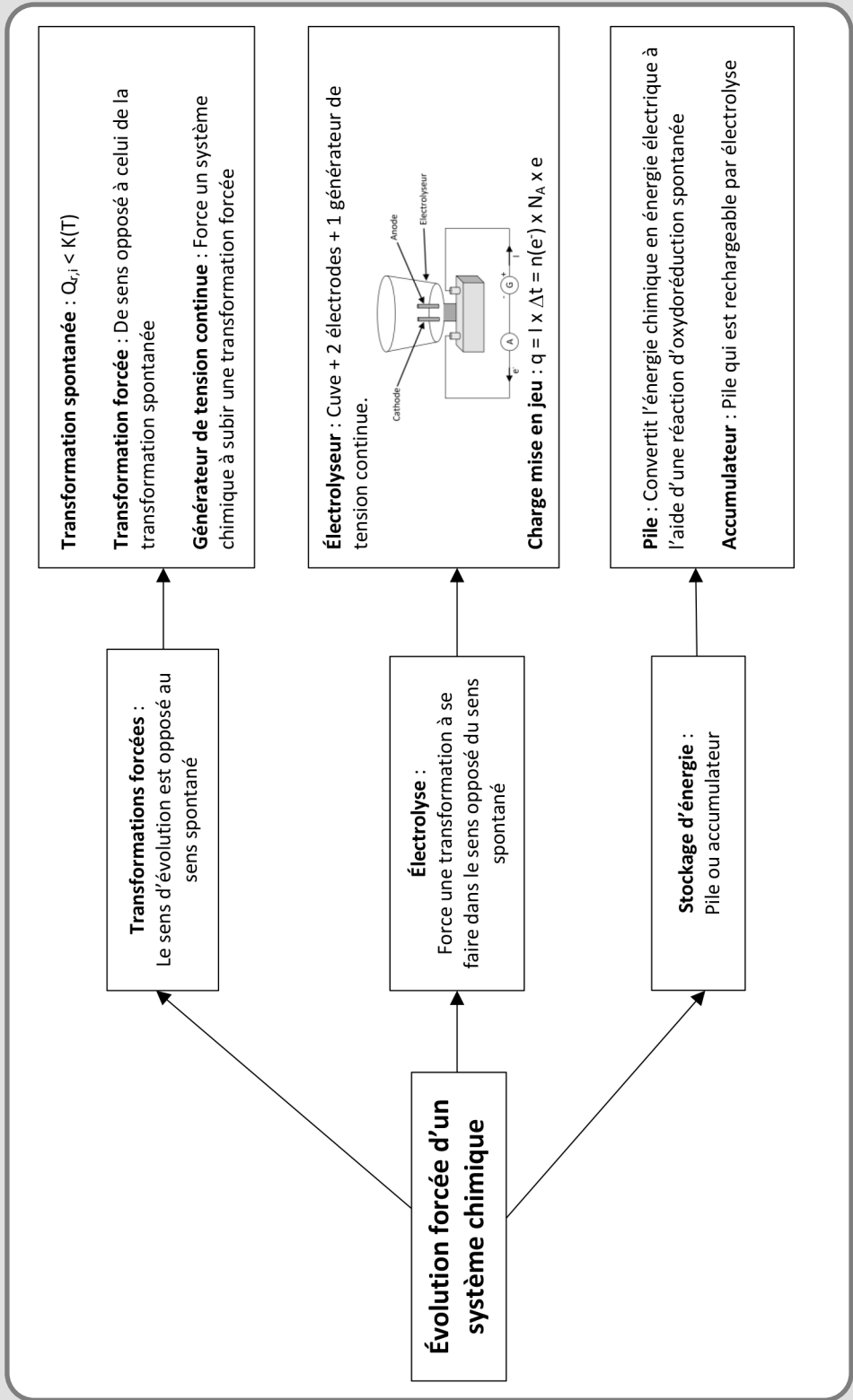
+ **Protocole:**



- Introduire un volume suffisant (électrodes complètement immergées) de solution d'acide sulfurique à  $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$  dans la cuve de l'électrolyseur.
- Remplir à ras bord les deux tubes à essai avec la solution d'acide sulfurique à  $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$  (utiliser des gants).
- Les boucher à l'aide d'un morceau en papier.
- Les retourner lentement sur l'électrolyseur.

- Les déboucher (en immersion) et les fixer au-dessus des électrodes.
- Régler le générateur de tension sur la valeur 12 V et démarrer le chronomètre.
- Noter la valeur de l'intensité du courant  $I$ .
- Arrêter le générateur au bout de  $\Delta t = 20$  minutes.
- Mesurer le volume du gaz  $H_2$  produit au niveau du tube 1, lieu de la réduction.
- Mesurer le volume du gaz  $O_2$  produit au niveau du tube 2, lieu de l'oxydation.
- Pour mettre en évidence la présence du gaz dihydrogène  $H_2$ , boucher (avec un bouchon) le tube 1 avant de le sortir de la solution, le retourner et le déboucher en présentant simultanément une allumette enflammée à son extrémité: production d'une petite détonation.
- Pour mettre en évidence la présence du gaz dihydrogène  $O_2$ , boucher (avec un bouchon) le tube 2 avant de le sortir de la solution, le retourner et le déboucher en introduisant immédiatement une bûchette incandescente dans sa partie supérieure: la pointe incandescente de la bûchette se ravive.

ÉVOLUTION FORCÉE D'UN SYSTÈME CHIMIQUE

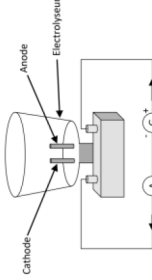


**Transformation spontanée** :  $Q_{r,i} < K(T)$

**Transformation forcée** : De sens opposé à celui de la transformation spontanée

**Générateur de tension continue** : Force un système chimique à subir une transformation forcée

**Électrolyseur** : Cuve + 2 électrodes + 1 générateur de tension continue.



**Charge mise en jeu** :  $q = I \times \Delta t = n(e^-) \times N_A \times e$

**Pile** : Convertit l'énergie chimique en énergie électrique à l'aide d'une réaction d'oxydoréduction spontanée

**Accumulateur** : Pile qui est rechargeable par électrolyse

**Transformations forcées** :  
Le sens d'évolution est opposé au sens spontané

**Électrolyse** :  
Force une transformation à se faire dans le sens opposé du sens spontané







**Stockage d'énergie** :  
Pile ou accumulateur

**Évolution forcée d'un système chimique**



# STRATÉGIES EN SYNTHÈSE ORGANIQUE

## LES 10 QUESTIONS


- 1  C'est quoi la formule topologique d'une molécule?  
↳ .....  
.....
- 2  Donner pour chacune des familles organiques suivantes, la formule, le nom du groupe caractéristique et un exemple: Ester, amine, amide, dérivé halogéné.  
↳ .....  
.....
- 3  C'est quoi l'isomérisation de constitution des molécules?  
↳ .....  
.....
- 4  Par quels moyens peut-on augmenter la vitesse d'une synthèse organique?  
↳ .....  
.....
- 5  Quelles sont les différentes étapes d'une synthèse organique?  
↳ .....  
.....
- 6  Rappeler la définition du rendement d'une synthèse organique et comment l'améliorer?  
↳ .....  
.....

7  C'est quoi une réaction d'addition, de substitution et d'élimination?




8  C'est quoi un réactif chimiosélectif? Donner un exemple.



9  C'est quoi une molécule polyfonctionnelle? Que signifie protéger et déprotéger une fonction d'une molécule polyfonctionnelle lors d'une synthèse organique?



10  C'est quoi une synthèse écoresponsable?



## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Formules des molécules

L'acide propanoïque est un acide carboxylique de formule brute  $C_3H_6O_2$ .

Donner pour l'acide propanoïque:

- a La formule développée.
- b La formule semi-développée.
- c La formule topologique.

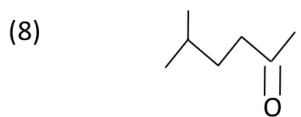
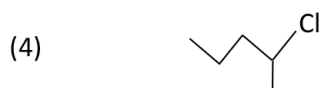
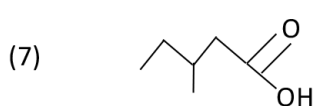
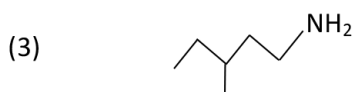
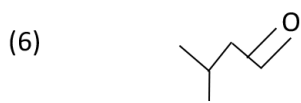
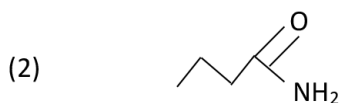
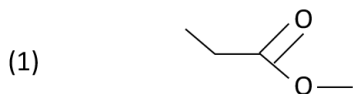

**EXERCICE 2 Formules topologiques**

Donner les formules topologiques associées aux noms des molécules suivantes :

- 1 Éthanoate de propyle
- 2 Propanamide
- 3 2-méthylbutanamine
- 4 Chlorure de propyle
- 5 3-méthylbutan-2-ol
- 6 Propanal
- 7 Acide 2-méthylbutanoïque
- 8 Pentan-2-one


**EXERCICE 3 Nomenclature**

Nommer les molécules dont les formules topologiques sont données ci-dessous :





#### EXERCICE 4 Estérification

L'arôme d'ananas est un ester qui peut être synthétisé au laboratoire à partir d'une réaction entre l'acide butanoïque et d'éthanol qui donne l'ester et de l'eau.

Au cours cette synthèse, on a mélangé dans un ballon d'un montage de chauffage à reflux :

- 0,20 mol d'éthanol;
- 0,25 mol d'acide butanoïque;
- 4 gouttes d'acide sulfurique concentré;
- 5 grains de pierre ponce.

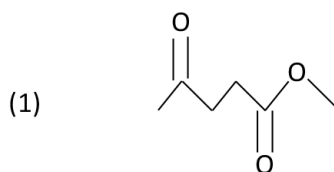
- a) Écrire l'équation de cette réaction d'estérification. Donner le nom de l'ester obtenu.
- b) Donner le schéma du montage de chauffage à reflux.
- c) Quel est le rôle d'un chauffage à reflux?
- d) Quel est le rôle de l'acide sulfurique?
- e) Quel est le rôle de la pierre ponce?
- f) Calculer la quantité molaire maximale de l'ester que l'on peut obtenir.
- g) La quantité d'ester obtenue à la fin de la synthèse est  $n_{\text{Ester}} = 0,04 \text{ mol}$ , en déduire le rendement de cette estérification.



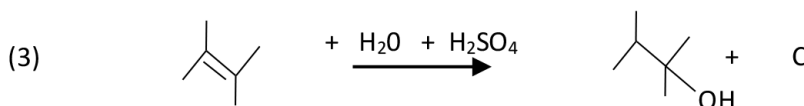
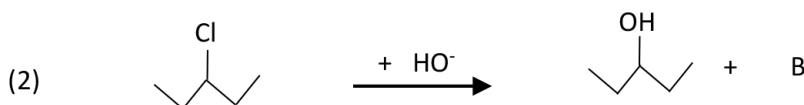
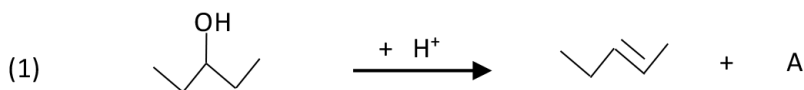
#### EXERCICE 5 Transformations d'une molécule organique

Le réducteur tétrahydroaluminate de lithium  $\text{LiAlH}_4$  réduit les cétones et les esters en alcool. Le tétraborate de sodium  $\text{NaBH}_4$  réduit les cétones en alcool mais n'a aucune action sur les esters.

- a) Lequel des deux réducteurs est chimiosélectif?
- b) Donner les résultats de l'action de  $\text{LiAlH}_4$  et de  $\text{NaBH}_4$  sur les molécules suivantes:



- c À quelle catégorie de réaction (addition, élimination ou substitution) appartiennent les réactions dont les équations sont données ci-dessous :



- d Donner les formules des produits A, B et C.



### EXERCICE 6 Question ouverte

Au cours de la synthèse de l'ester éthanoate d'isoamyle à saveur et odeur de banane, on a mélangé  $n_{\text{Acide}} = 1,1$  mol d'acide éthanoïque et une quantité  $n_{\text{Alcool}} = 0,21$  mol d'alcool isoamylique. À la fin de la synthèse on a obtenu 12 mL d'éthanoate d'isoamyle.

Données :

- La masse molaire de l'ester est  $M_{\text{Ester}} = 88 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- La masse volumique de l'ester est  $\rho_{\text{Ester}} = 0,87 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ .

Quel est le rendement de de cette synthèse?



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Le script du programme Python donné ci-dessous permet de calculer le rendement de la synthèse d'un ester.

```
# Programme de calcul du rendement de la synthèse d'un ester
# Volumes initiaux des réactifs.
# Volume initial de l'acide en mL.
V_Acide = .....
# Volume initial de l'alcool en mL.
V_Alcool = .....
# Masses volumiques des réactifs en g/mL.
# Masse volumique de l'acide en g/mL.
Rau_Acide = .....
```

```

# Masse volumique de l'alcool en g/mL.
Rau_Alcool = .....
# Masses molaires des réactifs et de l'ester en g/mol.
# Masse molaire de l'ester en g/mol.
M_Ester = .....
# Masse molaire de l'acide en g/mol.
M_Acide = .....
# Masse molaire de l'alcool en g/mol.
M_Alcool = .....
# Masse de l'ester obtenue à la fin de la synthèse en g.
M_Ester = .....
# Calcul des quantités initiales des réactifs.
n_Acide =
n_Alcool =
# Calcul de la quantité de matière d'ester synthétisée.
n_Ester = .....
# Calcul du rendement de la synthèse.
if nAcide > nAlcool:
print("L'acide est en excès \nLe rendement = ", round(.....,2))
elif nAlcool > nAcide:
print("L'alcool est en excès \nLe rendement = ", round(.....,2))
else:
print("Le mélange réactionnel est dans les proportions stoechiométriques \nLe rendement = ", round(.....,2))

```

Au cours d'une synthèse de l'ester éthanoate de benzyle, le mélange réactionnel est composé de 12,0 mL d'acide éthanoïque et de 30,0 mL d'alcool benzylique. La masse de l'ester obtenue à la fin de la synthèse est  $m = 15,9$  g.

Cet ester a une masse molaire  $M = 150$  g.mol<sup>-1</sup>.

Données:

Composé	Acide éthanoïque	Alcool benzylique
Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )	60	108
Masse volumique (g.mL <sup>-1</sup> )	1,05	1,04


- Compléter la rubrique du programme liée aux volumes initiaux des réactifs.
- Compléter la rubrique du programme liée aux masses volumiques des réactifs.
- Compléter la rubrique du programme liée aux masses molaires des réactifs et de l'ester.
- Compléter la rubrique du programme liée à la masse de l'ester obtenue à la fin de la synthèse.

- e Compléter la rubrique du programme liée aux calculs des quantités initiales des réactifs.
- f Compléter la rubrique du programme liée au calcul de la quantité de matière d'ester synthétisée.
- g Compléter la rubrique du programme liée au calcul du rendement de la synthèse.
- h Exécuter le programme et donner les résultats affichés.


**EXERCICE 8 Protocole TP ECE**

Proposer un protocole pour synthétiser l'ester éthanoate de benzyle à partir de l'acide éthanoïque et de l'alcool benzylique.

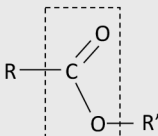
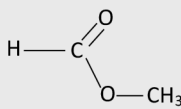
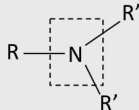
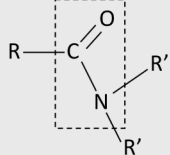
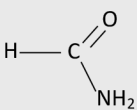
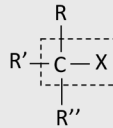
## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  C'est quoi la formule topologique d'une molécule?

- + C'est une représentation de molécules organiques où seuls les hétéroatomes (O, N, Cl, ...) sont représentés et les liaisons covalentes sont représentées par des traits.

2  Donner pour chacune des familles organiques suivantes, la formule générale, le nom du groupe caractéristique et un exemple:

- + Ester, amine, amide, dérivé halogéné.

Formule générale	Groupe caractéristique	Exemple
	Ester	 Méthanoate de méthyle
	Amine	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—NH}_2$ Ethanamine
	Amide	 Méthanamide
	Halogénoalcane	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—Cl}$ Chlorure d'éthyle

3  C'est quoi l'isomérie de constitution des molécules?

- + Des isomères de constitution sont des molécules de même formule brute, mais d'enchaînement d'atomes différent.

4  Par quels moyens peut-on augmenter la vitesse d'une synthèse organique?

- + Température du milieu réactionnel;
- + Concentration initiale des réactifs;
- + Nature du solvant;
- + Catalyseur.

5  Quelles sont les différentes étapes d'une synthèse organique?

- + La transformation chimique;
- + L'extraction du produit de synthèse de son milieu réactionnel;
- + L'identification du produit de synthèse;
- + La purification du produit de synthèse.

6  Rappeler la définition du rendement d'une synthèse organique et comment l'améliorer?

$$+ \quad R(\text{en } \%) = \frac{n_{\text{obtenue}}(\text{en mol})}{n_{\text{théorique}}(\text{en mol})} \times 100$$

Le rendement peut être amélioré par:


- Introduction d'un excès d'un réactif;
- Élimination d'un produit.

7  C'est quoi une réaction d'addition, de substitution et d'élimination?


- + Addition: Deux molécules s'associent pour donner une nouvelle molécule avec disparition d'une double liaison.
- + Substitution: Un atome ou un groupe d'atomes d'une molécule est remplacé par un nouvel atome ou groupe d'atomes.
- + Élimination: Une molécule se transforme en une autre molécule avec formation d'une double liaison.

8  C'est quoi un réactif chimiosélectif? Donner un exemple.

- + C'est un réactif qui ne peut réagir qu'avec un seul groupe caractéristique.  
Exemple:  $\text{NaBH}_4$  réduit les cétones en alcool mais ne réduit pas les esters.

9  C'est quoi une molécule polyfonctionnelle? Que signifie protéger et déprotéger une fonction d'une molécule polyfonctionnelle lors d'une synthèse organique?

- + Une molécule polyfonctionnelle porte plusieurs groupes caractéristiques.
- + Protéger une fonction c'est bloquer temporairement sa réactivité.
- + Déprotéger une fonction c'est la rendre réactive à nouveau.

10  C'est quoi une synthèse écoresponsable?

- + C'est une synthèse qui utilise des procédés chimiques permettant de réduire et d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses.

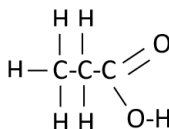
## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Formules des molécules

L'acide propanoïque est un acide carboxylique de formule brute  $C_3H_6O_2$ .

a. Formule développée:

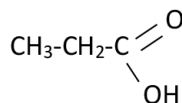
Formule développée



Tous les atomes de la molécule sont représentés et les traits des liaisons entre atomes sont également représentés.

b. Formule semi-développée:

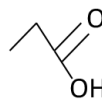
Formule semi-développée



Tous les atomes de la molécule sont représentés. Les traits des liaisons entre Carbone et hydrogène, entre Oxygène et hydrogène ne sont pas représentés.

c Formule topologique:

Formule topologique

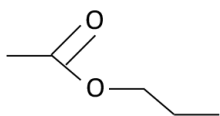


Seuls les hétéroatomes (O, N, H des groupes caractéristiques, ...) de la molécule sont représentés. Les traits des liaisons entre Carbone et hydrogène ne sont pas représentés.

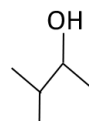
### EXERCICE 2 Formules topologiques

Les formules topologiques associées aux noms des molécules:

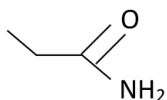
(1)



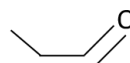
(5)



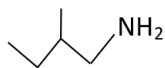
(2)



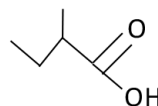
(6)



(3)



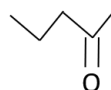
(7)



(4)

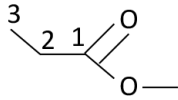


(8)

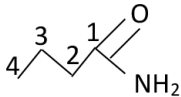


**EXERCICE 3 Nomenclature**

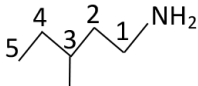
Les noms des molécules sont donnés ci-dessous :



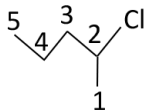
Propanoate de méthyle



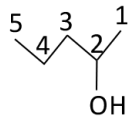
Butanamide



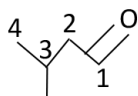
3-méthylpentanamine



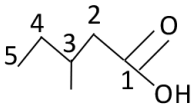
2-Chloropentane



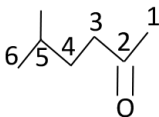
Pentan-2-ol



3-méthylbutanal



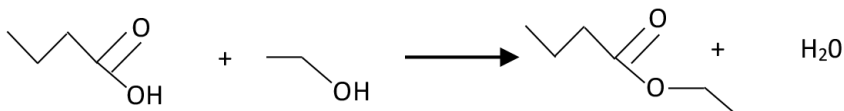
Acide 3-méthylpentanoïque



5-méthylhexan-2-one

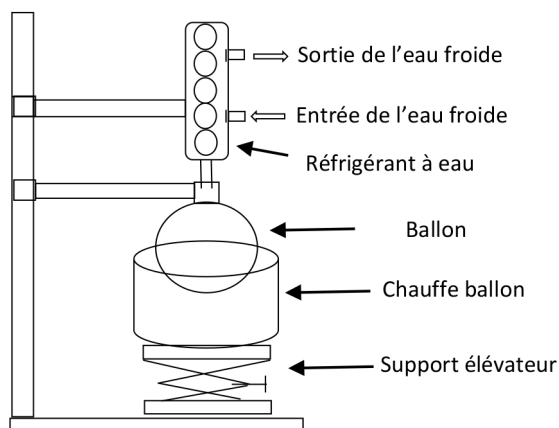
**EXERCICE 4 Estérification**

- a) L'équation de cette réaction d'estérification:



Le nom de l'ester obtenu est le butanoate d'éthyle.

- b) Le schéma du montage de chauffage à reflux:



- c) Le rôle d'un chauffage à reflux:  
Chauffer le mélange réactionnel pour l'activer sans perdre ni réactifs ni produits.
- d) Le rôle de l'acide sulfurique:  
L'acide sulfurique joue le rôle d'un catalyseur qui active la transformation chimique.
- e) Le rôle de la pierre ponce:  
La pierre ponce homogénéise la température dans le mélange réactionnel et régule son ébullition.
- f) Calcul de la quantité molaire maximale de l'ester que l'on peut obtenir:  
Elle correspond à la quantité initiale du réactif limitant qui dans ce cas l'éthanol.  
Donc

$$n_{\max} = 0,20 \text{ mol}$$

- g) Le rendement R de cette estérification:

$$R = \frac{n_{\text{Ester}}}{n_{\max}}$$

### + Application numérique:

$$R = \frac{0,04}{0,20}$$

Soit

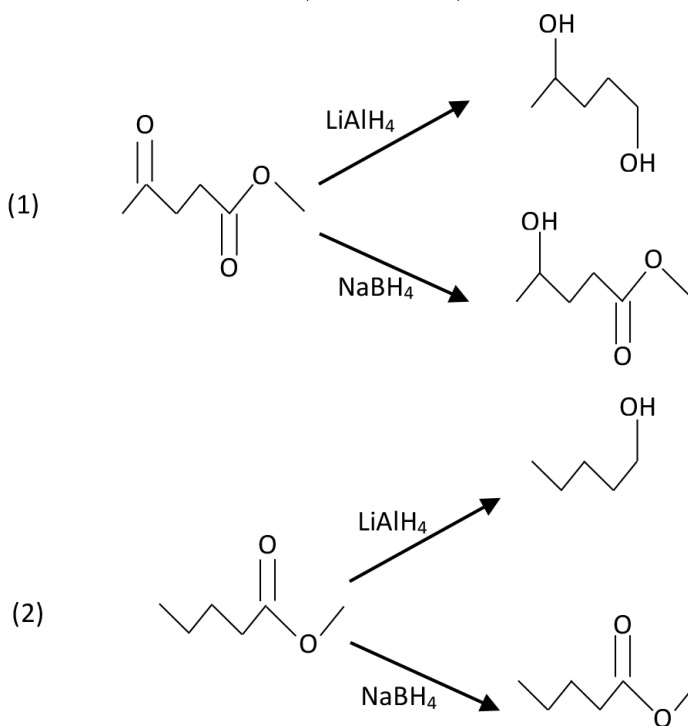
$$R = 0,20$$

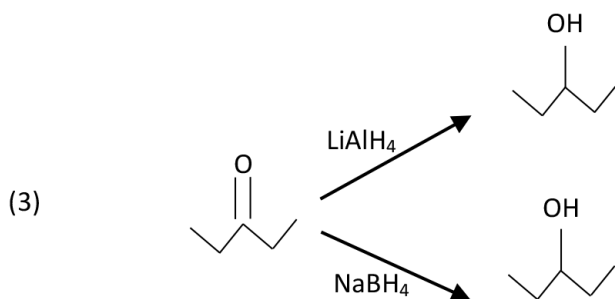
Le rendement de cette estérification est de 20%.

### EXERCICE 5 Transformations d'une molécule organique

Le réducteur tétrahydroaluminat de lithium  $\text{LiAlH}_4$  réduit les cétones et les esters en alcool. Le tétraborate de sodium  $\text{NaBH}_4$  réduit les cétones en alcool mais n'a aucune action sur les esters.

- a** Le réducteur chimiosélectif est le tétraborate de sodium  $\text{NaBH}_4$ .  
**b** Les résultats de l'action de  $\text{LiAlH}_4$  et de  $\text{NaBH}_4$  sur les molécules suivantes:





- c** Catégories des réactions:  
 (1) est une élimination.  
 (2) est une substitution.  
 (3) est addition.
- d** Donner les formules des produits A, B et C.  
 A =  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ .  
 B =  $\text{Cl}^-(\text{aq})$ .  
 C =  $\text{H}^+(\text{aq})$ .

### EXERCICE 6 Question ouverte

- Calcul de la masse de l'ester obtenue:

On sait que,  $\rho_{\text{Ester}} = \frac{m_{\text{Ester}}}{V_{\text{Ester}}}$

Donc

$$m_{\text{Ester}} = \rho_{\text{Ester}} \times V_{\text{Ester}}$$

**+ Application numérique:**

$$m_{\text{Ester}} = 0,87 \times 12$$

Soit

$$m_{\text{Ester}} = 10 \text{ g}$$

- Calcul de la quantité de matière de l'ester obtenue:

On sait que,  $n_{\text{Ester}} = \frac{m_{\text{Ester}}}{M_{\text{Ester}}}$

**+ Application numérique:**

$$n_{\text{Ester}} = \frac{10}{88}$$

Soit

$$n_{\text{Ester}} = 0,11 \text{ mol}$$

- Calcul de  $n_{\max}$  :  
D'après les quantités initiales des deux réactifs, c'est l'alcool qui est le réactif limitant. Il vient :

$$n_{\max} = n_{\text{Alcool}} = 0,21 \text{ mol}$$

- Calcul du rendement R :

$$R = \frac{n_{\text{Ester}}}{n_{\max}}$$

**+ Application numérique :**

$$R = \frac{0,11}{0,21}$$

Soit

$$R = 0,52$$

Le rendement de de cette synthèse est de 52%.

### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

- a** La rubrique du programme liée aux volumes initiaux des réactifs complétée :
- ```
# Volumes initiaux des réactifs.
# Volume initial de l'acide en mL.
V_Acide = 12
# Volume initial de l'alcool en mL.
V_Alcool = 30
```
- b** La rubrique du programme liée aux masses volumiques des réactifs complétée :
- ```
# Masses volumiques des réactifs en g/mL.
# Masse volumique de l'acide en g/mL.
Rau_Acide = 1.05
# Masse volumique de l'alcool en g/mL.
Rau_Alcool = 1.04
```
- c** La rubrique du programme liée aux masses molaires des réactifs et de l'ester complétée :
- ```
# Masses molaires des réactifs et de l'ester en g/mol.
# Masse molaire de l'ester en g/mol.
M_Ester = 150
# Masse molaire de l'acide en g/mol.
M_Acide = 60
# Masse molaire de l'alcool en g/mol.
M_Alcool = 108
```

- d** La rubrique du programme liée à la masse de l'ester obtenue à la fin de la synthèse complétée:

```
# Masse de l'ester obtenue à la fin de la synthèse en g.
m_Ester = 15.9
```

- e** La rubrique du programme liée aux calculs des quantités initiales des réactifs complétée:

```
# Calcul des quantités initiales des réactifs.
n_Acide = V_Acide*Rau_Acide/M_Acide
n_Alcool = V_Alcool*Rau_Alcool/M_Alcool
```

- f** La rubrique du programme liée au calcul de la quantité de matière d'ester synthétisée complétée:

```
# Calcul de la quantité de matière d'ester synthétisée.
n_Ester = m_Ester/M_Ester
```

- g** La rubrique du programme liée au calcul du rendement de la synthèse complétée:

```
# Calcul du rendement de la synthèse.
if n_Acide > n_Alcool:
    print("L'acide est en excès \nLe rendement = ",
          round(n_Ester/n_Alcool,2))
elif n_Alcool > n_Acide:
    print("L'alcool est en excès \nLe rendement = ",
          round(n_Ester/n_Acide,2))
else:
    print("Le mélange réactionnel est dans les proportions stoechiométriques \nLe rendement = ",round(n_Ester/n_Acide,2))
```

- h** Exécuter le programme et donner les résultats affichés.

```
L'alcool est en excès
Le rendement = 0.5
```

Voici le script du programme Python complété:

```
# Programme de calcul du rendement de la synthèse d'un ester
# Volumes initiaux des réactifs.
# Volume initial de l'acide en mL.
V_Acide = 12
# Volume initial de l'alcool en mL.
V_Alcool = 30
```

```

# Masses volumiques des réactifs en g/mL.
# Masse volumique de l'acide en g/mL.
Rau_Acide = 1.05
# Masse volumique de l'alcool en g/mL.
Rau_Alcool = 1.04
# Masses molaires des réactifs et de l'ester en g/mol.
# Masse molaire de l'ester en g/mol.
M_Ester = 150
# Masse molaire de l'acide en g/mol.
M_Acide = 60
# Masse molaire de l'alcool en g/mol.
M_Alcool = 108
# Masse de l'ester obtenue à la fin de la synthèse en g.
m_Ester = 15.9
# Calcul des quantités initiales des réactifs.
n_Acide = V_Acide*Rau_Acide/M_Acide
n_Alcool = V_Alcool*Rau_Alcool/M_Alcool
# Calcul de la quantité de matière d'ester synthétisée.
n_Ester = m_Ester/M_Ester
# Calcul du rendement de la synthèse.
if n_Acide > n_Alcool:
print("L'acide est en excès \nLe rendement = ",
round(n_Ester/n_Alcool,2))
elif n_Alcool > n_Acide:
print("L'alcool est en excès \nLe rendement = ",
round(n_Ester/n_Acide,2))
else:
print("Le mélange réactionnel est dans les proportions stoechio-
métriques \nLe rendement = ",round(n_Ester/n_Acide,2))

```

### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Protocole pour synthétiser l'ester éthanoate de benzyle à partir de l'acide éthanoïque et de l'alcool benzylique:

#### + Liste de matériel:

- Ballon de 100 mL;
- Chauffe-ballon;
- Réfrigérant à eau;
- Potence + pincettes;
- Support élévateur;
- 1 bécher;

- 1 erlenmeyer;
- 1 spatule;
- 2 éprouvettes graduées;
- Entonnoir;
- Ampoule à décanter + support.

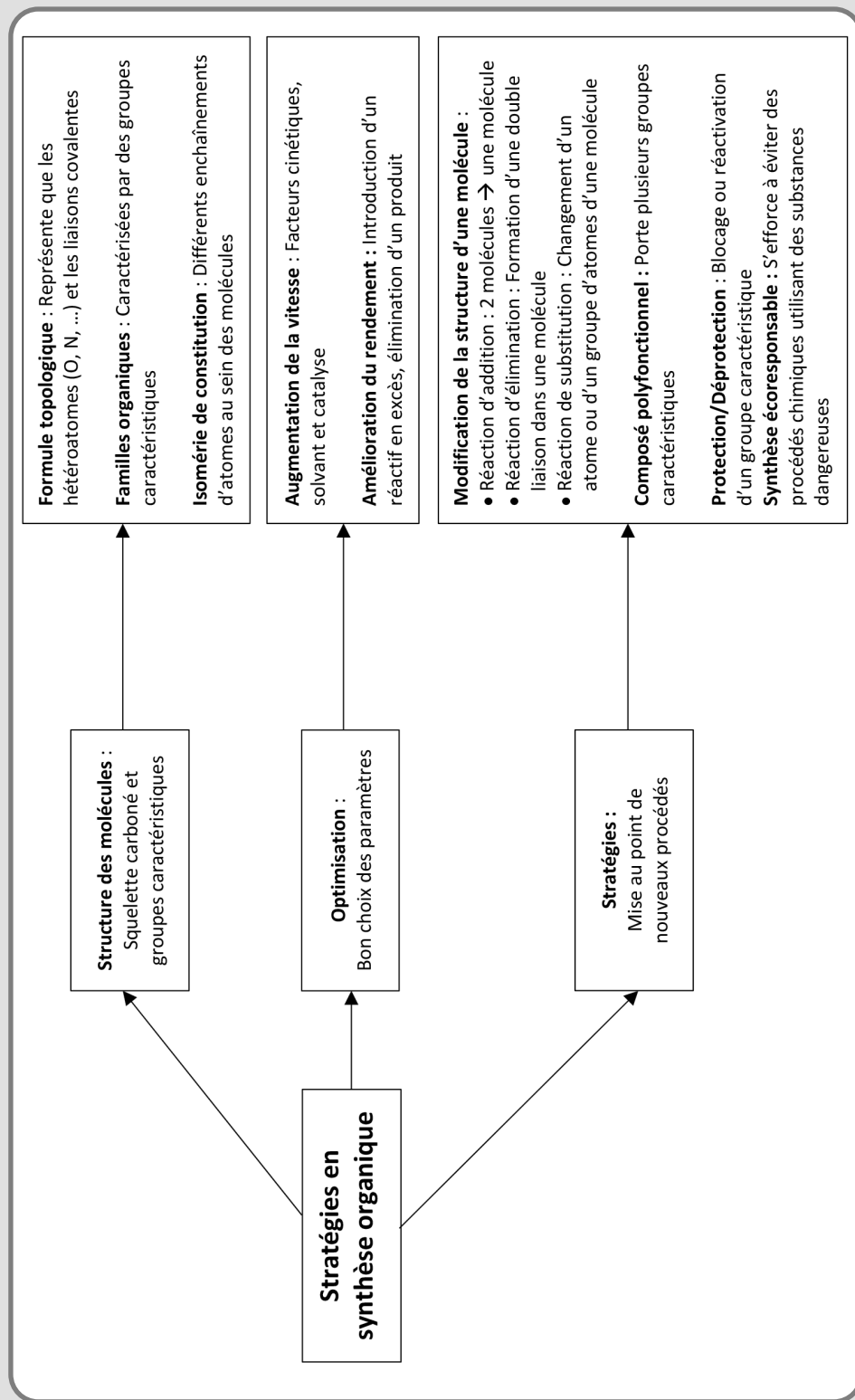
**+ Liste de produits:**

- Acide éthanoïque;
- Alcool benzylique;
- Acide sulfurique concentré;
- Solution d'eau salée saturée;
- Sulfate de magnésium anhydre;
- Solution d'hydrogénocarbonate de sodium;
- Grains de pierre ponce;
- Coton de verre.

**+ Protocole:**

- Sous la hotte aspirante, mesurer à l'aide de deux éprouvettes graduées, 12 mL d'alcool benzylique et 15 mL d'acide éthanoïque; introduire les contenus des deux éprouvettes dans le ballon;
- Ajouter dans le ballon avec précaution, environ 10 gouttes d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce;
- Adapter au ballon un réfrigérant à eau et chauffer à reflux pendant 30 min;
- Au bout de 30 min arrêter le chauffage et baisser le chauffe-ballon pour que le ballon refroidisse plus vite;
- Transvaser le contenu du ballon dans une ampoule à décanter;
- Verser environ 25 mL d'eau salée dans l'ampoule à décanter. Après agitation, laisser décanter puis éliminer la phase aqueuse;
- Ajouter environ 25 mL d'hydrogénocarbonate de sodium dans l'ampoule à décanter;
- Après agitation et dégazage, laisser décanter;
- Évacuer la phase aqueuse inférieure puis récupérer la phase organique;
- Sécher la phase organique dans un bécher en ajoutant 2 ou 3 spatules de sulfate de magnésium anhydre;
- Filtrer la phase organique déshydratée sur coton de verre placé dans un entonnoir;
- Peser la masse de l'ester éthanoate de benzyle obtenu.

STRATÉGIES EN SYNTHÈSE ORGANIQUE



# DESCRIPTION D'UN MOUVEMENT


## LES 10 QUESTIONS

1  Quelles sont les grandeurs que l'on utilise pour décrire le mouvement d'un objet modélisé par un point?

↳ .....  
.....

2  Quelle est l'expression du vecteur position  $\overline{OM}(t)$  dans un repère (Oxyz)?

↳ .....  
.....

3  Comment représente-t-on en physique la dérivée de la fonction  $x(t)$ ?


↳ .....  
.....

4  Quelles sont les expressions des vecteurs vitesse  $\vec{v}(t)$  et accélération  $\vec{a}(t)$  dans un repère (Oxyz)?

↳ .....  
.....

5  Par quoi caractérise-t-on un mouvement?

↳ .....  
.....

- 6  Donner les caractéristiques des mouvements: rectiligne et uniforme, rectiligne et non uniforme, circulaire et uniforme.




.....  
 .....

- 7  Quel repère utilise-t-on pour décrire un mouvement circulaire? Donner ses caractéristiques.



.....  
 .....

- 8  Quelle est l'expression du vecteur accélération  $\vec{a}(t)$  dans un repère de Frenet?




.....  
 .....

- 9  Quelle est l'expression du vecteur accélération  $\vec{a}(t)$  dans le cas d'un mouvement circulaire et uniforme?



.....  
 .....

- 10  Au cours d'un mouvement circulaire et uniforme, les vecteurs vitesse  $\vec{v}(t)$  et accélération  $\vec{a}(t)$  sont-ils parallèles?



.....  
 .....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES

**EXERCICE 1** Vecteur position  $\overline{OM}(t)$ 

Un système physique assimilé à un point M effectue un mouvement dont le vecteur position  $\overline{OM}(t)$  exprimé dans un repère cartésien est tel que :

$$\overline{OM}(t) = \begin{pmatrix} t^2 - 4 \\ 3t - 1 \\ 4 \end{pmatrix}$$

t est le temps exprimé en secondes.

- a** Donner les expressions des fonctions  $x(t)$ ,  $y(t)$  et  $z(t)$  qui sont exprimées en m.
- b** Pourquoi ce mouvement peut être qualifié de plan ?
- c** Déterminer les coordonnées du vecteur position  $\overline{OM}(t)$  à la date  $t = 1,0$  s.
- d** Calculer la distance OM entre l'origine du repère et le point M à cette date.

**EXERCICE 2** Vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$ 

Le mouvement d'une balle de tennis est décrit par le vecteur position  $\overline{OM}(t)$  donné par :

$$\overline{OM}(t) = \begin{pmatrix} -10t + 7 \\ -5t^2 + 7 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- a** Déterminer le vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$  de la balle de tennis.
- b** Donner les expressions des fonctions  $v_x(t)$ ,  $v_y(t)$  et  $v_z(t)$ .
- c** Quelle est la nature du mouvement suivant les axes (Ox), (Oy) et (Oz).
- d** Calculer la valeur de la vitesse de la balle à  $t = 2,0$  s.


**EXERCICE 3 Vecteur accélération  $\vec{a}(t)$** 

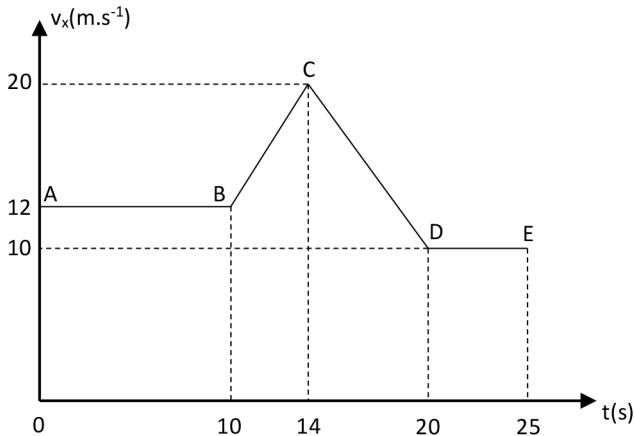
Le vecteur position du mouvement d'une balle de golf est tel que:

$$\overline{OM}(t) = \begin{pmatrix} -9,8t + 6 \\ -4,9t^2 + 6t \\ 8 \end{pmatrix}$$

- Déterminer le vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$  de la balle de golf.
- Déterminer le vecteur accélération  $\vec{a}(t)$  de la balle de golf.
- Quelle est la nature du mouvement suivant l'axe (Ox)?
- Quelle est la nature du mouvement suivant l'axe (Oy)?


**EXERCICE 4 Les phases d'un mouvement**

La figure ci-dessous, donne les variations de la vitesse d'un système au cours de son mouvement sur une ligne droite.



Déterminer l'accélération et la nature du mouvement du système au cours des phases:

- A-B;
- B-C;
- C-D;
- D-E.



### EXERCICE 5 Repère de Frenet

L'accélération d'un système en mouvement circulaire de rayon  $R = 0,100$  m est donnée dans le repère de Frenet par l'expression suivante:

$$\vec{a} = 40 \times \vec{n}$$

- a) Pourquoi le mouvement du système est circulaire et uniforme?
- b) En déduire la valeur  $v$  de la vitesse du système.
- c) Donner l'expression du vecteur vitesse  $\vec{v}$ .



### EXERCICE 6 Question ouverte

Un système effectue autour d'un centre attractif un mouvement circulaire et uniforme de vitesse  $v = 6,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  et d'accélération  $a = 10,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

Calculer la valeur du rayon  $R$  de la trajectoire.



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Pour déterminer la vitesse  $V_i$  d'un système en un point  $M_i$  de sa trajectoire, on utilise les formules suivantes:

$$\begin{cases} v_{xi} = \frac{x_{i+1} - x_i}{\tau} \\ v_{yi} = \frac{y_{i+1} - y_i}{\tau} \end{cases}$$

$\tau$  est l'écart temporel entre deux points consécutifs de la trajectoire.

Pour la suite de l'exercice,  $\tau = 40$  ms.

Considérons le script du programme Python ci-dessous.

```
# Script pour calculer les valeurs de la vitesse à partir des positions
import matplotlib.pyplot as plt
import math
t = [0, 0.04, 0.08, 0.12, 0.16, 0.2, 0.24, 0.28, 0.32, 0.36, 0.4, 0.44,
0.48, 0.52, 0.56, 0.6, 0.64, 0.68, 0.72, 0.76, 0.8, 0.84, 0.88]
x = [0, 0.07, 0.14, 0.21, 0.28, 0.35, 0.42, 0.49, 0.56, 0.63, 0.7, 0.77,
0.84, 0.91, 0.98, 1.05, 1.12, 1.19, 1.26, 1.33, 1.4, 1.47, 1.54]
y = [0, 0.18, 0.34, 0.49, 0.62, 0.74, 0.84, 0.92, 0.99, 1.04, 1.08, 1.1,
1.11, 1.1, 1.08, 1.04, 0.98, 0.91, 0.82, 0.72, 0.6, 0.47, 0.32]
# Le pas de temps en s
Dt = .....
```

```

# Initialisation des listes vx et vy
vx = []
vy = []
# Calcul et Remplissage de la liste vx
for i in range(0,22):
vx.append(.....)
# Calcul et Remplissage de la liste vy
for i in range(0,22):
vy.append(.....)
# Suppression d'un élément de la liste t
del t[22]
# Représentation de la trajectoire sous forme d'un nuage de points
plt.plot(t,vx,'o',markersize =4)
plt.plot(t,vy,'o',markersize =4)
# Configuration du graphique
plt.xlabel("t (en s)")
plt.ylabel("vx et vy (en m/s)")
plt.title("Vitesses du mouvement")
plt.show()

```

- a À quoi sert ce programme?
- b Compléter la rubrique du programme liée au pas de temps?
- c Compléter les deux rubriques liées au calcul et au remplissage des listes vx et vy.
- d Quelle est la position de l'élément t[22] dans la liste t.
- e Pourquoi le programme supprime l'élément t[22].
- f Exécuter le programme et en déduire la nature du mouvement du système suivant les axes (Ox) et (Oy).



### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Protocole expérimental permettant de déterminer la trajectoire d'un mouvement plan d'une balle de volley ball lancée lors d'un service.

#### + Liste de matériel:

- Ballon de volley ball;
- Caméra;
- Règle de 1 m pour tableau;
- Logiciel de pointage sur pc ou smartphone.

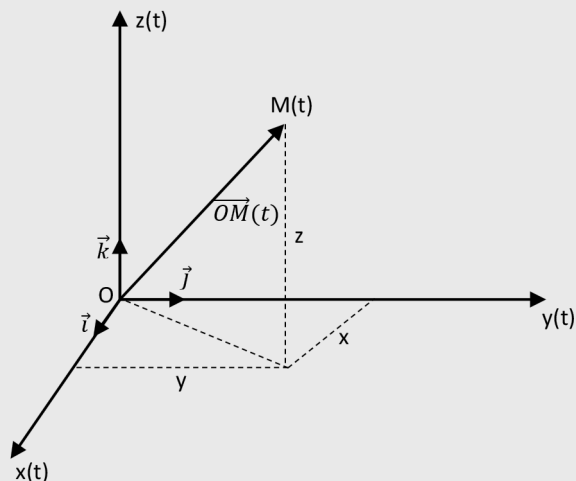
## CORRIGÉS DES QUESTIONS


- 1  Quelles sont les grandeurs que l'on utilise pour décrire le mouvement d'un objet modélisé par un point?

+ Les vecteurs, position, vitesse et accélération.

- 2  Quelle est l'expression du vecteur position  $\overrightarrow{OM}(t)$  dans un repère (Oxyz)?

+  $\overrightarrow{OM}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$  ou bien  $\overrightarrow{OM}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix}$



- 3  Comment représente-t-on en physique la dérivée de la fonction  $x(t)$ ?


+  $\frac{dx(t)}{dt}$

- 4  Quelles sont les expressions des vecteurs vitesse  $\vec{v}(t)$  et accélération  $\vec{a}(t)$  dans un repère (Oxyz)?


$$\begin{aligned} + \quad \vec{v}(t) &= \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} = \frac{dx(t)}{dt} \vec{i} + \frac{dy(t)}{dt} \vec{j} + \frac{dz(t)}{dt} \vec{k} \\ + \quad \vec{a}(t) &= \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{dv_x(t)}{dt} \vec{i} + \frac{dv_y(t)}{dt} \vec{j} + \frac{dv_z(t)}{dt} \vec{k} \end{aligned}$$

- 5  Par quoi caractérise-t-on un mouvement?

- + Par sa trajectoire et la nature de sa vitesse.

- 6  Donner les caractéristiques des mouvements: rectiligne et uniforme, rectiligne et non uniforme, circulaire et uniforme.

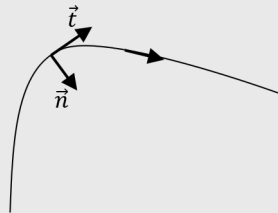
- + Rectiligne et uniforme: Trajectoire est une droite, le vecteur vitesse est constant (même valeur, même direction et même sens) et le vecteur accélération est nul.
- + Rectiligne et non uniforme: Trajectoire est une droite, l'accélération est non nulle et la vitesse est soit croissante ou décroissante.
- + Circulaire et uniforme: Trajectoire est un cercle, la vitesse est constante en valeur mais pas en direction, le vecteur accélération est non nul et orienté vers le centre du cercle.

- 7  Quel repère utilise-t-on pour décrire un mouvement circulaire? Donner ses caractéristiques.

- + Le repère de Frenet  $(\vec{n}, \vec{t})$ .

Le vecteur unitaire  $\vec{t}$  est tangent à la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement.

Le vecteur unitaire  $\vec{n}$  est perpendiculaire à  $\vec{t}$  et orienté vers l'intérieur de la trajectoire.

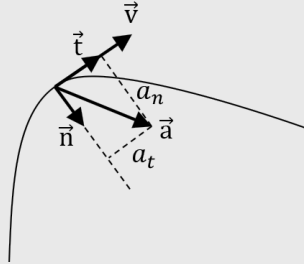



- 8  Quelle est l'expression du vecteur accélération  $\vec{a}(t)$  dans un repère de Frenet?

+ 
$$\vec{a}(t) = \frac{dv(t)}{dt} \vec{t} + \frac{v^2}{R} \vec{n}$$

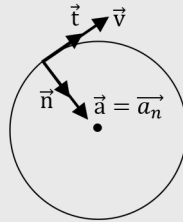
$\vec{a}_t = \frac{dv(t)}{dt} \vec{t}$  : L'accélération tangentielle;


$\vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \vec{n}$  : L'accélération normale.



- 9  Quelle est l'expression du vecteur accélération  $\vec{a}(t)$  dans le cas d'un mouvement circulaire et uniforme?

+ 
$$\vec{a}(t) = \vec{a}_n(t) = \frac{v^2}{R} \vec{n}$$



- 10  Au cours d'un mouvement circulaire et uniforme, les vecteurs vitesse  $\vec{v}(t)$  et accélération  $\vec{a}(t)$  sont-ils parallèles?

+ 
$$\vec{v} = v \cdot \vec{t} \text{ et } \vec{a} = \frac{v^2}{R} \cdot \vec{n}$$

Les deux vecteurs sont perpendiculaires.

## CORRIGÉS DES EXERCICES

**EXERCICE 1** Vecteur position  $\overline{OM}(t)$ 

Un système physique assimilé à un point M effectue un mouvement dont le vecteur position  $\overline{OM}(t)$  exprimé dans un repère cartésien est tel que :

$$\overline{OM}(t) = \begin{pmatrix} t^2 - 4 \\ 3t - 1 \\ 4 \end{pmatrix}$$

t est le temps exprimé en secondes.

$$a \quad \begin{cases} x(t) = t^2 - 4 \\ y(t) = 3t - 1 \\ z(t) = 4 \end{cases}$$

b. Mouvement plan :

Ce mouvement peut être qualifié de plan car z(t) qui est la coordonnée suivant l'axe Oz est constante.

c. Les coordonnées du vecteur position  $\overline{OM}(t)$  à la date t = 1,0 s :

À t = 1,0 s, on peut écrire

$$\overline{OM}(1,0) = \begin{pmatrix} (1,0)^2 - 4 \\ 3 \times 1,0 - 1 \\ 4 \end{pmatrix}$$

Soit

$$\overline{OM}(1,0) = \begin{pmatrix} -3 \\ 2 \\ 4 \end{pmatrix}$$

d. Calcul de la distance OM entre l'origine du repère et le point M :

$$OM(1,0) = \sqrt{(-3)^2 + 2^2 + 4^2}$$

Soit

$$OM(1,0) = 5,4 \text{ m}$$

**EXERCICE 2** Vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$ 

Le mouvement d'une balle de tennis est décrit par le vecteur position  $\overline{OM}(t)$  donné par:

$$\overline{OM}(t) = \begin{pmatrix} -10t + 7 \\ -5t^2 + 7t \\ 0 \end{pmatrix}$$

- a** Le vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$  de la balle de tennis:  
Par définition,

$$\vec{v}(t) = \frac{d\overline{OM}(t)}{dt}$$

Soit

$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} \frac{d(-10t+7)}{dt} \\ \frac{d(-5t^2+7t)}{dt} \\ \frac{d(0)}{dt} \end{pmatrix}$$

Ce qui donne:

$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} -10 \\ -10t + 7 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- b** Les expressions des fonctions  $v_x(t)$ ,  $v_y(t)$  et  $v_z(t)$ :

$$\begin{cases} v_x(t) = -10 \\ v_y(t) = -10t + 7 \\ v_z(t) = 0 \end{cases}$$

- c** La nature du mouvement suivant les axes (Ox), (Oy) et (Oz):

$v_x(t) = -10$ . La vitesse suivant l'axe (Ox) reste constante, le mouvement est uniforme.

$v_y(t) = -10t + 7$  donc la valeur de la vitesse varie en fonction du temps. Suivant l'axe (Oy) est le mouvement est uniformément varié.

$v_z(t) = 0$ , il n'y a pas de mouvement suivant l'axe (Oz).

- d** La valeur de la vitesse de la balle à  $t = 2,0$  s :

$$v(2,0) = \sqrt{(-10)^2 + (-10 \times 2,0 + 7)^2 + 0^2}$$

Soit

$$v(2,0) = 16,4 \text{ m.s}^{-1}$$

### EXERCICE 3 Vecteur accélération $\vec{a}(t)$

Le vecteur position du mouvement d'une balle de golf est tel que :

$$\vec{OM}(t) = \begin{pmatrix} -9,8t + 6 \\ -4,9t^2 + 6t \\ 8 \end{pmatrix}$$

- a** Le vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$  de la balle de golf :

Il faut dériver le vecteur position :

$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{OM}(t)}{dt}$$

Soit

$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} \frac{d(-9,8t + 6)}{dt} \\ \frac{d(-4,9t^2 + 6t)}{dt} \\ \frac{d(8)}{dt} \end{pmatrix}$$

Ce qui donne :

$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} -9,8 \\ -9,8t + 6 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- b** Le vecteur accélération  $\vec{a}(t)$  de la balle de golf :

Il faut dériver le vecteur vitesse :

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt}$$

Soit

$$\vec{a}(t) = \begin{pmatrix} \frac{d(-9,8)}{dt} \\ \frac{d(-9,8t+6)}{dt} \\ \frac{d(0)}{dt} \end{pmatrix}$$

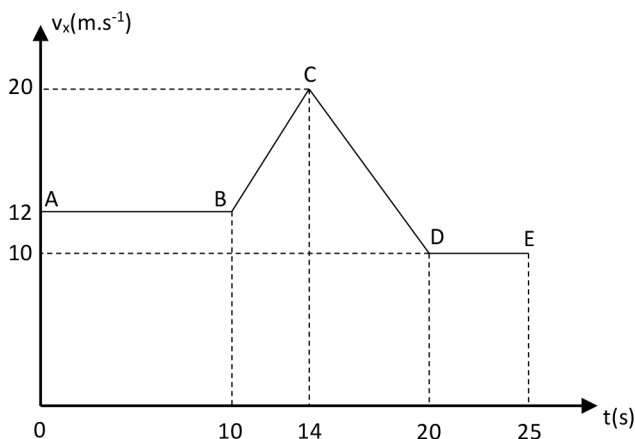
Ce qui donne:

$$\vec{a}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ -9,8 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- c** La nature du mouvement suivant l'axe (Ox):  
 $a_x = 0$ , le mouvement est rectiligne et uniforme.
- d** La nature du mouvement suivant l'axe (Oy):  
 $a_y = -9,8 < 0$ , le mouvement est uniformément décéléré.

#### EXERCICE 4 Les phases d'un mouvement

La figure ci-dessous, donne les variations de la vitesse d'un système au cours de son mouvement sur une ligne droite.



L'accélération et la nature du mouvement du système au cours des phases :

- Phase A-B:

La vitesse reste constante.

$$a = \frac{v_{xB} - v_{xA}}{t_B - t_A}$$

**+ Application numérique:**

$$a = \frac{12 - 12}{10 - 0}$$

Soit

$$a = 0 \text{ m.s}^{-2}$$

L'accélération est nulle. Le mouvement est rectiligne et uniforme.

- Phase B-C:

$$a = \frac{v_{xC} - v_{xB}}{t_C - t_B}$$

**+ Application numérique:**

$$a = \frac{20 - 12}{14 - 10}$$

Soit

$$a = 2,0 \text{ m.s}^{-2}$$

L'accélération est positive. Le mouvement est rectiligne et uniformément accéléré.

- C-D;

$$a = \frac{v_{xD} - v_{xC}}{t_D - t_C}$$

**+ Application numérique:**

$$a = \frac{10 - 20}{20 - 14}$$

Soit

$$a = -1,7 \text{ m.s}^{-2}$$

L'accélération est négative. Le mouvement est rectiligne et uniformément décéléré.

• D-E.

$$a = \frac{v_{xE} - v_{xD}}{t_E - t_D}$$

+ **Application numérique:**

$$a = \frac{10 - 10}{25 - 20}$$

Soit

$$a = 0 \text{ m.s}^{-2}$$

L'accélération est nulle. Le mouvement est rectiligne et uniforme.

### EXERCICE 5 Repère de Frenet

L'accélération d'un système en mouvement circulaire de rayon  $R = 0,100 \text{ m}$  est donnée dans le repère de Frenet par l'expression suivante:

$$\vec{a} = 40 \times \vec{n}$$

a) Pourquoi le mouvement du système est circulaire et uniforme?

L'expression générale de l'accélération dans le repère de Frenet est donnée par:

$$\vec{a} = \frac{v^2}{R} \times \vec{n} + \frac{dv}{dt} \times \vec{t}$$

D'après l'expression de  $\vec{a}$ , le terme du vecteur unitaire  $\vec{t}$  est nul.

Donc

$$\frac{dv}{dt} = 0$$

D'où

$v = \text{cste}$ . Le mouvement est circulaire et uniforme.

b) La valeur  $v$  de la vitesse du système:

En comparant les deux expressions de l'accélération, on peut écrire:

$$\frac{v^2}{R} = 40$$

Il vient

$$v^2 = 40 \times R$$

Soit

$$v = \sqrt{40 \times R}$$

+ Application numérique:

$$v = \sqrt{40 \times 0,100}$$

Soit

$$v = 2,0 \text{ m.s}^{-1}$$

- c L'expression du vecteur vitesse  $\vec{v}$  :

$$\vec{v} = 2,0 \times \vec{t}$$

**EXERCICE 6** Question ouverte

Un système effectue autour d'un centre attractif un mouvement circulaire et uniforme de vitesse  $v = 6,5 \text{ m.s}^{-1}$  et d'accélération  $a = 10,6 \text{ m.s}^{-2}$ .

Calcul de la valeur du rayon  $R$  de la trajectoire:

Puisque le mouvement est circulaire et uniforme, l'accélération s'écrit:

$$a = \frac{v^2}{R}$$

Il vient

$$R = \frac{v^2}{a}$$

+ Application numérique:

$$R = \frac{6,5^2}{10,6}$$

Soit

$$R = 4,0 \text{ m}$$

**EXERCICE 7** Le coup de pouce de Python

Pour déterminer la vitesse  $V_i$  d'un système en un point  $M_i$  de sa trajectoire, on utilise les formules suivantes:

$$\begin{cases} v_{xi} = \frac{x_{i+1} - x_i}{\tau} \\ v_{yi} = \frac{y_{i+1} - y_i}{\tau} \end{cases}$$

$\tau$  est l'écart temporel entre deux points consécutifs de la trajectoire.

Pour la suite de l'exercice,  $\tau = 40 \text{ ms}$ .

**a** Utilité du programme:

Le programme permet de déterminer les valeurs instantanées des deux vitesses  $v_x(t)$  et  $v_y(t)$  du système à partir des positions  $x(t)$  et  $y(t)$ .

**b** La rubrique du programme liée au pas de temps complétée:

```
# Le pas de temps en s
Dt =0.04
```

**c** Les deux rubriques liées au calcul et au remplissage des listes vx et vy complétées:

```
# Calcul et Remplissage de la liste vx
for i in range(0,22):
vx.append((x[i+1]-x[i])/Dt)
# Calcul et Remplissage de la liste vy
for i in range(0,22):
vy.append((y[i+1]-y[i])/Dt)
```

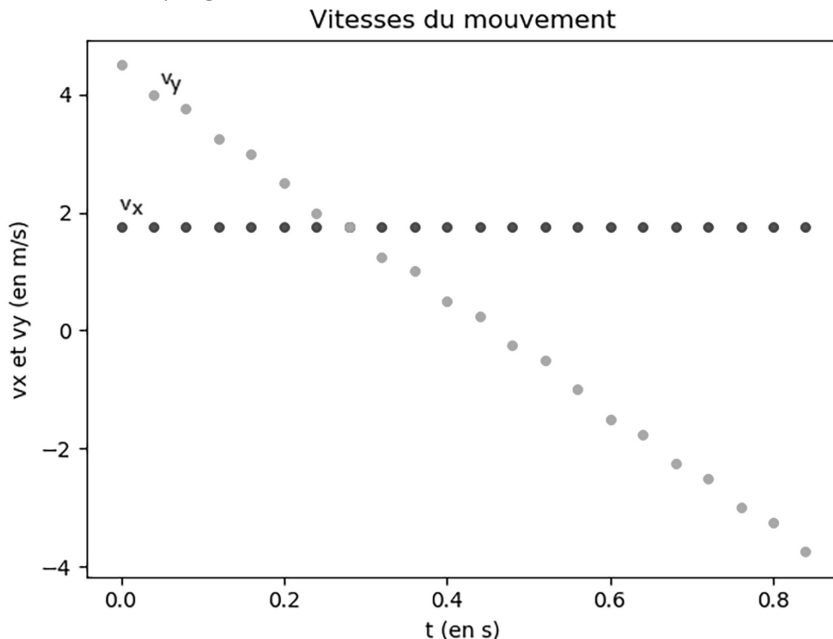
**d** La position de l'élément  $t[22]$  dans la liste t:

Sous Python, les listes sont numérotées à partir de zéro. Donc  $t[22]$  est le 23<sup>e</sup> élément.

**e** Pourquoi le programme supprime l'élément  $t[22]$ :

Car il est le dernier élément de la liste pour lequel on ne peut pas calculer les valeurs de la vitesse.

**f** Exécution du programme:



D'après les courbes des vitesses, on peut déduire que:

- Suivant l'axe (Ox), le mouvement est rectiligne et uniforme puisque la valeur de la vitesse reste constante.
- Suivant l'axe (Oy), la valeur de la vitesse varie de manière linéaire et le mouvement est uniformément varié.

Voici le script du programme Python complété:

```
# Script pour calculer les valeurs de la vitesse
import matplotlib.pyplot as plt
import math

t = [0, 0.04, 0.08, 0.12, 0.16, 0.2, 0.24, 0.28, 0.32, 0.36,
0.4, 0.44, 0.48, 0.52, 0.56, 0.6, 0.64, 0.68, 0.72, 0.76, 0.8,
0.84, 0.88]

x = [0, 0.07, 0.14, 0.21, 0.28, 0.35, 0.42, 0.49, 0.56, 0.63,
0.7, 0.77, 0.84, 0.91, 0.98, 1.05, 1.12, 1.19, 1.26, 1.33, 1.4,
1.47, 1.54]

y = [0, 0.18, 0.34, 0.49, 0.62, 0.74, 0.84, 0.92, 0.99, 1.04,
1.08, 1.1, 1.11, 1.1, 1.08, 1.04, 0.98, 0.91, 0.82, 0.72, 0.6,
0.47, 0.32]

# Le pas de temps en s
Dt =0.04

# Initialisation des listes vx et vy
vx =[]
vy =[]

# Calcul et Remplissage de la liste vx
for i in range(0,22):
vx.append((x[i+1]-x[i])/Dt)

# Calcul et Remplissage de la liste vy
for i in range(0,22):
vy.append((y[i+1]-y[i])/Dt)

# Suppression d'un élément de la liste t
del t[22]

# Représentation de la trajectoire sous forme d'un nuage de points
plt.plot(t,vx,'o',markersize =4)
plt.plot(t,vy,'o',markersize =4)

# Configuration du graphique
plt.xlabel("t (en s)")
plt.ylabel("vx et vy (en m/s)")
plt.title("Vitesses du mouvement")
plt.show()
```

**EXERCICE 8** Protocole TP ECE

Protocole expérimental permettant de déterminer la trajectoire d'un mouvement plan d'une balle de volley ball lancée lors d'un service:

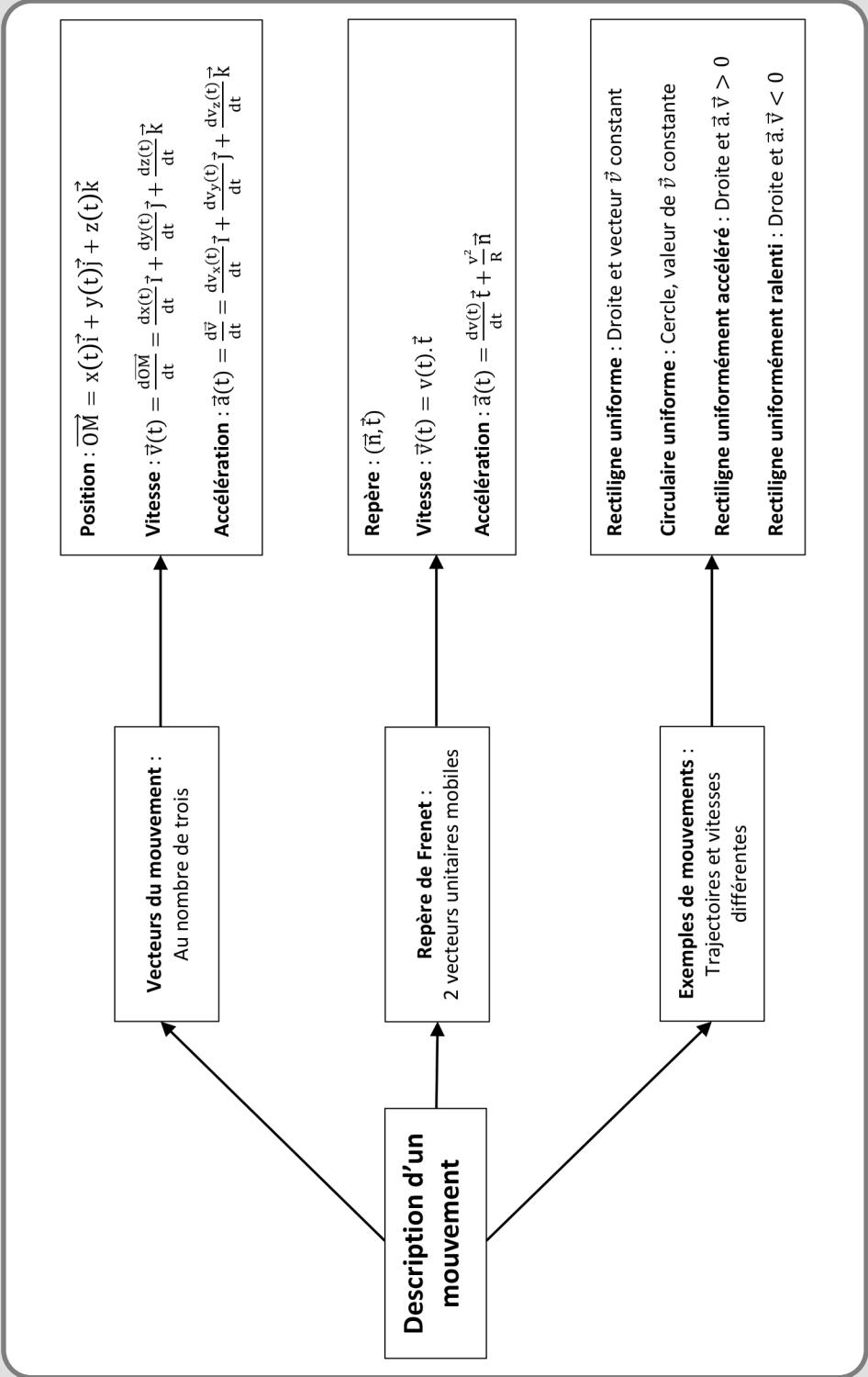
**+ Liste de matériel:**

- Ballon de volley ball;
- Caméra;
- Règle de 1 m pour tableau;
- Logiciel de pointage sur pc ou smartphone.

**+ Protocole:**

1. Filmer le mouvement de la balle en respectant les consignes suivantes:
  - La règle doit apparaître sur la vidéo car sa longueur sera utilisée pour l'étalonnage;
  - Le plan vertical de la caméra doit être parallèle à celui du mouvement;
  - La caractéristique nombre d'images par seconde du réglage de la caméra doit être convenablement choisie pour permettre d'obtenir suffisamment d'images à pointer.
2. Pointer la vidéo du mouvement image par image pour récupérer les deux fonctions temporelles  $x(t)$  et  $y(t)$ .
3. À l'aide du module grapheur du logiciel de pointage, tracer la trajectoire du mouvement qui correspond à la courbe  $y = f(x)$ .

DESCRIPTION D'UN MOUVEMENT



# MOUVEMENT ET FORCES

## LES 10 QUESTIONS

1  Quelles sont les étapes à suivre pour réaliser l'étude mécanique d'un système?

↳ .....

.....

2  C'est quoi la 1<sup>re</sup> loi de Newton?

↳ .....

.....

3  C'est quoi la 3<sup>e</sup> loi de Newton?


↳ .....

.....

4  C'est quoi le centre de masse d'un système?

↳ .....

.....

5  Pourquoi pour étudier un système, on choisit de suivre le mouvement de son centre de masse G?


↳ .....

.....

6  C'est quoi un référentiel galiléen?


↳ .....

.....

7  Donner trois exemples de référentiels galiléens.




.....  
 .....

8  Donner un exemple d'un référentiel non galiléen.




.....  
 .....

9  C'est quoi la 2<sup>e</sup> loi de Newton?



.....  
 .....

10  La 2<sup>e</sup> loi de Newton établit un lien entre deux concepts lesquels?



.....  
 .....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Propositions

Indiquer parmi les propositions ci-dessous celles qui sont fausses :

- a Lorsque la somme des forces qui agissent sur un système est nulle ce dernier est immobile.
- b Lorsque la somme des forces qui agissent sur un système est nulle ce dernier est en équilibre.
- c Lorsque l'accélération et le vecteur vitesse sont nulle le système est en équilibre.

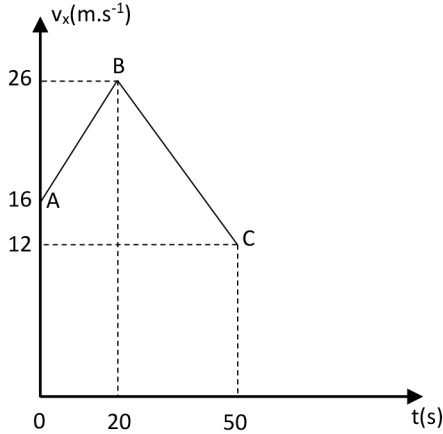


### EXERCICE 2 Lois de Newton

- a Donner l'énoncé de la 1<sup>re</sup> loi de Newton.
- b Donner l'énoncé de la 2<sup>e</sup> loi de Newton.
- c Montrer que la 1<sup>re</sup> loi de Newton peut être obtenue à partir de la 2<sup>e</sup> loi.
- d Expliquer la notion d'inertie d'un système physique à partir de la 2<sup>e</sup> loi de Newton.


**EXERCICE 3 Mouvement d'une voiture**

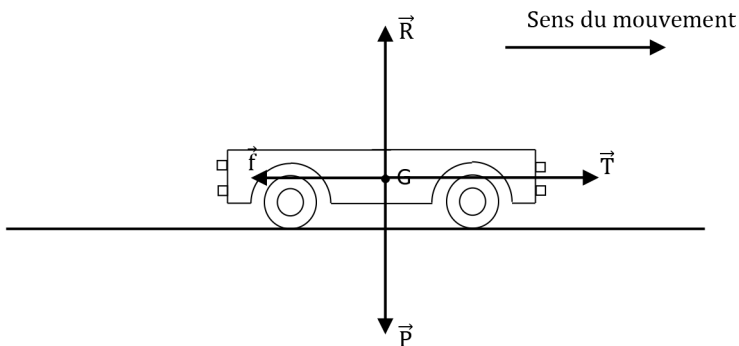
La figure ci-dessous, donne l'évolution de la valeur de la vitesse d'une voiture de masse  $M = 1\,320$  kg.



Calculer pour chacune des deux phases A-B et B-C, la valeur de l'accélération de la voiture et la valeur de la force totale qui s'exerce sur elle.


**EXERCICE 4 Mouvement d'un robot**

Au cours d'un mouvement rectiligne et accéléré d'un robot de masse  $m$ , la vitesse passe de  $10$  cm.s<sup>-1</sup> à  $22$  cm.s<sup>-1</sup> au bout de  $2$  secondes. L'ensemble des forces qui s'exercent sur le robot sont représentées par la figure suivante :



- Calculer la valeur de l'accélération du robot.
- Déterminer les caractéristiques de la force totale  $\vec{F}_2$  qui s'exerce sur le robot.
- En déduire la valeur de la masse du robot.
- Donner les caractéristiques des forces  $\vec{R}$  et  $\vec{P}$ .

Données:

- Valeur de l'intensité de pesanteur:  $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$ .
- Valeur de la force  $\vec{T}$  :  $T = 87 \text{ mN}$ .
- Valeur de la force  $\vec{f}$  :  $f = 60 \text{ mN}$ .



### EXERCICE 5 Mouvement d'un drone

Au cours d'un mouvement d'ascension d'accélération  $a = 3,0 \text{ m.s}^{-2}$ , un drone est soumis à deux actions mécaniques modélisées par deux forces: le poids  $\vec{P}$  du drone et la portance  $\vec{F}$  qui est verticale et orientée vers le haut.

- Calculer la valeur de  $\vec{P}$ .
- En déduire la valeur de  $\vec{F}$ .

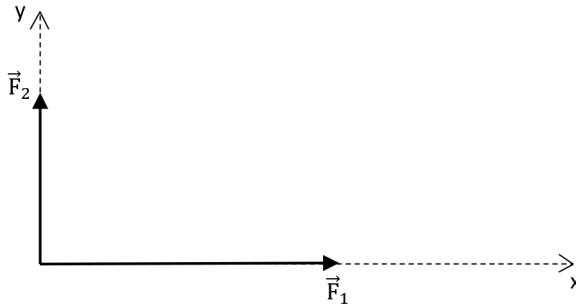
Données:

- La masse du drone:  $m = 320 \text{ g}$ .
- Valeur de l'intensité de pesanteur:  $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$ .



### EXERCICE 6 Question ouverte

Un système de masse  $m = 10 \text{ kg}$  est en mouvement sous l'effet de deux forces de valeurs  $F_1 = 30 \text{ N}$  et  $F_2 = 20 \text{ N}$ . Les directions et les sens des vecteurs  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  sont précisés par la figure suivante:



Déterminer les caractéristiques du vecteur accélération  $\vec{a}$  du système.



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Le script du programme Python ci-dessous, permet de déterminer numériquement, les positions instantanées et les valeurs des vitesses instantanées du mouvement de chute verticale d'un système sans vitesse initiale et à partir d'une hauteur initiale  $h$ .

Le calcul se fait à l'aide d'une boucle en utilisant un pas temporel  $\Delta t$ . Le repère d'étude est cartésien réduit à l'axe (Oz) vertical ascendant.

On suppose que la seule force qui intervient au cours du mouvement du système est la force du poids  $\vec{z} = -x\vec{y}$ .

La deuxième loi de Newton permet d'écrire:

$$m \frac{dv}{dt} = m \times (-g)$$

Soit

$$\frac{dv}{dt} = -g$$

Dont l'écriture numérique est:

$$\frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} = -g$$

Soit

$$v_i = v_{i-1} - g \times \Delta t$$

De même on a,

$$x_i = x_{i-1} + v_{i-1} \times \Delta t$$

# Script pour calculer par simulation numérique les valeurs instantanées de la vitesse et de la position

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
import math
```

```
# Le pas de temps en s
```

```
Dt =.....
```

```
# La valeur de l'intensité de pesanteur en N/kg
```

```
g =.....
```

```
# Hauteur initiale en m
```

```
h =.....
```

```
# Initialisation des listes avec les données initiales
```

```
t =[0]
```

```
z =[h]
```

```
v =[0]
```

```
# Remplissage de la liste t
```

```
for i in range(1,25):
```

```
t.append(.....)
```

```
# Calcul et Remplissage de la liste v
```

```
for i in range(1,25):
```

```
v.append(.....)
```

```
# Calcul et Remplissage de la liste z
```

```
for i in range(1,25):
```

```
z.append(.....)
```

```
# Représentation de la trajectoire sous forme d'un nuage de points
plt.plot(t,z,'o',markersize =4)
plt.plot(t,v,'o',markersize =4)
# Configuration du graphique
plt.xlabel("t (en s)")
plt.ylabel("z et v (en m en m/s)")
plt.title("Évolution de la position et de la vitesse")
plt.show()
```

On souhaite étudier numériquement le mouvement de la chute verticale d'un système lâché sans vitesse initiale à partir d'une hauteur  $h = 8,0$  m.

Le pas de temps adopté est  $\Delta t = 60$  ms.

Donnée:

La valeur de l'intensité de pesanteur:  $g = 9,81$  N.kg<sup>-1</sup>.

- a Compléter les rubriques du programme liées aux données du problème ( $\Delta t$ ,  $g$  et  $h$ ).
- b Compléter les rubriques du programme liées au calcul et remplissage des listes  $t$ ,  $v$  et  $z$ .
- c Exécuter le programme et estimer la date  $t$  et la vitesse du système lorsqu'il touche le sol.



### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Proposer un protocole expérimental permettant de mesurer la force de frottements qu'exerce la table à coussin d'air sur le mobile autoporteur au cours de son mouvement.

#### + Liste de matériel:

- Table à coussin d'air + mobile autoporteur de masse 721,9 g;
- Masse de 50,0 g;
- Poulie + fil.


## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  Quelles sont les étapes à suivre pour réaliser l'étude mécanique d'un système?

- + Définir le système étudié et le modéliser par un point (son centre de masse).
- + Préciser le référentiel d'étude qui doit être galiléen (où les lois de Newton sont valables).
- + Faire le bilan des forces.

2  C'est quoi la 1<sup>re</sup> loi de Newton?


- + Si la somme des forces appliquées à un système est nulle alors ce système est soit immobile (au repos) soit animé d'un mouvement rectiligne et uniforme dans un référentiel galiléen.

3  C'est quoi la 3<sup>e</sup> loi de Newton?

- + Deux systèmes A et B en interaction exercent l'un sur l'autre des forces opposées. Ces deux forces ont même valeur et direction mais des sens opposés.

4  C'est quoi le centre de masse d'un système?

- + Le centre de masse G d'un système correspond à la position moyenne de la masse de ce système.

5  Pourquoi pour étudier un système, on choisit de suivre le mouvement de son centre de masse G?


- + Car le point G est le point du système qui a la trajectoire la plus simple.

6  C'est quoi un référentiel galiléen?


- + C'est un référentiel où les lois de Newton sont valables.

7  Donner trois exemples de référentiels galiléens.


- + Le référentiel terrestre (origine liée à un objet immobile sur Terre et axes pointant vers 3 directions de l'espace) est galiléen pour un mouvement qui dure moins de quelques minutes.
- + Le référentiel géocentrique (origine liée au centre la Terre et axes pointant vers 3 étoiles lointaines et fixes) est galiléen pour un mouvement qui dure moins de quelques heures.
- + Le référentiel héliocentrique (origine liée au centre du Soleil, axes pointant vers 3 étoiles lointaines et fixes) est galiléen sans contrainte de durée.

8  Donner un exemple d'un référentiel non galiléen.

- + Le référentiel lié à une voiture roulant à vitesse variable (non constante).

9  C'est quoi la 2<sup>e</sup> loi de Newton?

+ 
$$\sum \vec{F}_{\text{Ext}} = m \cdot \vec{a}_G(t)$$

10  La 2<sup>e</sup> loi de Newton établie un lien entre deux concepts lesquels?

- + Les forces (les causes) et les mouvements (conséquences).

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Propositions

Les propositions fausses:

a) Lorsque la somme des forces qui agissent sur un système est nulle ce dernier est immobile.

La somme des forces est nulle implique que l'accélération du système est nulle. Ceci veut dire que la vitesse est soit constante soit nulle. Donc le système n'est pas forcément immobile. Cette proposition est fausse.

- b** Lorsque la somme des forces qui agissent sur un système est nulle ce dernier est en équilibre.  
La vitesse est soit constante soit nulle. Donc le système n'est pas forcément en équilibre. Cette proposition est fausse.
- c** Lorsque l'accélération et le vecteur vitesse sont nulle le système est en équilibre. Cette proposition n'est pas fausse.

### EXERCICE 2 Lois de Newton

- a** Énoncé de la 1<sup>re</sup> loi de Newton:  
Si la somme des forces appliquées à un système est nulle alors ce système est soit immobile (au repos) soit animé d'un mouvement rectiligne et uniforme dans un référentiel galiléen.

- b** Énoncé de la 2<sup>e</sup> loi de Newton:

$$\sum \vec{F}_{\text{Ext}} = m \cdot \vec{a}_G(t)$$

Soit

$$\vec{F}_{\text{Tot}} = m \times \vec{a}_G(t)$$

- c** La 1<sup>re</sup> loi de Newton peut être obtenue à partir de la 2<sup>e</sup> loi:  
Si la somme des forces appliquées est nulle, alors l'accélération du système est nulle. Par conséquent, le vecteur vitesse du système est constant. Donc le système est soit immobile soit animé d'un mouvement rectiligne et uniforme. On retrouve l'énoncé de la 1<sup>re</sup> loi de Newton.
- d** Explication de la notion d'inertie d'un système physique à partir de la 2<sup>e</sup> loi de Newton:

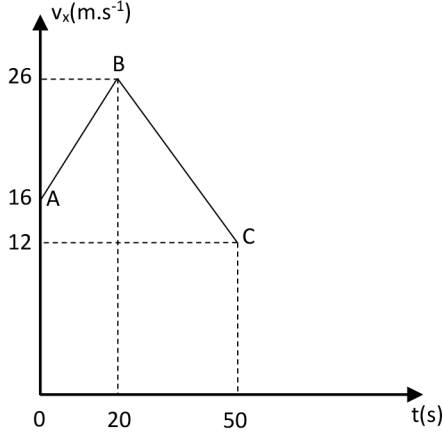
D'après l'expression de la 2<sup>e</sup> loi de Newton, on peut écrire que:

$$a_G = \frac{F_{\text{Tot}}}{m}$$

Plus la valeur de la masse  $m$  est grande, plus la valeur de l'accélération générée par  $F_{\text{Tot}}$  est faible. Cette résistance du système à un changement de son mouvement que l'on appelle inertie est intimement liée à sa masse.

**EXERCICE 3 Mouvement d'une voiture**

La figure ci-dessous, donne l'évolution de la valeur de la vitesse d'une voiture de masse  $M = 1320 \text{ kg}$ .



- Phase A-B:

$$a = \frac{v_{xB} - v_{xA}}{t_B - t_A}$$

**+ Application numérique:**

$$a = \frac{26 - 16}{20 - 0}$$

Soit

$$a = 0,50 \text{ m.s}^{-2}$$

La force totale est donnée par:

$$F_{\text{Tot}} = M \times a$$

**+ Application numérique:**

$$F_{\text{Tot}} = 1320 \times 0,50$$

Soit

$$F_{\text{Tot}} = 660 \text{ N}$$

La valeur de  $\vec{F}_{\text{Tot}}$  est positive. La force  $\vec{F}_{\text{Tot}}$  est dans le sens du mouvement.

- Phase B-C:

$$a = \frac{v_{xC} - v_{xB}}{t_C - t_B}$$

**+ Application numérique:**

$$a = \frac{12 - 26}{50 - 20}$$

Soit

$$a = -0,47 \text{ m.s}^{-2}$$

La force totale est donnée par:

$$F_{\text{Tot}} = M \times a$$

**+ Application numérique:**

$$F_{\text{Tot}} = 1320 \times (-0,47)$$

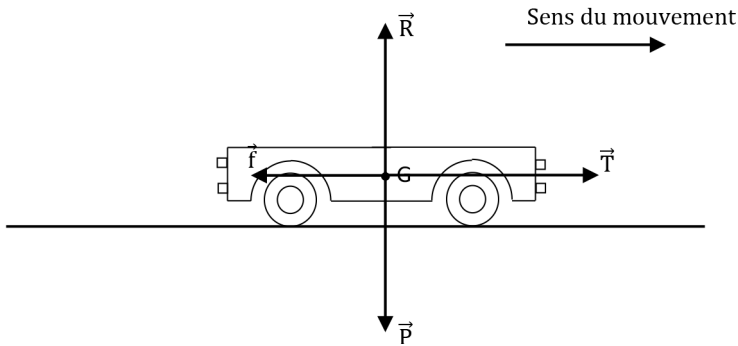
Soit

$$F_{\text{Tot}} = -620 \text{ N}$$

La valeur de  $\vec{F}_{\text{Tot}}$  est négative. La force  $\vec{F}_{\text{Tot}}$  est dans le sens opposé du mouvement.

**EXERCICE 4 Mouvement d'un robot**

Au cours d'un mouvement rectiligne et accéléré d'un robot de masse  $m$ , la vitesse passe de  $10 \text{ cm.s}^{-1}$  à  $22 \text{ cm.s}^{-1}$  au bout de 2 secondes. L'ensemble des forces qui s'exercent sur le robot sont représentées par la figure suivante:



a. Calcul de la valeur de l'accélération du robot:

$$a = \frac{v_{\text{finale}} - v_{\text{initiale}}}{t_{\text{finale}} - t_{\text{initiale}}}$$

**+ Application numérique:**

$$a = \frac{0,22 - 0,10}{2 - 0}$$

Soit

$$a = 6,0 \times 10^{-2} \text{ m.s}^{-2}$$

- b** Les caractéristiques de la force totale  $\vec{F}_{\text{Tot}}$  qui s'exerce sur le robot:
- Point d'application: Le centre de masse G
  - Direction: Droite horizontale
  - Sens: Celui du mouvement vers la droite
  - Valeur:  $F_{\text{Tot}} = T - f$  (les forces  $\vec{R}$  et  $\vec{P}$  se neutralisent mutuellement)

**+ Application numérique:**

$$F_{\text{Tot}} = 87 \times 10^{-3} - 60 \times 10^{-3}$$

Soit

$$F_{\text{Tot}} = 2,7 \times 10^{-2} \text{ N}$$

- c** La valeur de la masse du robot:

On sait que,

$$F_{\text{Tot}} = m \times a$$

Soit

$$m = \frac{F_{\text{Tot}}}{a}$$

**+ Application numérique:**

$$m = \frac{2,7 \times 10^{-2}}{6,0 \times 10^{-2}}$$

Soit

$$m = 0,45 \text{ kg}$$

- d** Les caractéristiques de  $\vec{P}$  :
- Point d'application: Le centre de masse G
  - Direction: Droite verticale
  - Sens: Vers le bas
  - Valeur:  $P = m \times g$

**+ Application numérique:**

$$P = 0,45 \times 9,81$$

Soit

$$P = 4,4 \text{ N}$$

Les caractéristiques de  $\vec{R}$  :

- Point d'application: Le centre de masse G
- Direction: Droite verticale
- Sens: Vers le haut
- Valeur:  $R = P = 4,4 \text{ N}$

**EXERCICE 5** Mouvement d'un drone

Au cours d'un mouvement d'ascension d'accélération  $a = 3,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , un drone est soumis à deux actions mécaniques modélisées par deux forces: le poids  $\vec{P}$  du drone et la portance  $\vec{F}$  qui est verticale et orientée vers le haut.

**a** Calcul de la valeur de  $\vec{P}$  :

Par définition,

$$P = m \times g$$

+ **Application numérique:**

$$P = 0,320 \times 9,81$$

Soit

$$P = 3,14 \text{ N}$$

**b** Calcul de la valeur de  $\vec{F}$  :

D'après la 2<sup>e</sup> loi de Newton, on peut écrire:

$$m \times \vec{a} = \vec{F} + \vec{P}$$

Après projection de cette relation sur un axe vertical ascendant, on obtient:

$$m \times a = F - P$$

Il vient,

$$F = P + m \times a$$

+ **Application numérique:**

$$F = 3,14 + 0,320 \times 3,0$$

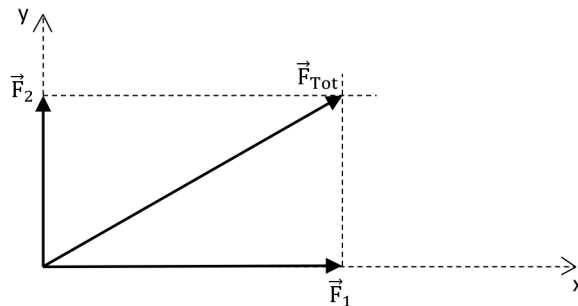
Soit

$$F = 4,1 \text{ N}$$

**EXERCICE 6** Question ouverte

Les caractéristiques du vecteur accélération  $\vec{a}$  du système:

On détermine géométriquement le vecteur force totale  $\vec{F}_{\text{Tot}}$  :



La valeur de  $\vec{F}_{\text{Tot}}$  est donnée par:

$$F_{\text{Tot}} = \sqrt{(F_1)^2 + (F_2)^2}$$

**+ Application numérique:**

$$F_{\text{Tot}} = \sqrt{(30)^2 + (20)^2}$$

Soit

$$F_{\text{Tot}} = 36 \text{ N}$$

Or

$$F_{\text{Tot}} = m \times a$$

Donc

$$a = \frac{F_{\text{Tot}}}{m}$$

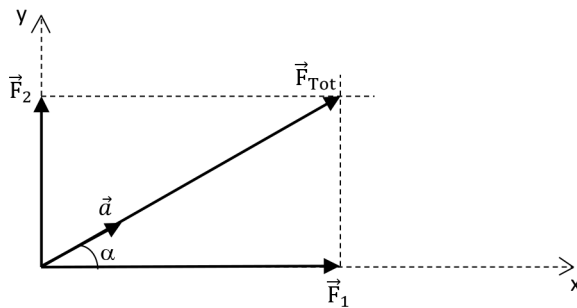
**+ Application numérique:**

$$a = \frac{36}{10}$$

Soit

$$a = 3,6 \text{ m.s}^{-2}$$

Le vecteur vitesse accélération  $\vec{a}$  possède la même direction et le même sens que  $\vec{F}_{\text{Tot}}$ . Il est incliné d'un angle  $\alpha$  tel que:



$$\tan(\alpha) = \frac{F_2}{F_1}$$

Soit

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{F_2}{F_1} \right)$$

**+ Application numérique:**

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{20}{30}\right)$$

Soit

$$\alpha \approx 34^\circ$$

**EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python**

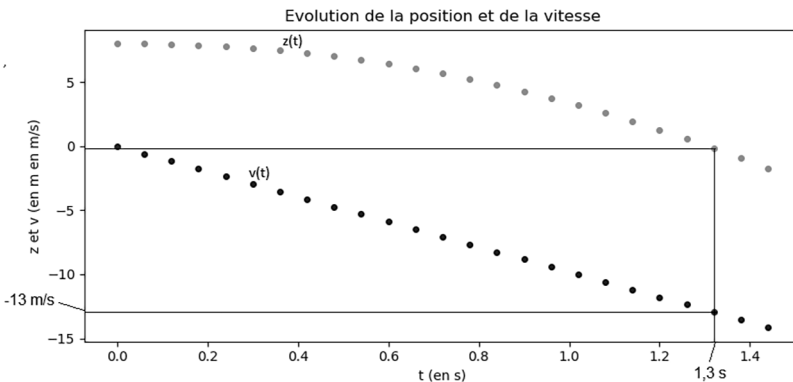
- a** Les rubriques du programme liées aux données du problème ( $\Delta t$ ,  $g$  et  $h$ ) complétées:

```
# Le pas de temps en s
Dt =0.06
# La valeur de l'intensité de pesanteur en N/kg
g =9.81
# Hauteur initiale en m
h =8
```

- b** Les rubriques du programme liées au calcul et remplissage des listes  $t$ ,  $v$  et  $z$  complétées:

```
# Remplissage de la liste t
for i in range(1,25):
    t.append(i*Dt)
# Calcul et Remplissage de la liste v
for i in range(1,25):
    v.append(v[i-1]-g*Dt)
# Calcul et Remplissage de la liste z
for i in range(1,25):
    z.append(z[i-1]+v[i-1]*Dt)
```

- c** Exécution du programme et résultat affiché:



D'après la figure ci-dessus, le système touche le sol au bout de 1,3 s avec une vitesse égale à  $13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Voici le script du programme Python complété:

```
# Script pour calculer par simulation numérique les valeurs
instantanées de la vitesse et de la position
import matplotlib.pyplot as plt
import math
# Le pas de temps en s
Dt =0.06
# La valeur de l'intensité de pesanteur en N/kg
g =9.81
# Hauteur initiale en m
h =8
# Initialisation des listes avec les données initiales
t =[0]
z =[h]
v =[0]
# Remplissage de la liste t
for i in range(1,25):
t.append(i*Dt)
# Calcul et Remplissage de la liste v
for i in range(1,25):
v.append(v[i-1]-g*Dt)
# Calcul et Remplissage de la liste z
for i in range(1,25):
z.append(z[i-1]+v[i-1]*Dt)
# Représentation de la trajectoire sous forme d'un nuage de points
plt.plot(t,z,'o',markersize =4)
plt.plot(t,v,'o',markersize =4)
# Configuration du graphique
plt.xlabel("t (en s)")
plt.ylabel("z et v (en m en m/s)")
plt.title("Évolution de la position et de la vitesse")
plt.show()
```

**EXERCICE 8** Protocole TP ECE

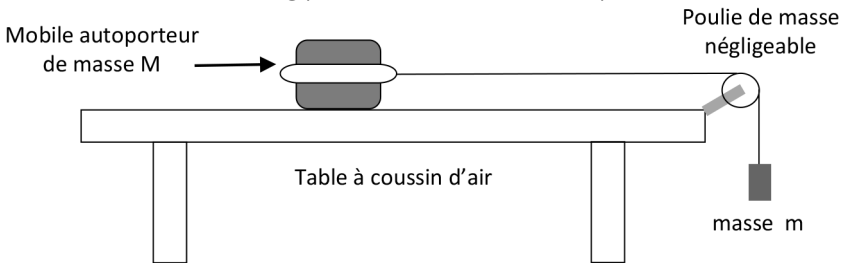
Protocole expérimental permettant de mesurer la force de frottements qu'exerce la table à coussin d'air sur le mobile autoporteur au cours de son mouvement.

+ **Liste de matériel:**

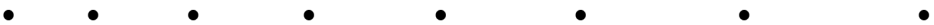
- Table à coussin d'air + mobile autoporteur de masse 721,9 g ;
- Masse de 50,0 g ;
- Poulie + fil.

+ **Protocole:**

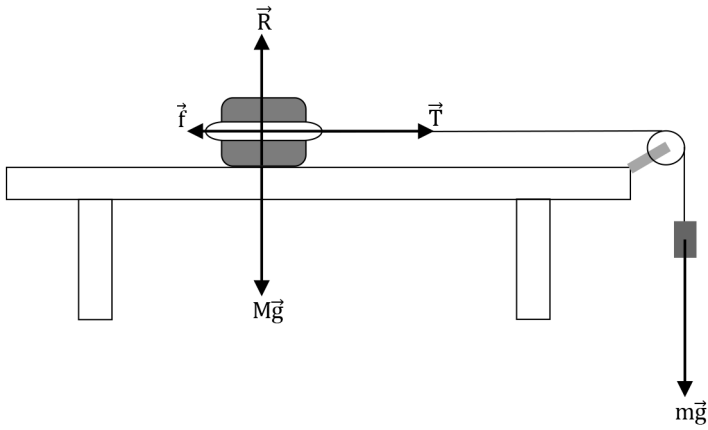
- On relie le mobile autoporteur de masse  $M = 721,9 \text{ g}$  à l'aide d'un fil à une masse  $m = 50,0 \text{ g}$  par l'intermédiaire d'une poulie.



- On règle l'intervalle de temps  $\Delta t$  de la table à coussin d'air à une valeur égale à 60 ms.
- Le mobile est initialement à l'arrêt, à  $t = 0$  on le libère tout en déclenchant l'enregistrement des positions de son centre d'inertie G.
- La trajectoire obtenue est celle d'un mouvement rectiligne uniformément accéléré d'accélération constante  $a_G$ .



- On détermine graphiquement sur la trajectoire la valeur de  $a_G$ .  
Au cours de son mouvement, le mobile autoporteur est soumis à quatre actions mécaniques que l'on peut modéliser par les forces  $M\vec{g}$ ,  $\vec{R}$ ,  $\vec{f}$  et  $\vec{T}$ .



D'après la deuxième loi de Newton, on peut écrire:

$$M\vec{a}_G = M\vec{g} + \vec{R} + \vec{f} + \vec{T}$$

Avec  $M\vec{g} = -\vec{R}$  et  $m\vec{g} = \vec{T}$

Il vient,

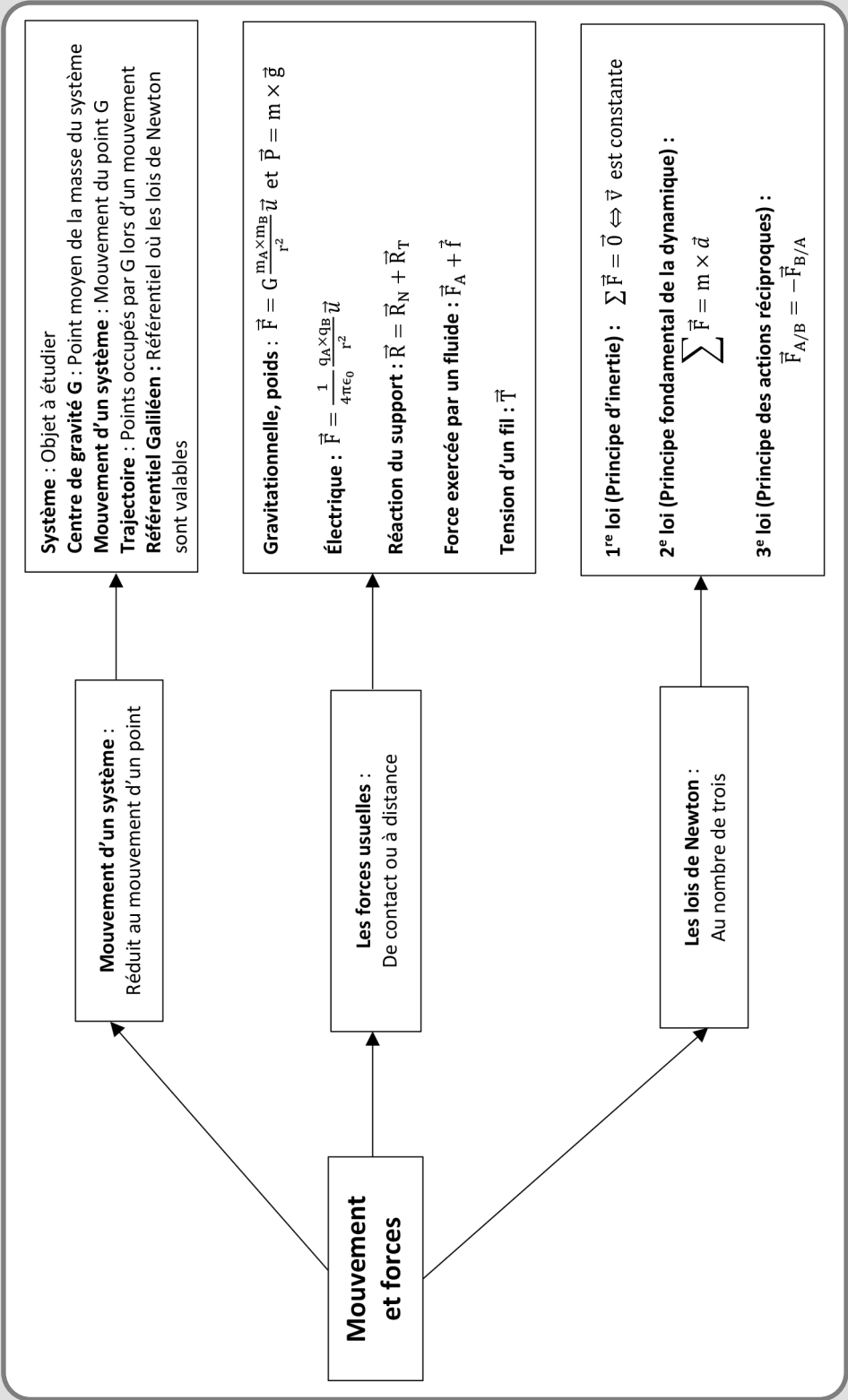
$$M\vec{a}_G = \vec{f} + m\vec{g}$$

Soit

$$Ma_G = -f + mg$$

Donc la valeur de la force de frottement est donnée par:


$$f = mg - Ma_G$$

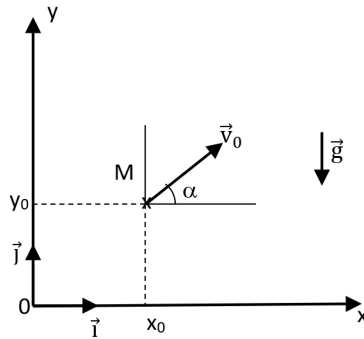




# MOUVEMENT DANS UN CHAMP UNIFORME

## LES 10 QUESTIONS

- 1  Quelles sont dans le repère (Oxy) ci-dessous, les coordonnées du vecteur champ de pesanteur uniforme  $\vec{g}$  ?




↳ .....

.....

- 2  Quelles sont les conditions initiales sur la position et la vitesse du projectile ?


↳ .....

.....


- 3  Quelles sont les coordonnées  $a_x(t)$  et  $a_y(t)$  du vecteur accélération  $\vec{a}(t)$  du projectile lorsque les frottements sont négligés ?

↳ .....


.....

- 4  En calculant les primitives des coordonnées du vecteur accélération et en utilisant les conditions initiales sur la vitesse déterminer les coordonnées  $v_x(t)$  et  $v_y(t)$  du vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$  du projectile.




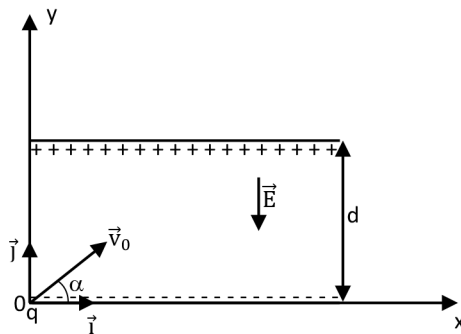
- 5  En calculant les primitives des coordonnées du vecteur vitesse et en utilisant les conditions initiales sur la position déterminer les coordonnées  $x(t)$  et  $y(t)$  du vecteur position  $\vec{OM}(t)$  du projectile.



- 6  En éliminant la variable  $t$  dans les équations horaires  $x(t)$  et  $y(t)$ , déterminer l'équation de la trajectoire  $y = f(x)$  et préciser sa nature.




- 7  Entre les armatures d'un condensateur plan il existe un champ électrique  $E$  qui vis-à-vis d'une charge  $q$  joue le même rôle que celui joué par le champ uniforme  $g$  vis-à-vis d'une masse. Quelle est l'expression de  $E$  en fonction de  $U_{AB}$  et  $d$ ? Quelles sont les expressions des trois vecteurs:  $\vec{a}(t)$ ,  $\vec{v}(t)$  et  $\vec{OM}(t)$ ?



8  Quelle est l'équation de la trajectoire de la charge  $q$ ?

↳ .....

.....

9  Quelle est l'expression de la variation de l'énergie cinétique d'une charge  $q$  au sein d'un condensateur plan?

↳ .....

.....

10  Dans quelles conditions, l'énergie mécanique d'un projectile reste constante? Tracer dans ces conditions les trois courbes  $E_c(t)$ ,  $E_{pp}(t)$  et  $E_m(t)$ .

↳ .....

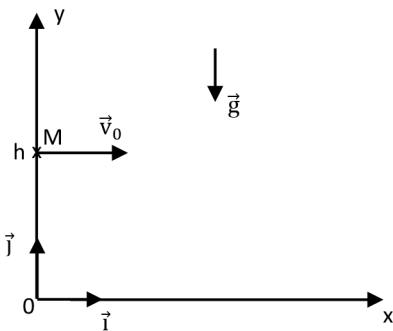
.....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES

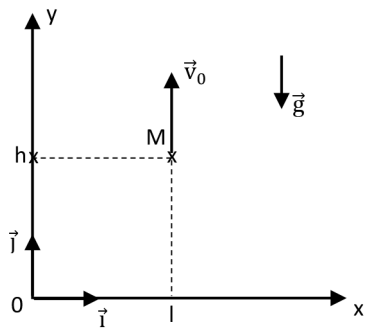


### EXERCICE 1 Conditions initiales

a Préciser les conditions initiales de la position et de la vitesse dans les situations suivantes:



1



2

- b** Les conditions initiales d'un système physique sont telles que:

$$\overline{OM}(0) = \begin{cases} x(0) = x_0 \\ y(0) = 0 \end{cases} \text{ et } \vec{v}(0) = \begin{cases} v_x(0) = v_0 \times \sin(\alpha) \\ v_y(0) = v_0 \times \cos(\alpha) \end{cases}$$

$x_0$ ,  $y_0$  et  $v_0$  sont positifs.

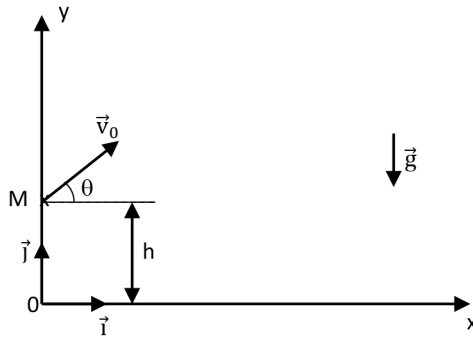
Schématiser la situation dans un repère cartésien  $(O, x, y)$ .



### EXERCICE 2 Énergies d'un système

Les équations horaires de la vitesse d'un projectile sont données par:

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \times \cos(\theta) \\ v_y(t) = -g \times t + v_0 \times \sin(\theta) \end{cases}$$



- Déterminer  $x(0)$ ,  $y(0)$ ,  $v_x(0)$  et  $v_y(0)$ .
- Établir les équations horaires de la position  $x(t)$  et  $y(t)$ .
- Exprimer l'énergie cinétique  $E_c(t)$  et l'énergie de potentielle de pesanteur  $E_{pp}(t)$  du système.
- En déduire l'expression de l'énergie mécanique  $E_m(t)$ . Conclure.

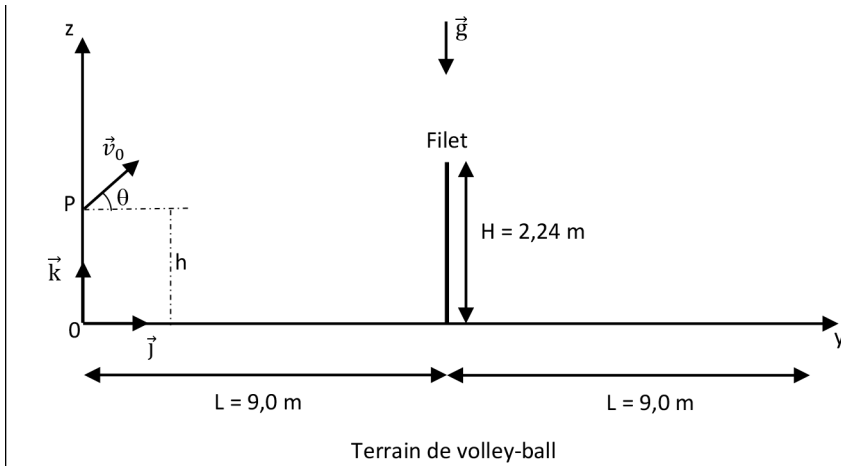
Donnée:

$$\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta) = 1.$$



### EXERCICE 3 Au sujet d'un service

Lors d'un service de volley-ball, Rajaa a lancé la balle située à la hauteur  $h = 0,70$  m avec une vitesse initiale  $\vec{v}_0$  de valeur  $v_0 = 11,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et faisant un angle  $\theta = 45^\circ$ . Un service est bon lorsque la balle passe au dessus du filet et tombe dans le camp adverse. Seule la force de poids est prise en compte lors du mouvement de la balle.



- Préciser les conditions initiales de position et de vitesse de la balle.
- Donner les coordonnées  $g_y$  et  $g_z$  du vecteur champ de pesanteur  $\vec{g}$ .
- En déduire l'expression de l'accélération de la balle.
- Établir les équations horaires  $v_y(t)$  et  $v_z(t)$  de la balle.
- Établir les équations horaires  $y(t)$  et  $z(t)$  de la balle.
- En déduire l'équation de la trajectoire  $z = f(y)$ .
- Le service de Rajaa a-t-il été bon?



#### EXERCICE 4 La portée et la flèche

Les équations horaires du mouvement d'un projectile sont données par :

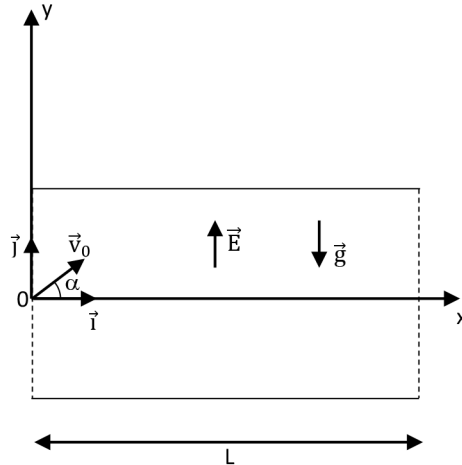
$$\begin{cases} x(t) = v_0 \times \cos(\alpha) \times t \\ y(t) = -\frac{g}{2} t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t \end{cases}$$

- Déterminer les conditions initiales de la position  $(x(0), y(0))$ .
- Déterminer les coordonnées  $v_x(t)$  et  $v_y(t)$  de la vitesse.
- Déterminer les conditions initiales de la vitesse  $(v_x(0), v_y(0))$ .
- Déterminer les deux dates  $t_{p1}$  et  $t_{p2}$  pour lesquelles  $y(t)$  s'annule.
- En déduire l'expression de la portée du mouvement  $p$  en fonction de  $v_0$ ,  $g$  et  $\alpha$ .
- Déterminer la date  $t_f$  pour laquelle  $v_y(t) = 0$ .
- En déduire l'expression de la flèche  $H_{\max}$  en fonction de  $v_0$ ,  $g$  et  $\alpha$ .



### EXERCICE 5 Mouvement d'un électron

Un électron pénètre dans un condensateur plan avec une vitesse initiale inclinée d'un angle  $\theta$  par rapport à l'axe des abscisses (Ox).



- Comparer la valeur de la force électrique à celle du poids.
- En déduire l'expression du vecteur accélération  $\vec{a}$  de l'électron.
- Déterminer les coordonnées du vecteur vitesse  $\vec{v}$  de l'électron.
- En déduire les équations horaires  $x(t)$  et  $y(t)$  du mouvement de l'électron.
- Quelle est la nature de la trajectoire de l'électron?

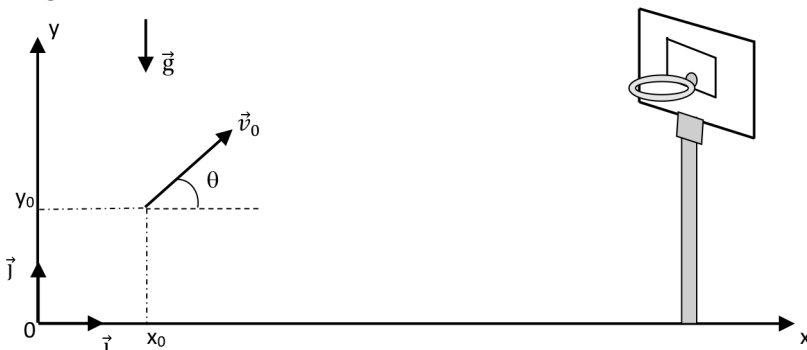
Données:

- Valeur du champ électrique:  $E = 760 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ .
- Masse de l'électron:  $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ .
- Charge élémentaire:  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .
- Intensité de pesanteur:  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .



### EXERCICE 6 Question ouverte

Saïd a lancé un ballon de basket vers le panier avec les conditions initiales précisées par la figure suivante:



Le mouvement du ballon a été filmé puis pointé à l'aide d'un logiciel de pointage ce qui a permis d'obtenir les deux fonctions:  $x(t)$  et  $y(t)$ .

$$\begin{cases} x(t) = 1,74 \times t + 3,5 \\ y(t) = -4,92 \times t^2 + 4,44t + 2,2 \end{cases}$$

Déterminer les valeurs de  $g$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $v_0$  et  $\theta$ .



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Le mouvement d'un projectile soumis uniquement à l'action de la Terre est caractérisé par:

- La flèche  $H$  qui est la hauteur maximale atteinte par le projectile au cours de son mouvement;
- La portée  $p$  qui est la distance parcourue par le projectile lorsqu'il touche le sol.

On considère le mouvement d'un projectile avec les conditions initiales suivantes:

$$\overrightarrow{OM}(0) = \begin{cases} x(0) = x_0 \\ y(0) = y_0 \end{cases} \text{ et } \vec{v}(0) = \begin{cases} v_x(0) = v_0 \times \cos(\alpha) \\ v_y(0) = v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

Les expressions de la flèche et de la portée sont données par:

$$\begin{cases} H = y_0 + \frac{v_0^2}{2g} \sin^2(\alpha) \\ p = x_0 + \frac{v_0^2}{g} \sin(2\alpha) \end{cases}$$

Le script du programme Python ci-dessous, permet de déterminer la portée  $p$  et la flèche  $H$  du mouvement d'un projectile.

```
# Script pour déterminer la portée p et la flèche H du mouvement
d'un projectile,
import math
# La valeur de l'intensité de pesanteur en N/kg
g = .....
# Coordonnées initiales en m
x0 = .....
y0 = .....
# Valeur de la vitesse initiale en m/s
v0 = .....
# Angle en degré d'inclinaison du vecteur vitesse initiale par rapport
l'axe Ox
alpha = math.radians(.....)
```

```
# Calcul de la valeur de la portée p
p = .....
# Calcul de la valeur de la flèche H
H = .....
# Affichage des résultats
print("La portée : p =", str(round(p,2)) + "m")
print("La flèche : H =", str(round(H,2)) + "m")
```

Les conditions initiales du lancement d'un projectile sont telle que:

$$\begin{cases} x(0)=0 \\ y(0)=3,0\text{m} \end{cases} \text{ et } \begin{cases} v_0=8,0\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \\ \alpha=50^\circ \end{cases}$$

Donnée:

La valeur de l'intensité de pesanteur:  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

- a** Compléter les rubriques du programme liées aux données du problème.
- b** Compléter la rubrique du programme liée au calcul de la portée.
- c** Compléter la rubrique du programme liée au calcul de la flèche.
- d** Exécuter le programme et donner les résultats affichés.




### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

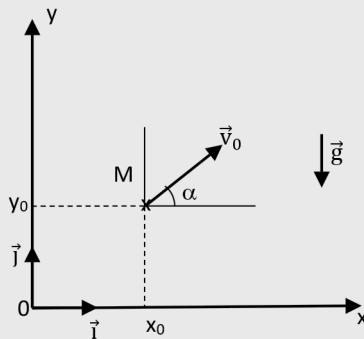
Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer les conditions initiales du mouvement d'une balle de tennis.

#### + Liste de matériel:


- Balle de tennis;
- Caméra;
- Règle de 1 m pour tableau;
- Logiciel de pointage sur pc ou smartphone.

## CORRIGÉS DES QUESTIONS

- 1  Quelles sont dans le repère (Oxy) ci-dessous, les coordonnées du vecteur champ de pesanteur uniforme  $\vec{g}$  ?




$$\vec{g} = -g \cdot \vec{j} \text{ Soit } \begin{cases} g_x = 0 \\ g_y = -g \end{cases}$$

- 2  Quelles sont les conditions initiales sur la position et la vitesse du projectile ?

+ À  $t = 0$ , on a :


$$\text{Position: } \overrightarrow{OM} \begin{cases} x(0) = x_0 \\ y(0) = y_0 \end{cases} ; \text{ Vitesse: } \vec{v}_0 \begin{cases} v_{0x} = v_0 \cdot \cos(\alpha) \\ v_{0y} = v_0 \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

- 3  Quelles sont les coordonnées  $a_x(t)$  et  $a_y(t)$  du vecteur accélération  $\vec{a}(t)$  du projectile lorsque les frottements sont négligés ?

- + Système: Projectile assimilé au point M
- + Référentiel: Terrestre supposé galiléen
- + Force: Frottements négligés seule la force de poids intervient,  $\vec{P} = m \times \vec{g}$

La deuxième loi de Newton permet d'écrire:  $m \times \vec{a} = m \times \vec{g}$ , ce qui donne:

$$\vec{a} = \vec{g} \text{ soit } \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$$

- 4  En calculant les primitives des coordonnées du vecteur accélération et en utilisant les conditions initiales sur la vitesse déterminer les coordonnées  $v_x(t)$  et  $v_y(t)$  du vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$  du projectile.

+ D'après la définition du vecteur accélération  $\vec{a}$ , on peut écrire:

$$\begin{cases} a_x = 0 = \frac{dv_x(t)}{dt} \\ a_y = -g = \frac{dv_y(t)}{dt} \end{cases}$$

Ce qui donne par intégration:

$$\begin{cases} v_x(t) = Cte1 \\ v_y(t) = -gt + Cte2 \end{cases}$$


$Cte1$  et  $Cte2$  sont des constantes à déterminer grâce aux conditions initiales du vecteur vitesse.

À  $t = 0$ , on peut écrire:

$$\begin{cases} v_x(0) = Cte1 = v_0 \cdot \cos(\alpha) \\ v_y(0) = -g \times 0 + Cte2 = v_0 \cdot \sin(\alpha) \end{cases} \text{ soit } \begin{cases} Cte1 = v_0 \cdot \cos(\alpha) \\ Cte2 = v_0 \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

Il vient:

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \\ v_y(t) = -gt + v_0 \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

- 5  En calculant les primitives des coordonnées du vecteur vitesse et en utilisant les conditions initiales sur la position déterminer les coordonnées  $x(t)$  et  $y(t)$  du vecteur position  $\vec{OM}(t)$  du projectile.

+ D'après la définition du vecteur vitesse  $\vec{v}$ , on peut écrire:

$$\begin{cases} v_x = v_0 \cdot \cos(\alpha) = \frac{dx(t)}{dt} \\ v_y = -gt + v_0 \cdot \sin(\alpha) = \frac{dy(t)}{dt} \end{cases}$$

Ce qui donne par intégration:

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha)t + Cte3 \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha)t + Cte4 \end{cases}$$

À  $t=0$ , on peut écrire:

$$\begin{cases} x(0) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \times 0 + Cte3 = x_0 \\ y(0) = -\frac{1}{2}g \times 0^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha) \times 0 + Cte4 = y_0 \end{cases}$$

Soit

$$\begin{cases} Cte3 = x_0 \\ Cte4 = y_0 \end{cases}$$

Il vient:

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha)t + x_0 \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha)t + y_0 \end{cases}$$



- 6 En éliminant la variable  $t$  dans les équations horaires  $x(t)$  et  $y(t)$ , déterminer l'équation de la trajectoire  $y = f(x)$  et préciser sa nature.

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha)t + x_0 & (1) \\ y(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha)t + y_0 & (2) \end{cases}$$


Isolons  $t$  à partir de l'équation (1):

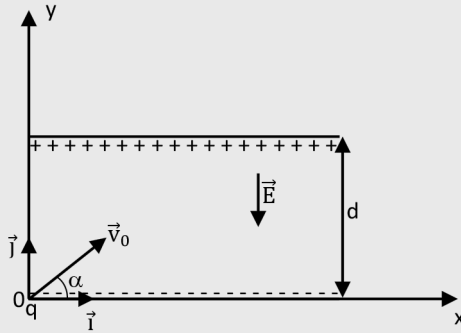
$$t = \frac{x(t) - x_0}{v_0 \cdot \cos(\alpha)}$$

Injectons la valeur de  $t$  dans l'équation (2):

$$y(x) = -\frac{1}{2}g \cdot \frac{(x - x_0)^2}{v_0^2 \cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha) \cdot t + y_0 \text{ où } \tan(\alpha) = \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)}$$

La trajectoire est une parabole.

- 7  Entre les armatures d'un condensateur plan il existe un champ uniforme électrique  $E$  qui vis-à-vis d'une charge  $q$  joue le même rôle que celui joué par le champ uniforme  $g$  vis-à-vis d'une masse. Quelle est l'expression de  $E$  en fonction de  $U_{AB}$  et  $d$ ? Quelles sont les expressions des trois vecteurs:  $\vec{a}(t)$ ,  $\vec{v}(t)$  et  $\overline{OM}(t)$  ?



$$E = \frac{U_{AB}}{d}$$


$$\vec{a} = \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -\frac{qE}{m} \end{cases}$$

$$\vec{v} = \begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \\ v_y(t) = -\frac{qE}{m}t + v_0 \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

$$\overline{OM} = \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha)t + x_0 \\ y(t) = -\frac{1}{2} \frac{qE}{m}t^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha)t + y_0 \end{cases}$$

- 8  Quelle est l'équation de la trajectoire de la charge  $q$  ?

$$+ \quad y(x) = -\frac{1}{2} \frac{qE}{m} \cdot \frac{(x-x_0)^2}{v_0^2 \cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha) \cdot t$$

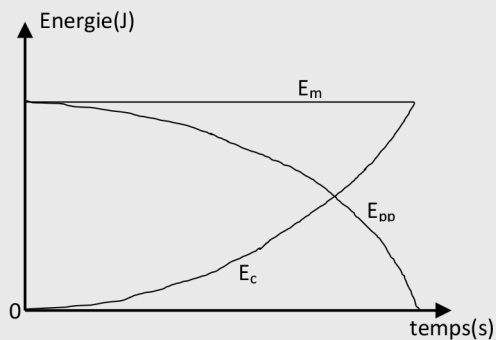
- 9  Quelle est l'expression de la variation de l'énergie cinétique d'une charge  $q$  au sein d'un condensateur plan ?

$$+ \quad \Delta E_C = qU_{AB}$$

10

Dans quelles conditions, l'énergie mécanique d'un projectile reste constante? Tracer dans ces conditions les trois courbes  $E_c(t)$ ,  $E_{pp}(t)$  et  $E_m(t)$ .

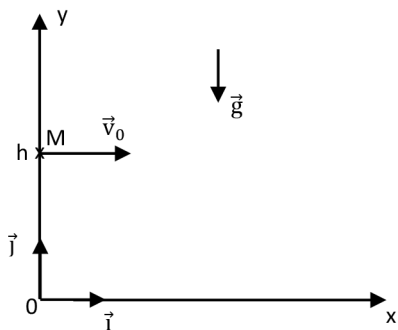
+ Dans le cas où les frottements sont négligés.



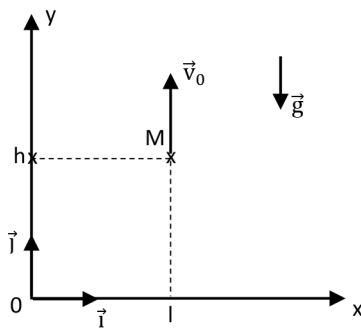
## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Conditions initiales

a Les conditions initiales de la position et de la vitesse dans les situations suivantes:



1



2

• Situation 1:  $\alpha = 0$

$$\overrightarrow{OM}(0) = \begin{cases} x(0) = 0 \\ y(0) = h \end{cases} \text{ et } \vec{v}(0) = \begin{cases} v_x(0) = v_0 \\ v_y(0) = 0 \end{cases}$$

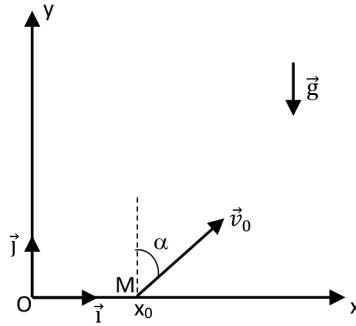
- Situation 2:  $\alpha = 90^\circ$

$$\overrightarrow{OM}(0) = \begin{cases} x(0) = l \\ y(0) = h \end{cases} \text{ et } \vec{v}(0) = \begin{cases} v_x(0) = 0 \\ v_y(0) = v_0 \end{cases}$$

- b) Les conditions initiales d'un système physique sont telles que:

$$\overrightarrow{OM}(0) = \begin{cases} x(0) = x_0 \\ y(0) = 0 \end{cases} \text{ et } \vec{v}(0) = \begin{cases} v_x(0) = v_0 \times \sin(\alpha) \\ v_y(0) = v_0 \times \cos(\alpha) \end{cases}$$

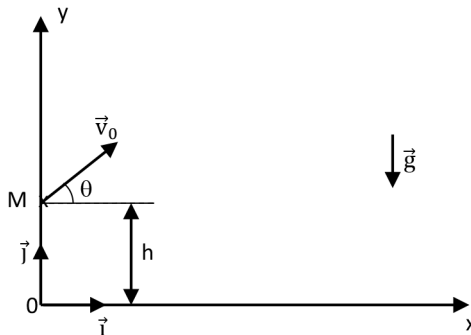
Schématisation de la situation dans un repère cartésien  $(O, x, y)$ :



### EXERCICE 2 Énergies d'un système

Les équations horaires de la vitesse d'un projectile sont données par:

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \times \cos(\theta) \\ v_y(t) = -g \times t + v_0 \times \sin(\theta) \end{cases}$$



- a) Expressions de  $x(0)$ ,  $y(0)$ ,  $v_x(0)$  et  $v_y(0)$ :

D'après la figure ci-dessus,

$$\begin{cases} x(0) = 0 \\ y(0) = h \end{cases}$$

Par ailleurs, remplaçons  $t$  par 0 dans les coordonnées de la vitesse:

$$\begin{cases} v_x(0) = v_0 \times \cos(\theta) \\ v_y(0) = -g \times 0 + v_0 \times \sin(\theta) \end{cases}$$

Soit

$$\begin{cases} v_x(0) = v_0 \times \cos(\theta) \\ v_y(0) = v_0 \times \sin(\theta) \end{cases}$$

**b** Les équations horaires de la position  $x(t)$  et  $y(t)$ :

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \times \cos(\theta) \\ v_y(t) = -g \times t + v_0 \times \sin(\theta) \end{cases}$$

Après intégration, on obtient:

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \times \cos(\theta) \times t + Cte_1 \\ y(t) = -g \times \frac{t^2}{2} + v_0 \times \sin(\theta) \times t + Cte_2 \end{cases}$$

D'après les conditions initiales sur  $x(t)$  et  $y(t)$ , on peut écrire

$$\begin{cases} Cte_1 = 0 \\ Cte_2 = h \end{cases}$$

Il vient

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \times \cos(\theta) \times t \\ y(t) = -g \times \frac{t^2}{2} + v_0 \times \sin(\theta) \times t + h \end{cases}$$

**c** Expression de l'énergie cinétique  $E_c(t)$ :

Par définition,

$$E_c(t) = \frac{1}{2} m v^2(t)$$

Soit

$$E_c(t) = \frac{1}{2} m (v_x^2(t) + v_y^2(t))$$

Par conséquent

$$E_c(t) = \frac{1}{2} m \left[ (v_0 \times \cos(\theta))^2 + (-g \times t + v_0 \times \sin(\theta))^2 \right]$$

$$E_c(t) = \frac{1}{2}m \left[ v_o^2 \cos^2(\theta) + v_o^2 \sin^2(\theta) + (-g \times t)^2 - 2gtv_o \sin(\theta) \right]$$

$$E_c(t) = \frac{1}{2}m \left[ v_o^2 (\cos^2(\theta) + \sin^2(\theta)) + (-g \times t)^2 - 2gtv_o \sin(\theta) \right]$$

Donc

$$E_c(t) = \frac{1}{2}m \left[ v_o^2 + (-g \times t)^2 - 2gtv_o \sin(\theta) \right]$$

Soit

$$E_c(t) = \frac{1}{2}mv_o^2 + \frac{1}{2}mg^2t^2 - mgtv_o \sin(\theta)$$

Expression de  $E_{pp}(t)$ :

Par définition,

$$E_{pp}(t) = m \times g \times y(t)$$

Soit

$$E_{pp}(t) = m \times g \left( -g \times \frac{t^2}{2} + v_o \times \sin(\theta) \times t + h \right)$$

Ce qui donne

$$E_{pp}(t) = -\frac{1}{2}mg^2t^2 + mgtv_o \sin(\theta) + mgh$$

**d** Expression de l'énergie mécanique  $E_m(t)$ :

Par définition,

$$E_m(t) = E_c(t) + E_{pp}(t)$$

Soit

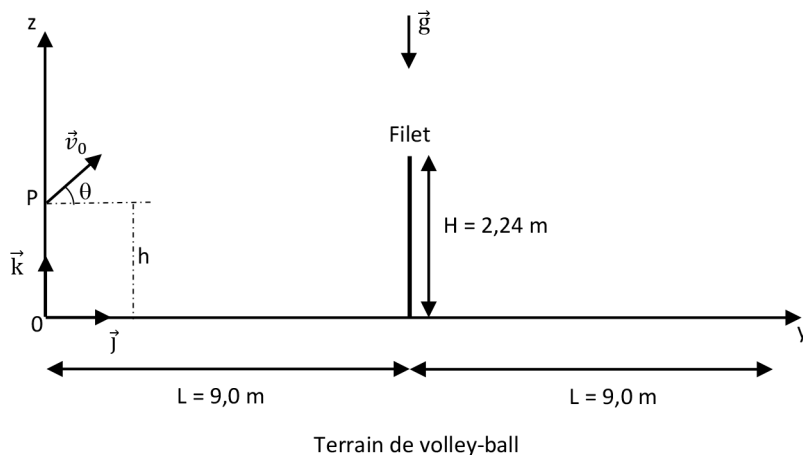
$$E_m(t) = \frac{1}{2}mv_o^2 + \frac{1}{2}mg^2t^2 - mgtv_o \sin(\theta) - \frac{1}{2}mg^2t^2 + mgtv_o \sin(\theta) + mgh$$

Ce qui donne

$$E_m(t) = \frac{1}{2}mv_o^2 + mgh$$

Conclusion:

L'énergie mécanique est constante. Ceci est prévisible puisque les frottements n'ont pas été pris en compte dans l'étude du système.

**EXERCICE 3** Au sujet d'un service


- a** Les conditions initiales de position et de vitesse de la balle :

$$\overrightarrow{OM}(0) = \begin{cases} y(0) = 0 \\ z(0) = h \end{cases} \text{ et } \vec{v}(0) = \begin{cases} v_y(0) = v_0 \cos(\theta) \\ v_z(0) = v_0 \sin(\theta) \end{cases}$$

- b** Les coordonnées  $g_y$  et  $g_z$  du vecteur champ de pesanteur  $\vec{g}$  :

$$\vec{g} = \begin{cases} g_y = 0 \\ g_z = -g \end{cases}$$

- c** L'expression de l'accélération de la balle.

Le système est la balle de volley-ball de masse  $m$  étudiée dans le référentiel terrestre supposé galiléen. D'après la 2<sup>e</sup> loi de Newton, on peut écrire :

$$m\vec{a} = m\vec{g}$$

Soit

$$\vec{a} = \vec{g}$$

Donc

$$\vec{a} = \begin{cases} a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases}$$

- d** Les équations horaires  $v_y(t)$  et  $v_z(t)$  de la balle :

On a

$$\vec{a} = \begin{cases} a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases}$$

Après intégration, on obtient

$$\vec{v} = \begin{cases} v_y = Cte1 \\ v_z = -gt + Cte2 \end{cases}$$

Grâce aux conditions initiales sur la vitesse, on peut déterminer les deux constantes Cte1 et Cte2:

$$\begin{cases} Cte1 = v_o \cos(\theta) \\ Cte2 = v_o \sin(\theta) \end{cases}$$

Il vient:

$$\vec{v} = \begin{cases} v_y = v_o \cos(\theta) \\ v_z = -gt + v_o \sin(\theta) \end{cases}$$

- e Les équations horaires  $y(t)$  et  $z(t)$  de la balle:

On les détermine en intégrant le vecteur vitesse, ce qui donne:

$$\begin{cases} y(t) = v_o \cos(\theta)t + Cte3 \\ z(t) = -g \frac{t^2}{2} + v_o \sin(\theta)t + Cte4 \end{cases}$$

Les conditions initiales sur la position permettent d'avoir accès aux constantes Cte3 et Cte4:

$$\begin{cases} Cte3 = 0 \\ Cte4 = h \end{cases}$$

Il vient

$$\begin{cases} y(t) = v_o \cos(\theta)t \\ z(t) = -g \frac{t^2}{2} + v_o \sin(\theta)t + h \end{cases}$$

- f L'équation de la trajectoire  $z = f(y)$ :

On isole la variable  $t$  à partir de la première équation puis on l'injecte dans la seconde:

$$\begin{cases} t = \frac{y}{v_o \cos(\theta)} \\ z(t) = -g \frac{t^2}{2} + v_o \sin(\theta)t + h \end{cases}$$

Il vient

$$\begin{cases} t = \frac{y}{v_0 \cos(\theta)} \\ z(y) = -g \frac{1}{2} \left( \frac{y}{v_0 \cos(\theta)} \right)^2 + v_0 \sin(\theta) \frac{y}{v_0 \cos(\theta)} + h \end{cases}$$

Donc, l'équation de la trajectoire est donnée par:

$$z(y) = -g \frac{1}{2 v_0^2 \cos^2(\theta)} y^2 + \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)} y + h$$

**+ Application numérique:**

$$z(y) = -9,81 \times \frac{1}{2} \times \frac{y^2}{11^2 \cos^2(45^\circ)} + \frac{\sin(45^\circ)}{\cos(45^\circ)} y + 0,70$$

$$z(y) = -0,081 \times y^2 + y + 0,70 \text{ (en m)}$$

**g** Le service de Rajaa a-t-il été bon?

Calculons la hauteur de la balle au niveau du filet ( $y = 9 \text{ m}$ ):

$$z(9) = -0,081 \times 9^2 + 9 + 0,70$$

$$z(9) = 3 \text{ m}$$

$$z(9) > 2,24 \text{ m qui la hauteur du filet}$$

La balle passe bien par dessus le filet.

Pour déterminer si la balle tombe dans le camp adverse, il faut chercher pour quelle valeur de  $y$ , la fonction  $z(y) = 0$ .

À l'aide d'une calculatrice, la résolution de l'équation

$$-0,081 \times y^2 + y + 0,70 = 0$$

Permet d'obtenir deux solutions:

$$\begin{cases} y_1 = 13 \text{ m} \\ y_2 = -0,66 \text{ m} \end{cases}$$

Seule la solution positive  $y_2$  est retenue.  $y_2$  est inférieure à 18 m. La balle tombe bien dans le camp adverse. Le service de Rajaa a été bon.

**EXERCICE 4 La portée et la flèche**

Les équations horaires du mouvement d'un projectile sont données par :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \times \cos(\alpha) \times t \\ y(t) = -\frac{g}{2}t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t \end{cases}$$

- a** Les conditions initiales de la position  $(x(0), y(0))$  :

$$\begin{cases} x(0) = v_0 \times \cos(\alpha) \times 0 \\ y(0) = -\frac{g}{2}0^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times 0 \end{cases}$$

Soit

$$\begin{cases} x(0) = 0 \\ y(0) = 0 \end{cases}$$

- b** Les coordonnées  $v_x(t)$  et  $v_y(t)$  de la vitesse :

Elles sont obtenues en dérivant les deux fonctions  $x(t)$  et  $y(t)$ .

$$\begin{cases} v_x(t) = \frac{d(v_0 \times \cos(\alpha) \times t)}{dt} \\ v_y(t) = \frac{d\left(-\frac{g}{2}t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t\right)}{dt} \end{cases}$$

Soit

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \times \cos(\alpha) \\ v_y(t) = -gt + v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

- c** Les conditions initiales de la vitesse  $(v_x(0), v_y(0))$  :

$$\begin{cases} v_x(0) = v_0 \times \cos(\alpha) \\ v_y(0) = -g \times 0 + v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

Soit

$$\begin{cases} v_x(0) = v_0 \times \cos(\alpha) \\ v_y(0) = v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

- d** Les deux dates  $t_{p1}$  et  $t_{p2}$  pour lesquelles  $y(t)$  s'annule :

$$y(t) = 0 \text{ implique } -\frac{g}{2}t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t = 0$$

Soit

$$t \times \left( -\frac{g}{2} \times t + v_0 \times \sin(\alpha) \right) = 0$$

Ce qui donne:

$$\begin{cases} t = 0 \\ -\frac{g}{2}t + v_0 \times \sin(\alpha) = 0 \end{cases}$$

Soit

$$\begin{cases} t_{p1} = 0 \\ t_{p2} = \frac{2v_0 \times \sin(\alpha)}{g} \end{cases}$$

- e L'expression de la portée du mouvement  $p$  en fonction de  $v_0$ ,  $g$  et  $\alpha$ :

$$p = x(t_{p2})$$

Soit

$$p = v_0 \times \cos(\alpha) \times \frac{2v_0 \times \sin(\alpha)}{g}$$

Ce qui donne

$$p = \frac{2v_0^2 \times \sin(\alpha) \cos(\alpha)}{g}$$

- f La date  $t_f$  pour laquelle  $v_y(t) = 0$ :

$$-gt_f + v_0 \times \sin(\alpha) = 0$$

Ce qui donne

$$t_f = \frac{v_0 \sin(\alpha)}{g}$$

- g L'expression de la flèche  $H_{\max}$  en fonction de  $v_0$ ,  $g$  et  $\alpha$ :

$$H_{\max} = -\frac{g}{2}t_f^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t_f$$

Soit

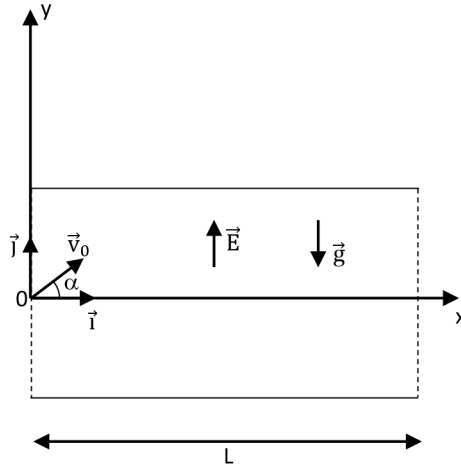
$$H_{\max} = -\frac{g}{2} \left( \frac{v_0 \sin(\alpha)}{g} \right)^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times \frac{v_0 \sin(\alpha)}{g}$$

Ce qui donne

$$H_{\max} = \frac{1}{2} \frac{v_0^2 \sin^2(\alpha)}{g}$$

### EXERCICE 5 Mouvement d'un électron

Un électron pénètre dans un condensateur plan avec une vitesse initiale inclinée d'un angle  $\theta$  par rapport à l'axe des abscisses (Ox).



- a) Comparaison des deux forces, électrique  $\vec{F}$  et du poids  $\vec{P}$  :

$$\vec{F} = -e\vec{E} \text{ et } \vec{P} = m\vec{g}$$

#### + Application numérique:

$$F = 1,6 \times 10^{-19} \times 760$$

Soit

$$F = 1,2 \times 10^{-16} \text{ N}$$

$$P = 9,1 \times 10^{-31} \times 9,81$$

Soit

$$P = 8,9 \times 10^{-30} \text{ N}$$

$$\frac{F}{P} = \frac{1,2 \times 10^{-16}}{8,9 \times 10^{-30}} = 1,3 \times 10^{13}$$

L'effet de la force de poids de l'électron peut être négligé devant celui de la force électrique.

- b** L'expression du vecteur accélération  $\vec{a}$  de l'électron:

L'électron étant soumis uniquement à la force électrique. Dans un référentiel terrestre supposé galiléen, la deuxième loi de Newton s'écrit:

$$m\vec{a} = -e\vec{E}$$

Ce qui donne

$$\vec{a} = \frac{-e}{m}\vec{E}$$

Soit

$$\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{-e}{m}E \end{cases}$$

- c** Les coordonnées du vecteur vitesse  $\vec{v}$  de l'électron:

Après intégration, on obtient

$$\vec{v} = \begin{cases} v_x = Cte_1 \\ v_y = \frac{-e}{m}E \times t + Cte_2 \end{cases}$$

Les deux constantes sont déterminées grâce aux conditions initiales sur la vitesse:

$$\vec{v} = \begin{cases} v_x = v_0 \cos(\alpha) \\ v_y = \frac{-e}{m}E \times t + v_0 \sin(\alpha) \end{cases}$$

- d** Les équations horaires  $x(t)$  et  $y(t)$  du mouvement de l'électron:

Après une seconde intégration, on obtient

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cos(\alpha) \times t + Cte_3 \\ y(t) = \frac{-e}{m}E \times \frac{1}{2}t^2 + v_0 \sin(\alpha) \times t + Cte_4 \end{cases}$$

D'après les conditions initiales sur la position, on a  $Cte_3 = Cte_4 = 0$ .

Il vient

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cos(\alpha) \times t \\ y(t) = \frac{-e}{m}E \times \frac{1}{2}t^2 + v_0 \sin(\alpha) \times t \end{cases}$$

e La nature de la trajectoire de l'électron:

$$\begin{cases} t = \frac{x}{v_0 \cos(\alpha)} \\ y(t) = \frac{-e}{m} E \times \frac{1}{2} t^2 + v_0 \sin(\alpha) \times t \end{cases}$$

Soit

$$\begin{cases} t = \frac{x}{v_0 \cos(\alpha)} \\ y(x) = \frac{-e}{m} E \times \frac{1}{2} \left( \frac{x}{v_0 \cos(\alpha)} \right)^2 + v_0 \sin(\alpha) \times \frac{x}{v_0 \cos(\alpha)} \end{cases}$$

Donc, l'équation de la trajectoire est donnée par:

$$y(x) = \frac{-e}{m} E \times \frac{1}{2} \left( \frac{x}{v_0 \cos(\alpha)} \right)^2 + \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} x$$

Il s'agit d'une parabole.

#### EXERCICE 6 Question ouverte

Les équations du mouvement:

$$\begin{cases} x(t) = 1,74 \times t + 3,5 \\ y(t) = -4,92 \times t^2 + 4,44t + 2,2 \end{cases}$$

L'écriture générale de ce système d'équations est telle que:

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \times \cos(\alpha) \times t + x_0 \\ y(t) = -\frac{g}{2} t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t + y_0 \end{cases}$$

Par identification, on peut écrire:

$$\begin{cases} -\frac{g}{2} = -4,92 \\ v_0 \times \cos(\alpha) = 1,74 \\ v_0 \times \sin(\alpha) = 4,44 \end{cases} \text{ et } \begin{cases} x_0 = 3,5 \text{ m} \\ y_0 = 2,2 \text{ m} \end{cases}$$

Calcul de la valeur de g:

$$-\frac{g}{2} = -4,92 \text{ Soit } g = 9,84 \text{ m.s}^{-2}$$

Calcul de  $\alpha$ :

$$\frac{v_0 \times \sin(\alpha)}{v_0 \times \cos(\alpha)} = \frac{4,44}{1,74}$$

Soit

$$\tan(\alpha) = 2,55$$

Donc

$$\alpha \approx 69^\circ$$

Calcul de la valeur de  $v_0$ :

$$v_0 \times \cos(\alpha) = 1,74$$

Ce qui donne

$$v_0 = \frac{1,74}{\cos(\alpha)}$$

Soit

$$v_0 = \frac{1,74}{\cos(69)}$$

Donc

$$v_0 = 4,9 \text{ m.s}^{-1}$$

### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

**a** Les rubriques du programme liées aux données du problème complétées:

```
# La valeur de l'intensité de pesanteur en N/kg
g = 9.81
# Coordonnées initiales en m
x0 = 0
y0 = 3.0
# Valeur de la vitesse initiale en m/s
v0 = 8.0
# Angle en degré d'inclinaison du vecteur vitesse initiale par
rapport l'axe Ox
alpha = math.radians(50)
```

**b** La rubrique du programme liée au calcul de la portée complétée:

```
# Calcul de la valeur de la portée p
p = x0 + (math.sin(2*alpha)*v0**2)/g
```

- c La rubrique du programme liée au calcul de la flèche complétée:

```
# Calcul de la valeur de la flèche H
H = y0 + (math.sin(alpha)**2*v0**2)/(2*g)
```

- d Exécution du programme et affichage:

```
La portée : p = 6,42 m
La flèche : H = 4,91 m
```

Voici le script du programme Python complété:

```
# Script pour déterminer la portée p et la flèche H du mouve-
ment d'un projectile,
import math
# La valeur de l'intensité de pesanteur en N/kg
g = 9.81
# Coordonnées initiales en m
x0 = 0
y0 = 3.0
# Valeur de la vitesse initiale en m/s
v0 = 8.0
# Angle en degré d'inclinaison du vecteur vitesse initiale par
rapport l'axe Ox
alpha = math.radians(50)
# Calcul de la valeur de la portée p
p = x0 + (math.sin(2*alpha)*v0**2)/g
# Calcul de la valeur de la flèche H
H = y0 + (math.sin(alpha)**2*v0**2)/(2*g)
# Affichage des résultats
print("La portée : p =", str(round(p,2)) + "m")
print("La flèche : H =", str(round(H,2)) + "m")
```

### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Protocole expérimental permettant de déterminer les conditions initiales du mouve-  
ment d'une balle de tennis:

**+ Liste de matériel:**

- Balle de tennis;
- Caméra;
- Règle de 1 m pour tableau;
- Logiciel de pointage sur pc ou smartphone.

**+ Protocole:**

1. Filmer le mouvement de la balle en respectant les consignes suivantes:
  - La règle doit apparaître sur la vidéo car sa longueur sera utilisée pour l'étalonnage;
  - Le plan vertical de la caméra doit être parallèle à celui du mouvement;
  - La caractéristique nombre d'images par seconde du réglage de la caméra doit être convenablement choisie pour permettre d'obtenir suffisamment d'images à pointer.
2. Pointer la vidéo du mouvement image par image pour récupérer les deux fonctions temporelles  $x(t)$  et  $y(t)$ .

3. Modéliser la courbe  $x(t)$  par une fonction affine:  $ax+b$ .

4. Modéliser la courbe  $y(t)$  par une fonction polynôme de degré 2:  $cx^2+dx+e$

5. L'équation de la 1<sup>re</sup> modélisation comparée à l'équation horaire

$$x(t) = v_o \times \cos(\alpha) \times t + x_o$$

permet d'avoir accès à  $v_o \times \cos(\alpha) = a$  et  $x_o = b$ .

6. L'équation de la 2<sup>e</sup> modélisation comparée à l'équation horaire

$$-\frac{g}{2}t^2 + v_o \times \sin(\alpha) \times t + y_o$$

permet d'avoir accès à  $-\frac{g}{2} = c$ , à  $v_o \times \sin(\alpha) = d$  et à  $y_o = e$ .

7. Pour déterminer la valeur de  $\alpha$ , on calcule le rapport:

$$\frac{d}{a} = \frac{v_o \times \sin(\alpha)}{v_o \times \cos(\alpha)} = \tan(\alpha) \text{ ce qui donne } \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{d}{a}\right)$$

8. Pour déterminer la valeur de  $v_o$ , on utilise une des équations précédentes:

$$v_o \times \sin(\alpha) = d \text{ soit } v_o = \frac{d}{\sin(\alpha)}$$

MOUVEMENT DANS UN CHAMP UNIFORME

C.I :  $\begin{cases} x(0) = x_0 \\ y(0) = y_0 \end{cases}$  et  $\begin{cases} v_{0x} = v_0 \cdot \cos(\alpha) \\ v_{0y} = v_0 \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$  ;  $\vec{g} \begin{cases} g_x = 0 \\ g_y = -g \end{cases}$  ;  $m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g}$

$\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$  Intégration  $\Rightarrow \begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \\ v_y(t) = -g \cdot t + v_0 \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$

$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \\ v_y(t) = -g \cdot t + v_0 \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$  Intégration  $\Rightarrow \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t + x_0 \\ y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t + y_0 \end{cases}$

Trajectoire :  $y(x) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot \frac{(x-x_0)^2}{v_0^2 \cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha) \cdot (x-x_0) + y_0$

Condensateur plan :  $E = \frac{U_{AB}}{d}$

Expressions de  $\vec{a}$ ,  $\vec{v}$  et  $\vec{OM}$  : S'obtiennent en remplaçant  $g$  par  $\frac{qE}{m}$  ou  $\frac{qU_{AB}}{md}$

Énergie mécanique :  $E_m = E_c + E_p = cte$  en l'absence de forces non conservatives comme la force de frottement

Accélérateur de particules chargées :  $\Delta E_c = W_{AB}(q, \vec{E}) = q \times U_{AB}$

Théorème de  $E_c$  :  $\Delta E_c = W_{AB}(\vec{F}_{Ext})$

Variation de  $E_m$  :  $\Delta E_m = W_{AB}(\vec{F}_{non\ Conservative})$

Champ de pesanteur uniforme :  
Mouvement de systèmes neutres


Champ électrique uniforme :  
Mouvement de systèmes chargés

Aspect énergétique :  
Conservation de l'énergie ou pas


Mouvement dans un champ uniforme

# MOUVEMENTS DES SATELLITES ET DES PLANÈTES


## LES 10 QUESTIONS

- 1  C'est quoi l'orbite d'une planète ou d'un satellite?


↳ .....

.....
- 2  C'est quoi la période de révolution d'une planète ou d'un satellite?


↳ .....

.....
- 3  C'est quoi la première loi de Kepler?


↳ .....

.....
- 4  C'est quoi la 2<sup>e</sup> loi de Kepler?

↳ .....


.....
- 5  C'est quoi la 3<sup>e</sup> loi de Kepler?

↳ .....

.....
- 6  Quelle est dans le repère de Frenet, l'expression de l'accélération du mouvement elliptique d'une planète ou d'un satellite autour d'un centre attracteur?


↳ .....

.....

- 7  Quelles sont dans le repère de Frenet, les expressions de l'accélération du mouvement circulaire d'une planète ou d'un satellite autour d'un centre attracteur en fonction de  $r$  puis en fonction de  $r$  et  $v$ ?


↳ .....

.....

- 8  Quelle est l'expression de la vitesse d'une planète ou d'un satellite en mouvement circulaire uniforme autour d'un centre attracteur?

↳ .....

.....

- 9  Quelle est l'expression de la période  $T$  de révolution d'une planète ou d'un satellite en mouvement circulaire uniforme autour d'un centre attracteur? Comment retrouver la 3<sup>e</sup> loi de Kepler à partir de l'expression de  $T$ ?

↳ .....

.....

- 10  C'est quoi un satellite géostationnaire?

↳ .....

.....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Orbite de Mars

La planète Mars, au cours de son mouvement autour du Soleil, décrit une orbite de demi-grand axe  $a = 1,5$  U.A.

La durée d'un tour complet est  $T = 1,88$  année.

- Quel est le nom que l'on attribue à la durée  $T$ .
- Exprimer la valeur de  $T$  en secondes.
- Quelle est la nature de la trajectoire de Mars.

- d OÙ se trouve le Soleil par rapport à la planète Mars.
- e Exprimer la valeur du demi-grand axe  $a$  en mètres.

Donnée:

1 unité astronomique U.A = 150 millions de km.



### EXERCICE 2 Orbite de la Terre

La Terre décrit autour de son étoile, le Soleil une ellipse.

Le périhélie de la Terre est de 147 098 074 km et son aphélie est de 152 097 701 km.

- a Définir les termes aphélie et périhélie.
- b Comment appelle-t-on ces deux points dans le cas général d'un objet céleste gravitant autour d'un centre attracteur?
- c Déterminer la valeur du demi-grand axe  $a$  de l'orbite de la Terre autour du Soleil.



### EXERCICE 3 L'orbite la plus circulaire!

De toutes les planètes du système solaire, Vénus est la planète dont l'orbite est la plus circulaire. Le rayon de sa trajectoire  $R$  est de 108 millions de km.

- a Donner le nom du référentiel galiléen le plus adapté pour étudier le mouvement de Vénus?
- b Représenter sur un schéma l'orbite de Vénus, son vecteur  $\vec{a}$  accélération et le vecteur force de gravitation  $\vec{F}$ .
- c Donner les expressions de  $\vec{F}$  et  $\vec{a}$ .
- d Montrer que la vitesse de rotation de Vénus est constante.
- e Déterminer l'expression de cette vitesse et calculer sa valeur.
- f En utilisant la 3<sup>e</sup> loi de Kepler, déterminer la valeur de la période  $T$  de révolution de Vénus.

Données:

- Constante de gravitation universelle:  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ .
- Masse de la Terre:  $M_T = 2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$ .
- Masse de Vénus:  $M_V = 4,9 \times 10^{24} \text{ kg}$ .



### EXERCICE 4 Satellite naturel de la Terre

Le mouvement de la Lune autour de la Terre peut être assimilé à un mouvement circulaire et uniforme de rayon  $R$  et de période de révolution  $T$ .

- a Dans quel référentiel galiléen peut-on étudier le mouvement de la Lune?

- b** Donner dans le repère de Frenet, les expressions du vecteur force de gravitation  $\vec{F}$  qu'exerce la Terre sur la Lune, des vecteurs accélération  $\vec{a}$  et vitesse  $\vec{v}$  de la Lune.
- c** Déterminer l'expression de la période  $T$  de révolution de la Lune. Calculer sa valeur.
- d** Pourquoi la Lune ne s'écrase pas sur la Terre?

Données:

- Constante de gravitation universelle:  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ .
- Masse de la Terre:  $M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$ .
- Masse de la Lune:  $M_L = 7,3 \times 10^{22} \text{ kg}$ .
- Distance Terre-Lune:  $d_{T-L} = 384400 \text{ km}$ .



### EXERCICE 5 Satellite géostationnaire

La période de rotation  $T$  d'un satellite géostationnaire autour de la Terre est donnée par:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G M_T}}$$

$h$  est l'altitude du satellite et  $R_T$  le rayon de la Terre.

- a** Quelles sont les deux conditions que doit remplir un satellite pour qu'il soit géostationnaire?
- b** Déterminer la valeur de l'altitude  $h$  d'un satellite géostationnaire.

Données:

- Constante de gravitation universelle:  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ .
- Masse de la terre:  $M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$ .
- Période de rotation sidérale de la Terre:  $T = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 4 \text{ s}$ .
- Rayon de la Terre:  $R_T = 6371 \text{ km}$ .



### EXERCICE 6 Question ouverte

La trajectoire du mouvement de révolution de la Lune autour de la Terre est une ellipse. Le périhélie de la Lune est de 356 410 km et son apogée est de 405 500 km.

Déterminer la période de révolution de la Lune autour de la Terre.

Données:

- Constante de gravitation universelle:  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ .
- Masse de la terre:  $M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$ .



## EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Le script du programme Python ci-dessous, permet de tracer l'orbite d'un objet céleste en rotation autour d'un centre attracteur.

```
# Scripte pour tracer l'orbite d'un objet céleste en rotation autour
# d'un centre attracteur
import matplotlib.pyplot as plt
import math
#Initialisation des listes
t =[]
x =[]
y =[]
vx =[]
vy =[]
ax =[]
ay =[]
# Période de révolution de l'objet céleste en s
T = .....
#Rayon de l'orbite circulaire en m
R =.....
# Pas temporel Dt en s
Dt = .....
# Remplissage de la liste t toutes les T/20
for i in range(30):
t.append(.....)
t.append(T)
# Remplissage des listes x et y
for i in range (30) :
x.append(R*math.cos(2*math.pi*t[i]/T))
y.append(R*math.sin(.....))
# Remplissage des listes vx et vy
for i in range (1,29) :
vx.append(.....)
vy.append(.....)
# Remplissage des listes ax et ay
for i in range (1,27) :
ax.append(.....)
ay.append(.....)
```

```

# tracé de la trajectoire de l'objet céleste
plt.axis("equal")
plt.xlabel("x (en m)")
plt.ylabel("y (en m)")
plt.title("Orbite de la Lune")
plt.text(0,0 ,"Terre", fontsize =15,color ='b')
plt.plot(x,y,"bo")
plt.plot(0,0,"go")
plt.plot
# Affichage des vecteurs accélérations
for i in range (26) :
plt.arrow(x[i+2],y[i+2],8e10*ax[i],8e10*ay[i],head_width =1.5e7,head_length
=0.5e8,length_includes_head =True)
plt.show()

```

Le mouvement de la Lune autour de la Terre peut être considéré comme circulaire et uniforme. Le rayon de l'orbite est  $R = 384\,400$  km et la période de révolution est  $T = 29,5$  jours.

Les équations horaires de la trajectoire de la Lune sont telles que:

$$\begin{cases} x(t) = R \times \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \\ y(t) = R \times \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \end{cases}$$

Le pas temporel du calcul numériques  $\Delta t = T/20$

- a** Compléter les rubriques des valeurs du programme liées aux données du problème.
- b** Compléter la rubrique du programme liée au remplissage de la liste  $t$ .
- c** Compléter la rubrique du programme liée au remplissage de la liste  $y$ .
- d** Compléter la rubrique du programme liée au remplissage des listes  $v_x$  et  $v_y$ .
- e** Compléter la rubrique du programme liée au remplissage des listes  $a_x$  et  $a_y$ .
- f** Exécuter le programme. Quelle est la nature de la trajectoire de la Lune?

**EXERCICE 8** Protocole TP ECE


Proposer un protocole expérimental permettant de vérifier la 3<sup>e</sup> loi de Kepler pour le système solaire.

| Planète                       | Mercure | Venus | Terre | Mars | Jupiter | Saturne | Uranus | Neptune |
|-------------------------------|---------|-------|-------|------|---------|---------|--------|---------|
| $a(\times 10^{11} \text{ m})$ | 0,585   | 1,08  | 1,50  | 2,25 | 7,80    | 14,3    | 28,8   | 25,0    |
| $T(\times 10^7 \text{ s})$    | 0,757   | 1,94  | 3,16  | 5,93 | 37,6    | 92,8    | 265    | 521     |

**+ Liste de matériel:**

- Ordinateur ou smartphone;
- Logiciel tableur-grapheur.

## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  C'est quoi l'orbite d'une planète ou d'un satellite?

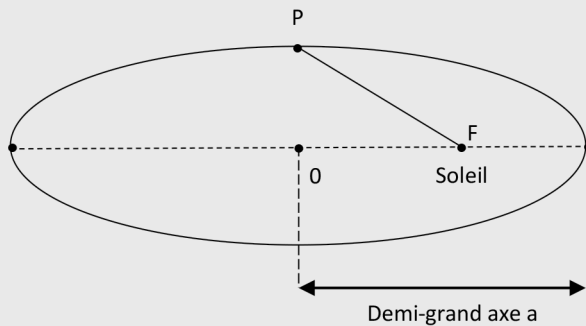
- + C'est la trajectoire de son centre de masse G dans le référentiel lié au centre de l'astre attracteur.


2  C'est quoi la période de révolution d'une planète ou d'un satellite?

- + C'est la durée T nécessaire pour parcourir l'ensemble de son orbite.

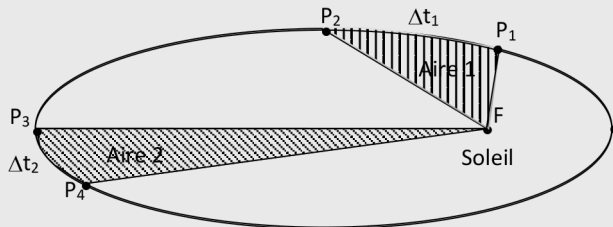
3  C'est quoi la première loi de Kepler?

- + Dans le référentiel héliocentrique l'orbite d'une planète est une ellipse et le centre du Soleil occupe un des deux foyers.




4  C'est quoi la 2<sup>e</sup> loi de Kepler?

- + Le segment reliant la planète au Soleil balaye des aires égales pendant des durées égales.




Si  $\Delta t_1 = \Delta t_2$  alors Aire 1 = Aire 2


5  C'est quoi la 3<sup>e</sup> loi de Kepler?

- + La période de révolution  $T$  et le demi-grand axe  $a$  sont reliés par la formule:

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{constante}$$

6  Quelle est dans le repère de Frenet, l'expression de l'accélération du mouvement elliptique d'une planète ou d'un satellite autour d'un centre attracteur?

- + 
$$\vec{a}(t) = \frac{dv(t)}{dt} \vec{t} + \frac{v^2}{a} \vec{n}$$

7  Quelles sont dans le repère de Frenet, les expressions de l'accélération du mouvement circulaire et uniforme d'une planète ou d'un satellite autour d'un centre attracteur en fonction de  $r$  puis en fonction de  $r$  et  $v$ ?

- + La planète ou le satellite de masse  $m$  sont soumis uniquement à la force de gravitation due au centre attracteur de masse  $M$ , la 2<sup>e</sup> loi de Newton permet d'écrire:


$$m \times \vec{a}(t) = G \frac{mM}{r^2} \vec{n} \text{ soit } \vec{a}(t) = G \frac{M}{r^2} \vec{n}$$

- + Le mouvement est circulaire et uniforme donc:  $\frac{dv(t)}{dt} = 0$  et

$$a = r.$$


L'expression de l'accélération devient:

$$\vec{a}(t) = \frac{v^2}{r} \vec{n}$$

8  Quelle est l'expression de la vitesse d'une planète ou d'un satellite en mouvement circulaire uniforme autour d'un centre attracteur?

- + On a:

$$\vec{a}(t) = \frac{v^2}{r} \vec{n} = G \frac{M}{r^2} \vec{n} \text{ soit } v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

- 9  Quelle est l'expression de la période  $T$  de révolution d'une planète ou d'un satellite en mouvement circulaire uniforme autour d'un centre attracteur? Comment retrouver la 3<sup>e</sup> loi de Kepler à partir de l'expression de  $T$ ?

- + La période  $T$  est la durée nécessaire pour que la planète ou le satellite fasse un tour complet soit le périmètre du cercle  $2\pi r$ . la vitesse peut s'écrire:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \sqrt{\frac{GM}{r}} \text{ soit } T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

- + En appliquant le carré à la période, on obtient:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{r^3}{GM} \text{ soit } \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM} : \text{c'est la 3<sup>e</sup> loi de Kepler}$$

- 10  C'est quoi un satellite géostationnaire?

- + C'est un satellite qui est toujours positionné au dessus du même point de la surface de la Terre car il tourne à la même vitesse que celle de la Terre autour du même axe de rotation (son orbite est placée sur le plan équatorial).

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 **Orbite de Mars**

La planète Mars, au cours de son mouvement autour de du Soleil, décrit une orbite de demi-grand axe  $a = 1,5$  U.A.

La durée d'un tour complet est  $T = 1,88$  année

- a** Le nom que l'on attribue à la durée  $T$  est la période de révolution.  
**b** Expression de la valeur de  $T$  en secondes:

$$\begin{aligned} T &= 1,88 \text{ année} \\ &= 1,88 \times 365,25 \times 24 \times 3600 \\ &= 5,93 \times 10^7 \text{ s.} \end{aligned}$$

- c** La nature de la trajectoire de Mars:  
La trajectoire est une ellipse.  
**d** Position du Soleil par rapport à la planète Mars:  
D'après la 1<sup>re</sup> loi de Kepler, le Soleil se trouve dans un des deux foyers de l'ellipse.

- e Expression de la valeur du demi-grand axe  $a$  en mètres:

$$\begin{aligned} a &= 1,5 \text{ U.A.} \\ &= 1,5 \times 150 \times 10^6 \times 10^3 \\ &= 2,3 \times 10^{11} \text{ m.} \end{aligned}$$

### EXERCICE 2 Orbite de la Terre

- a Définition de la périhélie:  
C'est la position de la Terre la plus proche du Soleil.  
Définition de l'aphélie:  
C'est la position de la Terre la plus éloignée du Soleil.
- b Noms de ces deux points dans le cas général d'un objet céleste gravitant autour d'un centre attracteur:  
Le périapside et l'apoapside.
- c La valeur du demi-grand axe  $a$  de l'orbite de la Terre autour du Soleil:

$$a = \frac{\text{périhélie} + \text{aphélie}}{2}$$

#### + Application numérique:

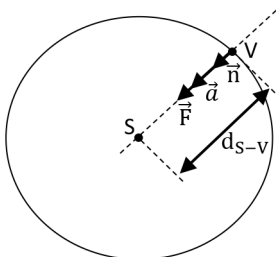
$$a = \frac{147\,098\,074 + 152\,097\,701}{2}$$

Soit

$$a = 149\,597\,888 \text{ km.}$$

### EXERCICE 3 L'orbite la plus circulaire!

- a Le nom du référentiel galiléen le plus adapté pour étudier le mouvement de Vénus:  
Référentiel héliocentrique.
- b Le schéma l'orbite de Vénus, son vecteur  $\vec{a}$  accélération et le vecteur force de gravitation  $\vec{F}$  :



- c Les expressions de  $\vec{F}$  et  $\vec{a}$  :

$$\vec{F} = G \frac{M_S \times M_V}{d_{S-V}^2} \vec{n}$$

D'après la 2<sup>e</sup> loi de Newton appliquée au système (Vénus) dans le référentiel héliocentrique galiléen, on peut écrire

$$M_V \times \vec{a} = G \frac{M_S \times M_V}{d_{S-V}^2} \vec{n}$$

Soit

$$\vec{a} = G \frac{M_S}{d_{S-V}^2} \vec{n}$$

- d La vitesse de rotation de Vénus est constante :

On sait que le vecteur accélération dans le repère de Frenet est donné par :

$$\vec{a} = \frac{v^2}{d_{S-V}} \vec{n} + \frac{dv}{dt} \vec{t}$$

Puisque le vecteur accélération est porté uniquement par le vecteur unitaire  $\vec{n}$ .

Par conséquent,

$$\frac{dv}{dt} = 0$$

Donc la valeur de la vitesse est constante.

- e L'expression de cette vitesse et calcul de sa valeur :

En égalisant les deux expressions de l'accélération, il vient

$$\frac{v^2}{d_{S-V}} \vec{n} = G \frac{M_S}{d_{S-V}^2} \vec{n}$$

Ce qui donne

$$v = \sqrt{G \frac{M_S}{d_{S-V}}}$$

**+ Application numérique :**

$$v = \sqrt{6,67 \times 10^{-11} \frac{2,0 \times 10^{30}}{108 \times 10^6 \times 10^3}}$$

Soit

$$v = 3,5 \times 10^4 \text{ m.s}^{-1}$$

- Ⓛ La valeur de la période  $T$  de révolution de Vénus :

D'après la 3<sup>e</sup> loi de Kepler, on peut écrire

$$\frac{T^2}{d_{S-V}^3} = \frac{4\pi^2}{G.M_S}$$

Donc

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 \cdot d_{S-V}^3}{G.M_S}}$$

Soit

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{d_{S-V}^3}{G.M_S}}$$

+ **Application numérique :**

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(108 \times 10^6 \times 10^3)^3}{6,67 \times 10^{-11} \cdot 2,0 \times 10^{30}}}$$

Soit

$$T = 1,9 \times 10^7 \text{ s}$$

**EXERCICE 4** Satellite naturel de la Terre

Le mouvement de la Lune autour de la Terre peut être assimilé à un mouvement circulaire et uniforme de rayon  $R$  et de période de révolution  $T$ .

- a) Référentiel d'étude du mouvement de la Lune :

Référentiel géocentrique.

- b) Les expressions de  $\vec{F}$ , de  $\vec{a}$  et de  $\vec{v}$  de la Lune :

$$\vec{F} = G \frac{M_T \times M_L}{d_{T-L}^2} \vec{n}$$

D'après la 2<sup>e</sup> loi de Newton appliquée au système Lune dans le référentiel géocentrique galiléen, on peut écrire

$$M_L \times \vec{a} = G \frac{M_T \times M_L}{d_{T-L}^2} \vec{n}$$

Soit

$$\vec{a} = G \frac{M_T}{d_{T-L}^2} \vec{n}$$

Par ailleurs

$$\vec{a} = \frac{v^2}{d_{T-L}} \vec{n}$$

Il vient

$$v = \sqrt{G \frac{M_T}{d_{T-L}}}$$

Donc

$$\vec{v} = \sqrt{G \frac{M_T}{d_{T-L}}} \vec{t}$$

- c** L'expression de la période  $T$  de révolution de la Lune et calcul de sa valeur:  
 Au cours d'une durée égale à  $T$ , la Lune parcourt une distance égale au périmètre du cercle de rayon  $d_{T-L}$ .

On peut écrire

$$v = \frac{2\pi d_{T-L}}{T}$$

Soit

$$T = \frac{2\pi d_{T-L}}{v}$$

Il vient

$$T = \frac{2\pi d_{T-L}}{\sqrt{G \frac{M_T}{d_{T-L}}}}$$

Ce qui donne

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{d_{T-L}^3}{G M_T}}$$

**+ Application numérique:**

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(384\,400 \times 10^3)^3}{6,67 \times 10^{-11} \cdot 6,0 \times 10^{24}}}$$

Soit

$$T = 2,4 \times 10^6 \text{ s}$$

- d** La Lune ne s'écrase pas sur la Terre:  
Car la Lune possède une vitesse qui lui permet de se maintenir en orbite.

### EXERCICE 5 Satellite géostationnaire

La période de rotation  $T$  d'un satellite géostationnaire autour de la Terre est donnée par:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G.M_T}}$$

$h$  est l'altitude du satellite et  $R_T$  le rayon de l'orbite.

- a** Les deux conditions que doit remplir un satellite pour qu'il soit géostationnaire:
- Vitesse de rotation: égale à la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même;
  - Orbite: placée dans le plan équatorial pour avoir le même axe de rotation que celui de la Terre.
- b** La valeur de l'altitude  $h$  d'un satellite géostationnaire:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G.M_T}}$$

On porte au carré les deux membres de l'égalité:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{(R_T + h)^3}{G.M_T}$$

Ce qui donne

$$(R_T + h)^3 = \frac{T^2}{4\pi^2} G.M_T$$

Soit

$$R_T + h = \left( \frac{T^2}{4\pi^2} G.M_T \right)^{\frac{1}{3}}$$

Il vient

$$h = \left( \frac{T^2}{4\pi^2} G.M_T \right)^{\frac{1}{3}} - R_T$$

**+ Application numérique:**

$$T = 23 \times 3600 + 56 \times 60 + 4$$

Soit

$$T = 86164 \text{ s}$$

Il vient

$$h = \left( \frac{(86164)^2}{4\pi^2} \cdot 6,67 \times 10^{-11} \times 6,0 \times 10^{24} \right)^{\frac{1}{3}} - 6371 \times 10^3$$

$$h = 3,6 \times 10^7 \text{ m}$$

L'altitude d'un satellite géostationnaire est d'environ 36000 km.

**EXERCICE 6 Question ouverte**

La trajectoire du mouvement de révolution de la Lune autour de la Terre est une ellipse. Le périégée de la Lune est de 356410 km et son apogée est de 405500 km.

Calcul de la période de révolution de la Lune autour de la Terre:

- Déterminons le demi-grand axe de l'orbite de la Lune:

$$a = \frac{\text{périégée} + \text{apogée}}{2}$$

**+ Application numérique:**

$$a = \frac{356\,410 + 405\,500}{2}$$

Soit

$$a = 380\,955 \text{ km.}$$

- Utilisons la 3<sup>e</sup> loi de Kepler pour déterminer la période de révolution de la Lune autour de la Terre:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G.M_T}$$

Donc

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 \cdot a^3}{G.M_T}}$$

Soit

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{G.M_T}}$$

**+ Application numérique:**

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(380\,955 \times 10^3)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times 6,0 \times 10^{24}}}$$

Soit

$$T = 2,3 \times 10^6 \text{ s}$$

Cette durée correspond à environ 27 jours, c'est la période sidérale de la Lune. Cette période est sensiblement égale à la période de rotation de la Lune sur elle-même c'est pour cela que l'on voit de la Terre toujours la même face de la Lune.

**EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python**

Le mouvement de la Lune autour de la Terre peut être considéré comme circulaire et uniforme. Le rayon de l'orbite est  $R = 384\,400 \text{ km}$  et la période de révolution synodique est  $T = 29,5 \text{ jours}$ .

Les équations horaires de la trajectoire de la Lune sont telles que:

$$\begin{cases} x(t) = R \times \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \\ y(t) = R \times \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \end{cases}$$

Le pas temporel du calcul numériques  $\Delta t = T/20$ .

- a** Les rubriques des valeurs du programme liées aux données du problème complétées:

```
# Période de révolution de l'objet céleste en s
T = 2.55e6
#Rayon de l'orbite circulaire en m
R = 3.84e8
# Pas temporel Dt en s
Dt = T/20
```

- b** La rubrique du programme liée au remplissage de la liste t complétée:

```
# Remplissage de la liste t toutes les T/20
for i in range(30):
    t.append(i*Dt)
    t.append(T)
```

- c La rubrique du programme liée au remplissage de la liste y complétée:

```
y.append(R*math.sin(2*math.pi*t[i]/T))
```

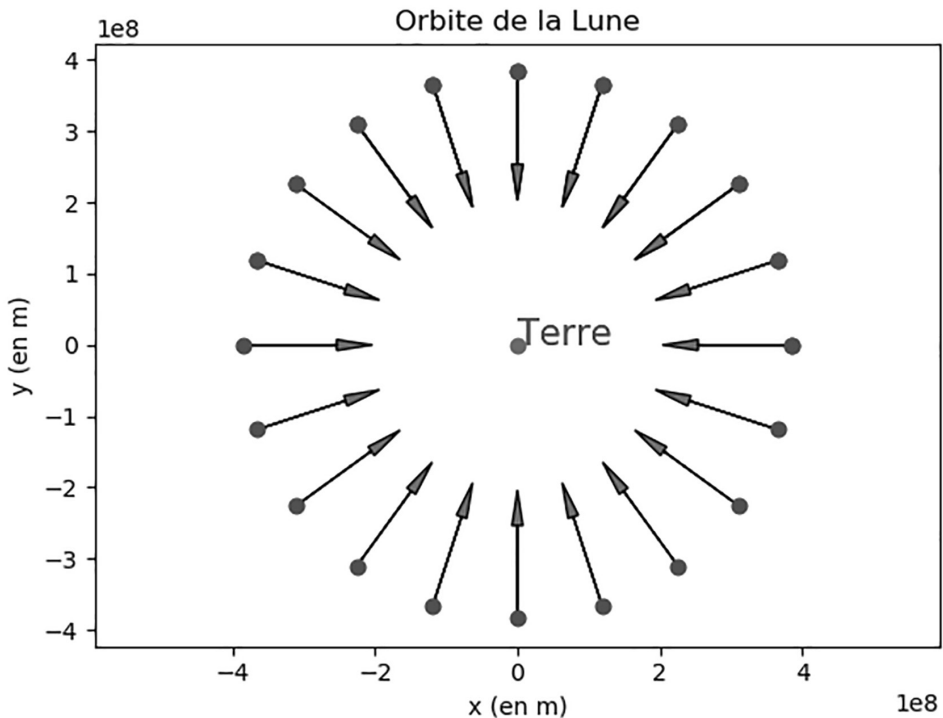
- d La rubrique du programme liée au remplissage des listes vx et vy complétée:

```
# Remplissage des listes vx et vy
for i in range (1,29):
vx.append((x[i+1]-x[i-1])/(2*dt))
vy.append((y[i+1]-y[i-1])/(2*dt))
```

- e La rubrique du programme liée au remplissage des listes ax et ay complétée:

```
# Remplissage des listes ax et ay
for i in range (1,27):
ax.append((vx[i+1]-vx[i-1])/(2*dt))
ay.append((vy[i+1]-vy[i-1])/(2*dt))
```

- f Exécution du programme et la nature de la trajectoire de la Lune:



La trajectoire de la Lune est circulaire.

Voici le script du programme Python complété:

```
# Scripte pour tracer l'orbite d'un objet céleste en rotation
autour
# d'un centre attracteur
import matplotlib.pyplot as plt
import math
#Initialisation des listes
t = []
x = []
y = []
vx = []
vy = []
ax = []
ay = []
# Période de révolution de l'objet céleste en s
T = 2.55e6
#Rayon de l'orbite circulaire en m
R = 3.84e8
# Pas temporel Dt en s
Dt = T/20
# Remplissage de la liste t toutes les T/20
for i in range(30):
t.append(i*Dt)
t.append(T)
# Remplissage des listes x et y
for i in range (30):
x.append(R*math.cos(2*math.pi*t[i]/T))
y.append(R*math.sin(2*math.pi*t[i]/T))
# Remplissage des listes vx et vy
for i in range (1,29):
vx.append((x[i+1]-x[i-1])/(2*Dt))
vy.append((y[i+1]-y[i-1])/(2*Dt))
# Remplissage des listes ax et ay
for i in range (1,27):
ax.append((vx[i+1]-vx[i-1])/(2*Dt))
ay.append((vy[i+1]-vy[i-1])/(2*Dt))
# tracé de la trajectoire de l'objet céleste
plt.axis("equal")
plt.xlabel("x (en m)")
plt.ylabel("y (en m)")
plt.title("Orbite de la Lune")
```

```
plt.text(0,0 ,"Terre", fontsize =15,color ='b')
plt.plot(x,y,"bo")
plt.plot(0,0,"go")
plt.plot
# Affichage des vecteurs accélérations
for i in range (26):
plt.arrow(x[i+2],y[i+2],8e10*ax[i],8e10*ay[i],head_width
=1.5e7,head_length =0.5e8,length_includes_head =True)
plt.show()
```

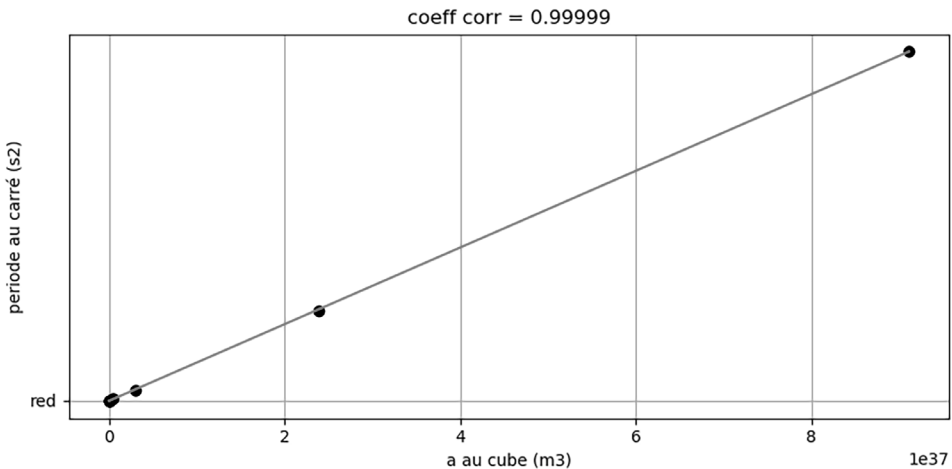
### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Protocole expérimental permettant de vérifier la 3<sup>e</sup> loi de Kepler pour le système solaire:

| Planète                | Mercure | Venus | Terre | Mars | Jupiter | Saturne | Uranus | Neptune |
|------------------------|---------|-------|-------|------|---------|---------|--------|---------|
| a( $\times 10^{11}$ m) | 0,585   | 1,08  | 1,50  | 2,25 | 7,80    | 14,3    | 28,8   | 25,0    |
| T( $\times 10^7$ s)    | 0,757   | 1,94  | 3,16  | 5,93 | 37,6    | 92,8    | 265    | 521     |

- Tracer à l'aide du tableur grapheur la représentation graphique de  $T^2 = f(a^3)$ ;
- Modéliser la courbe à l'aide d'une fonction linéaire;
- Pour que le modèle soit validé, vérifier que le coefficient de corrélation est proche de 1, de -1 ou de 0,999...

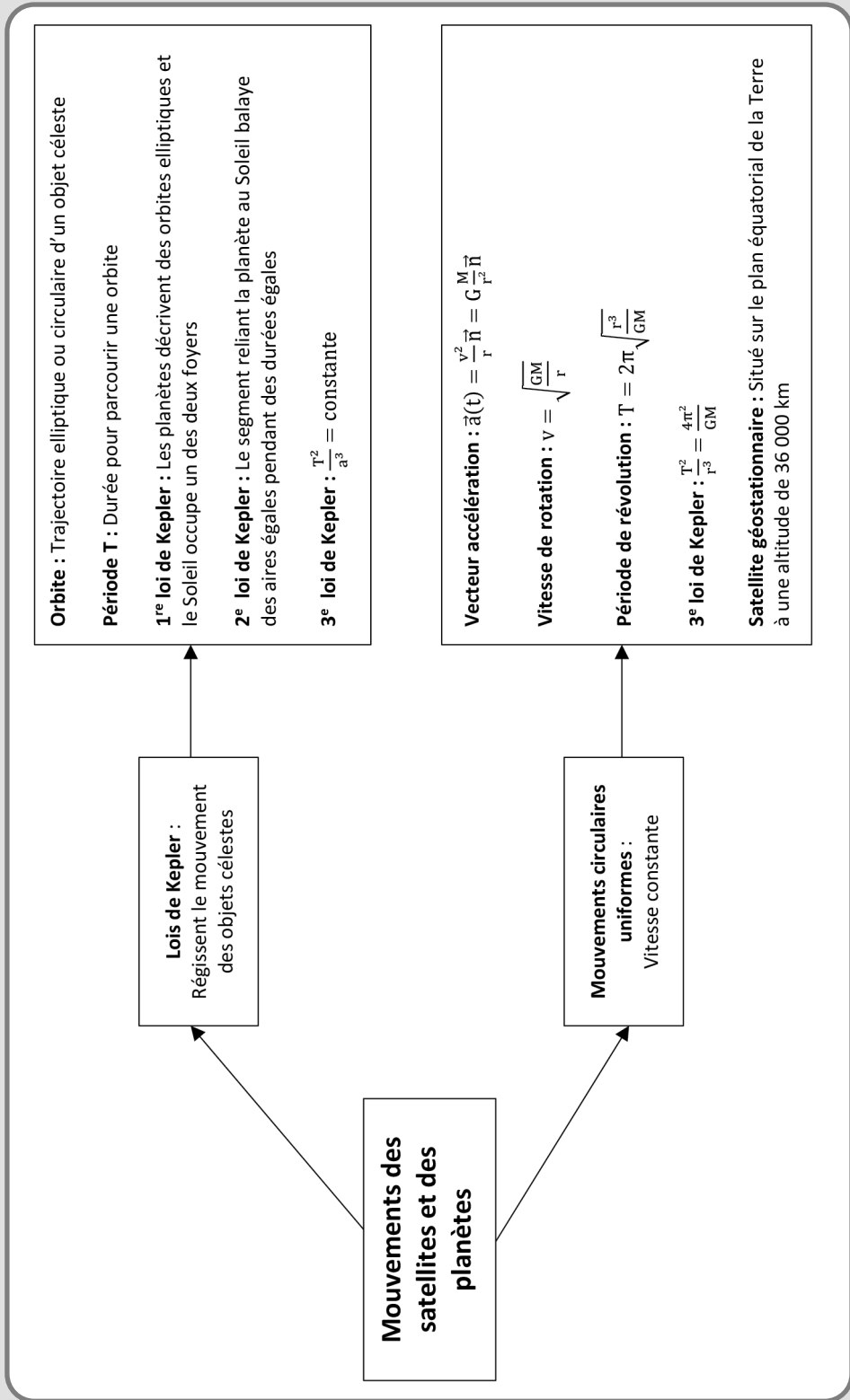
Voici un exemple de résultat obtenu en utilisant le script de Python ci-dessous:



```
# Scripte pour vérifier la validité de la 3e loi de Kepler
# pour les planètes du système solaire
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats as stat
```


```
# listes des demi-grands axes a en m et périodes des planètes en s
T = [0.757e7,1.94e7,3.16e7,5.93e7,37.6e7,92.8e7,265e7,521e7]
a = [0.585e11,1.08e11,1.50e11,2.25e11,7.80e11,14.3e11,28.8e11,45.0e11]
# Initialisation des listes a_cube, T_carre et T_carre_model
a_cube = []
T_carre = []
T_carre_model = []
# Remplissage des listes T_carre et a_cube
for i in range(0,len(a)):
    a_cube.append(a[i]**3)
    T_carre.append(T[i]**2)
# Régression linéaire
regression = stat.linregress(a_cube,T_carre)
pente =regression[0]
coeffcorel = regression[2]
# Remplissage de la liste T_carre calculée par le modèle
for i in range(0,len(a)):
    T_carre_model.append(pente*a_cube[i])
# Affichage des courbes
plt.grid(True)
plt.xlabel("a au cube (m3)")
plt.ylabel("periode au carré (s2)")
plt.title("coeff corr = "+ str(round(coeffcorel,5)))
plt.plot(a_cube,T_carre,"bo","red")
plt.plot(a_cube,T_carre_model)
plt.show()
```

MOUVEMENT DES SATELLITES ET DES PLANÈTES



# MOUVEMENTS DES FLUIDES


## LES 10 QUESTIONS

1  C'est quoi la poussée d'Archimède qui s'exerce sur un corps immergé dans un fluide?

↳ .....  
.....

2  Quelle est l'origine de la poussée d'Archimède?

↳ .....  
.....

3  C'est quoi une ligne de courant?

↳ .....  
.....

4  C'est quoi un régime permanent d'écoulement d'un fluide?

↳ .....  
.....

5  C'est quoi un fluide incompressible?

↳ .....  
.....


6  C'est quoi le débit volumique  $Q$  d'un fluide?

↳ .....  
.....

7  Donner la relation entre le débit volumique et la vitesse d'un fluide?


↳ .....

.....

8  C'est quoi la conservation du débit volumique d'un fluide incompressible?


↳ .....

.....

9  C'est quoi la relation de Bernoulli?

↳ .....

.....

10  C'est quoi l'effet Venturi?

↳ .....

.....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Débit volumique d'un robinet

Pour déterminer le débit volumique du robinet de la cuisine, Fouad a suivi les étapes suivantes:

- 1 Laisser couler l'eau de robinet dans une bouteille pendant une durée  $\Delta t = 10,37$  s;
- 2 Peser la masse d'eau obtenue,  $m = 695,0$  g.
- a Calculer le volume d'eau.
- b En déduire la valeur du débit volumique du robinet.

Donnée:

Masse volumique de l'eau  $\rho = 1,00$  kg.L<sup>-1</sup>.


**EXERCICE 2 Coule ou pas!**

On considère une boule en bois de Teck de diamètre  $d = 20 \text{ mm}$ .

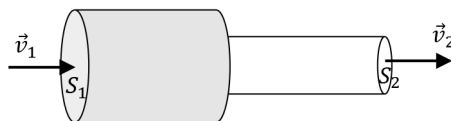
- Calculer le volume  $V$  de la boule.
- Calculer la masse  $m$  de la boule.
- Calculer la valeur  $P$  de la force de poids de la boule.
- Calculer la valeur  $F$  de la force de poussée d'Archimède si la boule est entièrement immergée dans l'eau.
- La boule flotte ou coule dans l'eau?

Données:

- Masse volumique de l'eau  $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \cdot \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ .
- Masse volumique du Teck  $\rho_{\text{Teck}} = 0,86 \cdot \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ .
- Valeur de l'intensité de pesanteur  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .


**EXERCICE 3 Canalisation d'eau**

La figure ci-dessous, représente une canalisation d'eau composée de deux parties de sections  $S_1$  et  $S_2$ . Le débit volumique est  $Q = 1,2 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ .



- Déterminer la valeur de la section  $S_2$ .
- Déterminer la valeur de la vitesse  $v_2$ .
- Déterminer la valeur de la section  $S_1$ .

Données:

- $v_1 = 12,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Diamètre de la canalisation n° 2:  $d_2 = 16 \text{ mm}$ .


**EXERCICE 4 Problème des fuites d'eau**

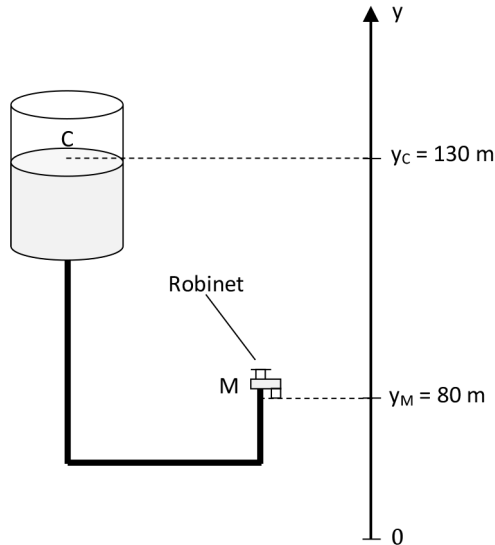
Les entreprises de gestion d'eau potable passent une bonne partie de leur temps dans la recherche des fuites et leurs réparations.

À cause de la défaillance d'un joint dans une canalisation, une fuite d'eau génère 2 gouttes par seconde. En moyenne 20 gouttes d'eau correspondent à un volume de 1 mL.

- Calculer le volume d'eau perdu en 24 h.
- Quel est le débit volumique de cette fuite?


**EXERCICE 5 Château d'eau**

Un château d'eau alimente en eau potable une maison comme l'indique la figure ci-dessous :



La taille du réservoir est grande. La hauteur du point C peut être considérée constante au cours du temps. Par conséquent la vitesse de l'eau au point C est nulle.

À la surface de l'eau du réservoir et à la sortie du robinet ouvert la pression de l'eau est égale à la pression atmosphérique  $P_0 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

- En appliquant le principe fondamental de la statique des fluides, calculer la valeur de la pression au point M lorsque le robinet est fermé.
- On ouvre le robinet. En utilisant la relation de Bernoulli, déterminer la vitesse du jet d'eau au point M à la sortie du robinet.
- Le diamètre de la sortie du robinet est  $d = 1,0 \text{ cm}$ . Calculer la valeur du débit volumique  $Q$  en  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Données :

- Masse volumique de l'eau  $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \cdot \text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$ .
- Valeur de l'intensité de pesanteur  $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$ .


**EXERCICE 6 Question ouverte**

En utilisant la relation de Bernoulli, expliquer comment est-ce qu'un hélicoptère arrive à décoller.



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

À l'image du film Là-haut où grâce à des ballons gonflés à l'hélium, un octogénaire envole sa maison, nous allons chercher à déterminer le nombre de ballons nécessaires pour faire décoller une masse  $m$ .

On considère des ballons de baudruche gonflés à l'hélium de volume  $V = 10 \text{ L}$ .

Le script du programme Python ci-dessous, permet de déterminer le nombre de ballons de baudruche nécessaire pour faire décoller un objet de masse  $m$ .

Données:

- Valeur de l'intensité de pesanteur  $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$ .
- Masse volumique de l'air  $\rho_{\text{Air}} = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$ .
- Masse volumique de l'hélium  $\rho_{\text{He}} = 0,18 \text{ kg.m}^{-3}$ .
- Masse du ballon de baudruche vide = 2,5 g.

```
# Script pour calculer le nombre de ballons de baudruche gonflés à
l'hélium
# Nécessaire pour faire décoller un objet de masse m
# La valeur du volume V d'un ballon en m3
V =.....
# La valeur de la masse de l'objet en kg
m_Objet =.....
# La valeur de l'intensité de pesanteur en N/kg
g =.....
# La valeur de la masse volumique de l'air en kg/m3
Rau_Air =.....
# La valeur de la masse volumique de l'hélium en kg/m3
Rau_He =.....
# Calcul de la masse du ballon en kg
m_Ballon =.....
# Calcul du poids du ballon en N
P_Ballon =.....
# Calcul du poids de l'objet en N
P_Objet =.....
# Calcul de la poussée d'Archimède du ballon en N
F =.....
# Calcul de la force de poussée du ballon en N
F_Poussee =.....
# Calcul du nombre de ballons
N_Ballons =.....
#Affichage des résultats
print("Force de poussée d'un ballon (en N) : ", round(F_Poussee,3))
print("Le nombre de ballons nécessaire pour soulever la masse de
"+ str(m_Objet) +" kg est : ", int(round(N_Ballons,0)))
```

- a La masse de l'objet à faire décoller est  $m = 100,0$  kg. Compléter les rubriques du programme liées aux données du problème.
- b Compléter les rubriques du programme liées aux différents calculs.
- c Exécuter le programme. Quel est le nombre de ballons nécessaires pour soulever l'objet de masse 100,0 kg.



### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Proposer un protocole expérimental permettant de mesurer la valeur de la poussée d'Archimède exercée par l'eau sur un cylindre métallique.


+ **Liste de matériel:**

- Cylindre en cuivre de masse de 100 g;
- Dynamomètre de 1 N;
- Éprouvette graduée de 100 mL;
- Potence + pinces;
- Balance;
- Fil de cuisine;
- Support élévateur.

+ **Produit:**

- Eau de robinet.

## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  C'est quoi la poussée d'Archimède qui s'exerce sur un corps immergé dans un fluide?

+ C'est une force verticale, dirigée vers le haut de valeur égale au poids du volume du fluide occupé par le corps:

$$\vec{\pi} = -\rho_{\text{Fluide}} \times V_{\text{Immergé}} \times \vec{g}$$

- $\vec{\pi}$  : Vecteur poussée d'Archimède;
- $\rho_{\text{Fluide}}$  : Masse volumique du fluide;
- $V_{\text{Immergé}}$  : Volume du corps immergé;
- $\vec{g}$  : Vecteur intensité de pesanteur.

2  Quelle est l'origine de la poussée d'Archimède?

+ C'est la résultante des forces pressantes exercées par le fluide sur la surface du corps immergé.

3  C'est quoi une ligne de courant?


+ C'est la trajectoire des particules du fluide en mouvement. Les vitesses du fluide sont tangentes aux lignes de courant.

4  C'est quoi un régime permanent d'écoulement d'un fluide?

+ C'est un écoulement où les lignes de courant ne changent pas au cours du temps. Les caractéristiques du vecteur vitesse  $\vec{v}$  en un point du fluide restent les mêmes au cours du temps.


5  C'est quoi un fluide incompressible?

+ C'est un fluide dont la masse volumique ne dépend pas de sa pression lorsque sa température reste constante.


6  C'est quoi le débit volumique  $Q$  d'un fluide?

- + C'est le volume  $V$  de fluide qui traverse une section  $S$  d'un tuyau par unité de temps  $\Delta t$ :

$$Q(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) = \frac{V(\text{m}^3)}{\Delta t(\text{s})}$$

7  Donner la relation entre le débit volumique  $Q$  et la vitesse d'un fluide  $v$ ?

- + 
$$Q(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) = v(\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \cdot S(\text{m}^2)$$

8  C'est quoi la conservation du débit volumique d'un fluide incompressible?

- + En régime permanent d'écoulement d'un fluide incompressible, le débit volumique en deux points A et B garde la même valeur:


$$Q_A = Q_B \text{ soit } v_A \times S_A = v_B \times S_B$$

9  C'est quoi la relation de Bernoulli?

- + Au cours de l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent avec absence d'échange d'énergie, on peut écrire en deux points A et B d'une même ligne de courant la relation suivante:

$$P_A + \frac{1}{2} \rho \cdot v_A^2 + \rho \cdot g \cdot z_A = P_B + \frac{1}{2} \rho \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot z_B$$

$P$  et  $z$  sont la pression et l'altitude du fluide.

10  C'est quoi l'effet Venturi?

- + Au cours d'un écoulement en régime permanent et à altitude constante, la pression  $P$  d'un fluide diminue lorsque sa vitesse augmente et inversement.

**CORRIGÉS DES EXERCICES**
**EXERCICE 1 Débit volumique d'un robinet**

- a** Calcul du volume d'eau:

D'après la définition de la masse volumique:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Soit

$$V = \frac{m}{\rho}$$

**+ Application numérique:**

$$V = \frac{0,695}{1}$$

Soit

$$V = 0,695 \text{ L}$$

- b** La valeur du débit volumique du robinet:

D'après la définition du débit volumique:

$$Q = \frac{V}{\Delta t}$$

**+ Application numérique:**

$$Q = \frac{0,695}{10,37}$$

Soit

$$Q = 0,067 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$$

**EXERCICE 2 Coule ou pas!**

- a** Calcul du volume  $V$  de la boule:

Le volume d'une sphère est donné par:

$$V = \frac{4\pi}{3} \left( \frac{d}{2} \right)^3$$

**+ Application numérique:**

$$V = \frac{4\pi}{3} \left( \frac{20 \times 10^{-3}}{2} \right)^3$$

Soit

$$V = 4,2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Ou encore

$$V = 4,2 \times 10^{-3} \text{ L}$$

- b**
- Calcul de la masse
- $m$
- de la boule:

$$m = \rho_{\text{Teck}} \times V$$

**+ Application numérique:**

$$m = 0,86 \times 4,2 \times 10^{-3}$$

Soit

$$m = 3,6 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

- c**
- Calcul de la valeur
- $P$
- de la force de poids de la boule:

Par définition, on peut écrire:

$$P = m \times g$$

**+ Application numérique:**

$$P = 3,6 \times 10^{-3} \times 9,81$$

Soit

$$P = 3,5 \times 10^{-2} \text{ N}$$

- d**
- Calcul de la valeur
- $F$
- de la force de poussée d'Archimède si la boule est entièrement immergée dans l'eau:

Par définition, la poussée d'Archimède est donnée par:

$$F = \rho_{\text{eau}} \times V \times g$$

**+ Application numérique:**

$$F = 1,0 \times 4,2 \times 10^{-3} \times 9,81$$

Soit

$$F = 4,1 \times 10^{-2} \text{ N}$$

- e**
- La boule flotte ou coule dans l'eau?

 $F > P$ , la boule flotte.

**EXERCICE 3** Canalisation d'eau

- a** La valeur de la section  $S_2$  :

$$S_2 = \pi \times \left( \frac{d_2}{2} \right)^2$$

**+ Application numérique:**

$$S_2 = \pi \times \left( \frac{16 \times 10^{-3}}{2} \right)^2$$

Soit

$$S_2 = 2,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- b** La valeur de la vitesse  $v_2$  :

D'après la définition du débit volumique, on peut écrire:

$$Q = v_2 \times S_2$$

Il vient

$$v_2 = \frac{Q}{S_2}$$

**+ Application numérique:**

$$v_2 = \frac{1,2 \times 10^{-3}}{2,0 \times 10^{-4}}$$

Soit

$$v_2 = 6,0 \text{ m.s}^{-1}$$

- c** La valeur de la section  $S_1$  :

La conservation du débit volumique permet d'écrire:

$$v_1 \times S_1 = v_2 \times S_2$$

Ce qui donne:

$$S_1 = \frac{v_2 \times S_2}{v_1}$$

**+ Application numérique:**

$$S_1 = \frac{6,0 \times 2,0 \times 10^{-4}}{12,3}$$

Soit

$$S_1 = 9,8 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

**EXERCICE 4 Problème des fuites d'eau**

À cause de la défaillance d'un joint dans une canalisation, une fuite d'eau génère 2 gouttes par seconde. En moyenne 20 gouttes d'eau correspondent à un volume de 1 mL.

- a** Calcul du volume d'eau perdu en 24 h :

Le nombre de gouttes en 24 h est de  $2 \times 24 \times 3\,600 = 172\,800$  gouttes.

Le volume d'eau perdu en 24 h est :

$$\frac{172\,800}{20}$$

Ce qui donne :

$$8\,640 \text{ mL}$$

Soit

$$8,64 \text{ L}$$

- b** Le débit volumique de cette fuite :

$$Q = \frac{V}{\Delta t}$$

**+ Application numérique :**

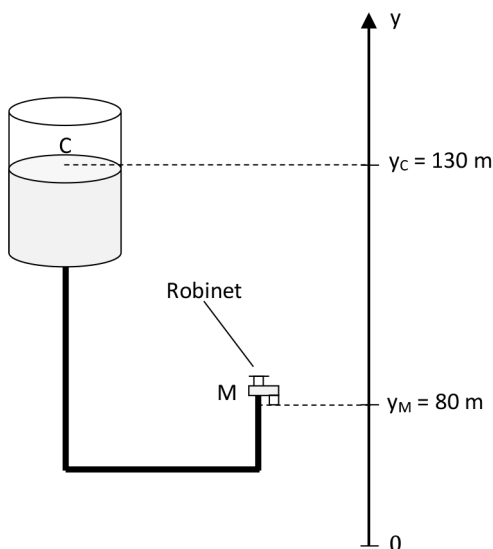
$$Q = \frac{8,64}{24}$$

Soit

$$Q = 0,36 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$$

**EXERCICE 5** Château d'eau

Un château d'eau alimente en eau potable une maison comme l'indique la figure ci-dessous :



La taille du réservoir est grande. La hauteur du point C peut être considérée constante au cours du temps. Par conséquent la vitesse de l'eau au point C est nulle.

À la surface de l'eau du réservoir et à la sortie du robinet ouvert la pression de l'eau est égale à la pression atmosphérique  $P_0 = 1,0 \times 10^5$  Pa.

**a** Calcul de la valeur de la pression au point M lorsque le robinet est fermé :

D'après le principe fondamental de la statique des fluides, on peut écrire :

$$P_M - P_C = \rho_{\text{eau}} \times g \times (y_C - y_M)$$

Or

$$P_C = P_0$$

Il vient

$$P_M = P_0 + \rho_{\text{eau}} \times g \times (y_C - y_M)$$

**+ Application numérique :**

$$P_M = 1,0 \times 10^5 + 1,0 \times 10^3 \times 9,81 \times (130 - 80)$$

Soit

$$P_M = 5,9 \times 10^5 \text{ Pa}$$

**b** La vitesse du jet d'eau au point M à la sortie du robinet :

D'après la relation de Bernoulli, on peut écrire :

$$P_M + \rho_{\text{eau}} g y_M + \frac{1}{2} \rho_{\text{eau}} v_M^2 = P_C + \rho_{\text{eau}} g y_C + \frac{1}{2} \rho_{\text{eau}} v_C^2$$

Ce qui donne

$$\frac{1}{2}\rho_{\text{eau}}v_M^2 = P_C - P_M + \rho_{\text{eau}}g(y_C - y_M) + \frac{1}{2}\rho_{\text{eau}}v_C^2$$

Soit

$$v_M = \sqrt{\frac{2(P_C - P_M) + 2\rho_{\text{eau}}g(y_C - y_M) + \rho_{\text{eau}}v_C^2}{\rho}}$$

Puisque  $P_C = P_M = P_0$  et  $v_C = 0$  la relation précédente devient:

$$v_M = \sqrt{2g(y_C - y_M)}$$

**+ Application numérique:**

$$v_M = \sqrt{2 \times 9,81(130 - 80)}$$

Soit

$$v_M = 31 \text{ m.s}^{-1}$$

**c** Calcul de la valeur du débit volumique  $Q_M$  en  $\text{L.s}^{-1}$ :

On a,

$$Q_M = v_M \times S$$

Soit

$$Q_M = v_M \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

**+ Application numérique:**

$$Q_M = 31 \times \pi \times \left(\frac{1,0 \times 10^{-2}}{2}\right)^2$$

Soit

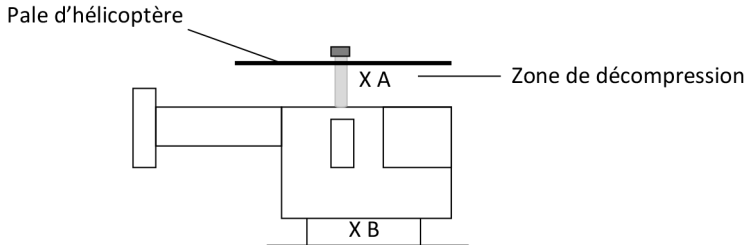
$$Q_M = 2,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$$

Soit encore

$$Q_M = 2,4 \text{ L.s}^{-1}.$$

**EXERCICE 6** Question ouverte

Appliquons la relation de Bernoulli en deux points: un point A au-dessus de l'hélicoptère et un point B en dessous de l'hélicoptère.



$$P_A + \rho_{\text{air}} g y_A + \frac{1}{2} \rho_{\text{air}} v_A^2 = P_B + \rho_{\text{air}} g y_B + \frac{1}{2} \rho_{\text{air}} v_B^2$$

Le mouvement des pales du rotor d'un hélicoptère fait augmenter la vitesse de l'air au-dessus de l'hélicoptère donc au point A. Puisque la valeur de  $y_A$  n'a pas changé, la valeur de  $P_A$  doit diminuer pour que la somme des trois termes reste constante. Dans la partie inférieure de l'hélicoptère, la valeur de  $P_B$  au point B n'a pas changé. Par conséquent  $P_B$  devient beaucoup plus grande que  $P_A$ . Ceci génère une portance qui permet à l'hélicoptère de décoller.

**EXERCICE 7** Le coup de pouce de Python

**a** Les rubriques du programme liées aux données du problème complétées:

```
# La valeur du volume V d'un ballon en m3
V =10e-3
# La valeur de la masse de l'objet en kg
m_Objet =100.0
# La valeur de l'intensité de pesanteur en N/kg
g =9.81
# La valeur de la masse volumique de l'ai en kg/m3
Rau_Air =1.3
# La valeur de la masse volumique de l'hélium en kg/m3
Rau_He =0.18
```

**b** Les rubriques du programme liées aux différents calculs:

```
# Calcul du poids de l'objet en N
P_Objet =m_Objet*g
# Calcul de la poussée d'Archimède du ballon en N
F =V*Rau_Air*g
```

```
# Calcul de la force de poussée du ballon en N
F_Pousee =F-P_Ballon
# Calcul du nombre de ballons
N_Ballons =P_Objet/F_Pousee

# Calcul de la masse du ballon en kg
m_Ballon =Rau_He*V + 2.5e-3
# Calcul du poids du ballon en N
P_Ballon =m_Ballon*g
```

**c** Exécution du programme et résultats affichés:

Force de poussée d'un ballon (en N) : 0.085  
 Le nombre de ballons nécessaire pour soulever la masse de 100.0 kg  
 est : 11494

Voici le script du programme Python complété:

```
# Script pour calculer le nombre de ballons de baudruche gonflés
à l'hélium
# Nécessaire pour faire décoller un objet de masse m
# La valeur du volume V d'un ballon en m3
V =10e-3
# La valeur de la masse de l'objet en kg
m_Objet =100.0
# La valeur de l'intensité de pesanteur en N/kg
g =9.81
# La valeur de la masse volumique de l'air en kg/m3
Rau_Air =1.3
# La valeur de la masse volumique de l'hélium en kg/m3
Rau_He =0.18
# Calcul de la masse du ballon en kg
m_Ballon =Rau_He*V + 2.5e-3
# Calcul du poids du ballon en N
P_Ballon =m_Ballon*g
# Calcul du poids de l'objet en N
P_Objet =m_Objet*g
# Calcul de la poussée d'Archimède du ballon en N
F =V*Rau_Air*g
# Calcul de la force de poussée du ballon en N
F_Pousee =F-P_Ballon
# Calcul du nombre de ballons
N_Ballons =P_Objet/F_Pousee
```

#Affichage des résultats

```
print("Force de poussée d'un ballon (en N) : ", round(F_Poussee,3))
print("Le nombre de ballons nécessaire pour soulever la masse de
"+ str(m_Objet) +" kg est : ", int(round(N_Ballons,0)))
```

### EXERCICE 8 Poussée d'Archimède

Protocole expérimental permettant de mesurer la valeur de la poussée d'Archimède exercée par l'eau sur un cylindre métallique:

#### + Liste de matériel:

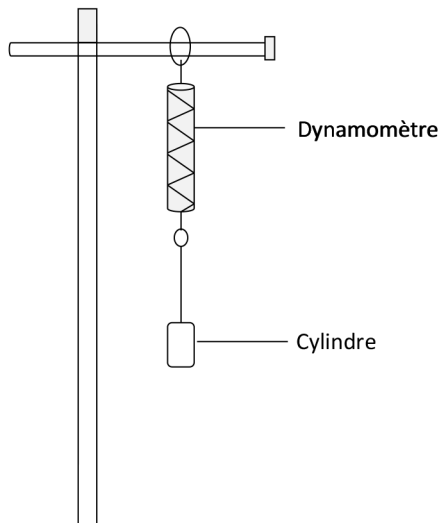
- Cylindre en cuivre de masse de 100 g;
- Dynamomètre de 1 N;
- Éprouvette graduée de 100 mL;
- Potence + pinces;
- Balance;
- Fil de cuisine;
- Support élévateur.

#### + Produit:

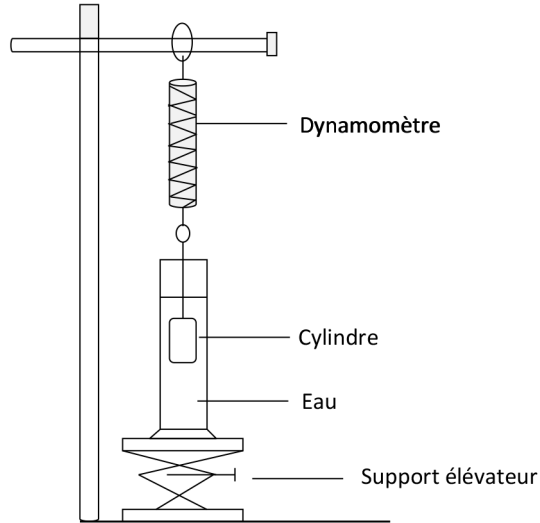
- Eau de robinet.

#### + Protocole:

- Mesurer le volume du cylindre en le plongeant dans l'éprouvette graduée;
- Accrocher le cylindre au dynamomètre et relever la valeur  $F_i$  indiquée par ce dernier;



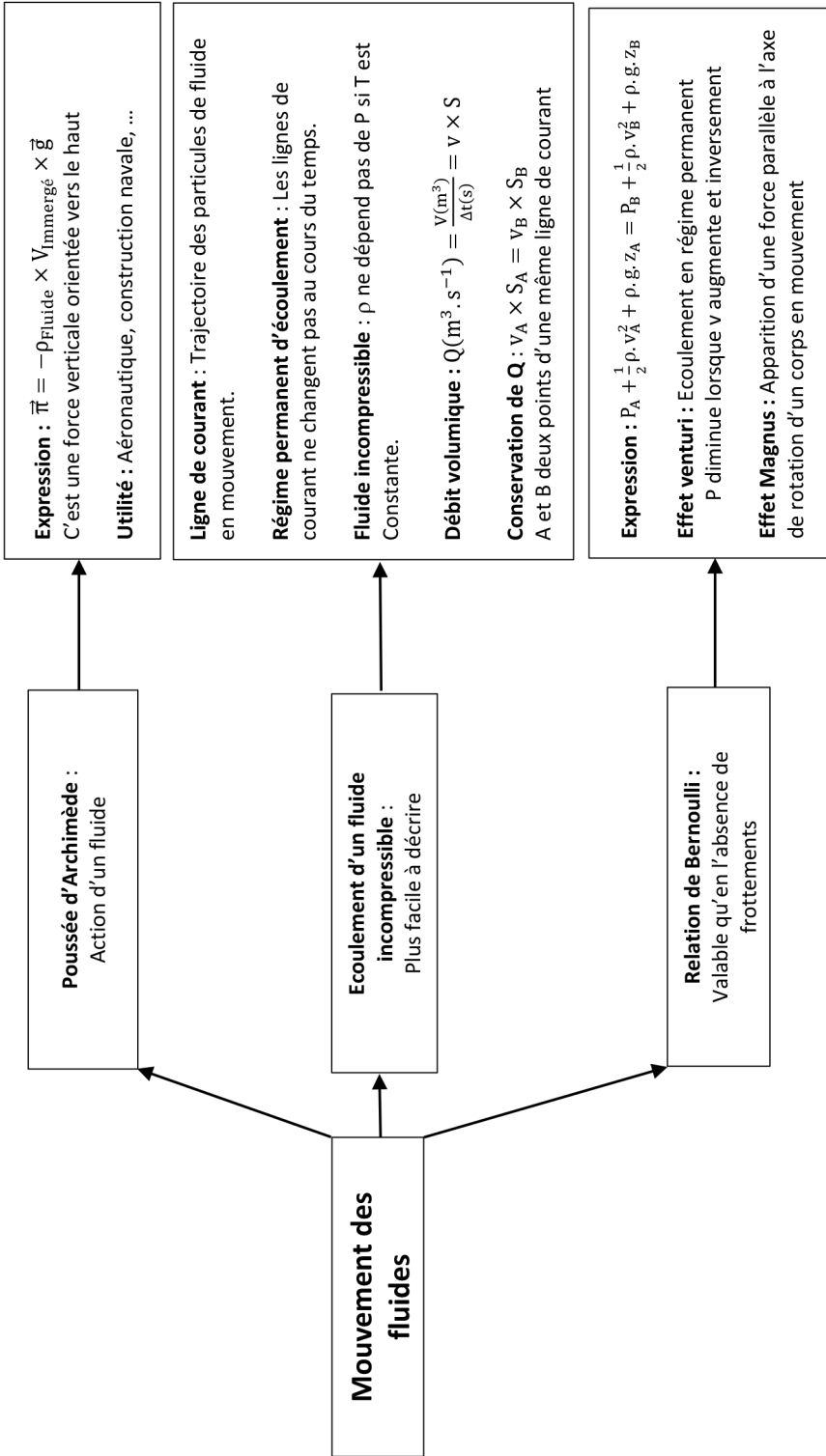
- Adapter une éprouvette graduée + un support élévateur au montage précédent pour que le cylindre soit totalement immergé. Relever à nouveau la valeur  $F_f$  indiquée par le dynamomètre.



- La valeur de la poussée d'Archimède qu'exerce l'eau sur le cylindre est donnée par :

$$F = F_i - F_f$$

- Comparer la valeur de  $F$  à celle prévue par la théorie, à savoir  $F = \rho_{\text{eau}} \times V \times g$  et conclure.





# MODÈLE DU GAZ PARFAIT

## LES 10 QUESTIONS

1  C'est quoi la température d'un système?


↳ .....  
.....

2  C'est quoi la pression d'un système?

↳ .....  
.....

3  Quelles sont les trois grandeurs thermodynamiques susceptibles de décrire l'état d'un gaz?


↳ .....  
.....

4  C'est quoi la température thermodynamique d'un système?

↳ .....  
.....

5  Quelle est la description microscopique d'un gaz?


↳ .....  
.....

6  C'est quoi l'équation d'état d'un gaz parfait?

↳ .....  
.....

7  Quelles sont les limites du modèle du gaz parfait?


↳ .....  
 .....

8  C'est quoi la loi de Mariotte?

↳ .....  
 .....

9  C'est quoi le volume molaire  $V_m$  d'un gaz?

↳ .....  
 .....

10  C'est quoi la loi d'Avogadro-Ampère?

↳ .....  
 .....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES

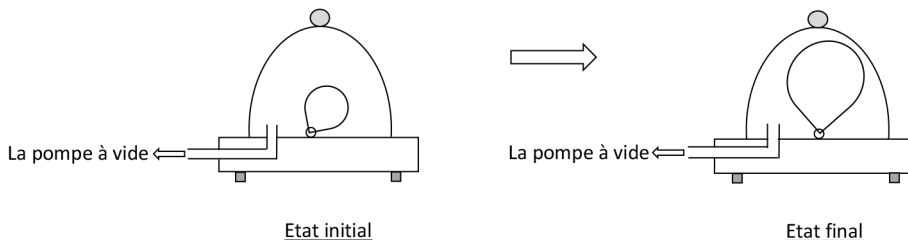


### EXERCICE 1 Gaz parfait ou réel!

- Définir un gaz parfait.
- Définir un gaz réel.
- Dans quelle condition un gaz réel peut être considéré comme parfait?


**EXERCICE 2 Cloche à vide et ballon de baudruche**

On place un ballon de baudruche légèrement gonflé à l'air sous une cloche à vide. Dès qu'on met en marche la pompe à vide, le ballon se regonfle et augmente de volume.



Expliquer le résultat de cette expérience.


**EXERCICE 3 Masse volumique de l'air**

- Rappeler l'équation d'état d'un gaz parfait et préciser l'unité de tous les termes qui y figurent.
- En assimilant l'air à un gaz parfait, exprimer la masse volumique  $\rho_{\text{air}}$  de l'air en fonction des autres termes.
- Calculer la valeur de  $\rho_{\text{air}}$  dans les conditions normales de température et de pression ( $T = 273,15 \text{ K}$  et  $P = 101\,325 \text{ Pa}$ ).

Données:

- Constante du gaz parfait:  $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ .
- Masse molaire de l'air:  $M_{\text{air}} = 28,8 \text{ g.mol}^{-1}$ .


**EXERCICE 4 Au sujet d'un ballon de basket**

À la fin du gonflage d'un ballon de basket à l'aide d'une pompe manuelle, le ballon contient  $1,8 \times 10^{-1} \text{ mol}$  d'air et son diamètre est  $d = 24,0 \text{ cm}$ . La température ambiante est  $\theta = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Calculer la valeur  $P$  de la pression de l'air au sein du ballon. On suppose que l'air est un gaz parfait.

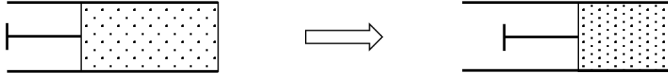
Données:

- Constante du gaz parfait:  $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ .
- Masse molaire de l'air:  $M_{\text{air}} = 28,8 \text{ g.mol}^{-1}$ .



### EXERCICE 5 Loi de Mariotte

Une quantité  $n$  d'un gaz enfermée dans un cylindre a subi une compression sous l'effet d'un piston (voir la figure ci-dessous). Le gaz est supposé parfait.



|                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><u>Etat initial :</u></p> $\begin{cases} T_i = 28^\circ \text{C} \\ P_i = 1,0 \text{ bar} \\ V_i = 70 \text{ cm}^3 \end{cases}$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><u>Etat final :</u></p> $\begin{cases} T_f = 28^\circ \text{C} \\ P_f = ? \\ V_f = 55 \text{ cm}^3 \end{cases}$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- Calculer la valeur de la pression finale  $P_f$ .
- Calculer la valeur de  $n$ .

Donnée:

Constante du gaz parfait:  $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ .



### EXERCICE 6 Question ouverte

Un ballon de baudruche est rempli à l'air à une température  $T = 25^\circ \text{C}$ . Le volume du ballon est  $V = 7,0 \text{ L}$  et la valeur de la pression atmosphérique est  $P_0 = 1\,020 \text{ hPa}$ . L'air enfermé dans le ballon est considéré comme un gaz parfait.

Déterminer le nombre de moles de l'air emprisonné dans le ballon.

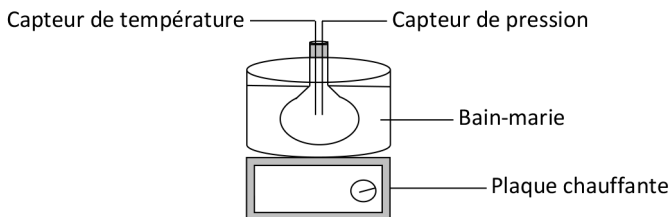
Donnée:

Constante du gaz parfait:  $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ .



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Un ballon clos de volume  $V = 250 \text{ mL}$  contenant de l'air est refroidi à  $0^\circ \text{C}$  dans un bain de glace puis chauffé au moyen d'un bain-marie. Deux capteurs permettent de mesurer la pression  $P$  et la température  $\theta$  à l'intérieur du ballon.



Dispositif de chauffage du ballon

Les résultats des mesures sont donnés par le tableau de valeurs suivant:

| T(°C)  | 0     | 5     | 10    | 15    | 20   | 25   | 30   | 35   |
|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| P(hPa) | 946,0 | 961,6 | 978,8 | 996,1 | 1016 | 1031 | 1048 | 1065 |

Voici, ci-dessous, un script du programme Python qui permet de vérifier si un gaz est parfait.

```
# Scripte pour vérifier si un gaz est parfait
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats as stat
# Constante du gaz parfait R en J.K-1.mol-1
R = .....
# Valeur du volume du ballon en m3
V = .....
# listes des deux grandeurs thermodynamiques T en K et P en Pa
T = [.....,.....,.....,.....,.....,.....,.....,.....]
P = [.....,.....,.....,.....,.....,.....,.....,.....]
P_modele=[]
# Régression linéaire
regression = stat.linregress(T,P)
pente =regression[0]
coeffcorel = regression[2]
# Remplissage de la liste P_modele calculée par le modèle
for i in range(0,len(T)):
    P_modele.append(.....)
# Calcul du nombre de moles d'air
n = .....
# Affichage du coefficient de corrélation
print("Le coefficient de corrélation est R = ", round(coeffcorel,4))
# Affichage du nombre de moles d'air
print("Le nombre de moles d'air du ballon est n = ", str(round(n,2))
+ "mol")
# Affichage des courbes
plt.grid(True)
plt.xlabel("T (K)")
plt.ylabel("P (Pa)")
plt.title("coeff corr = "+ str(round(coeffcorel,5)))
plt.plot(T,P,"bo","red")
plt.plot(T,P_modele)
plt.show()
```

- a Compléter les rubriques du programme liées à la constante du gaz parfait  $R$  et au volume du ballon exprimé en  $\text{m}^3$ .
- b Compléter les rubriques du programme liées aux listes  $T$  exprimée en  $\text{K}$  et  $P$  exprimée en  $\text{Pa}$ .
- c Compléter la rubrique du programme liée au remplissage de la liste  $P$ -modele.
- d Compléter la rubrique du programme liée au calcul du nombre de moles d'air du ballon.
- e Exécuter le programme. Donner les résultats affichés.
- f Le gaz du ballon peut-il être considéré comme un gaz parfait?
- g Quel est le nombre de moles d'air contenus dans le ballon?

Données:

- Constante du gaz parfait:  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$ .
- $1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ L}$ .
- $1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa}$ .

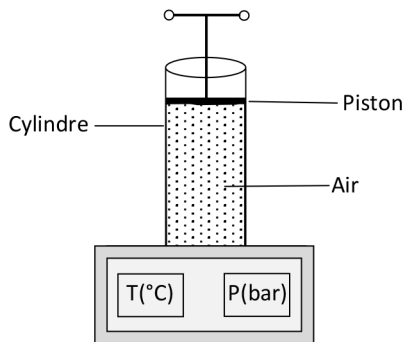


### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Proposer un protocole expérimental permettant de vérifier la loi de Mariotte.

#### + Liste du matériel:





- Cylindre gradué équipé d'un piston amovible, d'un capteur de pression et d'un capteur de température;







Dispositif expérimental de la loi de Mariotte

- Ordinateur ou smartphone;
- Logiciel tableur grapheur.

## CORRIGÉS DES QUESTIONS

- 1  C'est quoi la température d'un système?
- + C'est la grandeur macroscopique qui mesure le degré d'agitation des entités chimiques au sein d'un système.
- 2  C'est quoi la pression d'un système?
- + C'est une grandeur macroscopique P qui mesure l'action, résultat des collisions des entités, sur une surface.
- 3  Quelles sont les trois grandeurs thermodynamiques susceptibles de décrire l'état d'un gaz?
- + La pression P, la température T et la masse volumique  $\rho$ .
- 4  C'est quoi la température thermodynamique d'un système?
- + C'est la température exprimée en Kelvin (K) et est liée à la température  $\theta$  de l'échelle Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) par la relation suivante:  

$$T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15.$$
- 5  Quelle est la description microscopique d'un gaz?
- + D'un point de vue microscopique, un gaz est décrit par un ensemble d'entités distantes les unes des autres et en mouvement incessant.
- 6  C'est quoi l'équation d'état d'un gaz parfait?
- + 
$$P \times V = n \times R \times T$$
  
 Pression P (en Pa); Volume V (en  $\text{m}^3$ ); quantité de matière n (en mol); Température T (en K) et R: constante des gaz parfaits =  $8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .
- 7  Quelles sont les limites du modèle du gaz parfait?
- + Le modèle du gaz parfait est valable pour des pressions inférieures à quelques bars.

8  C'est quoi la loi de Mariotte?

+ Si  $T = \text{Cste}$  et  $n = \text{Cste}$  alors  $P \times V = \text{Cste}$

9  C'est quoi le volume molaire  $V_m$  d'un gaz?

+ 
$$V_m \left( \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \right) = \frac{V \left( \text{m}^3 \right)}{n \left( \text{mol} \right)}$$

10  C'est quoi la loi d'Avogadro-Ampère?

+ Si  $P = \text{Cste}$  et  $T = \text{Cste}$  alors le volume molaire  $V_m = \text{Cste}$

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Gaz parfait ou réel!

a Définition d'un gaz parfait:

C'est un gaz où les entités chimiques qui le composent n'interagissent pas entre elles. Son équation d'état qui relie ses quatre grandeurs  $P$ ,  $V$ ,  $T$  et  $n$  est donnée par:

$$P \times V = n \times R \times T$$

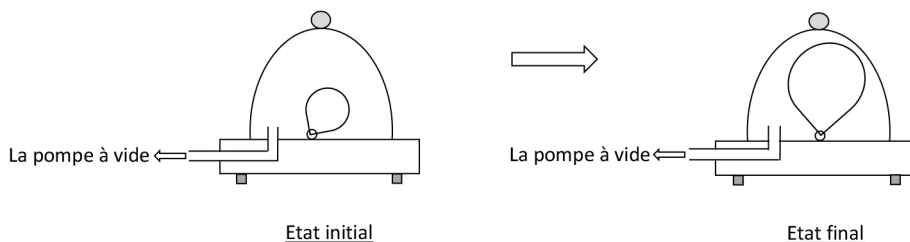
Pression  $P$  (en Pa); Volume  $V$  (en  $\text{m}^3$ ); quantité de matière  $n$  (en mol);  
Température  $T$  (en K) et  $R$ : constante des gaz parfaits =  $8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

b Définition d'un gaz réel:

C'est un gaz dont les entités chimiques qui le constituent interagissent entre elles. Il n'a pas d'équation d'état.

c Condition où un gaz réel peut être considéré comme parfait:

Lorsque la pression d'un gaz ne dépasse pas quelques bars, ce gaz peut être considéré comme parfait et on peut le décrire à l'aide de l'équation d'état des gaz parfaits.

**EXERCICE 2 Cloche à vide et ballon de baudruche**


Explication de cette expérience:

À l'extérieur de la cloche, la pression à l'intérieur du ballon est égale à la pression atmosphérique de l'air environnant. Sous la cloche et lorsqu'on met en marche la pompe à vide, l'air se raréfie et la pression diminue. L'air contenu dans le ballon exerce sur la paroi de celui-ci une pression plus grande que celle qui existe dans la cloche: le ballon se regonfle et augmente de volume pour que les deux pressions interne et externe du ballon s'égalisent.

**EXERCICE 3 Masse volumique de l'air**

- a** L'équation d'état d'un gaz parfait:

$$P \times V = n \times R \times T$$

Pression  $P$  (en Pa); Volume  $V$  (en  $\text{m}^3$ ); quantité de matière  $n$  (en mol);  
Température  $T$  (en K) et  $R$ : constante des gaz parfaits =  $8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

- b** Expression de la masse volumique  $\rho_{\text{air}}$  de l'air:

$$P \times V = n \times R \times T$$

Puisque  $n = \frac{m}{M_{\text{air}}}$ , l'expression précédente s'écrit:

$$P \times V = \frac{m}{M_{\text{air}}} \times R \times T$$

Par ailleurs

$$\rho_{\text{air}} = \frac{m}{V},$$

il vient

$$\rho_{\text{air}} = \frac{P \times M_{\text{air}}}{R \times T}$$

c Calcul de la valeur de  $\rho_{\text{air}}$  :

+ **Application numérique:**

$$\rho_{\text{air}} = \frac{101325 \times 28,8 \times 10^{-3}}{8,31 \times 273,15}$$

Soit

$$\rho_{\text{air}} = 1,29 \text{ kg.m}^{-3}$$

#### EXERCICE 4 Au sujet d'un ballon de basket

Calcul de la valeur P de la pression de l'air au sein du ballon:

L'équation du gaz parfait s'écrit:

$$P \times V = n \times R \times T$$

Ce qui donne

$$P = \frac{n \times R \times T}{V}$$

Par ailleurs, le volume du ballon est tel que:

$$V = \frac{4\pi}{3} \left( \frac{d}{2} \right)^3$$

Il vient:

$$P = \frac{n \times R \times T}{\frac{4\pi}{3} \left( \frac{d}{2} \right)^3}$$

+ **Application numérique:**

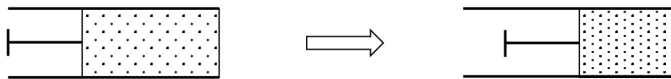
$$P = \frac{1,8 \times 10^{-1} \times 8,31 \times (25 + 273,15)}{\frac{4\pi}{3} \left( \frac{24,0 \times 10^{-2}}{2} \right)^3}$$

Ce qui donne

$$P = 6,16 \times 10^4 \text{ Pa}$$

**EXERCICE 5 Loi de Mariotte**

Une quantité  $n$  d'un gaz enfermée dans un cylindre a subi une compression sous l'effet d'un piston (voir la figure ci-dessous). Le gaz est supposé parfait.



Etat initial :

$$\begin{cases} T_i = 28^\circ \text{C} \\ P_i = 1,0 \text{ bar} \\ V_i = 70 \text{ cm}^3 \end{cases}$$

Etat final :

$$\begin{cases} T_f = 28^\circ \text{C} \\ P_f = ? \\ V_f = 55 \text{ cm}^3 \end{cases}$$

- a** Calcul de la valeur de la pression finale  $P_f$ :

La température et la quantité du gaz restent constantes au cours de cette transformation, on peut appliquer la loi de Mariotte qui s'écrit:

$$P_f V_f = P_i V_i$$

Ce qui donne

$$P_f = \frac{P_i V_i}{V_f}$$

**+ Application numérique:**

$$P_f = \frac{1,0 \times 70}{55}$$

Soit

$$P_f = 1,3 \text{ bar}$$

- b** Calcul de la valeur de  $n$ :

L'équation du gaz parfait s'écrit:

$$P \times V = n \times R \times T$$

Ce qui donne

$$n = \frac{P_f \times V_f}{R \times T} = \frac{P_i \times V_i}{R \times T}$$

**+ Application numérique:**

$$n = \frac{1,3 \times 10^5 \times 55 \times 10^{-6}}{8,31 \times (28 + 273,15)}$$

Soit

$$n = 2,9 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

**EXERCICE 6** Question ouverte

Calcul du nombre de moles de l'air emprisonné dans le ballon:

L'équation du gaz parfait s'écrit:

$$P \times V = n \times R \times T$$

Ce qui donne

$$n = \frac{P \times V}{R \times T}$$

**+ Application numérique:**

$$n = \frac{102000 \times 7,0 \times 10^{-3}}{8,31 \times (25 + 273,15)}$$

Soit

$$n = 2,9 \times 10^{-1} \text{ mol}$$

**EXERCICE 7** Le coup de pouce de Python

- a** Les rubriques du programme liées à la constante du gaz parfait R et au volume du ballon exprimé en m<sup>3</sup> complétées:

```
# Constante du gaz parfait R en J.K-1.mol-1
R = 8.31
# Valeur du volume du ballon en m3
V = 250e-6
```

- b** Les rubriques du programme liées aux listes T exprimée en K et P exprimée en Pa complétées:

```
# listes des deux grandeurs thermodynamiques T et P
T = [273.15, 278.15, 283.15, 288.15, 293.15, 298.15, 303.15, 308.15]
P = [9.460e4, 9.616e4, 9.788e4, 9.961e4, 10.16e4, 10.31e4,
10.48e4, 10.65e4]
```

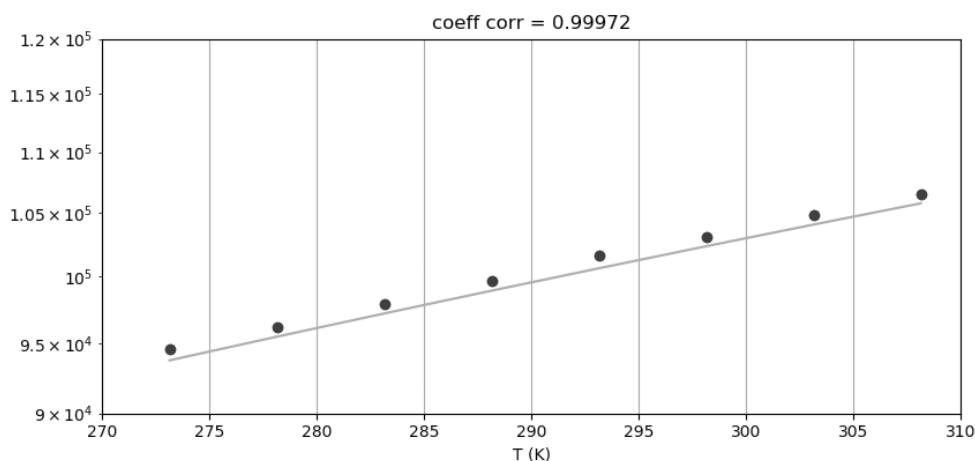
- c** La rubrique du programme liée au remplissage de la liste P-modele complétée:

```
# Remplissage de la liste P_modele calculée par le modèle
for i in range(0, len(T)):
    P_modele.append(pente*T[i])
```

- d** La rubrique du programme liée au calcul du nombre de moles d'air du ballon complétée:

```
# Calcul du nombre de moles d'air
n = pente*V/R
```

- e** Les résultats affichés par le programme une fois exécuté:



Le coefficient de corrélation est  $R = 0.9997$

Le nombre de moles d'air du ballon est  $n = 0.01 \text{ mol}$

- f** Le gaz du ballon peut-il être considéré comme un gaz parfait?

Le coefficient de corrélation est très proche de 1. La pression est proportionnelle à la température lorsque le volume et la quantité de matière du gaz sont constants: Ce gaz peut être considéré comme un gaz parfait.

- g** Le nombre de moles d'air contenus dans le ballon:

$n = 0,01 \text{ mol}$ .

Voici, ci-dessous, le script du programme Python complété.

```
# Scripte pour vérifier si un gaz est parfait
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats as stat
# Constante du gaz parfait R en J.K-1.mol-1
R = 8.31
# Valeur du volume du ballon en m3
V = 250e-6
```

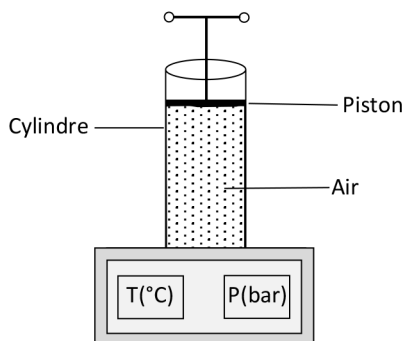
```
# listes des deux grandeurs thermodynamiques T et P
T = [273.15,278.15,283.15,288.15,293.15,298.15,303.15,308.15]
P = [9.460e4, 9.616e4, 9.788e4, 9.961e4, 10.16e4, 10.31e4,
10.48e4, 10.65e4]
P_modele=[]
# Régression linéaire
regression = stat.linregress(T,P)
pente =regression[0]
coeffcorel = regression[2]
# Remplissage de la liste P_modele calculée par le modèle
for i in range(0,len(T)):
    P_modele.append(pente*T[i])
# Calcul du nombre de moles d'air
n = pente*V/R
# Affichage du coefficient de corrélation
print("Le coefficient de corrélation est R = ", round(coeffcorel,4))
# Affichage du nombre de moles d'air
print("Le nombre de moles d'air du ballon est n = ", str(round(n,2)) + "mol")
# Affichage des courbes
plt.grid(True)
plt.xlabel("T (K)")
plt.ylabel("P (Pa)")
plt.title("coeff corr = "+ str(round(coeffcorel,5)))
plt.plot(T,P,"bo","red")
plt.plot(T,P_modele)
plt.show()
```

**EXERCICE 8** Protocole TP ECE

Protocole expérimental permettant de vérifier la loi de Mariotte:

+ Liste du matériel:

- Cylindre gradué équipé d'un piston amovible, d'un capteur de pression et d'un capteur de température;



Dispositif expérimental de la loi de Mariotte

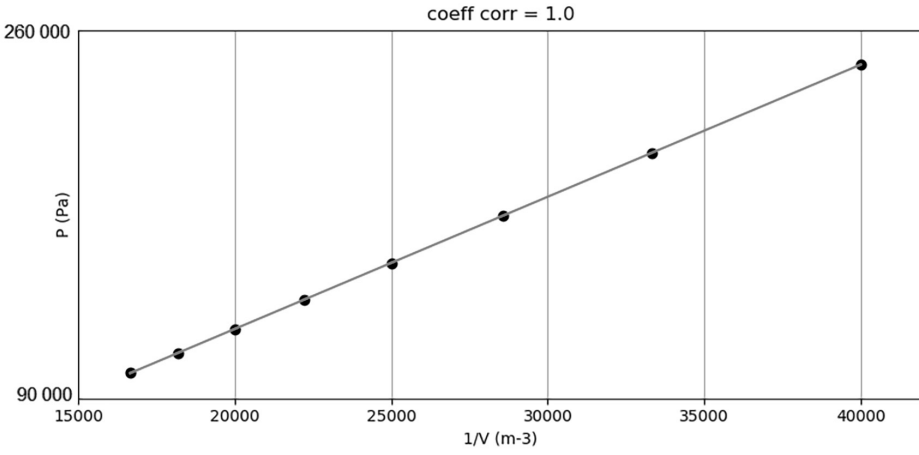
- Ordinateur ou smartphone;
- Logiciel tableur grapheur.

D'après la loi de Mariotte, au cours d'une transformation d'un gaz parfait où la température et la quantité de matière restent constantes, le produit  $P \times V$  reste constant. C'est-à-dire que la pression est inversement proportionnelle au volume.

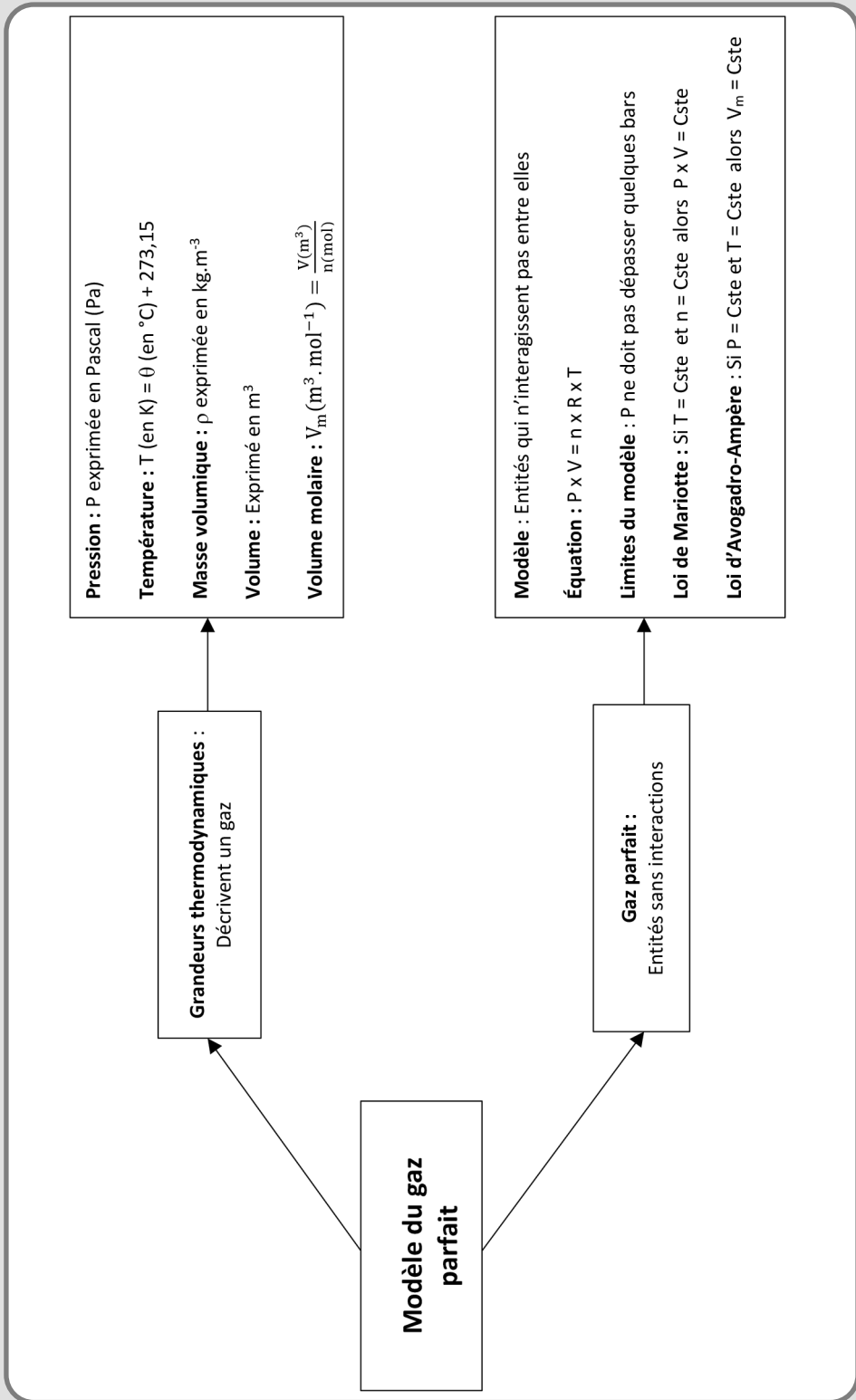
+ Protocole:

- On déplace lentement le piston pour ne pas chauffer l'air enfermé dans le cylindre (la température du gaz doit rester constante au cours de l'expérience pour respecter une des hypothèses de la loi de Mariotte) et on relève les valeurs du volume  $V$  et de la pression  $P$ ;
- À l'aide du tableur grapheur, on trace la courbe  $P = f\left(\frac{1}{V}\right)$ .
- On modélise le nuage de point obtenu par une fonction linéaire;
- Le modèle est validé si le coefficient de corrélation est proche de 1 ou -1.

Un exemple de résultat est donné par la figure ci-dessous:




## MODÈLE DU GAZ PARFAIT






# PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE


## LES 10 QUESTIONS

- 1  C'est quoi l'énergie interne  $U$  d'un système?


↳ .....

.....
- 2  C'est quoi l'énergie totale  $E_{\text{tot}}$  d'un système?


↳ .....

.....
- 3  Exprimer la variation de l'énergie totale d'un système au repos et énoncer le premier principe de la thermodynamique.

↳ .....






.....
- 4  C'est quoi la capacité thermique  $C$  et la capacité thermique massique  $c$  d'un système?

↳ .....

.....
- 5  Exprimer le transfert thermique  $Q$  échangé entre un système de capacité thermique  $C$  et l'extérieur lorsque sa température a changé de  $\Delta T$ .

↳ .....

.....

- 6  Quels sont les trois modes de transfert thermique?  
 ↪ .....  
 .....
- 7  Donner les expressions du flux thermique  $\Phi$  en fonction de  $Q$  et  $\Delta t$  puis en fonction de  $\Delta T$  et la résistance thermique  $R_{th}$ .  
 ↪ .....  
 .....
- 8  Donner l'expression de  $R_{th}$  d'un matériau en fonction de son épaisseur  $e$ , de sa section  $S$  et de sa conductivité thermique  $\lambda$ .  
 ↪ .....  
 .....
- 9  C'est quoi la loi de Stefan-Boltzmann?  
 ↪ .....  
 .....
- 10  Que signifie le mot *thermostat* et énoncer la loi de Newton.  
 ↪ .....  
 .....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Bilan énergétique

Lorsqu'un système est au repos à l'échelle macroscopique il peut faire varier son énergie interne en échangeant de l'énergie avec l'extérieur sous forme de transfert thermique  $Q$  ou et sous forme de travail  $W$ .

Écrire pour chacune des transformations ci-dessous, le premier principe de la thermodynamique et donner le schéma représentant le bilan énergétique:

- a Au cours d'une transformation, un système isolé thermiquement a reçu un travail mécanique  $W_m$  et a fourni un travail électrique  $W_e$ .

- b** Au cours d'une transformation, un système a reçu, un travail mécanique  $W$ , un transfert thermique  $Q_1$  et a fourni un transfert thermique  $Q_2$ .



### EXERCICE 2 Température d'équilibre thermique

Lors d'un petit-déjeuner et pour bien doser son café, Mohamed a mélangé dans un bol  $m_c = 120$  g de café à  $T_c = 75$  °C avec  $m_L = 200$  g de lait à  $T_L = 60$  °C.

En négligeant les pertes par transfert thermique avec l'extérieur, déterminer la valeur de la température finale  $T_f$  du mélange à l'équilibre thermique.

Données:

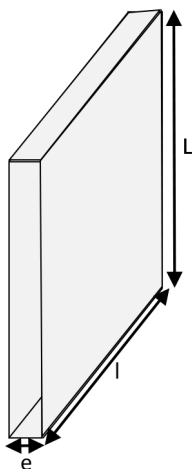
- Capacité calorifique massique du café:  $c_{\text{café}} = 4,2 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .
- Capacité calorifique massique du lait:  $c_{\text{lait}} = 3,8 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .



### EXERCICE 3 Au sujet d'une vitre

Les vitres des fenêtres constituent les principales sources de perte d'énergie par transfert thermique.

- a** Rappeler les trois modes de transfert thermique.
- b** Une vitre de verre de longueur  $L = 100$  cm, de largeur  $l = 65$  cm et d'épaisseur  $e = 3,0$  mm.



Calculer la valeur de la résistance thermique  $R_{th}$  de la vitre.

- c** Les températures des surfaces intérieures et extérieures de la vitre sont respectivement  $T_i = 24,0$  °C et  $T_e = 5,0$  °C.

Quel est le sens de déplacement du flux thermique  $\Phi$ ? Calculer sa valeur.

- d** Calculer la valeur du transfert thermique  $Q$  perdu au bout de 24 heures.

Donnée:

Conductivité thermique du verre:  $\lambda_{\text{verre}} = 0,96 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .



#### EXERCICE 4 Loi de Stefan-Boltzmann

La loi de Stefan-Boltzmann établit un lien entre la température  $T$  d'un corps et le flux thermique par unité de surface  $F$  de ce corps responsable de la perte d'énergie par rayonnement. Cette loi est à la base du principe des thermomètres sans contact utilisés pour mesurer à distance la température des corps chauds.

- a** Donner la valeur du flux thermique par unité de surface  $F$  de la surface libre d'un bol de thé dont la valeur de la température mesurée à l'aide d'un thermomètre sans contact est  $\theta = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- b** Déterminer la température d'une sphère métallique dont le flux thermique par unité de surface est  $F = 2942 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Donnée:

Constante de Stefan:  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$ .



#### EXERCICE 5 Loi thermique de Newton

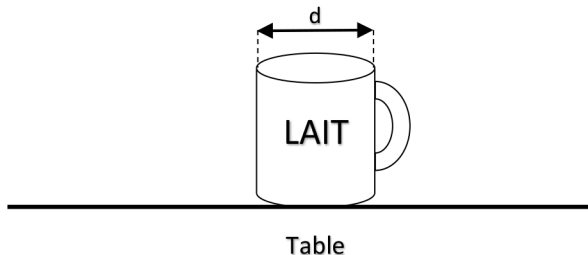
Un mug contenant un volume  $V = 250 \text{ mL}$  de lait a été chauffé à l'aide d'un four micro-ondes. À la sortie du four, la température du lait est  $\theta_0 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  et la température de l'air ambiant est  $\theta_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Déposé sur une table, le mug de lait entame son refroidissement à l'air libre.

La surface libre du lait du mug est de diamètre  $d = 7,0 \text{ cm}$ .

Le flux thermique  $\Phi$  échangé entre la surface libre  $S$  du lait et l'air ambiant de température  $\theta_a$  donné par la loi de Newton est tel que:

$$\Phi = h_{\text{air}} \times S \times (\theta_a - \theta)$$



- a** Calculer la valeur de la masse  $m_{\text{lait}}$  du lait du mug.
- b** Calculer la valeur de l'aire  $S$  de la surface libre du lait du mug.

- c Appliquer le premier principe de la thermodynamique pour le système que constitue le lait entre les instants  $t$  et  $\Delta t$ ; la durée  $\Delta t$  est supposée faible et la température varie de  $\theta(t)$  à  $\theta(t + \Delta t)$ .

En déduire que l'évolution temporelle de la température  $\theta(t)$  du lait est décrite par l'équation différentielle suivante:

$$\frac{d\theta(t)}{dt} + \frac{1}{\tau}\theta(t) = \frac{\theta_a}{\tau}$$

Avec  $\tau = \frac{m_{\text{lait}} \cdot c_{\text{lait}}}{h_{\text{air}} \cdot S}$ .

- d Déterminer la valeur de la constante  $\tau$ .
- e L'équation différentielle précédente admet pour solution la fonction:

$$\theta(t) = (\theta_o - \theta_a) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_a$$

Vérifier que  $\theta(t)$  est bien solution de l'équation différentielle précédente.

- f Déterminer la date  $t_f$  au bout de laquelle la température du lait atteint la valeur  $\theta_f = 50^\circ\text{C}$ .

Données:

- Masse volumique du lait:  $\rho_{\text{lait}} = 1,03 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .
- Capacité thermique massique du lait:  $c_{\text{lait}} = 3,8 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .
- Coefficient de transfert thermique surfacique avec l'air:  $h_{\text{air}} = 14 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ .



### EXERCICE 6 Question ouverte

On introduit dans un calorimètre de capacité thermique  $C_{\text{cal}}$  une masse  $m_1 = 200 \text{ g}$  d'eau de température ambiante  $T_a = 12,1^\circ\text{C}$ . Au bout de 5 minutes, on verse dans le calorimètre une masse  $m_2 = 120 \text{ g}$  d'eau chaude de température  $T_c = 70,0^\circ\text{C}$ . Lorsque l'équilibre thermique est atteint, la température finale relevée est  $T_f = 29,2^\circ\text{C}$ .

Déterminer la valeur de la capacité thermique  $C_{\text{cal}}$  du calorimètre.

Donnée:

Capacité thermique massique de l'eau:  $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Le script du programme Python ci-dessous, permet de déterminer la durée nécessaire pour faire passer la température d'un volume d'eau de la valeur  $T_i$  à la valeur  $T_f$  à l'aide d'un four à micro-ondes.

```
# Script pour déterminer la durée de chauffage d'un volume d'eau
# La valeur en kg/L de la masse volumique de l'eau
Rau =...
# La valeur en J.kg-1.K-1 de la capacité thermique massique de l'eau
c_eau =...
# La valeur en L du volume V d'eau
V =...
# La valeur en °C de la température initiale Ti
Ti = .....
# La valeur en °C de la température finale Tf
Tf = .....
# La valeur en W de la puissance P du four à micro-ondes
P = .....
# Calcul de la durée dt de chauffage de l'eau
dt = .....
# Affichage des résultats
print("La durée nécessaire est : ", str(dt) + "s.")
```

Pour préparer un thé à infusion, on réchauffe un volume  $V = 200$  mL d'eau à l'aide d'un four à micro-ondes. La température initiale de l'eau est  $T_i = 20$  °C et la température finale souhaitée est  $T_f = 80$  °C. La puissance du four à micro-ondes utilisée est  $P = 800$  W.

La durée nécessaire pour passer de la température  $T_i$  à la température  $T_f$  est donnée par:

$$\Delta t = \frac{\rho_{\text{eau}} \times V \times c_{\text{eau}} \times (T_f - T_i)}{P}$$

Données:

- Masse volumique de l'eau:  $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ .
  - Capacité calorifique massique de l'eau:  $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .
- a** Compléter le programme avec les valeurs du problème.
  - b** Compléter la rubrique liée au calcul de la durée  $\Delta t$ .
  - c** Exécuter le programme. Donner les résultats affichés par le programme.
  - d** Quelle est la valeur de la durée  $\Delta t$  ?

**EXERCICE 8** Protocole TP ECE

Proposer un protocole expérimental permettant de mesurer la capacité thermique massique d'un métal.

**+ Liste de matériel:**

- Calorimètre;
- Thermomètre;
- Bécher;
- Éprouvette graduée;
- Plaque chauffante;
- Support élévateur;
- Fil de cuisine;
- Potence + pinces;
- Cylindre en cuivre.

**+ Produit:**

- Eau de robinet.


## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  C'est quoi l'énergie interne d'un système U?

$$+ \quad U = E_{\text{Cinétique microscopique}} + E_{\text{Potentielle microscopique}}$$

2  C'est quoi l'énergie totale d'un système  $E_{\text{tot}}$  ?

$$+ \quad E_{\text{tot}} = E_{\text{Cinétique}} + E_{\text{Potentielle de pesanteur}} + U$$

3  Exprimer la variation de l'énergie totale d'un système au repos et énoncer le premier principe de la thermodynamique.

$$+ \quad \Delta E_{\text{tot}} = \Delta E_{\text{Cinétique}} + \Delta E_{\text{Potentielle de pesanteur}} + \Delta U = \Delta U$$

puisque  $\Delta E_{\text{Cinétique}} = \Delta E_{\text{Potentielle de pesanteur}} = 0$


+ 1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique:

$$\Delta U = Q + W$$

- Q (en J): Transfert thermique échangé avec l'extérieur;
- W (en J): Travail échangé avec l'extérieur.

4  C'est quoi la capacité thermique C et la capacité thermique massique c d'un système?

- + La capacité thermique C est l'énergie qu'il faut fournir au système pour augmenter sa température de 1 Kelvin. Elle s'exprime en  $\text{J.K}^{-1}$ .
- + La capacité thermique massique c est l'énergie qu'il faut fournir à 1 kg du système pour augmenter sa température de 1 Kelvin. Elle s'exprime en  $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .


5  Exprimer le transfert thermique Q échangé entre un système de capacité thermique C et l'extérieur lorsque sa température a changé de  $\Delta T$ .

$$+ \quad Q = C \times \Delta T = c \times m \times \Delta T$$


- Q: Transfert thermique (J);
- C: Capacité thermique ( $\text{J.K}^{-1}$ );
- $\Delta T$ : Variation de température (K);
- c: Capacité thermique massique ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ );
- m: Masse (kg).

6  Quels sont les trois modes de transfert thermique?

- + Conduction: Transfert thermique par mouvement de matière au sein d'un solide;
- + Convection: Transfert thermique par déplacement de matière au sein d'un liquide ou d'un gaz;
- + Rayonnement: Transfert thermique par le biais d'ondes électromagnétiques.

7  Donner les expressions du flux thermique  $\Phi$  en fonction de  $Q$  et  $\Delta t$  puis en fonction de  $\Delta T$  et la résistance thermique  $R_{th}$ .

$$+ \quad \Phi = \frac{Q}{\Delta t} \quad \text{et} \quad \Phi = \frac{T_C - T_F}{R_{th}} = \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

8  Donner l'expression de  $R_{th}$  d'un matériau en fonction de son épaisseur  $e$ , de sa section  $S$  et de sa conductivité thermique  $\lambda$ .

$$+ \quad R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

- $e$ : Épaisseur du matériau (m);
- $\lambda$ : Conductivité thermique ( $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$ );
- $S$ : Surface du matériau ( $\text{m}^2$ ).

9  C'est quoi la loi de Stefan-Boltzmann?

$$+ \quad F = \sigma \times T^4$$

- $F$ : Flux thermique par unité de surface ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ );
- $\sigma$ : Constante de Stefan =  $5,67 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ .
- $T$ : Température (K).

10  Que signifie le mot *thermostat* et énoncer la loi de Newton.

- + Un thermostat est un objet dont la température ne varie pas;
- + Loi de Newton:  $\frac{dT(t)}{dt} = -A \times (T(t) - T_{th})$ 
  - $\frac{dT(t)}{dt}$ : Variation temporelle de la température du système ( $\text{K} \cdot \text{s}^{-1}$ );

- $A$ : Une constante ( $s^{-1}$ );
- $T(t)$ : Température du système à la date  $t$  (K);
- $T_{th}$ : Température du thermostat (K).

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Bilan énergétique

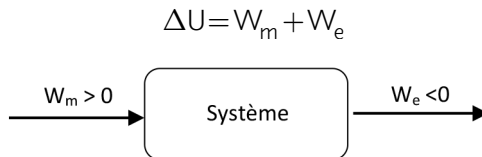
- a.** Au cours d'une transformation, un système isolé thermiquement a reçu un travail mécanique  $W_m$  et a fourni un travail électrique  $W_e$ :

Le système étant au repos à l'échelle macroscopique, le premier principe appliqué au système donne:

$$\Delta U = W_m + W_e + Q$$

Avec  $Q = 0$  puisque le système ne peut pas échanger de transfert thermique avec l'extérieur.

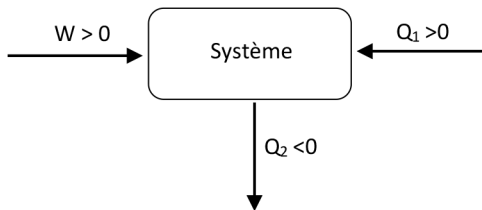
Il vient:



- b.** Au cours d'une transformation, un système a reçu, un travail mécanique  $W$ , un transfert thermique  $Q_1$  et a fourni un transfert thermique  $Q_2$ .

Le premier principe appliqué au système supposé au repos à l'échelle macroscopique, donne:

$$\Delta U = W + Q_1 + Q_2$$



**EXERCICE 2** Température d'équilibre thermique

Le système est composé des liquides au repos à l'échelle macroscopique. Les transferts thermiques avec l'extérieur sont négligés. Aucun travail n'est échangé avec l'extérieur. La variation de l'énergie interne du système s'écrit :

$$\Delta U_{\text{syst}} = 0$$

Soit

$$m_C \times c_{\text{café}} (T_f - T_C) + m_L \times c_{\text{lait}} (T_f - T_L) = 0$$

Ce qui donne

$$T_f = \frac{m_C \times c_{\text{café}} \times T_C + m_L \times c_{\text{lait}} \times T_L}{m_C \times c_{\text{café}} + m_L \times c_{\text{lait}}}$$

**+ Application numérique :**

$$T_f = \frac{120 \times 4,2 \times 75 + 200 \times 3,8 \times 60}{120 \times 4,2 + 200 \times 3,8}$$

Soit

$$T_f = 66^\circ\text{C}$$

**EXERCICE 3** Au sujet d'une vitre

- a** Les trois modes de transfert thermique :  
Le transfert thermique peut se faire par conduction, par convection ou par rayonnement.
- b** Calcul de la valeur de la résistance thermique  $R_{\text{th}}$  de la vitre :  
Par définition, la résistance thermique est donnée par :

$$R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda \times L \times l}$$

**+ Application numérique :**

$$R_{\text{th}} = \frac{3,0 \times 10^{-3}}{0,96 \times 100 \times 10^{-2} \times 65 \times 10^{-2}}$$

Soit

$$R_{\text{th}} = 4,8 \times 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

- c Le sens de déplacement du flux thermique  $\Phi$ :

Le flux thermique se déplace de l'intérieur vers l'extérieur.

Calcul de la valeur de  $\Phi$ :

$$\Phi = \frac{T_i - T_e}{R_{th}}$$

- + **Application numérique:**

$$\Phi = \frac{24 - 5,0}{4,8 \times 10^{-2}}$$

$$\Phi = 3958 \text{ W}$$

- d Calcul de la valeur du transfert thermique  $Q$  perdu au bout de 24 heures:

Le flux thermique s'écrit:

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

Donc

$$Q = \Phi \times \Delta t$$

- + **Application numérique:**

$$Q = 3958 \times 24 \times 3600$$

Soit

$$Q = 3,4 \times 10^8 \text{ J}$$

#### EXERCICE 4 Loi de Stefan-Boltzmann

- a Calcul de la valeur du flux thermique par unité de surface d'un bol de thé de température  $\theta = 70^\circ\text{C}$ :

D'après la loi de Stefan-Boltzmann, on peut écrire:

$$F = \sigma \times T^4$$

- + **Application numérique:**

$$F = 5,67 \times 10^{-8} \times (70 + 273,15)^4$$

Soit

$$F = 786 \text{ W.m}^{-2}$$

- b** La loi de Stefan-Boltzmann s'écrit:

$$F = \sigma \times T^4$$

Ce qui donne

$$T = \left( \frac{F}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}}$$

**+ Application numérique:**

$$T = \left( \frac{2942}{5,67 \times 10^{-8}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Soit

$$T = 477\text{K}$$

Ce qui donne

$$\theta = (477 - 273,15)^\circ\text{C}$$

Soit

$$\theta \approx 204^\circ\text{C}$$

**EXERCICE 5 Loi thermique de Newton**

- a** Calcul de la valeur de la masse  $m_{\text{lait}}$  du lait du mug:

Par définition, la masse volumique du lait est:

$$\rho_{\text{lait}} = \frac{m_{\text{lait}}}{V}$$

Ce qui donne:

$$m_{\text{lait}} = \rho_{\text{lait}} \times V$$

**+ Application numérique:**

$$m_{\text{lait}} = 1,03 \times 250$$

Soit

$$m_{\text{lait}} = 258\text{g}$$

- b** Calcul de la valeur de l'aire  $S$  de la surface libre du lait du mug:

L'expression de  $S$  est donnée par:

$$S = \pi \left( \frac{d}{2} \right)^2$$

+ Application numérique:

$$S = \pi \left( \frac{7,0 \times 10^{-2}}{2} \right)^2$$

Ce qui donne

$$S = 3,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

c Application du premier principe de la thermodynamique:

La première loi de la thermodynamique permet décrire:

$$\Delta U = Q + W$$

$W = 0$  puisque le système n'a aucun échange d'énergie par travail

Il vient

$$\Delta U = Q = \Phi \times \Delta t$$

Soit

$$\Delta U = h_{\text{air}} \times S \times (\theta_a - \theta) \times \Delta t$$

Par ailleurs

$$\Delta U = c_{\text{lait}} \times m_{\text{lait}} \times \Delta \theta$$

Il vient

$$c_{\text{lait}} \times m_{\text{lait}} \times \Delta \theta = h_{\text{air}} \times S \times (\theta_a - \theta) \times \Delta t$$

Soit

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{h_{\text{air}} \times S \times (\theta_a - \theta)}{c_{\text{lait}} \times m_{\text{lait}}}$$

Ce qui donne

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = - \frac{h_{\text{air}} \times S}{c_{\text{lait}} \times m_{\text{lait}}} \theta + \frac{h_{\text{air}} \times S}{c_{\text{lait}} \times m_{\text{lait}}} \theta_a$$

Soit

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} + \frac{1}{\tau} \theta = \frac{1}{\tau} \theta_a$$

Avec

$$\tau = \frac{c_{\text{lait}} \times m_{\text{lait}}}{h_{\text{air}} \times S}$$

Lorsque  $\Delta t$  tend vers 0 alors  $\frac{\Delta \theta}{\Delta t}$  tends vers  $\frac{d\theta}{dt}$

L'équation précédente devient:

$$\frac{d\theta(t)}{dt} + \frac{1}{\tau}\theta(t) = \frac{\theta_a}{\tau}$$

- d** Calcul de la valeur de la constante  $\tau$  :

$$\tau = \frac{c_{\text{lait}} \times m_{\text{lait}}}{h_{\text{air}} \times S}$$

**+** Application numérique:

$$\tau = \frac{3,8 \times 258}{14 \times 3,8 \times 10^{-3}}$$

Soit

$$\tau = 18429 \text{ s}$$

- e** La fonction  $\theta(t)$  est bien solution de l'équation différentielle précédente:

$$\theta(t) = (\theta_o - \theta_a) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_a$$

On dérive  $\theta(t)$ , on obtient:

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = -\frac{(\theta_o - \theta_a)}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\frac{\theta(t)}{\tau} = \frac{(\theta_o - \theta_a)}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{\theta_a}{\tau}$$

$$\frac{d\theta(t)}{dt} + \frac{\theta(t)}{\tau} = -\frac{(\theta_o - \theta_a)}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{(\theta_o - \theta_a)}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{\theta_a}{\tau}$$

Soit

$$\frac{d\theta(t)}{dt} + \frac{\theta(t)}{\tau} = \frac{\theta_a}{\tau}$$

Par conséquent,  $\theta(t)$  est bien solution de l'équation différentielle précédente.

- f** Calcul de la date  $t_f$  au bout de laquelle la température du lait atteint la valeur  $\varphi = 50 \text{ C}$ :

$$\theta_f = (\theta_o - \theta_a) \cdot e^{-\frac{t_f}{\tau}} + \theta_a$$

Ce qui donne

$$\theta_f - \theta_a = (\theta_o - \theta_a) \cdot e^{-\frac{t_f}{\tau}}$$

Soit

$$e^{-\frac{t_f}{\tau}} = \frac{\theta_f - \theta_a}{\theta_o - \theta_a}$$

D'où

$$-\frac{t_f}{\tau} = \ln\left(\frac{\theta_f - \theta_a}{\theta_o - \theta_a}\right)$$

Il vient

$$t_f = -\tau \times \ln\left(\frac{\theta_f - \theta_a}{\theta_o - \theta_a}\right)$$

**+ Application numérique:**

$$t_f ? \quad 18429 \ln\left(\frac{50-20}{70-20}\right)$$

Soit

$$t_f = 9414 \text{ s}$$

Ce qui correspond à 2 h 36 min 54 s.

### EXERCICE 6 Question ouverte

On introduit dans un calorimètre de capacité thermique  $C_{\text{cal}}$  une masse  $m_1 = 200 \text{ g}$  d'eau de température ambiante  $T_a = 12,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Au bout de 5 minutes, on verse dans le calorimètre une masse  $m_2 = 120 \text{ g}$  d'eau chaude de température  $T_c = 70,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Lorsque l'équilibre thermique est atteint, la température finale relevée est  $T_f = 29,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Calcul de la valeur de la capacité thermique  $C_{\text{cal}}$  du calorimètre:

Le système composé du calorimètre et des deux masses d'eau est immobile. Le calorimètre permet d'avoir presque aucun échange thermique avec l'extérieur. Aucun travail n'est échangé avec l'extérieur. La variation de l'énergie interne du système s'écrit:

$$\Delta U_{\text{syst}} = 0$$

Soit

$$m_1 \times c_{\text{eau}} (T_f - T_a) + C_{\text{cal}} (T_f - T_a) + m_2 \times c_{\text{eau}} (T_f - T_c) = 0$$

Ce qui donne

$$C_{\text{cal}} = -\frac{m_2 \times c_{\text{eau}} (T_f - T_c) + m_1 \times c_{\text{eau}} (T_f - T_a)}{(T_f - T_a)}$$

**+ Application numérique:**

$$C_{\text{cal}} = - \frac{120 \times 4,18(29,2 - 70,0) + 200 \times 4,18(29,2 - 12,1)}{(29,2 - 12,1)}$$

Soit

$$C_{\text{cal}} = 361 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

**EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python**

**a** Les valeurs du programme complétées:

```
# La valeur en L du volume V d'eau
V = 0.2
# La valeur en kg/L de la masse volumique de l'eau
Rau = 1.0
# La valeur en J.kg-1.K-1 de la capacité thermique massique de l'eau
c_eau = 4180
# La valeur en °C de la température initiale Ti
Ti = 20
# La valeur en °C de la température finale Tf
Tf = 80
# La valeur en W de la puissance P du four à micro-ondes
P = 800
```

**b** La rubrique du calcul de la durée  $\Delta t$  complétée:

```
# Calcul de la durée dt de chauffage de l'eau
dt = V*Rau*c_eau*(Tf-Ti)/P
```

**c** Le résultat affiché par le programme une fois exécuté:

La durée nécessaire est : 62.7 s.

**d** La valeur de la durée est  $\Delta t$  est d'environ 63 secondes.

Voici le script du programme Python complété:

```
# Script pour déterminer la durée de chauffage d'un volume d'eau
# La valeur en L du volume V d'eau
V = 0.2
```

```

# La valeur en kg/L de la masse volumique de l'eau
Rau = 1.0
# La valeur en J.kg-1.K-1 de la capacité thermique massique de
l'eau
c_eau = 4180
# La valeur en °C de la température initiale Ti
Ti = 20
# La valeur en °C de la température finale Tf
Tf = 80
# La valeur en W de la puissance P du four à micro-ondes
P = 800
# Calcul de la durée dt de chauffage de l'eau
dt = V*Rau*c_eau*(Tf-Ti)/P
# Affichage des résultats
print("La durée nécessaire est : ", str(round(dt,1)) + "s.")

```

### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Protocole expérimental permettant de mesurer la capacité thermique massique d'un métal:

#### + Liste de matériel:

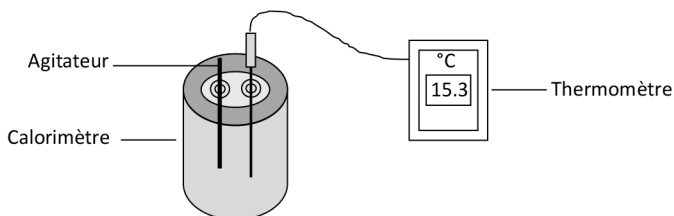
- Calorimètre;
- Thermomètre;
- Bécher;
- Éprouvette graduée;
- Plaque chauffante;
- Support élévateur;
- Fil de cuisine;
- Potence + pinces;
- Cylindre en cuivre.

#### + Produit:

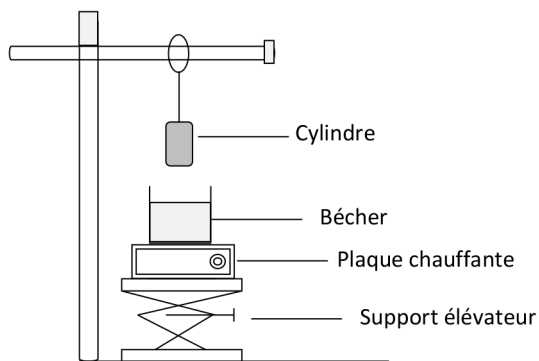
- Eau de robinet.

**+ Protocole:**

- Mesurer à l'aide de l'éprouvette graduée un volume  $V_{\text{eau}} = 150 \text{ mL}$ . Introduire cette eau dans le calorimètre de capacité thermique  $C_{\text{cal}}$ ;
- Introduire le thermomètre dans le calorimètre pour mesurer la température initiale  $T_i$  de l'eau qui est également celle du calorimètre;



- À l'aide de la plaque chauffante, chauffer de l'eau dans un bécher jusqu'à ébullition.



- Plonger délicatement le cylindre de cuivre dans l'eau bouillante du bécher;
- Récupérer le cylindre dont la température est de  $T_c = 100 \text{ °C}$  et l'introduire dans le calorimètre;
- À l'aide de l'agitateur du calorimètre, agiter le contenu du calorimètre en observant la valeur de la température du mélange indiquée par le thermomètre;
- Dès que la valeur de la température cesse d'évoluer, noter sa valeur  $T_f$ .

**+ Exploitation:**

Grâce au calorimètre, les échanges thermiques avec le milieu extérieur sont quasiment négligeables.

Le système d'étude est composé du calorimètre, de la masse d'eau et du cylindre de cuivre est au repos. D'après le premier principe de la thermodynamique, on peut écrire:

$$\Delta U_{\text{syst}} = 0$$

Soit

$$V_{\text{eau}} \times \rho_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} (T_f - T_i) + C_{\text{cal}} (T_f - T_i) + m_{\text{Cu}} \times c_{\text{Cu}} (T_f - T_c) = 0$$

Ce qui donne

$$c_{\text{Cu}} = \frac{V_{\text{eau}} \times \rho_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} (T_f - T_i) + C_{\text{cal}} (T_f - T_i)}{m_{\text{Cu}} (T_c - T_f)}$$

## PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

$E_{c \text{ micro}}$  : Énergie d'agitation des entités qui composent le système

$E_{p \text{ micro}}$  : Énergie d'interaction entre les entités

**Énergie interne** :  $U = E_{c \text{ micro}} + E_{p \text{ micro}}$

**Énergie totale** :  $E_{\text{tot}} = E_c + E_{pp} + U$

**Variation de  $E_{\text{tot}}$  du système au repos** :  $\Delta E_{\text{tot}} = \Delta U$

**1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique** :  $\Delta U = Q + W$

**Énergie interne :**  
Énergie microscopique

**1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique**

**Transferts thermiques :**  
Trois modes

**Thermostat** : Un objet dont la température reste constante

**Capacité thermique  $C$**  : Énergie à fournir à un corps pour faire augmenter sa température de 1 K ( $J.K^{-1}$ )

**Capacité thermique massique  $c$**  : Énergie à fournir à 1 kg d'un corps pour faire augmenter sa température de 1 K ( $J.m^{-1}.K^{-1}$ )

**Transfert thermique** :  $Q = C \times \Delta T = m \times c \times \Delta T$

**Modes de transfert thermique** : Conduction, convection et rayonnement

**Flux thermique** :  $\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$  et  $\Phi = \frac{T_c - T_f}{R_{th}} = \frac{\Delta T}{R_{th}}$

**Résistance thermique** :  $R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$


**Loi de Stefan-Boltzmann** :  $F = \sigma \times T^4$

**Loi Thermique de Newton** :  $\frac{dT(t)}{dt} = -A \times (T(t) - T_{th})$




# LES PHÉNOMÈNES ONDULATOIRES


## LES 10 QUESTIONS

- 1  C'est quoi l'intensité sonore  $I$  d'une onde sonore?


↳ .....

.....
- 2  C'est quoi le niveau sonore  $L$  d'une onde d'intensité sonore  $I$ ?


↳ .....

.....
- 3  Préciser les conditions d'atténuation du niveau sonore  $L$  d'une onde.

↳ .....






.....
- 4  C'est quoi le phénomène de diffraction d'une onde? À quelles conditions peut-il être observé?

↳ .....

.....
- 5  Quelle est l'expression de l'angle  $\theta$  caractéristique du phénomène de diffraction?

↳ .....

.....

- 6  C'est quoi le phénomène d'interférences de deux ondes? À quelles conditions peut-il être observé?  
 ↪ .....  
 .....
- 7  Expliquer à l'aide de schémas les interférences constructives et destructives de deux ondes sinusoïdales.  
 ↪ .....  
 .....
- 8  Quelle est l'expression de l'interfrange  $i$  caractéristique d'une figure d'interférences?  
 ↪ .....  
 .....
- 9  C'est quoi l'effet Doppler?  
 ↪ .....  
 .....
- 10  Donner la formule du décalage doppler  $\Delta f$  entre la fréquence du récepteur  $f_R$  et celle de l'émetteur  $f_E$ .  
 ↪ .....  
 .....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Intensité sonore I

Dans un orchestre, un joueur de trompette génère une onde d'intensité sonore  $I_1 = 10^{-4} \text{ W.m}^{-2}$ . Son voisin le violoniste produit un son de niveau d'intensité sonore  $L_2 = 75 \text{ dB}$ .

- a Calculer le niveau d'intensité sonore de l'onde produite par la trompette.

**b** Quelle est l'intensité sonore associée au son du violoniste?

Donnée:

Seuil d'audibilité à 1000 Hz:  $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$ .



**EXERCICE 2 Angle caractéristique de diffraction**

Un faisceau laser de longueur d'onde  $\lambda$  traverse une fente de largeur  $a$ .

- a** Rappeler la définition du phénomène de diffraction.
- b** À quelle condition le faisceau laser subit-il une diffraction?
- c** Quels sont les impacts des valeurs de  $\lambda$  et de  $a$  sur la figure de diffraction?
- d** Calculer la valeur de l'angle caractéristique de diffraction  $\theta$  dans le cas où  $\lambda = 633 \text{ nm}$  et  $a = 200 \mu\text{m}$ .
- e** Associer à chaque situation sa figure de diffraction.

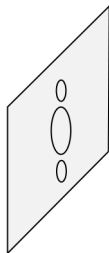
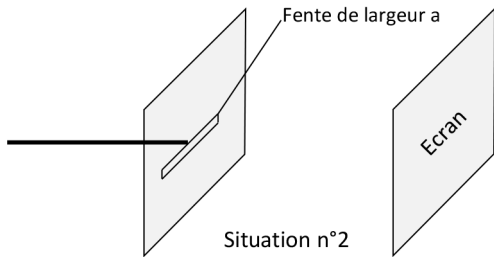
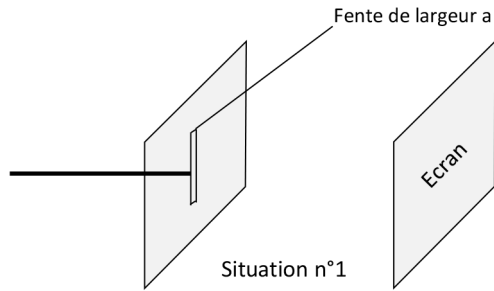


Figure de diffraction n°1

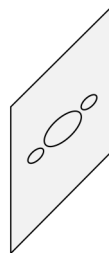
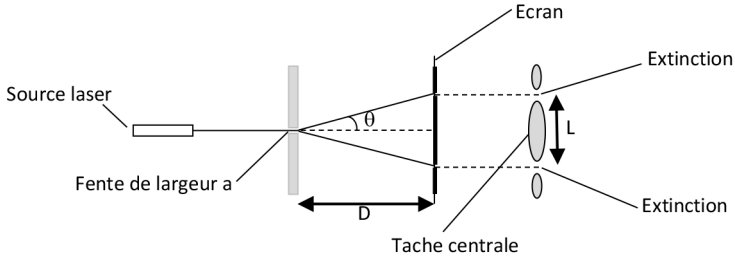


Figure de diffraction n°2



### EXERCICE 3 Diffraction d'un faisceau laser

La figure ci-dessous, représente la figure de diffraction obtenue en utilisant une source laser de longueur d'onde  $\lambda$  et d'une fente de largeur  $a$ .



- Rappeler une propriété de la lumière du laser qui explique le phénomène de diffraction.
- Que représente l'angle  $\theta$ ?
- Donner la formule liant  $\theta$ ,  $\lambda$  et  $a$ . Quelle est l'unité de  $\theta$ ?
- En se plaçant dans l'approximation des petits angles, où  $\tan(\theta) \approx \theta$ , établir la relation liant  $\theta$ ,  $\lambda$ ,  $a$ ,  $L$  et  $D$ .
- Calculer la valeur de la largeur  $L$  de la tache centrale de la figure de diffraction.
- Citer deux applications du phénomène de diffraction.

Données:

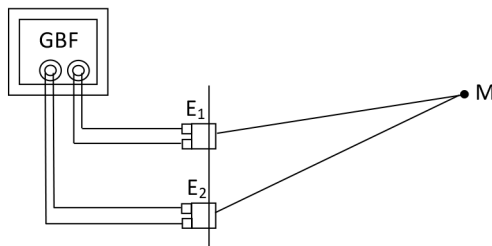
- Longueur d'onde de la source laser:  $\lambda = 525 \text{ nm}$ .
- Distance entre la fente et l'écran:  $D = 2,50 \text{ m}$ .
- Largeur de la fente:  $a = 150 \mu\text{m}$ .



### EXERCICE 4 Interférences de deux ondes ultrasonores

Deux émetteurs d'ultrasons  $E_1$  et  $E_2$  sont branchés en dérivation à un générateur de basses fréquences GBF qui délivre une tension sinusoïdale de fréquence  $f = 40 \text{ kHz}$ . Les deux ondes issues des deux émetteurs se rencontrent au point  $M$  tel que:

$$E_1M = 8,5 \text{ cm} \text{ et } E_2M = 10,2 \text{ cm}.$$



- Comment qualifie-t-on les deux ondes émises par les deux émetteurs? Les deux ondes peuvent-elles interférer au point M?
- Calculer la valeur de leur longueur d'onde  $\lambda$ .
- Calculer la valeur de la différence du chemin optique  $\delta$  des deux ondes au point M.
- Les interférences au point M sont-elles constructives ou destructives?
- L'amplitude de l'onde résultante au point M est-elle maximale ou minimale?
- Donner un exemple d'application du phénomène d'interférences d'ondes sonores.

Donnée:

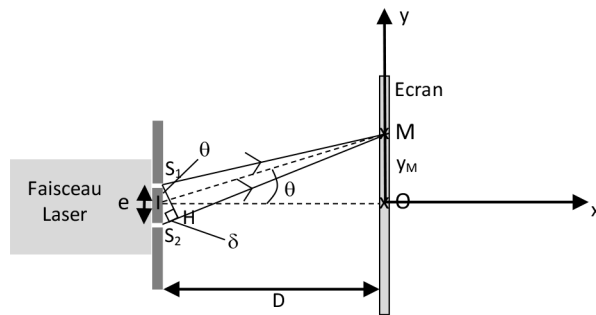
Vitesse des ultrasons dans l'air:  $v = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



### EXERCICE 5 Interférences de deux ondes lumineuses

Un système de deux fentes est éclairé par une source laser. Sur un écran situé à une distance  $D$ , on observe une figure d'interférences.  $\delta$  est la différence de chemin optique au point M entre les deux ondes issues des points  $S_1$  et  $S_2$ .

$$\delta = S_2M - S_1M$$



- Comment peut-on qualifier les deux ondes émises par les deux sources secondaires  $S_1$  et  $S_2$ ?
- Schématiser et décrire la figure d'interférences obtenue.
- Dans le triangle IOM et dans le cadre de l'approximation des petits angles, exprimer l'angle  $\theta$  en fonction de  $y_M$  et  $D$ .
- Dans le triangle  $S_1S_2H$  et dans le cadre de l'approximation des petits angles, exprimer l'angle  $\theta$  en fonction de  $e$  et  $\delta$ .
- En déduire l'expression de  $\delta$  en fonction de  $e$ ,  $y_M$  et  $D$ .
- Lorsque  $\delta = \lambda$ ,  $y_M = i$  qui est l'interfrange c'est-à-dire la plus petite distance séparant deux franges de même nature de la figure de diffraction.  
Exprimer  $i$  en fonction de  $\lambda$ ,  $D$  et  $e$ .

9 Calculer la valeur de l'interfrange  $i$ .

Données:

- Longueur d'onde de la source laser:  $\lambda = 633 \text{ nm}$ .
- Distance entre la fente et l'écran:  $D = 2,00 \text{ m}$ .
- Distance entre les deux fentes:  $e = 420 \text{ }\mu\text{m}$ .



### EXERCICE 6 Question ouverte

Pour couper le gazon et tailler une haie, deux jardiniers utilisent simultanément une tendeuse thermique et une taille-haie électrique. Les niveaux d'intensité sonore de ces deux appareils valent respectivement  $L_1 = 92 \text{ dB}$  et  $L_2 = 89 \text{ dB}$ .

Quelle est la valeur du niveau d'intensité sonore global  $L$ .

Donnée:

Seuil d'audibilité à 1000 Hz:  $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

À l'aide du script du programme Python ci-dessous, on peut déterminer la vitesse de déplacement d'un objet à l'aide de l'effet Doppler.

```
# Scripte pour calculer la vitesse d'un objet à l'aide de l'effet Doppler
# Valeur de la vitesse de l'onde
c =.....
# Fréquence de la source
fE =.....
# Fréquence du récepteur
fR =.....
# Calcul de la vitesse de la source
v = .....
# Affichage des résultats des calculs
print("La vitesse de l'émetteur est : "+ str(v) + "m/s")
```

Une source sonore émet un signal sonore de fréquence  $f_E = 7\,500 \text{ Hz}$ . La source se déplace vers le récepteur avec une vitesse  $v$  et l'onde sonore se propage à la vitesse  $c$ . Le récepteur reçoit l'onde sonore avec une fréquence  $f_R = 7\,580 \text{ Hz}$ .

D'après la formule de l'effet Doppler, on peut exprimer la vitesse de la source par:

$$v = \frac{c \times (f_R - f_E)}{f_E}$$

Donnée:

Vitesse du son dans l'air:  $c = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

- a C'est quoi l'effet Doppler?
- b La fréquence est-elle plus aiguë ou plus grave que la fréquence émise?
- c Compléter les rubriques du programme liées aux données du problème.
- d Compléter la rubrique du programme liée au calcul de la vitesse  $v$  de l'émetteur.
- e Exécuter le programme et donner le résultat affiché.

**EXERCICE 8 Protocole TP ECE**

Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer le diamètre d'un cheveu.

**+ Matériels:**

- Source laser;
- Diapositive;
- Deux supports élévateurs;
- Écran;
- Mètre flexible;
- Ordinateur ou smartphone + tableur-grapheur.

**+ Produits:**

- Cinq fils de pêche de diamètres connus;
- Un cheveu.


## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  C'est quoi l'intensité sonore  $I$  d'une onde sonore?


- + C'est l'énergie transportée par l'onde sonore par unité de temps et de surface (elle s'exprime en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ).

2  C'est quoi le niveau sonore  $L$  d'une onde d'intensité sonore  $I$ ?

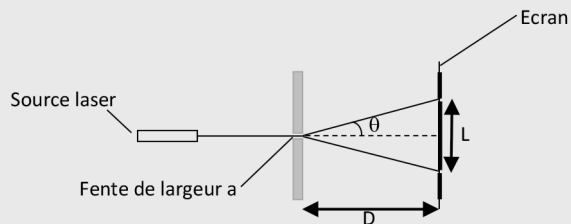
- + 
$$L = 10 \cdot \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$
  - $L$ : Niveau sonore en dB (Décibel);  $I$ : Intensité sonore en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;
  - $I_0$ : Intensité sonore de référence en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;
  - $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

3  Préciser les conditions d'atténuation du niveau sonore  $L$  d'une onde.

- + L'atténuation est géométrique à cause de la distance entre la source et le récepteur et par absorption due au matériau interposé entre la source et le récepteur.

4  C'est quoi le phénomène de diffraction d'une onde? À quelles conditions peut-il être observé?

- + C'est l'éparpillement (d'angle  $\theta$ ) d'une onde lorsqu'elle rencontre une ouverture ou un objet dont la taille  $a$  est voisine ou inférieure à la longueur d'onde  $\lambda$  de cette onde. On obtient une figure de diffraction.

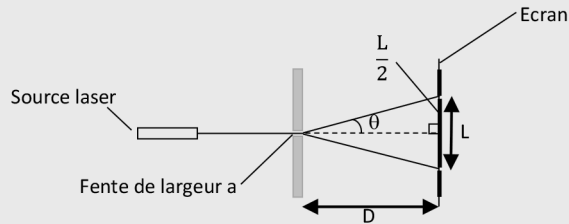


- 5  Quelle est l'expression de l'angle  $\theta$  caractéristique du phénomène de diffraction?

$$+ \quad \theta(\text{en rad}) = \frac{\lambda(\text{en m})}{a(\text{en m})} \approx \frac{L}{2D}$$

- L : Taille de la tache centrale de diffraction;
- D : Distance fente-écran.

**Démonstration:**




On admet que:  $\theta = \frac{\lambda}{a}$


D'autre part,  $\tan(\theta) = \frac{L/2}{D} = \frac{L}{2D}$

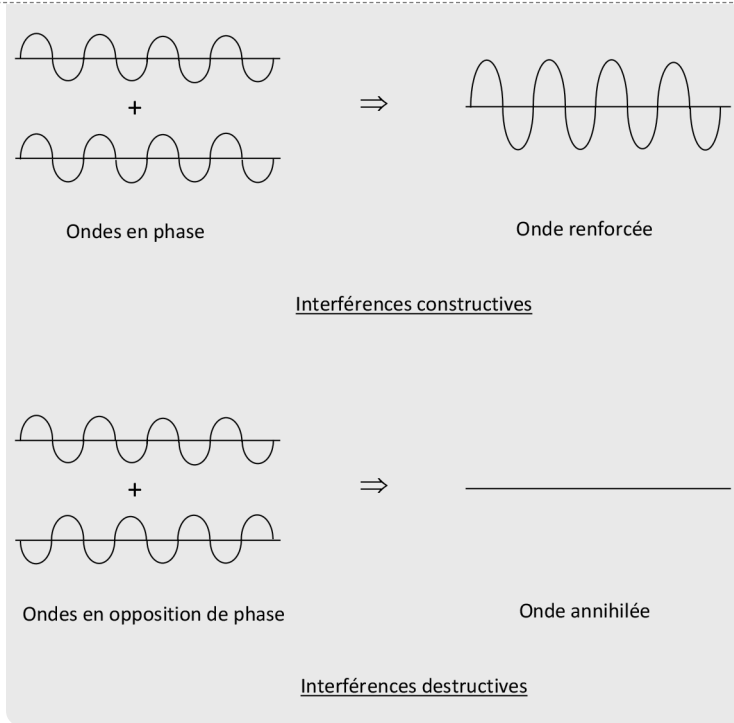
Puisque l'angle  $\theta$  est petit, on peut écrire:  $\tan(\theta) \approx \theta$   
Il vient:

$$\theta = \frac{L}{2D}$$

- 6  C'est quoi le phénomène d'interférences de deux ondes? À quelles conditions peut-il être observé?

- + C'est l'addition de deux ondes lorsqu'elles sont cohérentes (c'est-à-dire le déphasage entre elles est constant) et de même longueur d'onde  $\lambda$ .

- 7  Expliquer à l'aide de schémas les interférences constructives et destructives de deux ondes sinusoïdales.



- 8  Quelle est l'expression de l'interfrange  $i$  caractéristique d'une figure d'interférences?


- +
- La figure d'interférences est composée d'une suite de franges claires et sombres (dans le cas de la lumière) et des zones de silence et de bruit (dans le cas des ondes sonores). La distance entre deux franges successives de même nature est appelée interfrange  $i$ :

$$i = \frac{\lambda D}{e}$$

- $D$ : Distance entre les fentes et l'écran;
- $e$ : Distance entre les deux fentes;
- $\lambda$ : Longueur d'onde.

9  C'est quoi l'effet Doppler?

- + Lorsque l'émetteur d'ondes est en mouvement par rapport au récepteur, ce dernier reçoit ces ondes avec une fréquence différente de celle de l'émetteur: plus grande en cas de rapprochement et plus petite en cas d'éloignement.

10  Donner la formule du décalage Doppler  $\Delta f$  entre la fréquence du récepteur  $f_R$  et celle de l'émetteur  $f_E$ .

+ 
$$\Delta f = f_R - f_E = \frac{f_E \cdot v}{c}$$

- $f_R$  et  $f_E$ : Fréquences du récepteur et de l'émetteur.
- $v$ : Vitesse de la source;
- $c$ : Célérité de l'onde.

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Intensité sonore I

Dans un orchestre, un joueur de trompette génère une onde d'intensité sonore  $I_1 = 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Son voisin le violoniste produit un son de niveau d'intensité sonore  $L_2 = 75 \text{ dB}$ .

- a Calcul du niveau d'intensité sonore de l'onde produite par la trompette:  
Par définition, le niveau d'intensité sonore est donné par:

$$L_1 = 10 \times \log \left( \frac{I_1}{I_0} \right)$$

+ **Application numérique:**

$$L_1 = 10 \times \log \left( \frac{10^{-4}}{1,0 \times 10^{-12}} \right)$$

Soit

$$L_1 = 80 \text{ dB}$$

- b** Calcul de l'intensité sonore associée au son du violoniste?

Le niveau d'intensité sonore s'écrit :

$$L_2 = 10 \times \log \left( \frac{I_2}{I_0} \right)$$

Ce qui donne

$$\frac{L_2}{10} = \log \left( \frac{I_2}{I_0} \right)$$

Et

$$10^{\frac{L_2}{10}} = \frac{I_2}{I_0}$$

Par conséquent

$$I_2 = I_0 \times 10^{\frac{L_2}{10}}$$

**+ Application numérique :**

$$I_2 = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{75}{10}}$$

Soit

$$I_2 = 1,0 \times 10^{-12+7,5}$$

Ce qui donne

$$I_2 = 3,2 \times 10^{-5} \text{ W.m}^{-2}$$

**EXERCICE 2 Angle caractéristique de diffraction**

Un faisceau laser de longueur d'onde  $\lambda$  traverse une fente de largeur  $a$ .

- a** Définition du phénomène de diffraction :

Le phénomène de diffraction est l'éparpillement d'une onde lorsqu'elle traverse une fente de petite taille.

- b** Condition pour que le faisceau laser subisse une diffraction :

Le faisceau laser se diffracte si la largeur  $a$  est voisine ou inférieure à  $\lambda$ .

- c** Les impacts des valeurs de  $\lambda$  et de  $a$  sur la figure de diffraction :

- Plus la valeur de  $\lambda$  est grande plus l'angle caractéristique de diffraction  $\theta$  est grand.
- Plus la largeur  $a$  est grande plus l'angle caractéristique de diffraction  $\theta$  est petit.

- d** Calcul de la valeur de l'angle caractéristique de diffraction  $\theta$  dans le cas où  $\lambda = 633 \text{ nm}$  et  $a = 200 \mu\text{m}$ :

On sait que

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

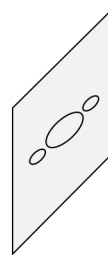
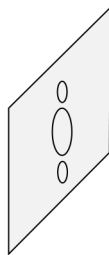
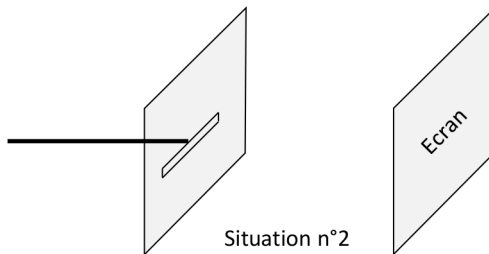
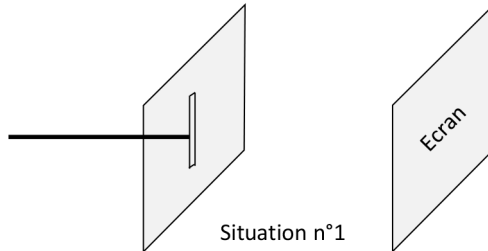
**+ Application numérique:**

$$\theta = \frac{633 \times 10^{-9}}{200 \times 10^{-6}}$$

Soit

$$\theta = 3,17 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

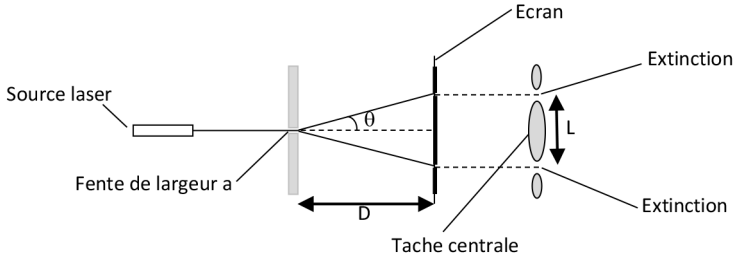
- e** Association de la figure de diffraction à chaque situation:



- Situation n° 1 → figure de diffraction n° 2 ;
- Situation n° 2 → figure de diffraction n° 1 .

**EXERCICE 3** Diffraction d'un faisceau laser

La figure ci-dessous, représente la figure de diffraction obtenue en utilisant une source laser de longueur d'onde  $\lambda$  et d'une fente de largeur  $a$ .



- a** Une propriété de la lumière du laser qui explique le phénomène de diffraction: Le phénomène de diffraction montre le caractère ondulatoire de la lumière.
- b** Que représente l'angle  $\theta$ :  
L'angle  $\theta$  représente l'angle caractéristique de la diffraction.
- c** La formule liant  $\theta$ ,  $\lambda$  et  $a$ :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

$\theta$  est exprimé en radian.

- d** La relation liant  $\theta$ ,  $\lambda$ ,  $a$ ,  $L$  et  $D$ :

$$\tan(\theta) \approx \theta = \frac{L}{2D}$$

Soit

$$\theta = \frac{L}{2D}$$

Par ailleurs,

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Il vient

$$L = \frac{2\lambda D}{a}$$

- e** Calcul de la valeur de la largeur  $L$  de la tache centrale de la figure de diffraction:

$$L = \frac{2\lambda D}{a}$$

**+ Application numérique:**

$$L = \frac{2 \times 525 \times 10^{-9} \times 2,50}{150 \times 10^{-6}}$$

Soit

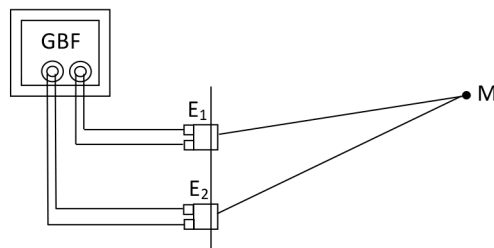
$$L = 1,75 \times 10^{-2} \text{ m}$$

- f** Deux applications du phénomène de diffraction :
- La diffraction des ondes lumineuses permet de mesurer le diamètre d'un cheveu.
  - La diffraction des rayons X permet d'obtenir des informations sur la taille des molécules.

**EXERCICE 4 Interférences de deux ondes ultrasonores**

Deux émetteurs d'ultrasons  $E_1$  et  $E_2$  sont branchés en dérivation à un générateur de basses fréquences GBF qui délivre une tension sinusoïdale de fréquence  $f = 40 \text{ kHz}$ . Les deux ondes issues des deux émetteurs se rencontrent au M tel que :

$$E_1M = 8,5 \text{ cm} \text{ et } E_2M = 10,2 \text{ cm}.$$



- a** Les deux ondes émises par les deux émetteurs :
- Ces deux émetteurs sont alimentés par la même source électrique, le GBF. Les deux ondes émises sont :
- De même fréquence ;
  - Cohérentes ou synchrones (c'est-à-dire le déphasage entre elle est constant).
- Toutes les conditions sont remplies pour que les deux ondes puissent interférer lors de leur addition au point M.
- b** Calcul de la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$  :
- Par définition, la célérité d'une onde est donnée par :

$$v = \lambda \times f$$

Ce qui donne

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

**+ Application numérique:**

$$\lambda = \frac{340}{40 \times 10^3}$$

Soit

$$\lambda = 8,5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- c** Calcul de la valeur de la différence du chemin optique  $\delta$  des deux ondes au point M:

$$\delta = E_2M - E_1M$$

**+ Application numérique:**

$$\delta = 10,2 \times 10^{-2} - 8,5 \times 10^{-2}$$

Soit

$$\delta = 1,7 \times 10^{-2} \text{ m}$$

- d** Les interférences au point M sont-elles constructives ou destructives?

Calculons le rapport  $\frac{\delta}{\lambda}$ :

**+ Application numérique:**

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{1,7 \times 10^{-2}}{8,5 \times 10^{-3}}$$

Ce qui donne

$$\frac{\delta}{\lambda} = 2$$

Donc

$$\delta = 2\lambda$$

Soit de la forme

$$\delta = k\lambda \text{ avec } k \text{ entier.}$$

Les interférences au point M sont bien constructives.

- e** L'amplitude de l'onde résultante au point M est-elle maximale ou minimale?

Les interférences au point M sont constructives. L'amplitude de l'onde résultante au point M est maximale.

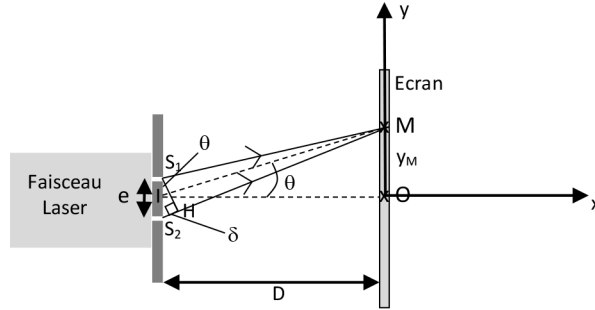
- f** Exemple d'application du phénomène d'interférences d'ondes sonores:

Le casque anti-bruit actif est un exemple d'application du phénomène d'interférences d'ondes sonores. Il comporte deux microphones, un près de chaque oreille. Chaque son capté est analysé pour mesurer sa fréquence. Il génère un son de même fréquence mais en opposition de phase de telle sorte que les deux sons interfèrent de manière destructive. Les deux sons s'annulent.

**EXERCICE 5 Interférences de deux ondes lumineuses**

Un système de deux fentes est éclairé par une source laser. Sur un écran situé à une distance  $D = 3,0$ , on observe une figure d'interférences.  $\delta$  est la différence de chemin optique au point M entre les deux ondes issues des points  $S_1$  et  $S_2$ .

$$\delta = S_2M - S_1M$$

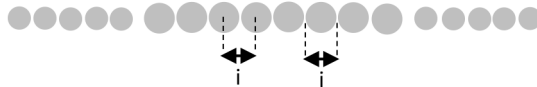


- a** Comment peut-on qualifier les deux ondes émises par les deux sources secondaires  $S_1$  et  $S_2$ ?

Les deux ondes sont:

- De même fréquence;
- Cohérentes ou synchrones (c'est-à-dire le déphasage entre elle est constant).

- b** Schéma et description de la figure d'interférences obtenue:



La figure d'interférences est composée de franges claires et sombres. La distance entre deux franges consécutives et de même nature s'appelle l'interfrange  $i$ .

- c** Expression de l'angle  $\theta$  en fonction de  $y_M$  et  $D$ :

$$\tan(\theta) \approx \theta = \frac{y_M}{D}$$

- d** Expression de l'angle  $\theta$  en fonction de  $e$  et  $\delta$ :

$$\sin(\theta) \approx \theta = \frac{\delta}{e}$$

- e** L'expression de  $\delta$  en fonction de  $e$ ,  $y_M$  et  $D$ :

On a

$$\frac{\delta}{e} = \frac{y_M}{D}$$

Soit

$$\delta = \frac{e \times y_M}{D}$$

- Ⓚ Expression de  $i$  en fonction de  $\lambda$ ,  $D$  et  $e$ :

$$\delta = \frac{e \times y_M}{D}$$

$y_M = i$  pour lorsque  $\delta = \lambda$ .

Il vient

$$\lambda = \frac{e \times i}{D}$$

Soit

$$i = \frac{\lambda \times D}{e}$$

- Ⓛ Calcul de la valeur de l'interfrange  $i$ :

$$i = \frac{\lambda \times D}{e}$$

**+ Application numérique:**

$$i = \frac{633 \times 10^{-9} \times 2,00}{420 \times 10^{-6}}$$

Ce qui donne

$$i = 3,01 \times 10^{-3} \text{ m}$$

**EXERCICE 6 Question ouverte**

Pour couper le gazon et tailler une haie, deux jardiniers utilisent simultanément une tendeuse thermique et une taille-haie électrique. Les niveaux d'intensité sonore de ces deux appareils valent respectivement  $L_1 = 92 \text{ dB}$  et  $L_2 = 89 \text{ dB}$ .

Calcul de la valeur du niveau d'intensité sonore global  $L$ :

En acoustique, les niveaux d'intensité sonore ne s'additionnent pas mais les intensités sonores peuvent s'additionner.

Calculons les intensités sonores:

$$L = 10 \times \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

$$10^{\frac{L}{10}} = \frac{I}{I_0}$$

Par conséquent

$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$

Donc

$$I_1 = I_0 \times 10^{\frac{L_1}{10}}$$

+ **Application numérique:**

$$I_1 = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{92}{10}}$$

Soit

$$I_1 = 1,6 \times 10^{-3} \text{ W.m}^{-2}$$

$$I_2 = I_0 \times 10^{\frac{L_2}{10}}$$

+ **Application numérique:**

$$I_2 = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{89}{10}}$$

Soit

$$I_2 = 7,9 \times 10^{-4} \text{ W.m}^{-2}$$

L'intensité sonore totale est donnée par:

$$I_{\text{tot}} = I_1 + I_2$$

+ **Application numérique:**

$$I_{\text{tot}} = 1,6 \times 10^{-3} + 7,9 \times 10^{-4}$$

Soit

$$I_{\text{tot}} = 2,4 \times 10^{-3} \text{ W.m}^{-2}$$

Le niveau d'intensité sonore global est donné par:

$$L = 10 \times \log \left( \frac{I_{\text{tot}}}{I_0} \right)$$

**+ Application numérique:**

$$L = 10 \times \log \left( \frac{2,4 \times 10^{-3}}{1,0 \times 10^{-12}} \right)$$

Soit

$$L = 94 \text{ dB}$$

**EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python**

Une source sonore émet un signal sonore de fréquence  $f_E = 7\,500$  Hz. La source se déplace vers le récepteur avec une vitesse  $v$  et l'onde sonore se propage à la vitesse  $c$ . Le récepteur reçoit l'onde sonore avec une fréquence  $f_R = 7\,520$  Hz.

D'après la formule de l'effet Doppler, on peut exprimer la vitesse de la source par :

$$v = \frac{c \times (f_R - f_E)}{f_E}$$

- a** C'est quoi l'effet Doppler?  
L'effet Doppler est la variation de la fréquence de l'onde perçue par un observateur, si la source est en mouvement par rapport à l'observateur.
- b** La fréquence est-elle plus aiguë ou plus grave que la fréquence émise?  
 $f_R > f_E$  la fréquence reçue est plus aiguë que la fréquence émise.
- c** Les rubriques du programme liées aux données du problème complétées :

```
# Valeur de la vitesse de l'onde
```

```
c = 340
```

```
# Fréquence de la source
```

```
fE = 7500
```

```
# Fréquence du récepteur
```

```
fR = 7580
```

- d** La rubrique du programme liée au calcul de la vitesse  $v$  de l'émetteur complétée :

```
# Calcul de la vitesse de la source
```

```
v = (fR-fE)*c/fE
```

- e** Résultat affiché :

```
La vitesse de l'émetteur est : 3.6 m/s
```

Voici le scripte du programme Python complété :

```
# Scripte pour calculer la vitesse d'un objet à l'aide de l'effet Doppler
```

```
# Valeur de la vitesse de l'onde
```

```
c = 340
```

```
# Fréquence de la source
fE = 7500
# Fréquence du récepteur
fR = 7580
# Calcul de la vitesse de la source
v = (fR-fE)*c/fE
# Affichage des résultats des calculs
print("La vitesse de l'émetteur est : "+ str(round(v,1)) + "m/s")
```

### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Protocole expérimental permettant de déterminer le diamètre d'un cheveu :

#### + Matériels:

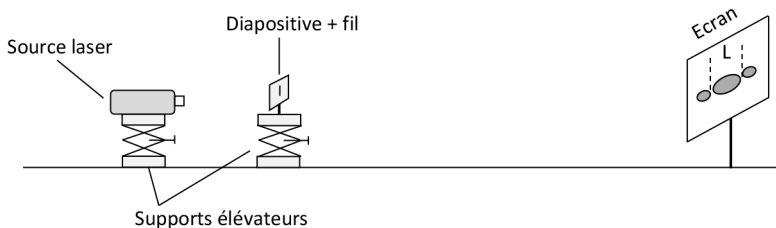
- Source laser;
- Diapositive;
- Deux supports élévateurs;
- Écran;
- Mettre flexible;
- Ordinateur ou smartphone + tableur-grapheur.

#### + Produits:

- Cinq fils de pêche de diamètres connus;
- Un cheveu.

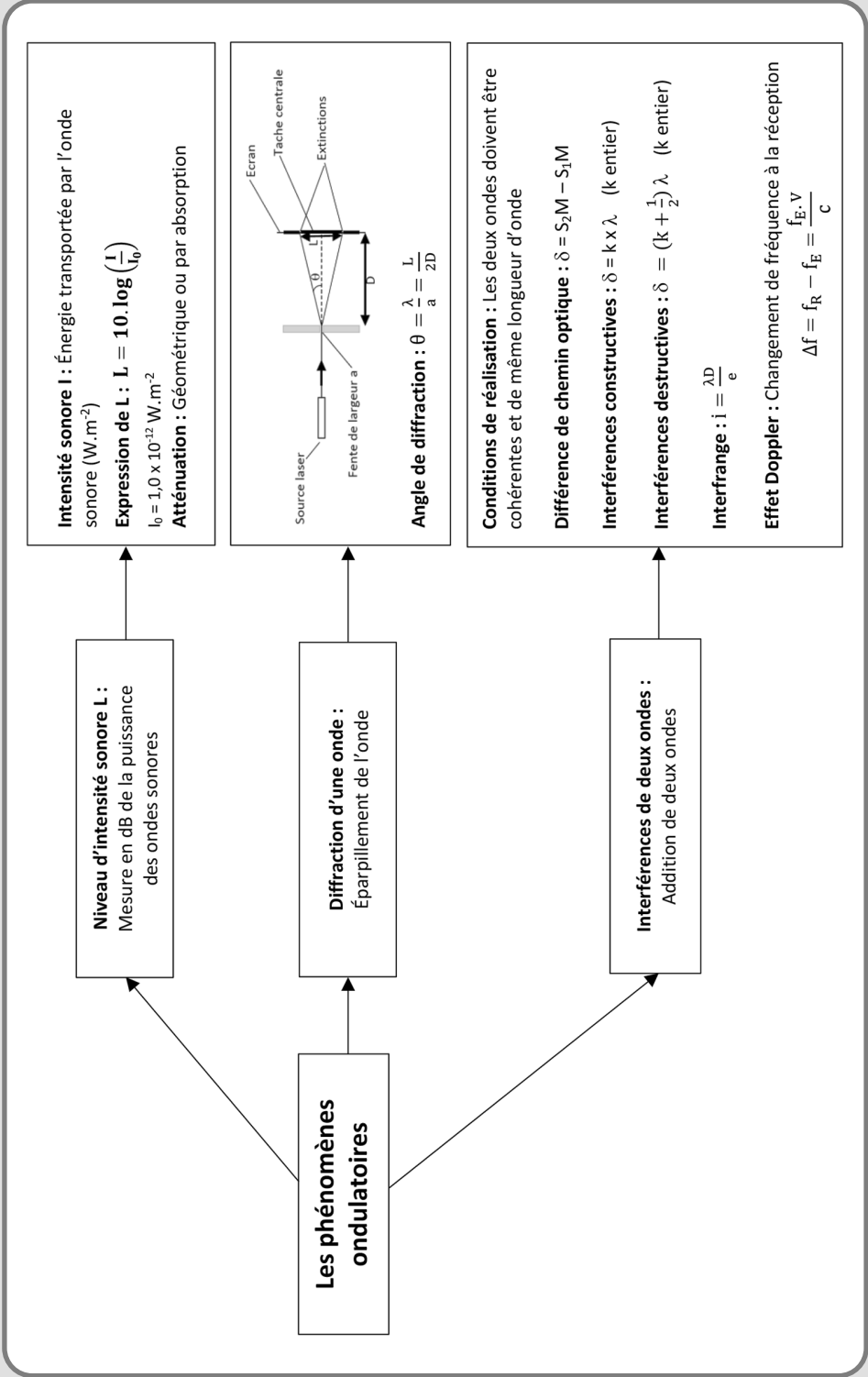
#### + Protocole:

- Tendre verticalement un fil de pêche sur la diapositive;
- Réaliser le montage ci-dessous :



- Mesurer pour chaque fil de diamètre  $d$ , la largeur  $L$  de la tache centrale de diffraction entre les deux minimums lumineux.
- À l'aide du tableur grapheur, tracer la courbe d'étalonnage  $L = f\left(\frac{1}{d}\right)$ .
- Modéliser la courbe obtenue avec une droite linéaire.


- Mesurer la largeur  $L_C$  de la tache centrale de la figure de diffraction obtenue avec le cheveu;
- À l'aide de la droite d'étalonnage, déterminer par lecture graphique la valeur  $\frac{1}{d_C}$  qui correspond à la largeur  $L_C$ .
- L'inverse de la valeur lue sur la courbe d'étalonnage donne accès à la valeur du diamètre du cheveu  $d_C$ .






# LUNETTE ASTRONOMIQUE


## LES 10 QUESTIONS

- 1  C'est quoi une lunette astronomique?


↳ .....

.....
- 2  Dans quel cas une lunette astronomique est dite afocale?


↳ .....

.....
- 3  Comment peut-on modéliser une lunette astronomique?


↳ .....

.....
- 4  Comment construit-on l'image  $A_1B_1$  donné par l'objectif d'un objet  $AB$  situé à l'infini?

↳ .....


.....
- 5  Où se forme l'image finale  $A'B'$  dans le cas d'une lunette afocale?

↳ .....

.....
- 6  Comment construit-on l'image finale  $A'B'$  donné par l'oculaire lorsque la lunette est afocale?

↳ .....

.....

7  Comment construit-on l'image finale A'B' donné par l'oculaire lorsque la lunette est non afocale?

↳ .....

.....

8  C'est quoi le diamètre apparent d'un objet?


↳ .....

.....

9  C'est quoi le grossissement G d'une lunette?

↳ .....

.....

10  C'est quoi le cercle oculaire d'une lunette astronomique?

↳ .....

.....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Diamètre apparent

Installés sur un banc du jardin de Luxembourg de Paris, Florence et Hassan voient à gauche la Tour Montparnasse et à droite la Tour Eiffel. Florence s'exclama, « C'est curieux, la Tour Montparnasse semble plus haute que la Tour Eiffel! Pourtant en réalité c'est l'inverse ».

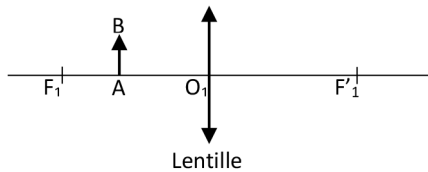
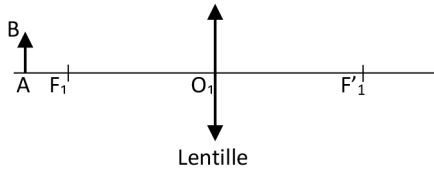
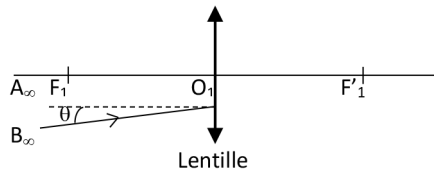
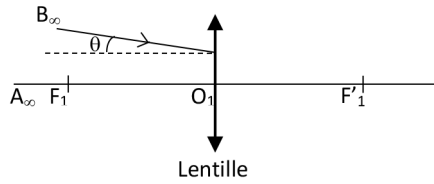
- Quelle est la définition du diamètre apparent d'un objet?
- Calculer la valeur du diamètre apparent de la Tour Montparnasse.
- Calculer la valeur du diamètre apparent de la Tour Eiffel.
- Conclure en donnant une explication à la constatation de Florence.

Données:

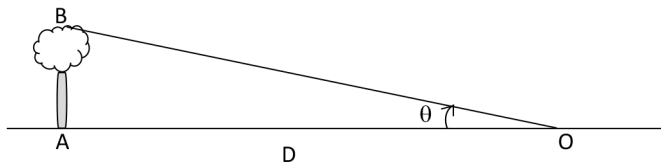
- Hauteur de la tour Montparnasse:  $H_M = 210$  m.
- Hauteur de la tour Eiffel:  $H_E = 324$  m.
- Distance Banc-Tour Montparnasse:  $d_M = 1600$  m.
- Distance Banc-Tour Eiffel:  $d_E = 4000$  m.


**EXERCICE 2 Constructions d'images**

Construire l'image  $A_1B_1$  de l'objet  $AB$  dans les situations suivantes :


**EXERCICE 3 Grossissement d'une lunette**

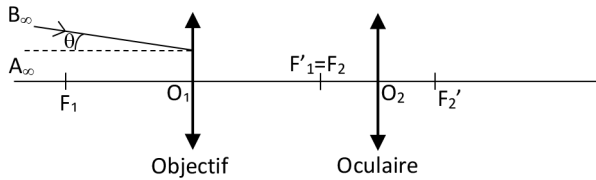
Un arbre de hauteur  $AB = 2,0$  m est vu d'un point  $O$  situé à une distance  $D = 500$  m.



- Calculer la valeur de l'angle  $\theta$  sous lequel est vu l'arbre depuis le point  $O$ .
- Calculer la valeur de l'angle  $\theta'$  sous lequel est vu l'arbre à travers une lunette astronomique afocale de grossissement  $G = -10$ .
- L'image de l'arbre vue à travers l'instrument est-elle droite ou renversée? Qu'est ce qui a changé avec la lunette?


**EXERCICE 4 Lunette afocale**

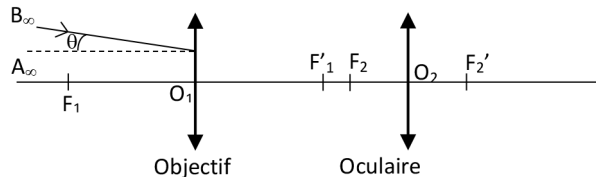
La figure ci-dessous montre une modélisation sur un banc d'optique d'une lunette astronomique à l'aide de deux lentilles convergentes de distances focales  $f'_1 = 20,0 \text{ cm}$  et  $f'_2 = 5,0 \text{ cm}$ .



- Déterminer la valeur de la longueur  $O_1 O_2$ .
- Cette lunette est-elle afocale? Justifier.
- La valeur du diamètre apparent de l'objet  $AB$  est  $\theta = 2,0 \times 10^{-3} \text{ rad}$ . Construire l'image intermédiaire  $A_1 B_1$  de l'objet  $AB$  et préciser sa position  $O_1 A_1$  et sa taille  $A_1 B_1$ .
- Où se trouve l'image finale  $A'B'$ ? Faire sa construction.
- Déterminer la valeur du diamètre apparent  $\theta'$  de l'objet  $AB$  vu à travers la lunette astronomique.
- En déduire la valeur du grossissement  $G$  de l'image finale.
- Rappeler l'expression du grossissement  $G$  d'une lunette astronomique afocale. Calculer sa valeur et la comparer à la valeur trouvée à la question f.


**EXERCICE 5 Cas où  $O_1 O_2 > f'_1 + f'_2$** 

Dans la lunette de l'exercice précédent, on décale vers la droite l'oculaire de telle sorte que  $O_1 O_2 = 28 \text{ cm}$ .



- Comment qualifie-t-on cette lunette dans sa nouvelle disposition?
- Où se trouve l'image intermédiaire  $A_1 B_1$  de l'objet  $AB$  et préciser sa position  $O_2 A_1$  et sa taille  $A_1 B_1$ .
- Trouver par calcul la position de  $O_2 A'$  de l'image finale  $A'B'$ ? Faire sa construction.
- Quelle est la nature de l'image finale  $A'B'$ ?



### EXERCICE 6 Question ouverte

La distance angulaire  $\theta$  entre les deux étoiles qui forme une étoile double est  $\theta = 5$  secondes d'arc.

Le pouvoir séparateur de l'œil c'est-à-dire la plus petite distance angulaire entre 2 points pour que ces derniers soient vus séparés est estimé à une minute d'arc.

Quel doit être le grossissement minimal d'une lunette astronomique pour voir ces deux étoiles séparées?

Données:

$$\bullet 1 \text{ minute d'arc} = \frac{1}{60}^{\circ}$$

$$\bullet 1 \text{ seconde d'arc} = \frac{1}{3600}^{\circ}$$



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Le script du programme Python ci-dessous, permet de déterminer la position de l'image finale donnée par une lunette astronomique d'un objet situé à l'infini.

```
# Scripte pour déterminer la position finale et le grossissement de
# l'image
# obtenue par une lunette astronomique d'un objet situé à l'infini
# Valeur de f'1 en cm
f1 = ...
# Valeur de f'2 en cm
f2 = .....
# Distance O1O2 en cm
O1O2 = .....
# Calcul du grossissement Ga dans le cas d'une lunette afocale
Ga =.....
# Calcul de la position de l'image finale dans le cas d'une lunette
# focale
if O1O2 != f1 + f2:
O2A2 = .....
# Affichage des résultats
if O1O2 == f1 + f2:
print("L'image finale A2B2 est située à l'infini et G = ",Ga)
elif O1O2 > f1 + f2:
print("L'image est réelle et droite : O2A2 = "+ str(O2A2) + "cm")
else:
print("L'image est virtuelle et renversée : O2A2 = "+ str(O2A2) + "cm")
```

Soit un objet AB situé à l'infini et vu à l'œil sous l'angle  $\theta$ . Une lunette astronomique donne de l'objet AB une image intermédiaire  $A_1B_1$  et une image finale  $A_2B_2$ . Pour un objet AB situé à l'infini et vu à l'œil nu sous l'angle  $\theta$ , on a :

$$\theta = \frac{AB_1}{f'_1}$$

À travers la lunette astronomique afocale, il est vu sous l'angle  $\theta'$  tel que :

$$\theta' = -\frac{A_1B_1}{f'_2}$$

Et le grossissement est donnée par :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{f'_1}{f'_2}$$

À travers la lunette astronomique non afocale (avec  $O_1O_2 > f'_1 + f'_2$ ),

$$O_2A_2 = \frac{1}{\frac{1}{f'_2} + \frac{1}{f'_1 - O_1O_2}}$$

À travers la lunette astronomique non afocale (avec  $O_1O_2 < f'_1 + f'_2$ ), tel que :

$$O_2A_2 = \frac{1}{\frac{1}{f'_2} + \frac{1}{f'_1 - O_1O_2}}$$

- Compléter les rubriques du programme liées aux données suivantes :  
 $f'_1 = 20 \text{ cm}$ ;  $f'_2 = 5 \text{ cm}$  et  $O_1O_2 = 26 \text{ cm}$
- Compléter la rubrique du programme liée au calcul du grossissement d'une lunette astronomique afocale.
- Compléter la rubrique du programme liée au calcul de la position de l'image finale.
- Exécuter le programme et donner les résultats affichés.
- Quelle est la nature de l'image finale  $A_2B_2$ .


**EXERCICE 8** Protocole TP ECE

Proposer un protocole expérimental permettant de simuler une lunette astronomique et de mesurer son grossissement.

**+ Matériels:**

- Un banc d'optique;
- 4 lentilles convergentes de distances focales 10 cm, 10 cm, 20 cm et 5 cm;
- Supports pour lentilles;
- Source lumineuse + Objet;
- Écran.

## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  C'est quoi une lunette astronomique?

- + C'est un instrument d'optique composé de l'objectif orienté vers l'objet à observer et de l'oculaire devant lequel on place l'œil.

2  Dans quel cas une lunette astronomique est dite afocale?

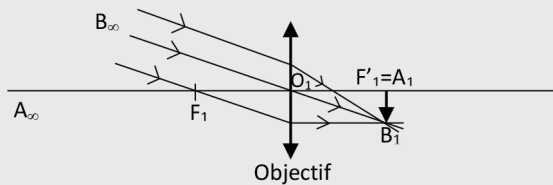
- + Lorsqu'elle donne d'un objet à l'infini une image à l'infini c'est-à-dire observable sans accommodation par un œil normal.


3  Comment peut-on modéliser une lunette astronomique?

- + À l'aide de deux lentilles convergentes alignées le long d'un même axe optique.


4  Comment construit-on l'image  $A_1B_1$  donné par l'objectif d'un objet AB situé à l'infini?

- + Le rayon lumineux passant par l'origine  $O_1$  de l'objectif n'est pas dévié.
- + Le rayon lumineux passant par le foyer objet  $F_1$  de l'objectif sort parallèle à l'axe optique.
- + Le point d'intersection de ces deux rayons est le point  $B_1$ .
- + Le point  $A_1$  est la projection verticale de  $B_1$  sur l'axe optique.

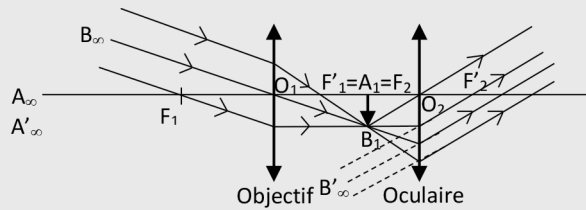



5  Où se forme l'image finale  $A'B'$  dans le cas d'une lunette afocale?

- + À l'infini.

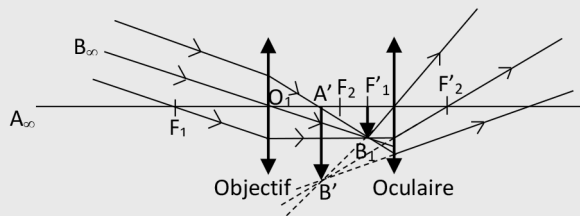
6  Comment construit-on l'image finale A'B' donné par l'oculaire lorsque la lunette est afocale?

- + Le rayon lumineux issu de B<sub>1</sub> passant par l'origine O<sub>2</sub> de l'oculaire n'est pas dévié.
- + Le rayon lumineux issu de B<sub>1</sub> et parallèle à l'axe optique sort en passant par le foyer image F'<sub>2</sub> de l'oculaire.
- + Les deux rayons précédents sont parallèles et l'image finale A'B' est à l'infini.



7  Comment construit-on l'image finale A'B' donné par l'oculaire lorsque la lunette est non afocale?

- + Le rayon lumineux issu de B<sub>1</sub> passant par l'origine O<sub>2</sub> de l'oculaire n'est pas dévié.
- + Le rayon lumineux issu de B<sub>1</sub> et parallèle à l'axe optique sort en passant par le foyer image F'<sub>2</sub> de l'oculaire.
- + Les deux rayons précédents se coupent au point B'.
- + Le point A' est la projection verticale de B' sur l'axe optique.



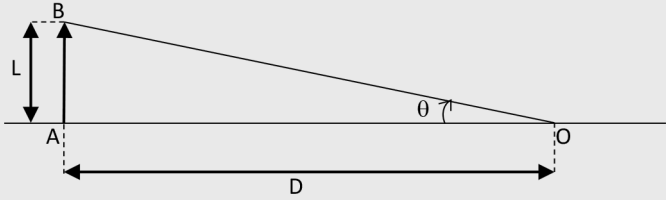
8  C'est quoi le diamètre apparent  $\theta$  d'un objet?

- + C'est la taille angulaire  $\theta$  exprimée en radian de l'objet définie comme le rapport de la taille linéaire L de l'objet sur la distance D qui le sépare de l'œil qui observe cet objet.

$$\theta(\text{en radian}) = \frac{L(\text{en m})}{D(\text{en m})}$$

**Démonstration:**

$$\tan(\theta) \approx \theta = \frac{L}{D}$$

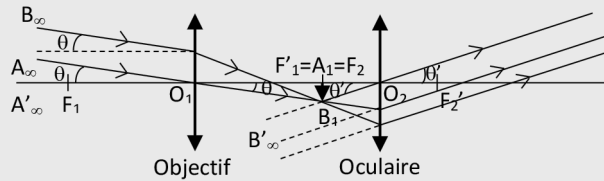


9  C'est quoi le grossissement  $G$  d'une lunette?

+

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

- $\theta$ : Diamètre apparent de l'objet vu à l'œil nu;
- $\theta'$ : Diamètre apparent de l'image finale vue à travers la lunette.

**Démonstration:**

Dans le triangle  $O_1A_1B_1$ , on écrit:

$$\tan(\theta) \approx \theta = \frac{A_1B_1}{f_1'}$$

Dans le triangle  $O_2A_1B_1$ , on écrit:

$$\tan(\theta') \approx \theta' = \frac{A_1B_1}{-f_2'}$$

Il vient:

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{A_1B_1}{-f_2'}}{\frac{A_1B_1}{f_1'}} = \frac{-f_1'}{f_2'}$$

Soit

$$G = -\frac{f'_1}{f'_2}$$



10 C'est quoi le cercle oculaire d'une lunette astronomique?

+ C'est l'image donnée par l'oculaire de la monture de l'objectif.

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Diamètre apparent

a Définition du diamètre apparent  $\theta$  d'un objet:

$$\theta(\text{en rad}) = \frac{\text{Taille de l'objet}}{\text{Distance objet-observateur}}$$

b Calcul de la valeur du diamètre apparent de la Tour Montparnasse:

$$\theta_M = \frac{H_M}{d_M}$$

+ Application numérique:

$$\theta_M = \frac{210}{1600}$$

Soit

$$\theta_M = 0,13 \text{ rad}$$

c Calcul de la valeur du diamètre apparent de la Tour Eiffel:

$$\theta_E = \frac{H_E}{d_E}$$

+ Application numérique:

$$\theta_E = \frac{324}{4000}$$

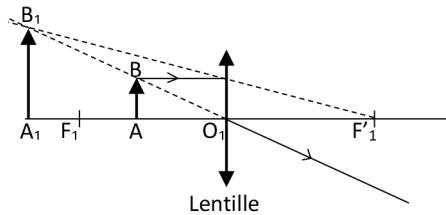
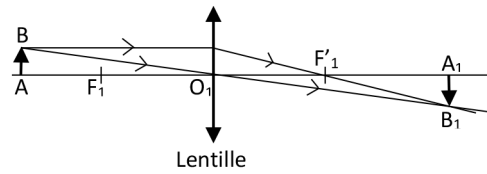
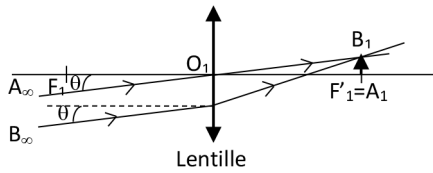
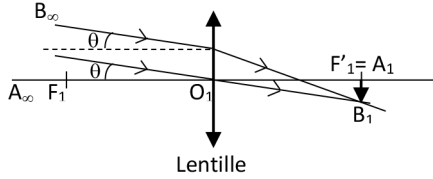
Soit

$$\theta_E = 0,081 \text{ rad}$$

- d. Conclusion et une explication de la constatation de Florence:  
 $\theta_M > \theta_E$ , la Tour Montparnasse doit paraître plus haute que la Tour Eiffel.

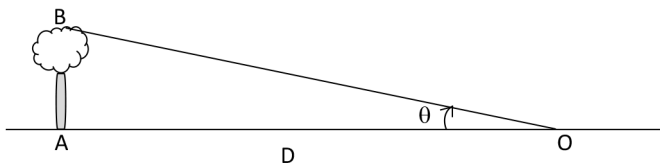
### EXERCICE 2 Constructions d'images

Construction de l'image  $A_1B_1$  de l'objet  $AB$  dans les situations suivantes:



### EXERCICE 3 Grossissement d'une lunette

Un arbre de hauteur  $AB = 2,0 \text{ m}$  est vu d'un  $O$  situé à une distance  $D = 500 \text{ m}$ .



- a) Calcul de la valeur de l'angle  $\theta$  sous lequel est vu l'arbre depuis le point O :

$$\theta(\text{en rad}) = \frac{AB}{D}$$

+ Application numérique:

$$\theta = \frac{2,0}{500}$$

Soit

$$\theta = 4,0 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

- b) Calcul de la valeur de l'angle  $\theta'$  sous lequel est vu l'arbre à travers une lunette astronomique afocale de grossissement  $G = -10$  :

On sait que

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

Ce qui donne

$$\theta' = G \times \theta$$

+ Application numérique:

$$\theta' = -10 \times 4,0 \times 10^{-3}$$

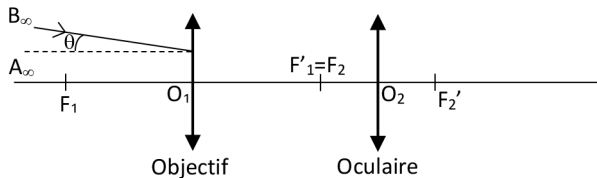
Soit

$$\theta' = -4,0 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

- c) L'image de l'arbre vue à travers l'instrument est-elle droite ou renversée?  
L'image à travers la lunette astronomique afocale est renversée. La lunette a permis de diviser par 10 la distance entre l'observateur et l'arbre.

#### EXERCICE 4 Lunette afocale

La figure ci-dessous montre une modélisation sur un banc d'optique d'une lunette astronomique à l'aide de deux lentilles convergentes de distances focales  $f'_1 = 20 \text{ cm}$  et  $f'_2 = 5 \text{ cm}$ .



- a La valeur de la longueur  $O_1O_2$ :

D'après la figure, le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire.

D'où

$$O_1O_2 = f'_1 + f'_2$$

+ **Application numérique:**

$$O_1O_2 = 20 + 5$$

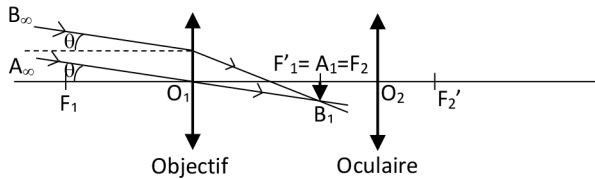
Soit

$$O_1O_2 = 25 \text{ cm.}$$

- b Cette lunette est-elle afocale?

Cette lunette est afocale puisque le foyer image  $F'_1$  de l'objectif est confondu avec le foyer objet  $F_2$  de l'oculaire.

- c • Construction de l'image intermédiaire  $A_1B_1$  de l'objet AB:



- Calcul de la position de l'image  $A_1B_1$ :

L'image  $A_1B_1$  est située au plan focal image de l'objectif. Sa position est telle que:

$$O_1A_1 = O_1F'_1$$

Soit

$$O_1A_1 = 20 \text{ cm.}$$

- Calcul de la taille de l'image  $A_1B_1$ :

On a

$$\theta = \frac{A_1B_1}{f'_1}$$

Soit

$$A_1B_1 = \theta \times f'_1$$

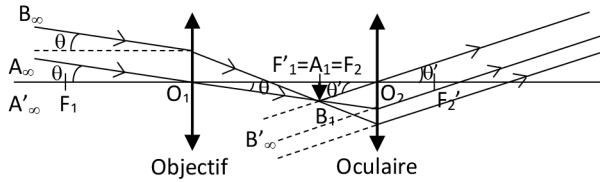
+ **Application numérique:**

$$A_1B_1 = 2,0 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^{-2}$$

Soit

$$A_1B_1 = 4,0 \times 10^{-4} \text{ m}$$

- d) Construction de l'image finale A'B' :



L'image finale A'B' se trouve à l'infini.

- e) Calcul de la valeur du diamètre apparent  $\theta'$  de l'objet AB vu à travers la lunette astronomique :

Dans le triangle  $O_2F_2B_1$ , on peut écrire :

$$\tan(\theta') \approx \theta' = \frac{A_1B_1}{-f'_2}$$

+ Application numérique :

$$\theta' = \frac{4,0 \times 10^{-4}}{-5 \times 10^{-2}}$$

Soit

$$\theta' = -8,0 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

- f) La valeur du grossissement G de l'image finale :

Par définition, le grossissement est donné par :

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

+ Application numérique :

$$G = \frac{-8,0 \times 10^{-3}}{2,0 \times 10^{-3}}$$

Soit

$$G = -4$$

- g) L'expression du grossissement G d'une lunette astronomique afocale :

$$G = -\frac{f'_1}{f'_2}$$

+ **Application numérique:**

$$G = -\frac{20 \times 10^{-2}}{5 \times 10^{-2}}$$

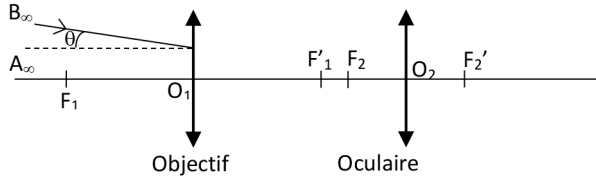
Soit

$$G = -4.$$

Cette valeur est égale à la valeur trouvée à la question f.

**EXERCICE 5** Cas où  $O_1O_2 > f'_1 + f'_2$

Dans la lunette de l'exercice précédent, on décale vers la droite l'oculaire de telle sorte que  $O_1O_2 = 28$  cm.



**a** Comment qualifie-t-on cette lunette dans sa nouvelle disposition?

Cette lunette n'est pas afocale puisque le foyer image  $F'_1$  de l'objectif n'est pas confondu avec le foyer objet  $F_2$  de l'oculaire.

**b** • Calcul de la position de l'image  $A_1B_1$  :

L'image  $A_1B_1$  est située au plan focal image de l'objectif. Sa position est telle que :

$$O_1A_1 = O_1F'_1$$

Soit

$$O_1A_1 = 20 \text{ cm.}$$

$$O_1A_1 = O_1O_2 + O_2A_1$$

$$O_2A_1 = O_1A_1 - O_1O_2$$

+ **Application numérique:**

$$O_2A_1 = 20 - 28 = -8 \text{ cm}$$

• Calcul de la taille de l'image  $A_1B_1$  :

On a

$$\theta = \frac{A_1B_1}{f'_1}$$

Soit

$$A_1B_1 = \theta \times f'_1$$

**+ Application numérique:**

$$A_1B_1 = 2,0 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^{-2}$$

Soit

$$A_1B_1 = 4,0 \times 10^{-4} \text{ m}$$

- c Calcul de la position de  $O_2A'$  de l'image finale  $A'B'$ :

On utilise la relation de conjugaison de Descartes:

$$\frac{1}{O_2A'} - \frac{1}{O_2A_1} = \frac{1}{f'_2}$$

Soit

$$\frac{1}{O_2A'} = \frac{1}{f'_2} + \frac{1}{O_2A_1}$$

Par la suite, on a

$$O_2A' = \frac{1}{\frac{1}{f'_2} + \frac{1}{O_2A_1}}$$

Par ailleurs, on a

$$O_1O_2 = O_1A_1 + A_1O_2$$

Ce qui donne

$$A_1O_2 = O_1O_2 - O_1A_1$$

Puis

$$O_2A_1 = O_1A_1 - O_1O_2$$

Il en découle

$$O_2A' = \frac{1}{\frac{1}{f'_2} + \frac{1}{O_1A_1 - O_1O_2}}$$

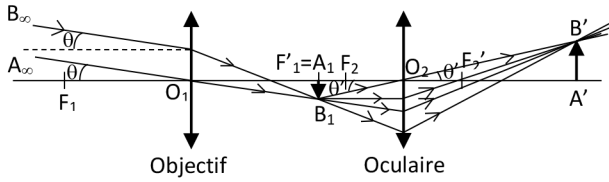
**+ Application numérique:**

$$O_2A' = \frac{1}{\frac{1}{5 \times 10^{-2}} + \frac{1}{20 \times 10^{-2} - 28 \times 10^{-2}}}$$

Soit

$$O_2A' = 13,3 \text{ cm}$$

Construction de l'image:



- d** La nature de l'image finale  $A'B'$ :  
L'image finale  $A'B'$  est réelle et droite.

### EXERCICE 6 Question ouverte

Exprimons la distance angulaire en  $^\circ$ :

$$\theta = 5 \times \frac{1}{3600} ^\circ$$

Soit

$$\theta = 1,4 \times 10^{-3} ^\circ$$

Exprimons le pouvoir séparateur de l'œil en  $^\circ$ :

$$\varepsilon = 1 \times \frac{1}{60} ^\circ$$

Soit

$$\varepsilon = 1,7 \times 10^{-2} ^\circ$$

$\theta < \varepsilon$ , à l'œil nu, l'observateur ne peut voir les deux étoiles séparées. Il faut utiliser une lunette avec un grossissement  $G$  tel que:

$$\theta' = G \times \theta > \varepsilon$$

Soit

$$G > \frac{\varepsilon}{\theta}$$

### + Application numérique:

$$G > \frac{1,7 \times 10^{-2}}{1,4 \times 10^{-3}}$$

Soit

$$G > 12,1$$

**EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python**

- a** Les rubriques du programme liées aux données complétées:

```
# Valeur de f'1 en cm
f1 = 20
# Valeur de f'2 en cm
f2 = 5
# Distance O1O2 en cm
O1O2 = 26
```

- b** La rubrique du programme liée au calcul du grossissement d'une lunette astronomique afocale complétée:

```
# Calcul du grossissement Ga dans le cas d'une lunette afocale
Ga = -f1/f2
```

- c** La rubrique du programme liée au calcul de la position de l'image finale:

```
# Calcul de la position de l'image finale dans le cas d'une
lunette focale
if O1O2 != f1 + f2:
O2A2 = 1/((1/f2)+(1/(f1-O1O2)))
```

- d** Exécution du programme et les résultats affichés:

L'image est réelle et droite : O2A2 = 30.0 cm

- e** La nature de l'image finale  $A_2B_2$ :

L'image est réelle et droite.

Voici le script du programme Python complété:

```
# Scripte pour déterminer la position finale et le grossisse-
ment de l'image
# obtenue par une lunette astronomique d'un objet situé à l'infini
# Valeur de f'1 en cm
f1 = 20
# Valeur de f'2 en cm
f2 = 5
# Distance O1O2 en cm
O1O2 = 26
# Calcul du grossissement Ga dans le cas d'une lunette afocale
Ga = -f1/f2
# Calcul de la position de l'image finale dans le cas d'une
lunette focale
if O1O2 != f1 + f2:
O2A2 = 1/((1/f2)+(1/(f1-O1O2)))
```

```
# Affichage des résultats
if O1O2 == f1 + f2:
print("L'image finale A2B2 est située à l'infini et G = ",Ga)
elif O1O2 > f1 + f2:
print("L'image est réelle et droite : O2A2 = "+ str(round(O2A2,1))
+ "cm")
else:
print("L'image est virtuelle et renversée : O2A2 = "+ str(O2A2)
+ "cm")
```

### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Protocole expérimental permettant de simuler une lunette astronomique et de mesurer son grossissement:

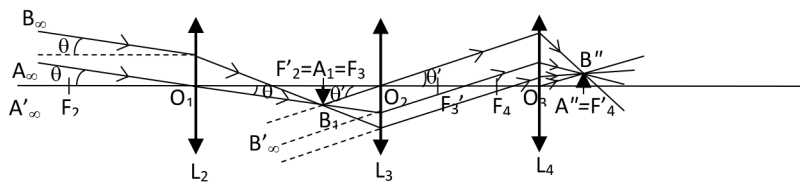
#### + Matériels:

- Un banc d'optique;
- 4 lentilles convergentes de distances focales 10 cm, 10 cm, 20 cm et 5 cm;
- Supports pour lentilles;
- Source lumineuse + Objet;
- Écran.

#### + Protocole:

- Placer l'objet éclairé par la source lumineuse dans le plan focal de la 1<sup>re</sup> lentille  $L_1$  convergente de distance focale 10 cm pour que l'ensemble constitue un objet situé à l'infini;
- Placer devant la 1<sup>re</sup> lentille l'ensemble des deux lentilles  $L_2$  et  $L_3$  de distances focales 20 cm et 5 cm qui jouent le rôle de la lunette astronomique;
- Pour que cette lunette soit afocale, il faut que le foyer image  $F'_2$  de  $L_2$  soit confondue avec le foyer objet  $F_3$  de  $L_3$ ;
- On peut visualiser l'image intermédiaire  $A_1B_1$  qui est située sur le plan focal image de  $L_2$  sur une feuille de papier et vérifier qu'elle est renversée;
- L'image  $A'B'$  donnée par la lunette est située à l'infini. Elle peut être visualisée sur un écran situé au plan focal image de la 4<sup>e</sup> lentille  $L_4$  de distance focale 10 cm. L'ensemble  $L_4$  + écran joue le rôle d'un œil réduit;

- Le grossissement de cette lunette est donné par le rapport  $-\frac{f'_2}{f'_3}$  ;
- L'image définitive  $A''B''$  sur l'écran est une image réelle droite.



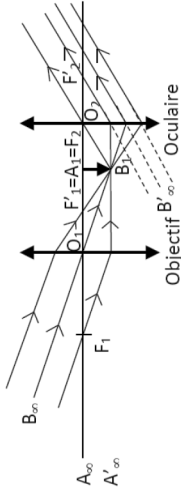
LUNETTE ASTRONOMIQUE

**Diamètre apparent :**  $\theta = \frac{L}{D}$

**Objectif :** Lentille convergente de distance focale  $f'_1$

**Oculaire :** Lentille convergente de distance focale  $f'_2$

**Lunette afocale :** Le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire :  $F'_1 \equiv F_2$ .  
L'image finale est située à l'infini



- L'image intermédiaire  $A_1B_1$  est située dans le plan focal image de l'objectif
- L'image finale  $A'B'$  est envoyée dans l'infini

**Grossissement :**  $G = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{f'_1}{f'_2}$  avec  $f'_1 > f'_2$

**Diamètre de l'objectif :** Contrôle la quantité de lumière collectée

**Cercle oculaire :** Monture de l'objectif → cercle oculaire  
Oculaire

**Constitution :**  
Objectif + Oculaire

**Formation d'images :**  
Image finale à l'infini

**Caractéristiques :**  
Performances de la lunette

**Lunette astronomique**


# INTERACTIONS PHOTONS-MATIÈRE

## LES 10 QUESTIONS

1  Quels sont les deux modèles qui décrivent la lumière?

↳ .....

.....

2  C'est quoi un photon?

↳ .....

.....

3  C'est quoi l'effet photoélectrique?

↳ .....

.....

4  Quel est le modèle de la lumière qui permet d'interpréter l'effet photoélectrique?

↳ .....

.....

5  L'effet photoélectrique se produit à partir d'un nombre de photons seuil ou à partir d'une fréquence seuil des photons?


↳ .....

.....

6  C'est quoi le travail d'extraction?


↳ .....

.....

- 7  Donner l'expression de l'énergie cinétique de l'électron libéré par effet photoélectrique.


↳ .....

.....

- 8  C'est quoi une cellule photoélectrique?

↳ .....

.....

- 9  C'est quoi une cellule photovoltaïque?

↳ .....

.....

- 10  C'est quoi le rendement d'une cellule photovoltaïque?

↳ .....

.....

## ÉNONCÉS DES EXERCICES



### EXERCICE 1 Au sujet d'un photon

La longueur d'onde d'un photon est  $\lambda = 450 \text{ nm}$ .

- a** Calculer la fréquence du photon.
- b** Calculer l'énergie du photon en Joule et en eV.

Données:

- Constante de Planck:  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ .
- Charge élémentaire:  $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$ .
- Vitesse de la lumière dans le vide:  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .


**EXERCICE 2 Extraction d'électron**

L'équation de modélisation de la courbe donnant la variation de l'énergie cinétique de l'électron émis par effet photoélectrique en fonction de la fréquence de rayonnement donne l'équation suivante:

$$E_c = 6,63 \times 10^{-34} \times \nu + 3,12 \times 10^{-19}$$

- Calculer la valeur de la fréquence seuil  $\nu_s$ .
- Calculer la valeur de l'énergie cinétique de l'électron lorsque la fréquence vaut  $6,0 \times 10^{14}$  Hz.
- En déduire la valeur de la vitesse de l'électron.

Données:

- Constante de Planck:  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s.
- Vitesse de la lumière dans le vide:  $c = 3,00 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>.
- Masse de l'électron:  $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$  kg.


**EXERCICE 3 Longueur d'onde seuil  $\lambda_s$** 

Une électrode d'argent de longueur d'onde seuil  $\lambda_s = 0,27 \mu\text{m}$  est éclairée à l'aide d'un rayonnement de fréquence  $\nu = 1,8 \times 10^{15}$  Hz.

- Calculer la valeur de la fréquence seuil  $\nu_s$ .
- Calculer la valeur de l'énergie cinétique de l'électron extrait.
- Calculer la valeur de la vitesse de l'électron extrait.

Données:

- Constante de Planck:  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s.
- Vitesse de la lumière dans le vide:  $c = 3,00 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>.
- Masse de l'électron:  $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$  kg.


**EXERCICE 4 Rendement d'un panneau photovoltaïque**

Un panneau photovoltaïque reçoit un rayonnement de puissance 800 W. La puissance électrique produite est de 96 W.

- Calculer le rendement du panneau.
- Représenter par un schéma le bilan de puissance du panneau.



### EXERCICE 5 Au sujet d'une cellule photovoltaïque

Une lampe de bureau éclaire une cellule photovoltaïque de longueur  $L = 6,0$  cm et de largeur  $l = 5,0$  cm.

La cellule reçoit une puissance par unité de surface  $E = 60 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . À l'aide de deux multimètres, on mesure un courant d'intensité  $I = 0,16$  A et une tension électrique  $U = 0,42$  V pour la puissance électrique maximale.

- Calculer la valeur de l'aire  $S$  de la cellule.
- Calculer la valeur de la puissance lumineuse  $P_l$  reçue par la cellule.
- Calculer la valeur de la puissance électrique maximale  $P_{\text{max}}$  produite par la cellule.
- En déduire la valeur du rendement  $\eta$  de la cellule.



### EXERCICE 6 Question ouverte

Une électrode métallique est éclairée par un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde  $\lambda = 500$  nm. Le travail d'extraction est  $W = 2,20$  eV.

Déterminer la vitesse  $v_e$  d'extraction de l'électron.

Données:

- Constante de Planck:  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s.
- Vitesse de la lumière dans le vide:  $c = 3,00 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>.
- Charge élémentaire:  $e = 1,60 \times 10^{-19}$  C.
- Masse de l'électron:  $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$  kg.



### EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

Le script du programme Python ci-dessous, permet de déterminer le travail d'extraction d'un métal à partir du tracé de la courbe  $E_c = f(v)$ .

```
# Scripte pour déterminer le travail d'extraction d'un métal à partir
# du tracé de # la courbe  $E_c = f(\nu)$ 
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats as stat
# Initialisation des listes
# Liste des valeurs de la fréquence en Hz
Nu = [.....]
# Liste des valeurs de l'énergie cinétique en J
Ec = [.....]
# Liste des valeurs de l'énergie cinétique modélisées
Ec_modele = []
```

```

# Régression linéaire
regression = stat.linregress(Nu,Ec)
pente =regression[0]
ordonnee_origine = regression[1]
coeffcorel = regression[2]
# Remplissage de la liste Ec_modele calculée par le modèle
for i in range(0,len(Nu)):
    Ec_modele.append(.....)
# Affichage des coefficients du modèle
print("Le coefficient de corrélation est R = ", round(coeffcorel,4))
print("Le coefficient directeur a = ", pente)
print("l'ordonnée à l'origine b = ", ordonnee_origine)
# Affichage des courbes
plt.grid(True)
plt.xlabel("Fréquence(Hz)")
plt.ylabel("Ec(J)")
plt.title("coeff corr = "+ str(round(coeffcorel,5)))
plt.plot(Nu,Ec,"bo","red")
plt.plot(Nu,Ec_modele)
plt.show()

```

Au cours d'une séance de travaux pratiques, On a mesuré l'énergie cinétique de l'électron extrait par effet photoélectrique en fonction de la fréquence de rayonnement. Les résultats des mesures sont résumés dans le tableau de valeurs suivant:

|                                   |    |     |     |      |      |      |      |
|-----------------------------------|----|-----|-----|------|------|------|------|
| $\nu (\times 10^{14} \text{ Hz})$ | 10 | 20  | 30  | 40   | 50   | 60   | 70   |
| $E_c \text{ (eV)}$                | 0  | 4,1 | 8,2 | 12,1 | 16,4 | 20,6 | 24,7 |

Données:

Constante de Planck:  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ .

- Compléter, à partir du tableau les deux listes de fréquence exprimée en Hz et de l'énergie cinétique exprimée en J.
- Compléter la rubrique du programme liée au remplissage de la liste Ec\_modele.
- Exécuter le programme et donner les résultats affichés.
- Quelle est la valeur du travail d'extraction?
- En déduire la valeur de la fréquence seuil  $\nu_c$ .

**EXERCICE 8** Protocole TP ECE

Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque.


**+ Matériels:**

- Cellule photovoltaïque;
- 2 multimètres;
- Un luxmètre;
- Une lampe de bureau;
- Une résistance  $R$  variable;
- Ordinateur + logiciel tableur grapheur.

## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  Quels sont les deux modèles qui décrivent la lumière?

- + Le modèle ondulatoire où la lumière est considérée comme une onde électromagnétique caractérisée par sa fréquence  $f$ , sa longueur d'onde  $\lambda$  et qui se propage dans le vide à la vitesse  $c$ .
- + Le modèle particulaire où la lumière est composée de grains de lumières, les photons d'énergie:  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ .

2  C'est quoi un photon?


- + C'est une particule immatérielle dotée d'une fréquence  $\nu$  et d'une énergie  $E$  appelée quantum d'énergie telle que:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$


$h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s est la constante de Planck et  $c = 3,00 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>.

3  C'est quoi l'effet photoélectrique?

- + C'est l'émission d'électrons par un matériau lorsqu'il est éclairé par une onde électromagnétique.

4  Quel est le modèle de la lumière qui permet d'interpréter l'effet photoélectrique?

- + C'est le modèle particulaire qui est basé sur les photons.


5  L'effet photoélectrique se produit à partir d'un nombre de photons seuil ou à partir d'une fréquence seuil des photons?

- + À partir d'une fréquence seuil  $\nu_s$ . L'effet se produit si la fréquence  $\nu$  des photons de l'onde électromagnétique est telle que:  $\nu \geq \nu_s$ .


6  C'est quoi le travail d'extraction?

- + C'est l'énergie minimale  $W$  à fournir à un matériau pour en extraire un électron:


$$W = h \cdot \nu_s$$

7  Donner l'expression de l'énergie cinétique de l'électron libéré par effet photoélectrique.

- +  $E_c = h\nu - W = h(\nu - \nu_s)$

8  C'est quoi une cellule photoélectrique?

- + C'est un dispositif qui génère un courant électrique sous l'effet de la lumière. Elle est composée de deux électrodes: la cathode et l'anode enfermées dans un tube vide ou rempli d'un gaz inerte. Elle est utilisée comme capteur de lumière pour mesurer l'intensité lumineuse d'une source.

9  C'est quoi une cellule photovoltaïque?

- + C'est un convertisseur de l'énergie lumineuse en énergie électrique, donc un producteur d'électricité à partir de la lumière.

10  C'est quoi le rendement  $\eta$  d'une cellule photovoltaïque?

- + 
$$\eta = \frac{E_{\text{électrique}}}{E_{\text{lumineuse}}} \times 100$$

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Au sujet d'un photon

La longueur d'onde d'un photon est  $\lambda = 450 \text{ nm}$ .

a. Calcul de la fréquence du photon:

Par définition, on peut écrire:

$$c = \lambda \times \nu$$

Ce qui donne

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

+ **Application numérique:**

$$\nu = \frac{3,0 \times 10^8}{450 \times 10^{-9}}$$

Soit

$$\nu = 6,7 \times 10^{14} \text{ Hz.}$$

**b** Calcul de l'énergie du photon en Joule et en eV:

Par définition, on a

$$E = h \times \nu$$

+ **Application numérique:**

$$E = 6,63 \times 10^{-34} \times 6,7 \times 10^{14}$$

Soit

$$E = 4,4 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Ce qui donne

$$E = \frac{4,4 \times 10^{-19}}{1,60 \times 10^{-19}}$$

Soit

$$E = 2,8 \text{ eV}$$

## EXERCICE 2 Extraction d'électron

L'équation de modélisation de la courbe donnant la variation de l'énergie cinétique de l'électron émis par effet photoélectrique en fonction de la fréquence de rayonnement donne l'équation suivante:

$$E_c = 6,63 \times 10^{-34} \times \nu + 3,12 \times 10^{-19}$$

**a** Calcul de la valeur de la fréquence seuil  $\nu_s$ :

On a

$$W = h \times \nu_s = 3,12 \times 10^{-19}$$

Soit

$$\nu_s = \frac{3,12 \times 10^{-19}}{h}$$

**+ Application numérique:**

$$\nu_S = \frac{3,12 \times 10^{-19}}{6,63 \times 10^{-34}}$$

Soit

$$\nu_S = 4,7 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

- b** Calcul de la valeur de l'énergie cinétique de l'électron lorsque la fréquence vaut  $6,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$ :

D'après la formule de l'effet photoélectrique,

$$h \times \nu = E_c + h \times \nu_S$$

Ce qui donne

$$E_c = h \times \nu - h \times \nu_S$$

**+ Application numérique:**

$$E_c = 6,63 \times 10^{-34} \times 6,0 \times 10^{14} - 6,63 \times 10^{-34} \times 4,7 \times 10^{14}$$

Soit

$$E_c = 8,6 \times 10^{-20} \text{ J}$$

- c** La valeur de la vitesse de l'électron:

Par définition,

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

On en déduit

$$v = \sqrt{\frac{2 \times E_c}{m}}$$

**+ Application numérique:**

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 8,6 \times 10^{-20}}{9,11 \times 10^{-31}}}$$

Soit

$$v = 4,3 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$$

**EXERCICE 3** Longueur d'onde seuil  $\lambda_s$ 

Une électrode d'argent de longueur d'onde seuil  $\lambda_s = 0,27 \mu\text{m}$  est éclairée à l'aide d'un rayonnement de fréquence  $\nu = 1,8 \times 10^{15} \text{ Hz}$ .

- a** Calcul de la valeur de la fréquence seuil  $\nu_s$ :

Par définition, on peut écrire:

$$c = \lambda_s \times \nu_s$$

Ce qui donne

$$\nu_s = \frac{c}{\lambda_s}$$

**+ Application numérique:**

$$\nu_s = \frac{3,0 \times 10^8}{0,27 \times 10^{-6}}$$

Soit

$$\nu_s = 1,1 \times 10^{15} \text{ Hz.}$$

- b** Calcul de la valeur de l'énergie cinétique de l'électron extrait:

D'après la formule de l'effet photoélectrique,

$$h \times \nu = E_c + h \times \nu_s$$

Ce qui donne

$$E_c = h \times \nu - h \times \nu_s$$

**+ Application numérique:**

$$E_c = 6,63 \times 10^{-34} \times 1,8 \times 10^{15} - 6,63 \times 10^{-34} \times 1,1 \times 10^{15}$$

Soit

$$E_c = 4,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

- c** Calcul de la valeur de la vitesse de l'électron extrait:

Par définition, on peut écrire:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

On en déduit

$$v = \sqrt{\frac{2 \times E_c}{m}}$$

**+ Application numérique:**

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 4,6 \times 10^{-19}}{9,11 \times 10^{-31}}}$$

Soit

$$v = 1,0 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$$

**EXERCICE 4 Rendement d'un panneau photovoltaïque**

Un panneau photovoltaïque reçoit un rayonnement de puissance 800 W. La puissance électrique produite est de 96 W.

**a** Calcul du rendement du panneau:

Par définition, on peut écrire:

$$\eta = \frac{\text{Puissance électrique}}{\text{Puissance lumineuse}} \times 100$$

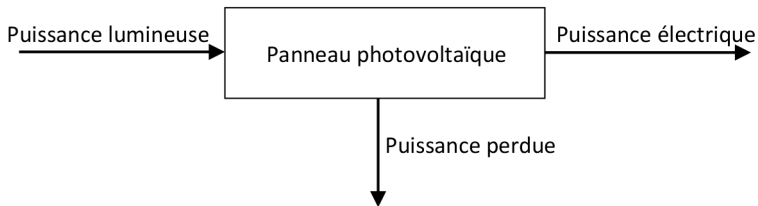
**+ Application numérique:**

$$\eta = \frac{96}{800} \times 100$$

Soit

$$\eta = 12 \%$$

**b** Le schéma du bilan de puissance du panneau:

**EXERCICE 5 Au sujet d'une cellule photovoltaïque**

**a** Calcul de la valeur de l'aire  $S$  de la cellule:

$$S = l \times L$$

**+ Application numérique:**

$$S = 5,0 \times 10^{-2} \times 6,0 \times 10^{-2}$$

Soit

$$S = 3,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

- b** Calcul de la valeur de la puissance lumineuse reçue par la cellule:

$$P_l = E \times S$$

**+ Application numérique:**

$$P_l = 60 \times 3 \times 10^{-3}$$

Soit

$$P_l = 0,18 \text{ W}$$

- c** Calcul de la valeur de la puissance électrique maximale produite par la cellule:

$$P_{\max} = U \times I$$

**+ Application numérique:**

$$P_{\max} = 0,42 \times 0,16$$

Soit

$$P_{\max} = 6,7 \times 10^{-2} \text{ W}$$

- d** Calcul de la valeur du rendement  $\eta$  de la cellule:

Par définition, on peut écrire:

$$\eta = \frac{\text{Puissance électrique}}{\text{Puissance lumineuse}} \times 100$$

**+ Application numérique:**

$$\eta = \frac{6,7 \times 10^{-2}}{0,18} \times 100$$

Soit

$$\eta = 37 \%$$

### EXERCICE 6 Question ouverte

Une électrode métallique est éclairée par un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde  $\lambda = 500 \text{ nm}$ . Le travail d'extraction est  $W = 2,20 \text{ eV}$ .

Calcul de la vitesse  $v_e$  d'extraction de l'électron:

- Calcul de la fréquence du rayonnement

Par définition, on peut écrire:

$$c = \lambda \times \nu$$

Ce qui donne

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

**+ Application numérique:**

$$\nu = \frac{3,0 \times 10^8}{500 \times 10^{-9}}$$

Soit

$$\nu = 6,0 \times 10^{14} \text{ Hz.}$$

- Calcul de l'énergie cinétique de l'électron extrait:  
D'après la formule de l'effet photoélectrique,

$$h \times \nu = E_c + W$$

Ce qui donne

$$E_c = h \times \nu - W$$

**+ Application numérique:**

$$E_c = 6,63 \times 10^{-34} \times 6,0 \times 10^{14} - 2,20 \times 1,6 \times 10^{-19}$$

Soit

$$E_c = 4,6 \times 10^{-20} \text{ J}$$

- Calcul de la vitesse de l'électron extrait:  
Par définition, on peut écrire:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

On en déduit

$$v = \sqrt{\frac{2 \times E_c}{m}}$$

**+ Application numérique:**

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 4,6 \times 10^{-20}}{9,11 \times 10^{-31}}}$$

Soit

$$v = 3,2 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$$

**EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python**

Au cours d'une séance de travaux pratiques, On a mesuré l'énergie cinétique de l'électron extrait par effet photoélectrique en fonction de la fréquence de rayonnement. Les résultats des mesures sont résumés dans le tableau de valeurs suivant:

|                              |    |     |     |      |      |      |      |
|------------------------------|----|-----|-----|------|------|------|------|
| $\nu$ ( $\times 10^{14}$ Hz) | 10 | 20  | 30  | 40   | 50   | 60   | 70   |
| $E_c$ (eV)                   | 0  | 4,1 | 8,2 | 12,1 | 16,4 | 20,6 | 24,7 |

Donnée:

Constante de Planck:  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s.

**a** Les deux listes de fréquence et de l'énergie cinétique complétées:

# Liste des valeurs de la fréquence en Hz

`Nu = [10e14, 20e14, 30e14, 40e14, 50e14, 60e14, 70e14]`

# Liste des valeurs de l'énergie cinétique en J

`Ec = [0, 6.6e-19, 1.3e-18, 1.9e-18, 2.6e-18, 3.3e-18, 4.0e-18]`

**b** La rubrique du programme liée au remplissage de la liste `Ec_modele` complétée:

# Remplissage de la liste `Ec_modele` calculée par le modèle

`for i in range(0, len(Nu)):`

`Ec_modele.append(pente*Nu[i]+ordonnee_origine)`

**c** Exécution du programme et les résultats affichés:

Le coefficient de corrélation est `R = 0.9997`

Le coefficient directeur `a = 6.635714285714285e-34`

l'ordonnée à l'origine `b = -6.885714285714284e-19`

**d** La valeur du travail d'extraction:

D'après la formule de l'effet photoélectrique:

$$E_C = h\nu - W$$

En comparant avec le modèle, on en déduit:

$$W = -b$$

Soit

$$W = 6,9 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**e** Calcul de la valeur de la fréquence seuil  $\nu_S$ :

Par définition,

$$W = h \times \nu_S$$

Ce qui donne:

$$\nu_S = \frac{W}{h}$$

### + Application numérique:

$$\nu_S = \frac{6,9 \times 10^{-19}}{6,63 \times 10^{-34}}$$

Soit

$$\nu_S = 1,0 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

Voici le script du programme Python complété:

```
# Scripte pour déterminer le travail d'extraction d'un métal à
# partir du tracé de
# la courbe Ec = f(Nu)
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.stats as stat
# Initialisation des listes
# Liste des valeurs de la fréquence en Hz
Nu =[10e14,20e14,30e14,40e14,50e14,60e14,70e14]
# Liste des valeurs de l'énergie cinétique en J
Ec =[0,6.6e-19,1.3e-18,1.9e-18,2.6e-18,3.3e-18,4.0e-18]
# Liste des valeurs de l'énergie cinétique modélisées
Ec_modele =[]
# Régression linéaire
regression = stat.linregress(Nu,Ec)
pente =regression[0]
ordonnee_origine = regression[1]
coeffcorel = regression[2]
# Remplissage de la liste Ec_modele calculée par le modèle
for i in range(0,len(Nu)):
Ec_modele.append(pente*Nu[i]+ordonnee_origine)
# Affichage des coefficients du modèle
print("Le coefficient de corrélation est R = ", round(coeffcorel,4))
print("Le coefficient directeur a = ", pente)
print("l'ordonnée à l'origine b = ", ordonnee_origine)
# Affichage des courbes
plt.grid(True)
plt.xlabel("Fréquence(Hz)")
plt.ylabel("Ec(J)")
plt.title("coeff corr = "+ str(round(coeffcorel,4)))
plt.plot(Nu,Ec,"bo","red")
plt.plot(Nu,Ec_modele)
plt.show()
```

**EXERCICE 8** Protocole TP ECE

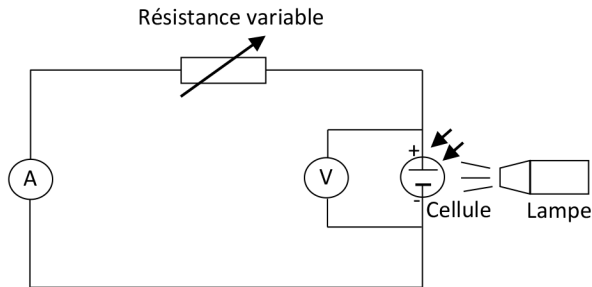
Protocole expérimental permettant de déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque:

**+ Matériels:**

- Cellule photovoltaïque;
- 2 multimètres;
- Un luxmètre;
- Une lampe de bureau;
- Une résistance R variable;
- Ordinateur + logiciel tableur grapheur.

**+ Protocole:**

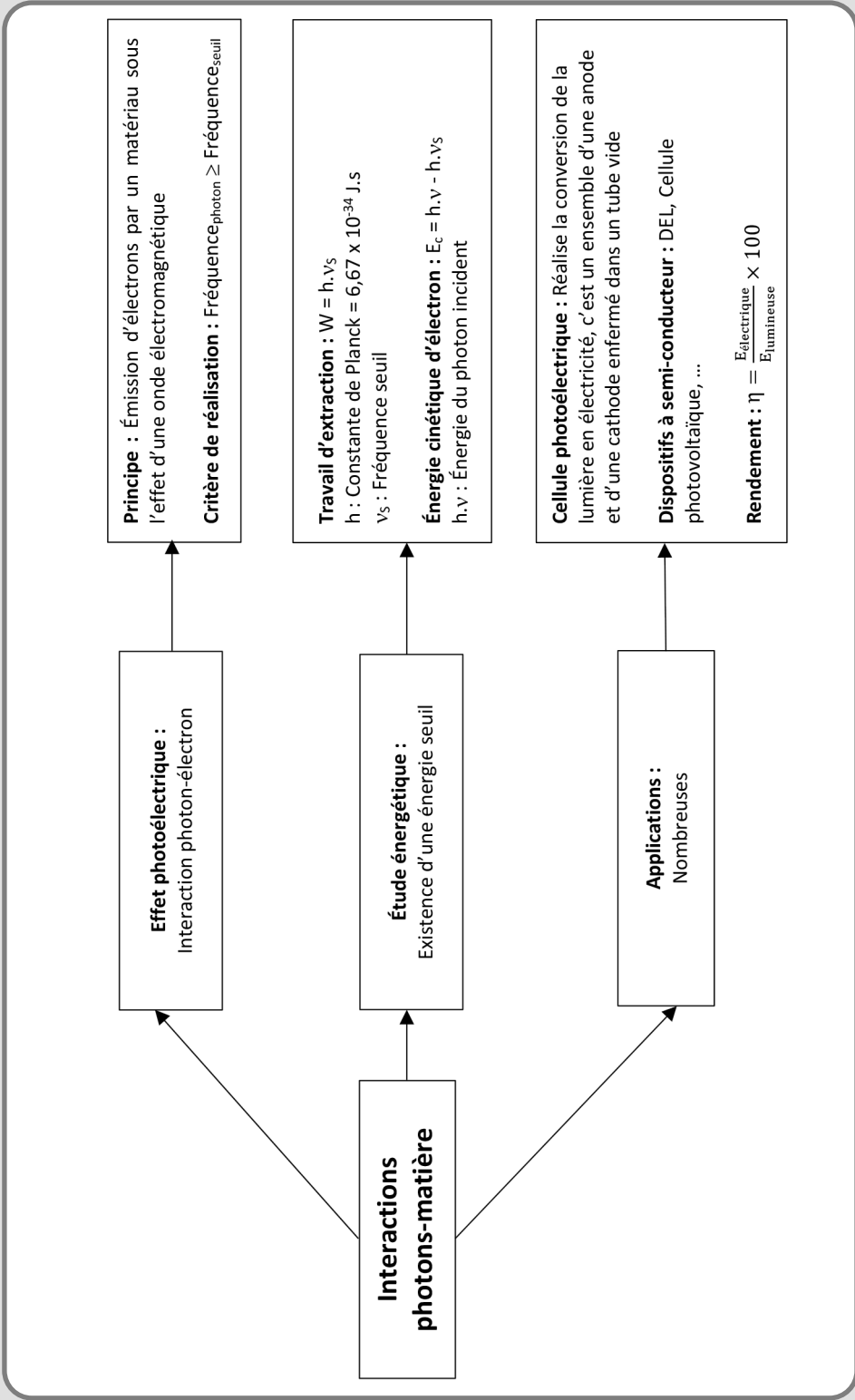
- Construire le circuit électrique suivant:



- Mesurer l'aire  $S$  de la cellule photovoltaïque;
- Mesurer à l'aide du luxmètre l'éclairement  $E$  reçu par la cellule photovoltaïque;
- Calculer la valeur de la puissance lumineuse  $P_{\text{lumineuse}} = E \times S$  reçue par la cellule photovoltaïque;
- En modifiant la valeur de la résistance variable, mesurer les couples de valeurs  $(U, I)$ ;
- Calculer la puissance électrique  $P = UI$  pour chaque couple de valeurs  $(U, I)$ ;
- À l'aide du tableur-Grapheur, tracer la courbe  $P = f(U)$ ;
- Déterminer à partir de la courbe la valeur de la puissance électrique maximale  $P_{\text{électrique}}$ ;

- Calculer la valeur du rendement  $= \frac{P_{\text{électrique}}}{P_{\text{lumineuse}}} \times 100$ .

INTERACTIONS PHOTONS-MATIÈRE



**Principe :** Émission d'électrons par un matériau sous l'effet d'une onde électromagnétique  
**Critère de réalisation :** Fréquence<sub>photon</sub> ≥ Fréquence<sub>seuil</sub>

**Travail d'extraction :**  $W = h \cdot \nu_s$   
 $h$  : Constante de Planck =  $6,67 \times 10^{-34}$  J.s  
 $\nu_s$  : Fréquence seuil  
**Énergie cinétique d'électron :**  $E_c = h \cdot \nu - h \cdot \nu_s$   
 $h \cdot \nu$  : Énergie du photon incident

**Cellule photoélectrique :** Réalise la conversion de la lumière en électricité, c'est un ensemble d'une anode et d'une cathode enfermés dans un tube vide  
**Dispositifs à semi-conducteur :** DEL, Cellule photovoltaïque, ...  
**Rendement :**  $\eta = \frac{E_{\text{c}}^{\text{électrique}}}{E_{\text{l}}^{\text{lumineuse}}} \times 100$

**Effet photoélectrique :**  
Interaction photon-électron


**Étude énergétique :**  
Existence d'une énergie seuil

**Applications :**  
Nombreuses


**Interactions photons-matière**

# SUIVI TEMPOREL D'UN SYSTÈME ÉLECTRIQUE CAPACITIF


## LES 10 QUESTIONS

- 1  C'est quoi l'intensité du courant électrique?


↳ .....

.....
- 2  Exprimer l'intensité du courant électrique  $i(t)$  en fonction de la charge  $q(t)$ .


↳ .....

.....
- 3  C'est quoi le phénomène de condensation d'électricité? C'est quoi un condensateur?


↳ .....

.....
- 4  C'est quoi la capacité  $C$  d'un condensateur?

↳ .....





.....
- 5  Donner l'expression de  $C$  en fonction de la charge  $q$  et la tension  $u$ .

↳ .....

.....
- 6  C'est quoi le comportement capacitif?

↳ .....

.....

- 7  Rappeler les deux lois de l'électricité, la loi d'Ohm et la loi des mailles.  
↳ .....  
.....
- 8  Comment établir l'équation différentielle de la charge d'un condensateur à travers d'une résistance R?  
↳ .....  
.....
- 9  Comment établir l'équation différentielle de la décharge d'un condensateur à travers d'une résistance R?  
↳ .....  
.....
- 10  C'est quoi la constante de temps  $\tau$  d'un circuit RC série?  
↳ .....  
.....

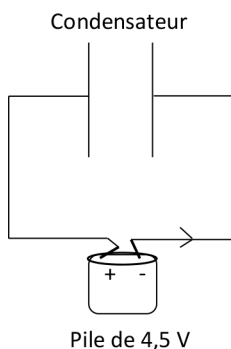
## ÉNONCÉS DES EXERCICES



## EXERCICE 1 Condensateur

On branche aux bornes d'un condensateur initialement déchargé une pile électrique de 4,5 V. La capacité du condensateur est  $C = 1,0 \mu\text{F}$ .

- Calculer la valeur de la charge  $Q$  portée par les armatures du condensateur.
- Compléter le schéma ci-dessous en indiquant, le sens de déplacement du courant  $I$ , le sens de déplacement des électrons et les charges  $+Q$  et  $-Q$ .



## EXERCICE 2 Comportement capacitif

Un condensateur a pour capacité  $C$ .

- Rappeler la relation entre la charge  $q(t)$  portée par les armatures et la tension  $u(t)$  aux bornes du condensateur.
- Quelle est l'expression de l'intensité de courant  $i(t)$  en fonction de la charge  $q(t)$ .
- Montrer que l'intensité de courant  $i(t)$  est donnée par:

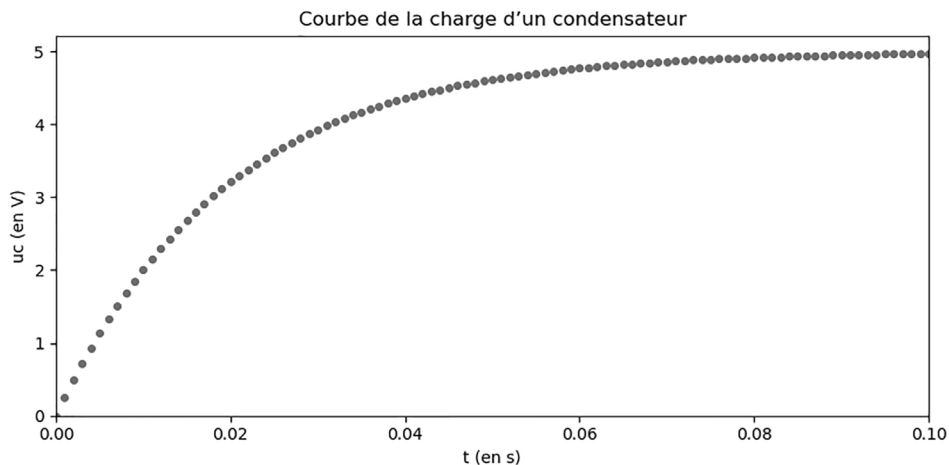
$$i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt}$$

- Que signifie cette relation entre  $i(t)$  et  $u(t)$ ? Comment appelle-t-on ce comportement?



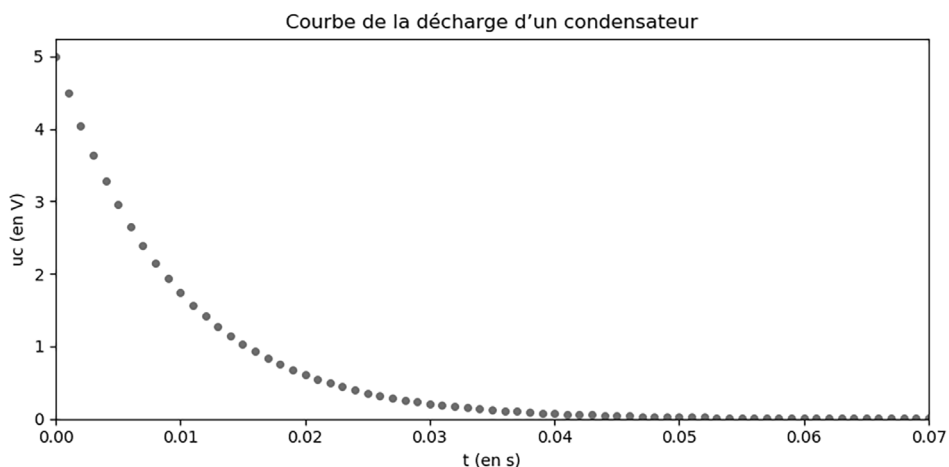
### EXERCICE 3 Constante de temps

Au cours de la charge d'un condensateur de capacité  $C$  à travers une résistance de valeur  $R = 100 \Omega$ , on a relevé la courbe donnée par la figure suivante:



- a) Au bout de combien de  $\tau$  le condensateur est totalement chargé?
- b) Déterminer de deux manières différentes la valeur de  $\tau$ .
- c) En déduire la valeur de la capacité  $C$  du condensateur.

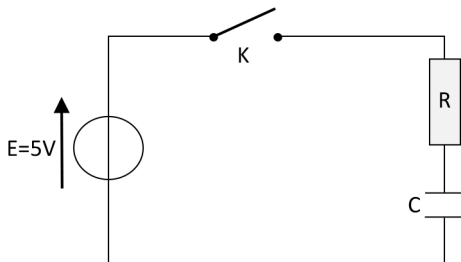
Au cours de la décharge d'un condensateur de capacité  $C = 100 \mu\text{F}$  à travers une résistance de valeur  $R$ , on a relevé la courbe donnée par la figure suivante:



- d) Déterminer de deux manières différentes la valeur de  $\tau$ .
- e) En déduire la valeur de la capacité  $R$  du dipôle ohmique.


**EXERCICE 4 Charge d'un condensateur**

Pour étudier la charge d'un condensateur de capacité  $C$  à travers un dipôle ohmique de résistance  $R$ , on utilise le circuit électrique donné par la figure suivante:



Le condensateur est initialement déchargé, on ferme l'interrupteur  $K$ .

- Indiquer sur le circuit le sens du courant électrique et les flèches des tensions aux bornes du condensateur et du dipôle ohmique.
- Appliquer la loi des mailles au circuit et montrer que la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur vérifie l'équation différentielle suivante:

$$\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{\tau} = \frac{E}{\tau}$$

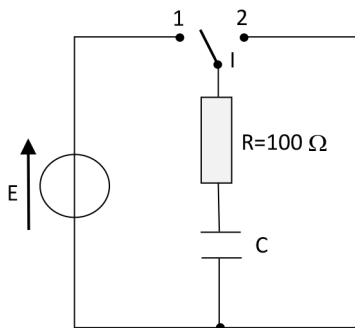
Avec  $\tau = R \times C$ .

- Montrer que la fonction  $u_C = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$  est solution de l'équation différentielle précédente.
- Calculer la valeur de la tension aux bornes du condensateur à la date  $t = \frac{\tau}{2}$ .



### EXERCICE 5 Décharge d'un condensateur

Le circuit électrique de la figure ci-dessous, permet d'étudier la charge et la décharge d'un condensateur de capacité  $C$  à travers un dipôle ohmique de résistance  $R = 100 \Omega$ .



Le condensateur est initialement déchargé et  $E = 5 \text{ V}$ .

- Quelle est la position de l'interrupteur  $I$  qui permet de réaliser la charge du condensateur et celle qui réalise la décharge?
- Dans le cas de la décharge, indiquer sur le circuit le sens du courant électrique et les flèches des tensions aux bornes du condensateur et du dipôle ohmique.
- Appliquer la loi des mailles au circuit et montrer que la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur vérifie l'équation différentielle suivante:

$$\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{\tau} = 0$$

Avec  $\tau = R \times C$ .

- Montrer que la fonction  $u_C = E \times e^{-\frac{t}{\tau}}$  est solution de l'équation différentielle précédente.
- À la date  $t_1 = 25 \text{ ms}$ , la tension aux bornes du condensateur vaut  $3,89 \text{ V}$ . Quelle est la valeur de la constante de temps  $\tau$ ?
- En déduire la valeur de la capacité  $C$  du condensateur.



### EXERCICE 6 Question ouverte

Un condensateur de capacité  $C = 10 \mu\text{F}$  est chargé à travers un dipôle ohmique de résistance  $R = 100 \Omega$  et à l'aide d'un générateur électrique de tension  $E$ .

Au bout de combien de temps, la tension aux bornes du condensateur atteint le  $1/3$  de la tension  $E$  du générateur électrique?



## EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python

À l'aide du script du programme Python ci-dessous, on peut déterminer par simulation numérique la courbe de la charge d'un condensateur de capacité  $C$  à travers un dipôle ohmique de résistance  $R$ .

```
# Script pour calculer par simulation numérique la tension électrique
aux bornes
# d'un condensateur au cours de sa charge
import matplotlib.pyplot as plt
# Le pas de temps en s
Dt =.....
# Conditions de la charge du condensateur
# Tension électrique initiale aux bornes du condensateur
uc0 =.....
# Valeur de la tension du générateur en Volt
E =.....
# Valeur de la résistance du dipôle ohmique en Ohm
R =.....
# Valeur de la capacité C du condensateur en Farad
C =.....
# Initialisation des listes avec les données initiales
t =[0]
uc =[0]
# Remplissage de la liste t
for i in range(1,101):
t.append(.....)
# Calcul et remplissage de la liste uc
for i in range(1,101):
uc.append(.....)
# Représentation de la trajectoire sous forme d'un nuage de points
plt.plot(t,uc,'o',markersize =4)
# Configuration du graphique
plt.xlabel("t (en s)")
plt.ylabel("uc (en V)")
plt.title("Courbe de la charge d'un condensateur")
plt.show()
```

La charge d'un condensateur de capacité  $C$  à travers un dipôle ohmique de résistance  $R$  est décrite par l'équation différentielle suivante:

$$\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{RC} = \frac{E}{RC}$$

Pour résoudre numériquement cette équation différentielle, on introduit un pas de temps  $\Delta t$  et l'équation précédente devient :

$$\frac{u_C(t_i) - u_C(t_{i-1})}{\Delta t} + \frac{u_C(t_{i-1})}{RC} = \frac{E}{RC}$$

Ce qui donne

$$u_C(t_i) = u_C(t_{i-1}) + \frac{(E - u_C(t_{i-1}))}{RC} \times \Delta t$$

Conditions de la charge du condensateur :

$u_C(0) = 0$ ;  $E = 5 \text{ V}$ ;  $R = 100 \Omega$  et  $C = 100 \mu\text{F}$ .

On prendra pour le pas du temps la valeur  $\Delta t = 1,0 \text{ ms}$ .

- a** Compléter la rubrique du programme liée au pas du temps.
- b** Compléter les rubriques du programme liées aux conditions de la charge du condensateur.
- c** Compléter la rubrique du programme liée au remplissage de la liste t.
- d** Compléter la rubrique du programme liée au calcul et au remplissage de la liste  $u_C$ .
- e** Exécuter le programme et donner le résultat affiché.



### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer la valeur de la capacité d'un condensateur.

#### + **Matériels:**

- Dipôle ohmique de résistance  $R = 100 \Omega$ ;
- Un condensateur de capacité  $C$  à déterminer;
- Un générateur de tension continue réglable;
- 6 fils de connexion (3 rouges et 3 noirs);
- Système d'acquisition;
- Ordinateur + logiciel tableur grapheur.

## CORRIGÉS DES QUESTIONS

1  C'est quoi l'intensité du courant électrique?

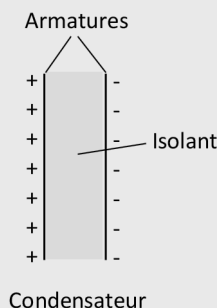
- + C'est le débit de charges électriques c'est-à-dire la quantité d'électricité qui traverse la surface S du conducteur par unité de temps.

2  Exprimer l'intensité du courant électrique  $i(t)$  en fonction de la charge  $q(t)$ .

+ 
$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

3  C'est quoi le phénomène de condensation d'électricité? C'est quoi un condensateur?

- + La condensation d'électricité est l'accumulation de charges positives et négatives sur les faces en regard de deux matériaux dont un est chargé et l'autre non chargé (neutre). Un condensateur est un ensemble de deux conducteurs placés l'un en face de l'autre et séparés par un isolant.



4  C'est quoi la capacité C d'un condensateur?

- + C'est le coefficient de proportionnalité entre la charge  $q$  portée par les armatures d'un condensateur et la tension  $u$  entre les armatures.

5  Donner l'expression de  $C$  en fonction de la charge  $q$  et la tension  $u$ .

$$+ \quad q(t) = C \times u(t)$$

- $q(t)$  est en Coulomb C;
- $C$  est en Farad F;
- $u(t)$  est en Volt V.

6  C'est quoi le comportement capacitif?

- + Le comportement capacitif est l'avance en phase de l'intensité par rapport à la tension aux bornes d'un dipôle.

$$i(t) = C \times \frac{du(t)}{dt}$$


**Démonstration:**

$$q(t) = C \times u(t) \text{ et } i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

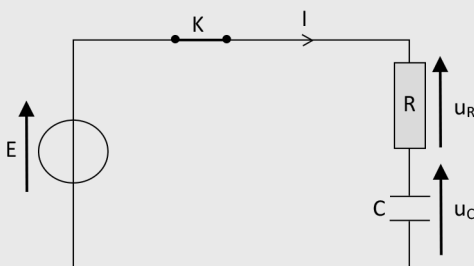
$$\text{Donc } i(t) = \frac{d(Cu \times(t))}{dt} \text{ soit } i(t) = C \times \frac{du(t)}{dt}$$

7  Rappeler les deux lois de l'électricité, la loi d'Ohm et la loi des mailles.

- + Loi d'Ohm:  $u(t) = R \times i(t)$  pour un dipôle ohmique.
- + Loi des mailles: Dans une maille orientée d'un circuit électrique, la somme des tensions le long de cette maille est toujours nulle.

8  Comment établir l'équation différentielle de la charge d'un condensateur à travers d'une résistance  $R$ ?

+ **Démonstration:**



La charge du circuit RC série

$$\text{Loi d'Ohm: } u_R(t) = R \times i(t)$$

Loi des mailles:  $u_R(t) + u_C(t) = E$  avec  $i(t) = C \times \frac{du_C(t)}{dt}$

Il vient

$$R \times i(t) + u_C(t) = E$$

Soit

$$RC \times \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = E$$

Donc  $\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{1}{\tau} u_C(t) = \frac{E}{\tau}$  avec  $\tau = RC$

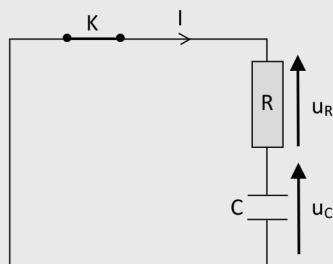
La solution de cette équation différentielle est:

$$u_C(t) = E \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right)$$



- 9 Comment établir l'équation différentielle de la décharge d'un condensateur à travers d'une résistance R?

+ **Démonstration:**



La décharge du circuit RC série

Loi d'Ohm:  $u_R(t) = R \times i(t)$

Loi des mailles:  $u_R(t) + u_C(t) = 0$  avec  $i(t) = C \times \frac{du_C(t)}{dt}$

Il vient

$$R \times i(t) + u_C(t) = 0$$

Soit

$$RC \times \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = 0$$

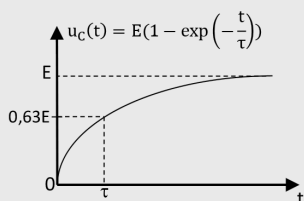
$$\text{Donc } \frac{du_C(t)}{dt} + \frac{1}{\tau}u_C(t) = 0 \text{ avec } \tau = RC$$

La solution de cette équation différentielle est:

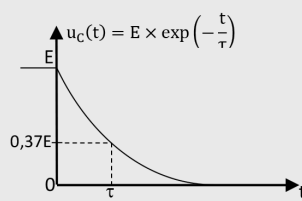
$$u_C(t) = E \times \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

10  C'est quoi la constante de temps  $\tau$  d'un circuit RC série?

- + C'est la durée, au cours de la charge du condensateur, au bout de laquelle la tension aux bornes du condensateur atteint 63% de sa valeur finale.
- + C'est la durée, au cours de la décharge, au bout de laquelle la tension aux bornes du condensateur atteint 37% de sa valeur initiale.



Evolution de  $u_C(t)$  au cours de la charge



Evolution de  $u_C(t)$  au cours de la décharge

## CORRIGÉS DES EXERCICES

### EXERCICE 1 Condensateur

On branche aux bornes d'un condensateur initialement déchargé une pile électrique de 4,5 V. La capacité du condensateur est  $C = 1,0 \mu\text{F}$ .

- a Calcul de la valeur de la charge  $Q$  portée par les armatures du condensateur:  
Par définition:

$$Q = C \times U$$

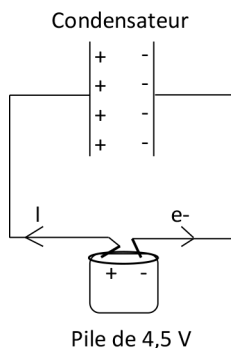
+ **Application numérique:**

$$Q = 1,0 \times 10^{-6} \times 4,5$$

Soit

$$Q = 4,5 \times 10^{-6} \text{ C}$$

- b** Le schéma complété:



### EXERCICE 2 Comportement capacitif

- a** La relation entre la charge  $q(t)$  portée par les armatures et la tension  $u(t)$  aux bornes du condensateur:

$$q(t) = C \times u(t)$$

- b** L'expression de l'intensité de courant  $i(t)$  en fonction de la charge  $q(t)$ :

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

- c** L'expression de l'intensité de courant  $i(t)$ :

$$i(t) = \frac{d(C \times u(t))}{dt}$$

Soit

$$i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt}$$

- d** Signification de la relation entre  $i(t)$  et  $u(t)$ :

Puisque la fonction  $i(t)$  est obtenue à partir de la dérivée de  $u(t)$ , alors  $i(t)$  est en avance de phase sur la tension  $u(t)$ .

Ce phénomène porte le nom d'effet capacitif.

**EXERCICE 3** Constante de temps

**a** Au bout de combien de  $\tau$  le condensateur est totalement chargé?

Le condensateur est totalement chargé au bout d'environ  $5\tau$ .

**b** Les deux manières différentes pour déterminer la valeur de  $\tau$ :

- Méthode des 63%:

Au cours de la charge, la tension aux bornes d'un condensateur s'écrit:

$$u_C(t) = E \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right)$$

À  $t = \tau$ , on peut écrire:

$$u_C(\tau) = E \left( 1 - \exp\left(-\frac{\tau}{\tau}\right) \right)$$

Soit

$$u_C(\tau) = E(1 - \exp(-1))$$

Soit encore

$$u_C(\tau) = E \times 0,63$$

Application numérique:

$$u_C(\tau) = 5 \times 0,63$$

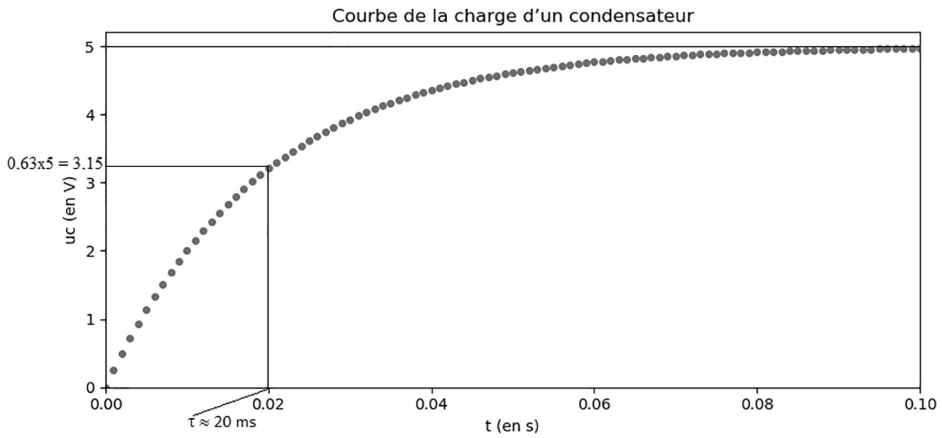
Soit

$$u_C(\tau) = 3,15 \text{ V}$$

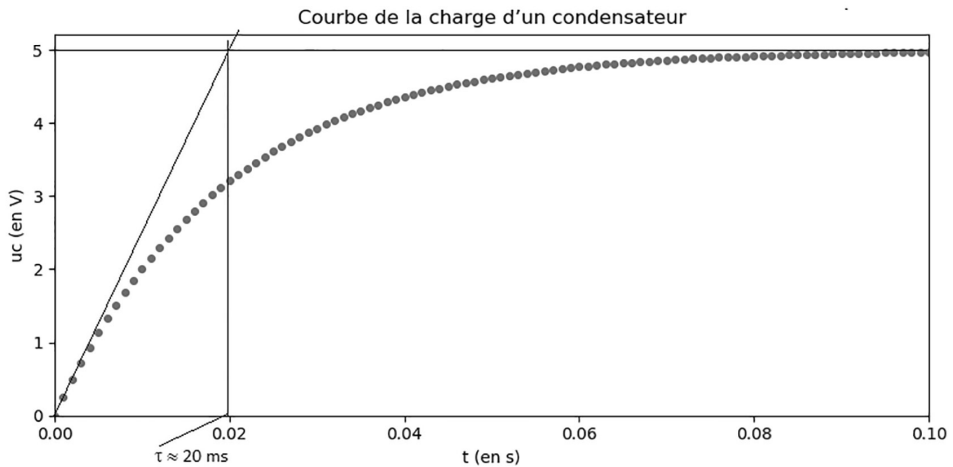
Donc  $\tau$  est l'abscisse du point d'ordonnée 3,15 V.

Soit

$$\tau \approx 20 \text{ ms}$$



- Méthode de la tangente:  
 $\tau$  est l'abscisse du point d'intersection de la tangente à l'origine de  $u_C(t)$  et son asymptote horizontale.



- c La valeur de la capacité  $C$  du condensateur:  
 Par définition, on peut écrire

$$\tau = R \times C$$

Ce qui donne

$$C = \frac{\tau}{R}$$

+ Application numérique:

$$C = \frac{20 \times 10^{-3}}{100}$$

Soit

$$C = 200 \mu\text{F}$$

d Les deux manières différentes pour déterminer la valeur de  $\tau$ :

- Méthode des 37%:

Au cours de la décharge, la tension aux bornes d'un condensateur s'écrit:

$$u_C(t) = E \times \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

À  $t = \tau$ , on peut écrire:

$$u_C(\tau) = E \times \exp\left(-\frac{\tau}{\tau}\right)$$

Soit

$$u_C(\tau) = E \times \exp(-1)$$

Soit encore

$$u_C(\tau) = E \times 0,37$$

+ Application numérique:

$$u_C(\tau) = 5 \times 0,37$$

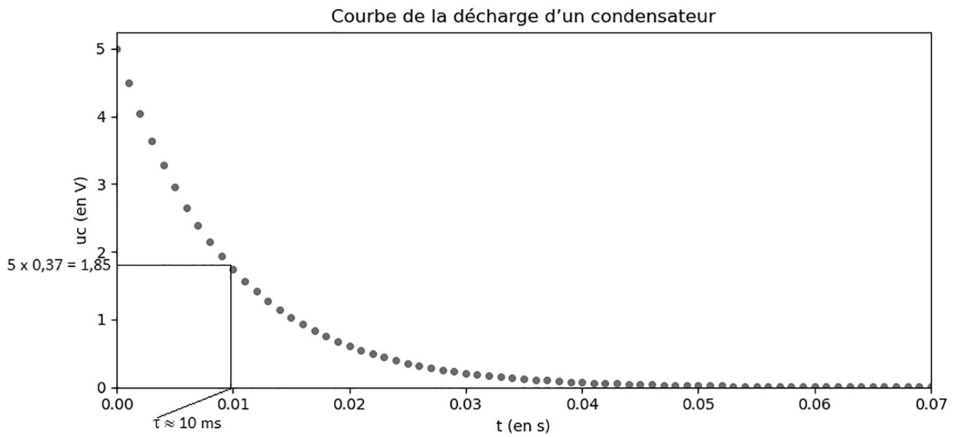
Soit

$$u_C(\tau) = 1,85 \text{ V}$$

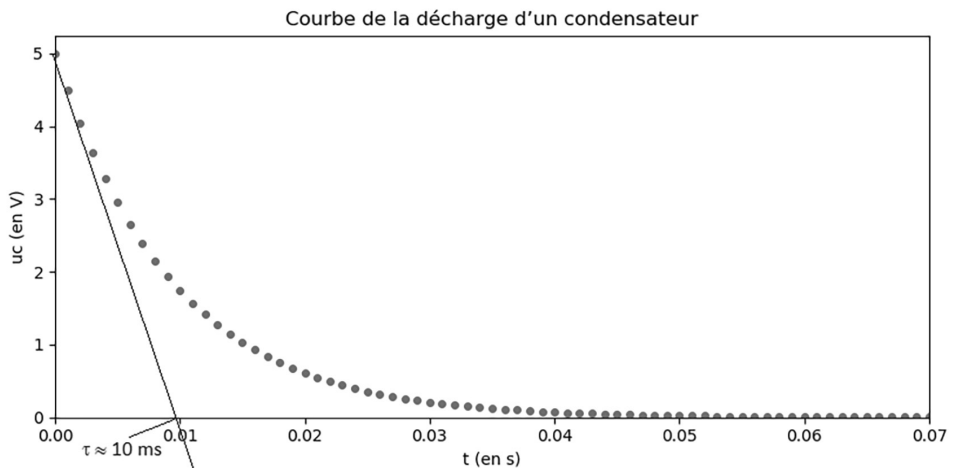
Donc  $\tau$  est l'abscisse du point d'ordonnée 1,85 V.

Soit

$$\tau \approx 10 \text{ ms}$$



- Méthode de la tangente:  
 $\tau$  est l'abscisse du point d'intersection de la tangente à l'origine de  $u_c(t)$  et l'axe des abscisses.



- e La valeur de la capacité  $R$  du dipôle ohmique:

Par définition, on peut écrire

$$\tau = R \times C$$

Ce qui donne

$$R = \frac{\tau}{C}$$

+ **Application numérique:**

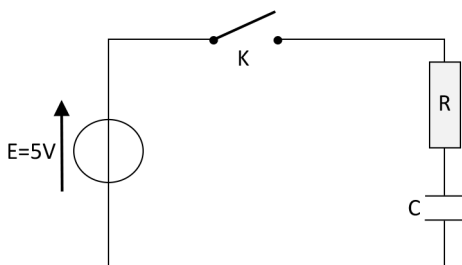
$$R = \frac{10 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-6}}$$

Soit

$$R = 100 \Omega$$

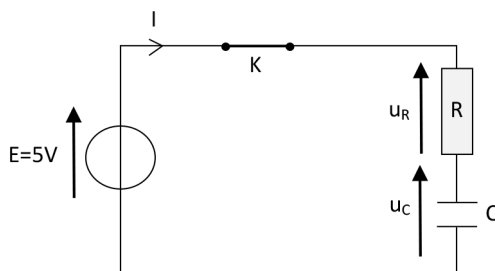
**EXERCICE 4 Charge d'un condensateur**

Pour étudier la charge d'un condensateur de capacité  $C$  à travers un dipôle ohmique de résistance  $R$ , on utilise le circuit électrique donné par la figure suivante:



Le condensateur est initialement déchargé, on ferme l'interrupteur  $K$ .

**a** Le circuit électrique complété:



**b** Application de la loi des mailles au circuit:

Loi des mailles:  $u_R(t) + u_C(t) = E$  avec  $i(t) = C \times \frac{du_C(t)}{dt}$

Loi d'Ohm:  $u_R(t) = R \times i(t)$

Il vient

$$R \times i(t) + u_C(t) = E$$

Soit

$$RC \times \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = E$$

Il vient

$$\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{\tau} = \frac{E}{\tau}$$

où  $\tau = R \times C$ .

- La fonction  $u_C = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$  est solution de l'équation différentielle:

On a

$$u_C = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Et la dérivée de cette fonction s'écrit:

$$\frac{du_C(t)}{dt} = \frac{d \left( E \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \right)}{dt}$$

Soit

$$\frac{du_C(t)}{dt} = \frac{E}{\tau} \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Donc

$$\begin{aligned} \frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{\tau} &= \frac{E}{\tau} \times e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{E \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)}{\tau} \\ &= \frac{E}{\tau} \times e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{E}{\tau} - \frac{E}{\tau} \times e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= \frac{E}{\tau} \end{aligned}$$

Donc, la fonction  $u_C = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$  est bien solution de l'équation différentielle du circuit.

- d. Calcul de la valeur de la tension aux bornes du condensateur à la date  $t = \frac{\tau}{2}$  :

$$u_C\left(\frac{\tau}{2}\right) = E \left( 1 - e^{-\left(\frac{\tau}{2}\right)} \right)$$

Soit

$$u_C\left(\frac{\tau}{2}\right) = E \left( 1 - e^{-\left(\frac{1}{2}\right)} \right)$$

Ce qui donne

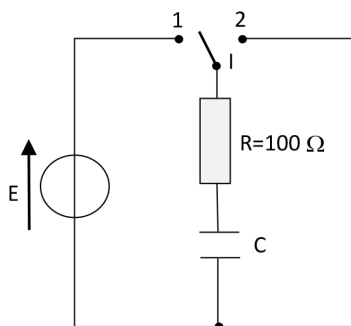
$$u_C\left(\frac{\tau}{2}\right) = 5 \left( 1 - e^{-\left(\frac{1}{2}\right)} \right)$$

Soit

$$u_C\left(\frac{\tau}{2}\right) = 1,97 \text{ V}$$

### EXERCICE 5 Décharge d'un condensateur

Le circuit électrique de la figure ci-dessous, permet d'étudier la charge et la décharge d'un condensateur de capacité  $C$  à travers un dipôle ohmique de résistance  $R$ .

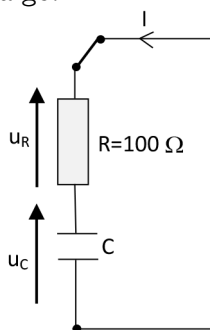


Le condensateur est initialement déchargé  $E = 5 \text{ V}$ .

- a** Les positions de l'interrupteur I:

La position 1 permet la charge du condensateur et la position 2 permet sa décharge.

- b** Le circuit électrique de la décharge:



- c** Application de la loi des mailles au circuit électrique:

Loi des mailles:  $u_R(t) + u_C(t) = 0$  avec  $i(t) = C \times \frac{du_C(t)}{dt}$

Loi d'Ohm:  $u_R(t) = R \times i(t)$

Il vient

$$R \times i(t) + u_C(t) = 0$$

Soit

$$RC \times \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = 0$$

Soit encore

$$\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{\tau} = 0$$

où  $\tau = R \times C$ .

- d** La fonction  $u_C = E \times e^{-\frac{t}{\tau}}$  est solution de l'équation différentielle précédente: On a

$$u_C = E \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Et la dérivée de cette fonction s'écrit:

$$\frac{du_C(t)}{dt} = \frac{d \left( E \times e^{-\frac{t}{\tau}} \right)}{dt}$$

Soit

$$\frac{du_C(t)}{dt} = -\frac{E}{\tau} \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Donc

$$\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{\tau} = -\frac{E}{\tau} \times e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{E \times e^{-\frac{t}{\tau}}}{\tau} = 0$$

Donc, la fonction  $u_C = E \times e^{-\frac{t}{\tau}}$  est bien solution de l'équation différentielle du circuit.

**e** La valeur de la constante de temps  $\tau$ :

$$u_C(t_1) = E \times e^{-\frac{t_1}{\tau}}$$

Ce qui donne

$$\frac{u_C(t_1)}{E} = e^{-\frac{t_1}{\tau}}$$

Soit

$$\text{Ln} \left( \frac{u_C(t_1)}{E} \right) = -\frac{t_1}{\tau}$$

Ce qui donne

$$\tau = -\frac{t_1}{\text{Ln} \left( \frac{u_C(t_1)}{E} \right)}$$

**+ Application numérique:**

$$\tau = -\frac{25 \times 10^{-3}}{\text{Ln} \left( \frac{3,89}{5} \right)}$$

Soit

$$\tau \approx 100 \text{ ms}$$

**f** La valeur de la capacité C du condensateur:

Par définition, on peut écrire

$$\tau = R \times C$$

Ce qui donne

$$C = \frac{\tau}{R}$$

+ **Application numérique:**

$$C = \frac{100 \times 10^{-3}}{100}$$

Soit

$$C = 1,0 \times 10^{-3} \text{ F}$$

### EXERCICE 6 Question ouverte

La tension aux bornes du condensateur au cours de la charge est telle que:

$$u_C = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{R \times C}} \right)$$

On cherche l'instant  $t_1$  tel que:

$$u_C(t_1) = \frac{E}{3}$$

Soit

$$\frac{E}{3} = E \left( 1 - e^{-\frac{t_1}{R \times C}} \right)$$

Ce qui donne

$$\frac{1}{3} = 1 - e^{-\frac{t_1}{R \times C}}$$

Soit

$$e^{-\frac{t_1}{R \times C}} = 1 - \frac{1}{3}$$

$$e^{-\frac{t_1}{R \times C}} = \frac{2}{3}$$

Ce qui donne

$$-\frac{t_1}{R \times C} = \ln\left(\frac{2}{3}\right)$$

Soit

$$t_1 = -R \times C \times \ln\left(\frac{2}{3}\right)$$

**+ Application numérique:**

$$t_1 = -100 \times 10 \times 10^{-6} \times \ln\left(\frac{2}{3}\right)$$

Soit

$$t_1 = 4,1 \times 10^{-4} \text{ s}$$

**EXERCICE 7 Le coup de pouce de Python**

- a** La rubrique du programme liée au pas du temps:

```
# Le pas de temps en s
Dt = 1e-3
```

- b** Les rubriques du programme liées aux conditions de la charge du condensateur complétées:

```
# Conditions de la charge du condensateur
# Tension électrique initiale aux bornes du condensateur
uc0 = 0
# Valeur de la tension du générateur en Volt
E = 5
# Valeur de la résistance du dipôle ohmique en Ohm
R = 100
# Valeur de la capacité C du condensateur en Farad
C = 1e-4
```

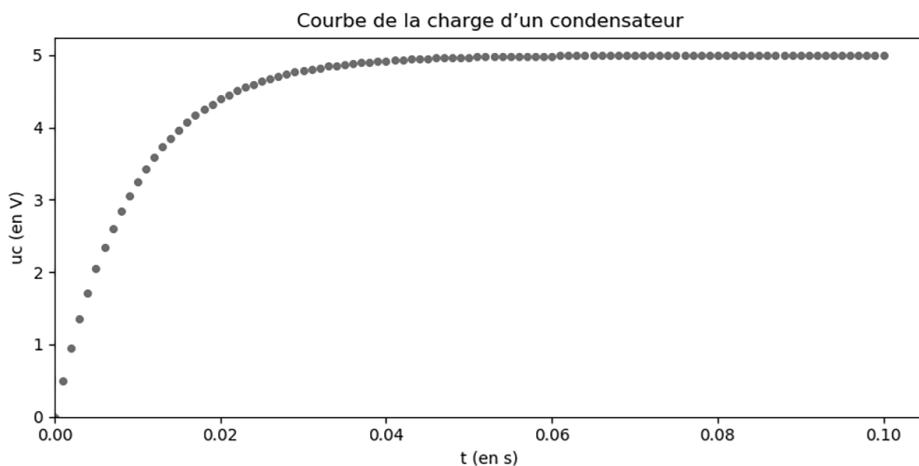
- c** La rubrique du programme liée au remplissage de la liste t complétée:

```
# Remplissage de la liste t
for i in range(1,101):
    t.append(i*Dt)
```

- d** La rubrique du programme liée au calcul et au remplissage de la liste uc complétée:

```
# Calcul et Remplissage de la liste uc
for i in range(1,101):
    uc.append(uc[i-1]+(E- uc[i-1])*Dt/(R*C))
```

e Exécution du programme et le résultat affiché:



Voici le script du programme Python complété:

```
# Script pour calculer par simulation numérique la tension
# électrique aux bornes
# d'un condensateur au cours de sa charge
import matplotlib.pyplot as plt
# Le pas de temps en s
Dt =1e-3
# Conditions de la charge du condensateur
# Tension électrique initiale aux bornes du condensateur
uc0 =0
# Valeur de la tension du générateur en Volt
E =5
# Valeur de la résistance du dipôle ohmique en Ohm
R =100
# Valeur de la capacité C du condensateur en Farad
C =1e-4
# Initialisation des listes avec les données initiales
t =[0]
uc =[0]
# Remplissage de la liste t
for i in range(1,101):
t.append(i*Dt)
# Calcul et Remplissage de la liste uc
for i in range(1,101):
uc.append(uc[i-1]+(E- uc[i-1])*Dt/(R*C))
```

```
# Représentation de la trajectoire sous forme d'un nuage de points
plt.plot(t,uc,'o',markersize =4)
# Configuration du graphique
plt.xlabel("t (en s)")
plt.ylabel("uc (en V)")
plt.title("Courbe de la charge d'un condensateur")
plt.show()
```

### EXERCICE 8 Protocole TP ECE

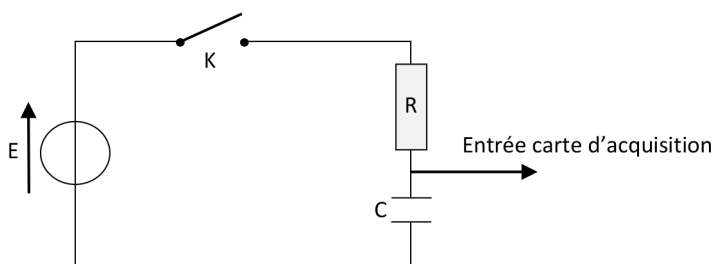
Protocole expérimental permettant de déterminer la valeur de la capacité d'un condensateur:

#### + Matériels:

- Dipôle ohmique de résistance  $R$  connue;
- Un condensateur de capacité  $C$  à déterminer;
- Un générateur de tension continue réglable;
- 6 fils de connexion (3 rouges et 3 noirs);
- Système d'acquisition;
- Ordinateur + logiciel tableur grapheur.

#### + Protocole:

- Réaliser le circuit électrique suivant:



- Effectuer les réglages du système d'acquisition pour enregistrer la tension aux bornes du condensateur;
- Exemple de réglage dans le cas où  $R = 100 \Omega$  et  $C = 100 \mu\text{F}$ :
  - Nombre de points = 256;
  - Durée totale = 100 ms;
  - Déclenchement montant avec un seuil de 200 mV;
- Fermer l'interrupteur  $K$  et enregistrer la tension  $u_C(t)$  aux bornes du condensateur;

- Afficher la courbe  $u_c(t)$  et déterminer graphiquement (par la méthode de la tangente à l'origine ou par la méthode de 63%) la valeur de la constante de temps  $\tau = R \times C$ .
- La valeur de la capacité  $C$  est donnée par:

$$C = \frac{\tau}{R}$$

SUIVI TEMPOREL D'UN SYSTÈME ÉLECTRIQUE CAPACITIF

**Condensateur :**  
Réservoir de charges électriques

**Intensité :**  $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$

**Condensateur :** 2 armatures chargées de  $-q$  et  $+q$

**Capacité C :**  $q(t) = C \times u(t)$ , C en Farad F

**Effet capacitif :** L'intensité est en avance de phase sur la tension aux bornes du condensateur

$i(t) = C \times \frac{du(t)}{dt}$

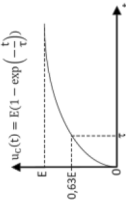
**Suivi temporel d'un système électrique capacitif**

**Le circuit RC série :**  
La charge et la décharge

**Constante de temps :**  $\tau = R \times C$

**La charge du condensateur :** Au bout de  $5 \tau$

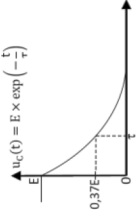
Équation différentielle :  $\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{1}{\tau} u_C(t) = \frac{E}{\tau}$



$u_C(t) = E(1 - \exp(-\frac{t}{\tau}))$

**La décharge du condensateur :** Au bout de  $5 \tau$

Équation différentielle :  $\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{1}{\tau} u_C(t) = 0$















$u_C(t) = E \times \exp(-\frac{t}{\tau})$

# *Flashcards à découper*





C1. TRANSFORMATIONS ACIDE-BASE

|                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 </p> <p>C'est quoi un acide selon Brønsted?</p>                                                      | <p>2 </p> <p>C'est quoi une base selon Brønsted?</p>                                                                                   | <p>3 </p> <p>C'est quoi un couple acide-base?</p>                                                                                                               |
| <p>4 </p> <p>C'est quoi une espèce amphotère?</p>                                                         | <p>5 </p> <p>C'est quoi une transformation acide-base?</p>                                                                             | <p>6 </p> <p>Quelle est la formule chimique de la base conjuguée de l'eau?</p>                                                                                  |
| <p>7 </p> <p>Quelle est la formule chimique de l'acide conjugué de l'eau?</p>                             | <p>8 </p> <p>Donner les deux couples acides bases auxquels appartient l'eau. Quel est le nom attribué à l'eau dans ces conditions?</p> | <p>9 </p> <p>Donner le nom de l'ion <math>\text{NH}_4^+</math>. Donner le nom et la formule de sa base conjuguée.</p>                                           |
| <p>10 </p> <p>Dans une solution, une amine se comporte comme un acide ou comme une base? Justifier.</p> | <p>11 </p> <p>Donner le nom et la formule de l'acide conjugué de la base ion nitrate <math>\text{NO}_3^-</math> (aq).</p>            | <p>12 </p> <p>Donner le nom et la formule de la base conjuguée de l'acide carbonique: <math>\text{CO}_2</math> (aq), <math>\text{H}_2\text{O}</math> (l).</p> |



C'est le couple  $AH/A^-$  formé d'un acide  $AH$  et d'une base  $A^-$  conjugués de demi-équation:  
 $AH = A^- + H^+$

C'est une espèce chimique capable de capter un ou plusieurs protons  $H^+$

C'est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs protons  $H^+$

L'ion hydroxyde  
 $HO^-(aq)$

C'est un transfert de proton  $H^+$  entre l'acide  $A_1H$  d'un premier couple  $A_1H/A_1^-$  et la base  $A_2^-$  d'un second couple  $A_2H/A_2^-$

C'est une espèce qui peut se comporter comme un acide ou une base

$NH_4^+$  est l'ion ammonium sa base conjuguée est l'ammoniac  $NH_3$













Le couple  $H_2O/HO^-$  où l'eau joue le rôle d'acide et le couple  $H_3O^+/H_2O$  où l'eau joue le rôle de base. L'eau pouvant jouer le rôle d'acide et de base est dite amphotère

L'ion hydronium  
 $H_3O^+(aq)$

Ion hydrogénocarbonate  
 $HCO_3^-(aq)$

L'acide nitrique  $HNO_3(l)$

Dans une solution, une amine se comporte comme une base car elle peut capter un proton

|                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 </p> <p>C'est quoi la spectroscopie?</p>                                                                                                                                      | <p>C2</p> <p>2 </p> <p>C'est quoi l'absorbance A d'une solution?</p>                                               | <p>C2</p> <p>3 </p> <p>C'est quoi la loi de Beer-Lambert?</p>                                                    |
| <p>4 </p> <p>C'est quoi un spectre UV-visible?</p>                                                                                                                                 | <p>C2</p> <p>5 </p> <p>C'est quoi un spectre infrarouge?</p>                                                       | <p>C2</p> <p>6 </p> <p>C'est quoi la conductance d'une solution?<br/>La conductivité d'une solution?</p>         |
| <p>7 </p> <p>C'est quoi la loi de Kohlrausch?</p>                                                                                                                                  | <p>C2</p> <p>8 </p> <p>C'est quoi un dosage par étalonnage spectrophotométrique, conductimétrique?</p>             | <p>C2</p> <p>9 </p> <p>C'est quoi le pH d'une solution?</p>                                                      |
| <p>10 </p> <p>Donner la formule permettant de calculer la valeur de la concentration en ions hydronium <math>[H_3O^+]</math> d'une solution à partir de la valeur de son pH.</p> | <p>C2</p> <p>11 </p> <p>À quelle condition sur la concentration molaire, la loi de Beer-Lambert est valable?</p> | <p>C2</p> <p>12 </p> <p>À quelle condition sur la concentration molaire, la loi de Kohlrausch est valable?</p> |



Elle établit une relation de proportionnalité entre l'absorbance A et la concentration molaire c d'une solution:

$$A = k \times c$$

C'est une grandeur sans unité qui mesure la capacité d'une solution à absorber la lumière qui la traverse. Elle est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre

C'est envoyer des ondes électromagnétiques sur une solution puis analyser la fréquence de la partie de ces ondes qui a été absorbée pour obtenir des informations sur le ou les solutés de cette solution



$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{U}$$

G: en Siemens S

$$\sigma = \frac{1}{S} \times G$$

l: en m

S: en m<sup>2</sup>

σ: en S.m<sup>-1</sup>

C'est la courbe représentant les variations de la transmittance T d'une solution en fonction du

nombre d'onde  $\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda}$  de

l'onde qui l'a traversée:  $T = f(\tilde{\nu})$

Il permet d'identifier les groupes caractéristiques présents dans l'espèce chimique dissoute dans la solution

C'est la courbe représentant les variations de l'absorbance A d'une solution en fonction de la longueur d'onde λ de la lumière qui l'a traversée:

$$A = f(\lambda)$$

Il permet d'identifier l'espèce chimique dissoute dans la solution



Il est défini à partir de la concentration d'ion hydronium H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> dans la solution par:

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c^\circ} \right)$$

c<sup>o</sup> : Concentration standard qui vaut 1 mol.L<sup>-1</sup>

Il permet de déterminer la concentration molaire d'une solution en exploitant:

La droite d'étalonnage

A = f(c) dans le cas

spectrophotométrique

La droite d'étalonnage σ = f(c)

dans le cas conductimétrique

$$\sigma = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times [X_i]$$

λ<sub>i</sub> : Conductivité molaire

ionique de l'ion i (en S.m<sup>2</sup>.mol<sup>-1</sup>)

[X<sub>i</sub>] : Concentration molaire de

l'ion i (en mol.m<sup>-3</sup>).













σ : Conductivité (en S.m<sup>-1</sup>)



$$[X_i] < 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$c < 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = c^\circ \times 10^{-\text{pH}}$$

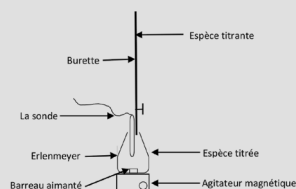
|                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 </p> <p>C'est quoi le titre massique <math>w</math> d'une solution?</p>                                                                                                        | <p>2 </p> <p>C'est quoi la masse volumique <math>\rho</math> d'une solution?</p> | <p>3 </p> <p>C'est quoi la densité <math>d</math> d'une solution?</p>                                                             |
| <p>4 </p> <p>Donner la formule de la masse <math>m_{\text{solute}}</math> du volume <math>V</math> d'une solution de densité <math>d</math> et de titre massique <math>w</math></p> | <p>5 </p> <p>C'est quoi un dosage par titrage?</p>                               | <p>6 </p> <p>Quel est le dispositif expérimental mis en jeu lors d'un titrage?</p>                                                |
| <p>7 </p> <p>À quoi correspond l'équivalence d'un titrage?</p>                                                                                                                      | <p>8 </p> <p>C'est quoi le volume équivalent <math>V_E</math> d'un titrage?</p>  | <p>9 </p> <p>Comment repère-t-on l'équivalence sur la courbe de titrage par suivi pH-métrique?</p>                                |
| <p>10 </p> <p>Comment repère-t-on l'équivalence sur la courbe de titrage par suivi conductimétrique?</p>                                                                          | <p>11 </p> <p>C'est quoi un indicateur coloré acido-basique?</p>               | <p>12 </p> <p>À quelle condition, un indicateur coloré est-il adapté pour repérer l'équivalence d'un titrage acido-basique?</p> |



$$d = \frac{\rho_{\text{solution}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

$$\rho \left( \text{kg} \cdot \text{L}^{-1} \right) = \frac{m(\text{kg})}{V(\text{L})}$$

$$W(\%) = \frac{m_{\text{soluté}}}{m_{\text{solution}}} \times 100$$



Il permet de déterminer la concentration d'une solution à l'aide d'une réaction chimique entre l'espèce chimique de la solution appelée espèce titrée et une autre espèce chimique appelée espèce titrante

$$m_{\text{soluté}} = \frac{\rho_{\text{eau}} \times W \times d \times V}{100}$$



À l'aide de la méthode des tangentes ou de la dérivée de la fonction  $\text{pH} = f(V)$

C'est le volume de l'espèce titrante rajouté pour obtenir l'équivalence

C'est l'état du système chimique où les espèces titrante et titrée ont été mélangées dans les proportions stoechiométriques et donc totalement consommées



Si sa zone de virage englobe le pH à l'équivalence

C'est une espèce dont la couleur de sa solution change avec la valeur du pH

À l'aide de la méthode des deux tangentes de la fonction  $\sigma = f(V)$  ou  $G = f(V)$

C4. SUIVI TEMPOREL D'UN SYSTÈME CHIMIQUE

|                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>C'est quoi une transformation lente? C'est quoi une transformation rapide?</p>                                            | <p><b>2</b> </p> <p>C'est quoi un facteur cinétique? Donner deux exemples.</p>                                         | <p><b>3</b> </p> <p>C'est quoi un catalyseur?</p>                                                                |
| <p><b>4</b> </p> <p>C'est quoi une catalyse homogène?</p>                                                                                     | <p><b>5</b> </p> <p>C'est quoi une catalyse hétérogène?</p>                                                            | <p><b>6</b> </p> <p>C'est quoi une catalyse enzymatique?</p>                                                     |
| <p><b>7</b> </p> <p>C'est quoi un catalyseur sélectif? Un catalyseur spécifique?</p>                                                          | <p><b>8</b> </p> <p>Donner l'expression de la vitesse d'une réaction à partir d'un réactif? À partir d'un produit?</p> | <p><b>9</b> </p> <p>C'est quoi le temps de demi-réaction <math>t_{1/2}</math> d'une transformation chimique?</p> |
| <p><b>10</b> </p> <p>Que signifie une réaction d'ordre 1 par rapport au réactif A? Comment le prouver pour une transformation chimique?</p> | <p><b>11</b> </p> <p>C'est quoi un mécanisme réactionnel? un intermédiaire réactionnel?</p>                          | <p><b>12</b> </p> <p>C'est quoi un site donneur de doublet? un site accepteur de doublet?</p>                  |



C'est une espèce chimique qui accélère et oriente une transformation chimique sans modifier l'état final du système chimique

C'est une grandeur dont la valeur agit sur la vitesse donc sur la durée d'une transformation chimique. Exemples: la température et la concentration initiale des réactifs

Une transformation lente peut être suivie à l'œil nu ou à l'aide d'un appareil de mesure. Une transformation rapide a une durée plus petite que  $1/10^e$  de seconde



Une catalyse est enzymatique si le catalyseur est une enzyme c'est-à-dire une protéine capable d'accélérer les réactions biochimiques

Au cours d'une catalyse hétérogène, le catalyseur et les réactifs forment deux phases distinctes

Au cours d'une catalyse homogène, le catalyseur et les réactifs sont dans une même phase



C'est la durée au bout de laquelle l'avancement de la transformation vaut la moitié de l'avancement final  $x_f$

$$v = -\frac{d[\text{réactif}]}{dt} = \frac{d[\text{produit}]}{dt}$$

Lorsqu'au cours d'une transformation entre deux réactifs, plusieurs réactions sont possibles, un catalyseur sélectif oriente la transformation vers une possibilité  
Un catalyseur spécifique est un catalyseur enzymatique qui n'agit que sur un réactif donné et pour une transformation particulière



- C'est un site de forte densité électronique
- C'est un site de faible densité électronique

- Ensemble des étapes élémentaires (actes élémentaires) par lesquelles passe une réaction
- Espèce chimique formée au cours d'une étape élémentaire puis consommée au cours d'une étape ultérieure

Sa vitesse  $v$  est proportionnelle à la concentration en réactif A:













$$v = -\frac{d[A](t)}{dt} = k \times [A](t)$$

$$[A](t) = [A](0) \times e^{-kt}$$

$k$ : constante de vitesse.

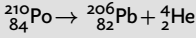
La courbe  $\ln\left(-\frac{[A](t)}{[A](0)}\right) = f(t)$

est une droite linéaire

|                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>C'est quoi les isotopes d'un élément chimique? À quoi sert le diagramme (N,Z)?</p>                                             | <p><b>2</b> </p> <p>C'est quoi un noyau radioactif?</p>                                                               | <p><b>3</b> </p> <p>C'est quoi une désintégration <math>\alpha</math>?</p>                               |
| <p><b>4</b> </p> <p>C'est quoi une désintégration <math>\beta^-</math>?</p>                                                                        | <p><b>5</b> </p> <p>C'est quoi une désintégration <math>\beta^+</math>?</p>                                           | <p><b>6</b> </p> <p>C'est quoi une radioactivité gamma <math>\gamma</math>?</p>                          |
| <p><b>7</b> </p> <p>C'est quoi la constante radioactive <math>\lambda</math> d'un noyau radioactif? Le temps de demi-vie <math>t_{1/2}</math>?</p> | <p><b>8</b> </p> <p>C'est quoi l'activité <math>A(t)</math> d'un échantillon radioactif à la date <math>t</math>?</p> | <p><b>9</b> </p> <p>C'est quoi la loi de décroissance radioactive?</p>                                   |
| <p><b>10</b> </p> <p>Citer deux applications de la radioactivité.</p>                                                                            | <p><b>11</b> </p> <p>Quelle est l'équation différentielle que doit vérifier <math>N(t)</math>?</p>                  | <p><b>12</b> </p> <p>À l'aide de quel appareil mesure-t-on l'activité d'un échantillon radioactif?</p> |



C'est une désintégration d'un noyau radioactif possédant trop de nucléons qui libère un noyau d'atome d'Hélium He:

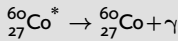


C'est un noyau instable car il possède un excès de nucléons ou une proportion neutrons/protons déséquilibrée. Il se désintègre spontanément en d'autres noyaux en émettant des rayonnements sous forme de particules

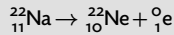
- Ce sont les noyaux possédant le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent
- Le diagramme (N,Z) avec N le nombre de neutrons d'un noyau et Z son nombre de protons, permet de repérer les noyaux instables



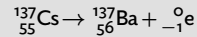
C'est une onde électromagnétique appelée rayonnement  $\gamma$  qui est émise par un noyau fils à l'état excité (souvent noté par une étoile), résultant d'une désintégration pour se désexciter



C'est une désintégration d'un noyau radioactif possédant un excès de protons par rapport aux neutrons qui libère un positon:



C'est une désintégration d'un noyau radioactif possédant un excès de neutrons par rapport aux protons qui libère un électron:



$$N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$$

$N_0$  est le nombre de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon à la date  $t = 0$

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$$

$$= \lambda \times N(t)$$

Unité: becquerel Bq  
1 Bq = 1 désintégration/s

- $\lambda$  est une caractéristique d'un noyau radioactif. Elle s'exprime en  $s^{-1}$
- $t_{1/2}$  est la durée nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux radioactifs présents dans un échantillon à  $t = 0$ :

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$















Le compteur Geiger-Müller

$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda N(t) = 0$$

- Datation isotopique: Dater l'âge d'un échantillon à la date  $t$  si l'on connaît  $N_0(t)$  et  $N(t)$  de noyaux radioactifs
- La radiothérapie et l'imagerie médicale qui utilisent des éléments radioactifs artificiels

## C6. ÉVOLUTION SPONTANÉE D'UN SYSTÈME CHIMIQUE

|                                                                                               |    |                                                                                               |    |                                                                                                        |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1</b>     | C6 | <b>2</b>     | C6 | <b>3</b>              | C6 |
| Quelle différence y a-t-il entre une transformation chimique totale et non totale?            |    | C'est quoi le taux d'avancement final $\tau$ d'une transformation chimique?                   |    | Dans quelles conditions un système chimique $aA + bB = cC + dD$ est dit en état d'équilibre dynamique? |    |
| <b>4</b>     | C6 | <b>5</b>     | C6 | <b>6</b>              | C6 |
| C'est quoi le quotient de réaction d'une transformation chimique?                             |    | C'est quoi la constante d'équilibre d'une transformation chimique et de quoi dépend-t-elle?   |    | Quels sont les critères d'évolution d'un système chimique?                                             |    |
| <b>7</b>     | C6 | <b>8</b>     | C6 | <b>9</b>              | C6 |
| C'est quoi une réaction d'oxydo-réduction?                                                    |    | C'est quoi une demi-pile? Donner un exemple.                                                  |    | Préciser la constitution et le fonctionnement d'une pile à travers un exemple.                         |    |
| <b>10</b>  | C6 | <b>11</b>  | C6 | <b>12</b>           | C6 |
| C'est quoi la capacité $Q$ d'une pile?                                                        |    | C'est quoi la tension à vide d'une pile?                                                      |    | Quel est le rôle du pont salin dans une pile?                                                          |    |



Lorsque la réaction entre A et B compensent exactement la réaction entre C et D

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}}$$

$x_f$  et  $x_{\max}$  sont les avancements final et maximal

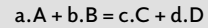
- Transformation totale: un des réactifs est totalement consommé à l'état final
- Transformation non totale: il y a présence à la fois des réactifs et des produits à l'état final



- Si  $Q_{ri} < K(T)$  alors évolution dans le sens direct (de gauche à droite);
- Si  $Q_{ri} > K(T)$  alors évolution dans le sens inverse (de droite à gauche);
- Si  $Q_{ri} = K(T)$  alors pas d'évolution, le système est en équilibre

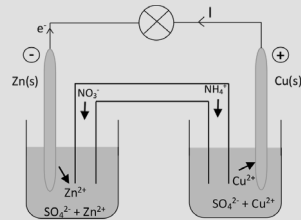
$$K(T) = \frac{\left(\frac{[C]_f}{c^o}\right)^c \cdot \left(\frac{[D]_f}{c^o}\right)^d}{\left(\frac{[A]_f}{c^o}\right)^a \cdot \left(\frac{[B]_f}{c^o}\right)^b}$$

$K(T)$  ne dépend que de la température  
où  $c^o = 1 \text{ mol.L}^{-1}$



$$Q_r = \frac{\left(\frac{[C]}{c^o}\right)^c \cdot \left(\frac{[D]}{c^o}\right)^d}{\left(\frac{[A]}{c^o}\right)^a \cdot \left(\frac{[B]}{c^o}\right)^b}$$

où  $c^o = 1 \text{ mol.L}^{-1}$



C'est un métal plongeant dans une solution d'ion métallique correspondant.  
Exemple: Plaque de zinc qui plonge dans une solution de sulfate de  $Zn^{2+}$

C'est une réaction d'échange d'un ou plusieurs électrons entre un réducteur et un oxydant













Électrode de Zn: Oxydation  
Électrode de Cu: Réduction



Il permet le passage du courant électrique entre les deux demi-piles.

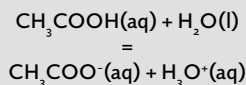
C'est la tension mesurée aux bornes de la pile lorsqu'aucun courant ne circule. Elle est de l'ordre de 1,1 V pour la pile Cu-Zn

C'est la quantité maximale de charge électrique qu'elle peut fournir au cours de son fonctionnement

|                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>C'est quoi la réaction d'autoprotolyse de l'eau?</p>                                                                                             | <p><b>2</b> </p> <p>Quelle est l'expression du produit ionique <math>K_e</math> de l'eau? De <math>pK_e</math>?</p>                                                                | <p><b>3</b> </p> <p>C'est quoi un acide faible? Donner un exemple.</p>                                                                   |
| <p><b>4</b> </p> <p>C'est quoi une base faible? Donner un exemple.</p>                                                                                               | <p><b>5</b> </p> <p>C'est quoi la constante d'acidité <math>K_A</math> du couple acide base <math>AH/A^-</math>? Le <math>pK_A</math>?</p>                                         | <p><b>6</b> </p> <p>C'est quoi un acide fort? Une base forte?</p>                                                                        |
| <p><b>7</b> </p> <p>Quelle est l'expression du pH d'une solution d'acide fort de concentration <math>c</math>? D'une base forte de concentration <math>c</math>?</p> | <p><b>8</b> </p> <p>Quelle est l'expression qui relie le pH, le <math>pK_A</math> et les concentrations <math>[AH]</math> et <math>[A^-]</math> du couple <math>AH/A^-</math>?</p> | <p><b>9</b> </p> <p>C'est quoi le diagramme de prédominance du couple <math>AH/A^-</math> qui est caractérisé par <math>pK_A</math>?</p> |
| <p><b>10</b> </p> <p>C'est quoi le diagramme de distribution?</p>                                                                                                  | <p><b>11</b> </p> <p>C'est quoi une solution tampon?</p>                                                                                                                         | <p><b>12</b> </p> <p>C'est quoi un acide aminé?</p>                                                                                    |



Un acide faible AH ne réagit pas totalement avec l'eau: sa transformation conduit à un équilibre

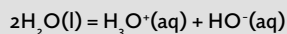


$$K_e = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}} \times [\text{HO}^-]_{\text{éq}}}{(c^0)^2}$$

$$\text{p}K_e = -\log(K_e) = 14 \text{ à } 25 \text{ }^\circ\text{C}$$



C'est une réaction entre deux molécules d'eau:



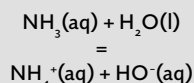
- Un acide fort réagit totalement avec l'eau
- Une base forte réagit totalement avec l'eau

$$K_A = \frac{[\text{A}^-]_{\text{f}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{f}}}{[\text{AH}]_{\text{f}} \times c^0}$$

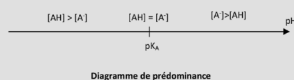
$$\text{p}K_A = -\log(K_A)$$

Plus un acide est faible, plus la valeur de son  $\text{p}K_A$  est élevée

Une base faible  $\text{A}^-$  ne réagit pas totalement avec l'eau: sa transformation conduit à un équilibre



Le diagramme de prédominance indique les domaines de prédominance de l'acide et de la base en fonction du pH de la solution



$$\text{pH} = \text{p}K_A + \log \left( \frac{[\text{A}^-]_{\text{f}}}{[\text{AH}]_{\text{f}}} \right)$$

Acide fort

$$\text{pH} = -\log \left( \frac{c}{c^0} \right)$$

Base forte

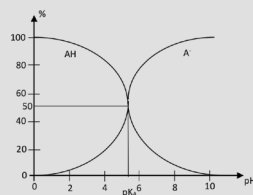
$$\text{pH} = \text{p}K_e + \log \left( \frac{c}{c^0} \right)$$







C'est une molécule qui possède à la fois une fonction acide et une fonction amine

C'est une solution dont le pH varie peu par addition d'une petite quantité d'acide, de base ou d'eau

Le diagramme de distribution indique les pourcentages de l'acide et de la base en fonction du pH de la solution



C8. ÉVOLUTION FORCÉE D'UN SYSTÈME CHIMIQUE

|                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>C'est quoi une transformation chimique spontanée?</p>                                          | <p>C8</p> <p><b>2</b> </p> <p>C'est quoi une transformation chimique forcée?</p>                            | <p>C8</p> <p><b>3</b> </p> <p>C8</p> <p>Comment peut-on forcer un système chimique à évoluer dans le sens opposé à son sens d'évolution spontanée?</p> |
| <p><b>4</b> </p> <p>C'est quoi un électrolyseur?</p>                                                               | <p>C8</p> <p><b>5</b> </p> <p>C'est quoi l'anode d'un électrolyseur?</p>                                    | <p>C8</p> <p><b>6</b> </p> <p>C8</p> <p>C'est quoi la cathode d'un électrolyseur?</p>                                                                  |
| <p><b>7</b> </p> <p>Quelle est la quantité de charges électriques mise en jeu lors d'une électrolyse?</p>          | <p>C8</p> <p><b>8</b> </p> <p>C'est quoi une pile d'un point de vue énergétique?</p>                        | <p>C8</p> <p><b>9</b> </p> <p>C8</p> <p>C'est quoi un accumulateur d'un point de vue énergétique?</p>                                                  |
| <p><b>10</b> </p> <p>Pourquoi la photosynthèse des organismes chlorophylliens est une transformation forcée?</p> | <p>C8</p> <p><b>11</b> </p> <p>Comment fonctionne l'accumulateur au plomb qui équipe les automobiles?</p> | <p>C8</p> <p><b>12</b> </p> <p>C8</p> <p>Quel est le principe de la conversion et du stockage de l'énergie au sein d'une cellule?</p>                |



À l'aide d'un électrolyseur qui utilise un générateur de tension continue

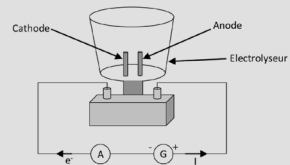
C'est une transformation dont le sens d'évolution est opposé à celui de la transformation spontanée du système chimique

C'est une transformation dont le quotient de réaction initial du système chimique est inférieur à sa constante d'équilibre K



La cathode est la borne de l'électrolyseur où se produit la réduction. Elle est reliée à la borne négative du générateur

L'anode est la borne de l'électrolyseur où a lieu l'oxydation. Elle est reliée à la borne positive du générateur



C'est une cuve équipée de deux électrodes qui peuvent être reliées à un générateur de tension continue où l'on peut effectuer une réaction d'oxydoréduction forcée



C'est une pile qui peut être rechargée à l'aide d'une électrolyse

C'est un dispositif chimique qui transforme l'énergie chimique en énergie électrique à l'aide d'une réaction d'oxydoréduction spontanée

$$q = I \cdot \Delta t = n(e^-) \cdot N_A \cdot e$$

I : Intensité du courant délivré par le générateur

$\Delta t$  : Durée de l'électrolyse

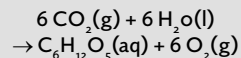
$n(e^-)$  : Quantité d'électrons échangés durant l'électrolyse















Dans le cadre du métabolisme d'une cellule, l'ATP (adénosine triphosphate) s'hydrolyse et se transforme en ADP (adénosine diphosphate) en libérant de l'énergie. L'ADP se retransforme en ATP en consommant l'énergie apportée par la respiration cellulaire.

À l'arrêt, l'accumulateur se comporte comme une pile et se décharge. Lorsque la voiture roule, l'alternateur en se comportant comme l'électrolyseur, fournit de l'énergie électrique à l'accumulateur qui se recharge.

La photosynthèse qui se fait que le jour, est une transformation chimique d'équation:



Elle n'est pas spontanée puisqu'elle nécessite de l'énergie lumineuse apportée par une lumière

|                                                                                                                                                                                  |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <p><b>1</b> </p> <p>C'est quoi la formule topologique d'une molécule?</p>                       | C9 | <p><b>2</b> </p> <p>Donner pour chacune des familles organiques suivantes, la formule générale, le nom du groupe caractéristique et un exemple:<br/>Ester, amine, amide et dérivé halogéné.</p> | C9 | <p><b>3</b> </p> <p>C'est quoi l'isomérie de constitution des molécules?</p>                                                                                                            | C9 |
| <p><b>4</b> </p> <p>Par quels moyens peut-on augmenter la vitesse d'une synthèse organique?</p> | C9 | <p><b>5</b> </p> <p>Quelles sont les différentes étapes d'une synthèse organique?</p>                                                                                                           | C9 | <p><b>6</b> </p> <p>Rappeler la définition du rendement d'une synthèse organique et comment l'améliorer?</p>                                                                            | C9 |
| <p><b>7</b> </p> <p>C'est quoi une réaction d'addition, de substitution et d'élimination?</p>   | C9 | <p><b>8</b> </p> <p>C'est quoi un réactif chimiosélectif? Donner un exemple.</p>                                                                                                                | C9 | <p><b>9</b> </p> <p>C'est quoi une molécule polyfonctionnelle? Que signifie protéger et déprotéger une fonction d'une molécule polyfonctionnelle au cours d'une synthèse organique?</p> | C9 |
| <p><b>10</b> </p> <p>C'est quoi une synthèse écoresponsable?</p>                              | C9 | <p><b>11</b> </p> <p>C'est quoi une insaturation dans une chaîne d'une molécule?</p>                                                                                                          | C9 | <p><b>12</b> </p> <p>C'est quoi une polymérisation?</p>                                                                                                                               | C9 |



Des isomères de constitution sont des molécules de même formule brute, mais d'enchaînement d'atomes différent

| Formule générale | Groupe caractéristique | Exemple                                                         |
|------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|                  | Ester                  | <br>Méthanoate de méthyle                                       |
|                  | Amine                  | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -NH <sub>2</sub><br>Ethanamine |
|                  | Amide                  | <br>Méthanamide                                                 |
|                  | Halogénoalcane         | CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -Cl<br>Chlorure d'éthyle       |

C'est une représentation de molécules organiques où seuls les hétéroatomes (O, N, Cl, ...) sont représentés et les liaisons covalentes sont représentées par des traits

$$R = \frac{n_{\text{obtenue}}}{n_{\text{théorique}}} \times 100$$

Le rendement peut être amélioré par:

- Introduction d'un excès d'un réactif
- Élimination d'un produit

- La transformation chimique
- L'extraction du produit de synthèse de son milieu réactionnel
- L'identification du produit de synthèse
- La purification du produit de synthèse

- Température du milieu réactionnel
- Concentration initiale des réactifs
- Nature du solvant
- Catalyseur

- Une molécule polyfonctionnelle porte plusieurs groupes caractéristiques
- Protéger une fonction c'est bloquer temporairement sa réactivité
- Déprotéger une fonction c'est la rendre réactive à nouveau

C'est un réactif qui ne peut réagir qu'avec un seul groupe caractéristique  
Exemple: NaBH<sub>4</sub> réduit les cétones en alcool mais ne réduit pas les esters













- Addition: Deux molécules s'associent pour donner une nouvelle molécule
- Substitution: Un atome ou un groupe d'atomes d'une molécule est remplacé par un nouvel atome ou groupe d'atomes.
- Élimination: Une molécule se transforme en une autre molécule avec formation d'une double liaison

C'est une synthèse chimique qui forme un polymère

C'est une liaison double ou triple

C'est une synthèse qui utilise des procédés chimiques permettant de réduire et d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses

C10. DESCRIPTION D'UN MOUVEMENT

|                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>Quelles sont les grandeurs que l'on utilise pour décrire le mouvement d'un objet modélisé par un point?</p>                                                      | <p><b>2</b> </p> <p>Quelle est l'expression du vecteur position <math>\overline{OM}(t)</math> dans un repère (Oxyz)?</p>                       | <p><b>3</b> </p> <p>Comment représente-t-on en physique la dérivée de la fonction <math>x(t)</math>?</p>                                           |
| <p><b>4</b> </p> <p>Quelles sont les expressions des vecteurs vitesse <math>\vec{v}(t)</math> et accélération <math>\vec{a}(t)</math> dans un repère (Oxyz)?</p>                     | <p><b>5</b> </p> <p>Par quoi caractérise-t-on un mouvement?</p>                                                                                | <p><b>6</b> </p> <p>Donner les caractéristiques des mouvements: rectiligne et uniforme, rectiligne et non uniforme, circulaire et uniforme.</p>    |
| <p><b>7</b> </p> <p>Quel repère utilise-t-on pour décrire un mouvement circulaire? Donner ses caractéristiques.</p>                                                                  | <p><b>8</b> </p> <p>Quelle est l'expression du vecteur accélération <math>\vec{a}(t)</math> dans un repère de Frenet?</p>                      | <p><b>9</b> </p> <p>Quelle est l'expression du vecteur accélération <math>\vec{a}(t)</math> dans le cas d'un mouvement circulaire et uniforme?</p> |
| <p><b>10</b> </p> <p>Au cours d'un mouvement circulaire et uniforme, les vecteurs vitesse <math>\vec{v}(t)</math> et accélération <math>\vec{a}(t)</math> sont-ils parallèles?</p> | <p><b>11</b> </p> <p>Quelle est la nature du mouvement dont la trajectoire est une droite et <math>\vec{a} \cdot \vec{v} &gt; 0</math> ?</p> | <p><b>12</b> </p> <p>Quelle est la nature du mouvement dont la trajectoire est une droite et <math>\vec{a} \cdot \vec{v} &lt; 0</math> ?</p>     |



$$\frac{dx(t)}{dt}$$

$$\overline{OM} = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix}$$

Les vecteurs, position, vitesse et accélération

- MRU: Trajectoire est une droite,  $\vec{v} = \text{Cste}$  et  $\vec{a} = \vec{0}$
- MRNU: Trajectoire est une droite,  $\vec{a}$  non nulle
- MCU: Trajectoire est un cercle,  $v = \text{cste}$ ,  $\vec{a}$  est portée par  $\vec{n}$  et de valeur  $v^2/R$

Par sa trajectoire et la nature de sa vitesse

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} dx(t) \\ dy(t) \\ dz(t) \end{pmatrix} \text{ et } \vec{a} = \begin{pmatrix} dv_x(t) \\ dv_y(t) \\ dv_z(t) \end{pmatrix}$$

$$\vec{a}(t) = \vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \vec{n}$$

$$\vec{a}(t) = \frac{dv(t)}{dt} \vec{t} + \frac{v^2}{R} \vec{n}$$

- $\vec{a}_t = \frac{dv(t)}{dt} \vec{t}$  : L'accélération tangentielle
- $\vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \vec{n}$  : L'accélération normale













Le repère de Frenet  $(\vec{n}, \vec{t})$  :

- Le vecteur unitaire  $\vec{t}$  est tangent à la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement
- Le vecteur unitaire  $\vec{n}$  est perpendiculaire à  $\vec{t}$  et orienté vers l'intérieur de la trajectoire

Mouvement rectiligne uniformément ralenti.

Mouvement rectiligne uniformément accéléré.

$\vec{v} = v \cdot \vec{t}$  et  $\vec{a} = \frac{v^2}{R} \cdot \vec{n}$ . Les deux vecteurs sont perpendiculaires.

|                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>Quelles sont les étapes à suivre pour réaliser l'étude mécanique d'un système?</p>  | <p><b>2</b> </p> <p>C'est quoi la 1<sup>re</sup> loi de Newton?</p>                                                   | <p><b>3</b> </p> <p>C'est quoi la 3<sup>e</sup> loi de Newton?</p>                       |
| <p><b>4</b> </p> <p>C'est quoi le centre de masse d'un système?</p>                                     | <p><b>5</b> </p> <p>Pourquoi pour étudier un système, on choisit de suivre le mouvement de son centre de masse G?</p> | <p><b>6</b> </p> <p>C'est quoi un référentiel galiléen?</p>                              |
| <p><b>7</b> </p> <p>Donner trois exemples de référentiels galiléens.</p>                                | <p><b>8</b> </p> <p>Donner un exemple d'un référentiel non galiléen.</p>                                              | <p><b>9</b> </p> <p>C'est quoi la 2<sup>e</sup> loi de Newton?</p>                       |
| <p><b>10</b> </p> <p>La 2<sup>e</sup> loi de Newton établit un lien entre deux concepts lesquels?</p> | <p><b>11</b> </p> <p>Quelles sont les forces de contact entre deux solides?</p>                                     | <p><b>12</b> </p> <p>Quelles sont les forces exercées par un fluide sur un solide?</p> |



Deux systèmes A et B en interaction exercent l'un sur l'autre des forces opposées. Ces deux forces ont même valeur et direction mais des sens opposés

Si la somme des forces appliquées à un système est nulle alors ce système est soit immobile (au repos) soit animé d'un mouvement rectiligne et uniforme dans un référentiel galiléen

- Définir le système étudié et le modéliser par un point (son centre de masse)
- Préciser le référentiel d'étude qui doit être galiléen (où les lois de Newton sont valables)
- Faire le bilan des forces



C'est un référentiel où les lois de Newton sont valables

Car le point G est le point du système qui a la trajectoire la plus simple

Le centre de masse G d'un système correspond à la position moyenne de la masse de ce système



$$\sum \vec{F}_{\text{Ext}} = m \cdot \vec{a}_G(t)$$

Le référentiel lié à une voiture roulant à vitesse variable (non constante)

- Le référentiel terrestre (origine lié à un objet immobile sur Terre et axes pointant vers 3 directions de l'espace)
- Le référentiel géocentrique (centre la Terre et axes pointant vers 3 étoiles lointaines et fixes)
- Le référentiel héliocentrique (centre du Soleil, axes pointant vers 3 étoiles lointaines et fixes)



- La poussée d'Archimède  $\vec{F}_A$  qui est la résultante des forces pressantes exercées par le fluide sur le solide
- La force de frottement fluide  $\vec{f}$  opposée au mouvement

- La réaction normale  $\vec{R}_N$  perpendiculaire à la surface de contact en les deux solides
- La réaction tangentielle  $\vec{R}_T$  parallèle à la surface de contact qui modélise les frottements entre les solides

Les forces (les causes) et les mouvements (conséquences)

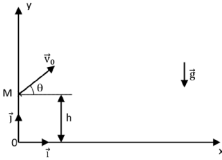
C12. MOUVEMENT DANS UN CHAMP UNIFORME

1



C12

Quelles sont dans le repère (Oxy) ci-dessous, les coordonnées du vecteur champ de pesanteur uniforme  $\vec{g}$  ?



2



C12

Quelles sont les conditions initiales sur la position et la vitesse du projectile ?

3



C12

Quelles sont les coordonnées  $a_x(t)$  et  $a_y(t)$  du vecteur accélération  $\vec{a}(t)$  du projectile lorsque les frottements sont négligés ?

4



C12

En calculant les primitives des coordonnées du vecteur accélération et en utilisant les conditions initiales sur la vitesse déterminer les coordonnées  $v_x(t)$  et  $v_y(t)$  du vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$  du projectile.

5



C12

En calculant les primitives des coordonnées du vecteur vitesse et en utilisant les conditions initiales sur la position déterminer les coordonnées  $x(t)$  et  $y(t)$  du vecteur position  $\vec{OM}(t)$  du projectile.

6



C12

En éliminant la variable  $t$  dans les équations horaires  $x(t)$  et  $y(t)$ , déterminer l'équation de la trajectoire  $y = f(x)$  et préciser sa nature.

7



C12

Entre les armatures d'un condensateur plan il existe un champ uniforme électrique  $E$  qui vis-à-vis d'une charge  $q$  joue le même rôle que celui joué par le champ uniforme  $g$  vis-à-vis d'une masse. Quelle est l'expression de  $E$  en fonction de  $U_{AB}$  et  $d$  ? Quelles sont les expressions des trois vecteurs:  $\vec{a}(t)$ ,  $\vec{v}(t)$  et  $\vec{OM}(t)$  ?

8



C12

Quelle est l'équation de la trajectoire de la charge  $q$  ?

9



C12

Quelle est l'expression de la variation de l'énergie cinétique d'une charge  $q$  au sein d'un condensateur plan ?

10



C12

Dans quelles conditions, l'énergie mécanique d'un projectile reste constante ? Tracer dans ces conditions les trois courbes  $E_c(t)$ ,  $E_{pp}(t)$  et  $E_m(t)$ .

11



C12

C'est quoi la flèche du mouvement d'un projectile ?

12



C12

C'est quoi la portée du mouvement d'un projectile ?



$$\begin{cases} a_x(t) = 0 \\ a_y(t) = -g \end{cases}$$

Et

$$\begin{cases} x(0) = x_0 \\ y(0) = y_0 \end{cases}$$

$$\vec{g} = -g \cdot \vec{j}$$

$$\begin{cases} g_x = 0 \\ g_y = -g \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_{0x} = v_0 \cdot \cos(\alpha) \\ v_{0y} = v_0 \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

$$y(x)$$

$$= -\frac{1}{2} \cdot g \cdot \frac{(x-x_0)^2}{v_0^2 \cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha) \cdot t + y_0$$

$$\text{Avec } \tan(\alpha) = \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)}$$

Il s'agit d'une parabole

$$x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t + x_0$$

$$y(t) =$$

$$-\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t + y_0$$

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \\ v_y(t) = -g \cdot t + v_0 \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

$$\Delta E_C = q \cdot U_{AB}$$

$$y(x)$$

$$= -\frac{1}{2} \cdot \frac{qE}{m} \cdot \frac{(x-x_0)^2}{v_0^2 \cos^2(\alpha)}$$

$$+ \tan(\alpha) \cdot t + y_0$$

$$E = \frac{U_{AB}}{d}$$

$$\begin{cases} a_x(t) = 0 \\ a_y(t) = -\frac{qE}{m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \\ v_y(t) = -\frac{qE}{m} \cdot t + v_0 \cdot \sin(\alpha) \end{cases}$$

$$x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t + x_0$$

$$y(t) = -\frac{qE}{2m} \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t + y_0$$

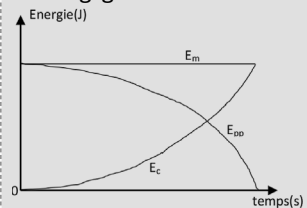
C'est la distance  $p$  atteinte par le projectile lorsqu'il touche le sol: c'est la valeur de  $x(t)$  à l'instant  $t_p$  où  $y(t) = 0$ :

$$p = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\alpha)}{g} + x_0$$













C'est la hauteur maximale  $H_{\max}$  atteinte par le projectile: c'est la valeur de  $y(t)$  à l'instant  $t_f$  où  $v_y(t) = 0$ :

$$H_{\max} = \frac{1}{2} \times \frac{v_0^2 \cdot \sin^2(\alpha)}{g} + y_0$$

Dans le cas où les frottements sont négligés.



C13. MOUVEMENTS DES SATELLITES ET DES PLANÈTES

|                                                                                                                                                   |     |                                                                                                                                       |     |                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>1</b>                                                         | C13 | <b>2</b>                                             | C13 | <b>3</b>                                                             | C13 |
| C'est quoi l'orbite d'une planète ou d'un satellite?                                                                                              |     | C'est quoi la période de révolution d'une planète ou d'un satellite?                                                                  |     | C'est quoi la première loi de Kepler?                                                                                                                 |     |
| <b>4</b>                                                         | C13 | <b>5</b>                                             | C13 | <b>6</b>                                                             | C13 |
| C'est quoi la 2 <sup>e</sup> loi de Kepler?                                                                                                       |     | C'est quoi la 3 <sup>e</sup> loi de Kepler?                                                                                           |     | Quelle l'expression de l'accélération du mouvement elliptique d'une planète ou d'un satellite autour d'un centre attracteur?                          |     |
| <b>7</b>                                                         | C13 | <b>8</b>                                             | C13 | <b>9</b>                                                             | C13 |
| Quelles sont les expressions de l'accélération du mouvement circulaire et uniforme d'une planète ou d'un satellite autour d'un centre attracteur? |     | Quelle est l'expression de la vitesse d'une planète ou d'un satellite en mouvement circulaire uniforme autour d'un centre attracteur? |     | Quelle est l'expression de la période T de révolution d'une planète ou d'un satellite en mouvement circulaire uniforme autour d'un centre attracteur? |     |
| <b>10</b>                                                      | C13 | <b>11</b>                                          | C13 | <b>12</b>                                                          | C13 |
| C'est quoi un satellite géostationnaire?                                                                                                          |     | C'est quoi la périhélie?                                                                                                              |     | C'est quoi l'aphélie?                                                                                                                                 |     |



Dans le référentiel héliocentrique l'orbite d'une planète est une ellipse et le centre du Soleil occupe un des deux foyers

C'est la durée  $T$  nécessaire pour parcourir l'ensemble de son orbite

C'est la trajectoire de son centre de masse  $G$  dans le référentiel lié au centre de l'astre attracteur



$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt} + \frac{v^2}{a} \vec{n}$$

La période de révolution  $T$  et le demi-grand axe  $a$  sont reliés par la formule:

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{constante}$$

Le segment reliant la planète au Soleil balaye des aires égales pendant des durées égales



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$\vec{a}(t) = G \frac{M}{r^2} \vec{n}$$













$$\vec{a}(t) = \frac{v^2}{r} \vec{n}$$



C'est le point de l'orbite d'une planète le plus loin du Soleil

C'est le point de l'orbite d'une planète le plus proche du Soleil

C'est un satellite qui est toujours positionné au dessus du même point de la surface de la Terre. Son orbite est placée sur le plan équatorial. Il tourne à la même vitesse que celle de la Terre autour du même axe de rotation

|                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>C14</p> <p>C'est quoi la poussée d'Archimède qui s'exerce sur un corps immergé dans un fluide?</p>                  | <p><b>2</b> </p> <p>C14</p> <p>Quelle est l'origine de la poussée d'Archimède?</p>                              | <p><b>3</b> </p> <p>C14</p> <p>C'est quoi une ligne de courant?</p>                          |
| <p><b>4</b> </p> <p>C14</p> <p>C'est quoi un régime permanent d'écoulement d'un fluide?</p>                                             | <p><b>5</b> </p> <p>C14</p> <p>C'est quoi un fluide incompressible?</p>                                         | <p><b>6</b> </p> <p>C14</p> <p>C'est quoi le débit volumique <math>Q</math> d'un fluide?</p> |
| <p><b>7</b> </p> <p>C14</p> <p>Donner la relation entre le débit volumique <math>Q</math> et la vitesse d'un fluide <math>v</math>?</p> | <p><b>8</b> </p> <p>C14</p> <p>C'est quoi la conservation du débit volumique d'un fluide incompressible?</p>    | <p><b>9</b> </p> <p>C14</p> <p>C'est quoi la relation de Bernoulli?</p>                      |
| <p><b>10</b> </p> <p>C14</p> <p>C'est quoi l'effet Venturi?</p>                                                                       | <p><b>11</b> </p> <p>C14</p> <p>Comment la poussée d'Archimède est exploitée dans la construction navale?</p> | <p><b>12</b> </p> <p>C14</p> <p>C'est quoi l'effet Magnus?</p>                             |





C'est la trajectoire des particules du fluide en mouvement. Les vitesses du fluide sont tangentes aux lignes de courant

C'est la résultante des forces pressantes exercées par le fluide sur la surface du corps immergé

C'est une force verticale, dirigée vers le haut de valeur égale au poids du volume du fluide occupé par le corps

$$\vec{\pi} = -\rho_{\text{fluide}} \times V_{\text{immergé}} \times \vec{g}$$



C'est le volume  $V$  de fluide qui traverse une section  $S$  d'un tuyau par unité de temps  $\Delta t$ :

$$Q (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) = \frac{V (\text{m}^3)}{\Delta t (\text{s})}$$

C'est un fluide dont la masse volumique ne dépend pas de sa pression lorsque sa température reste constante

C'est un écoulement où les lignes de courant ne changent pas au cours du temps. Les caractéristiques du vecteur vitesse  $\vec{v}$  en un point du fluide restent les mêmes au cours du temps



$$P_A + \frac{1}{2} \rho \cdot v_A^2 + \rho \cdot g \cdot z_A = P_B + \frac{1}{2} \rho \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot z_B$$

$P$  et  $z$  sont la pression et l'altitude du fluide

$$Q_A = Q_B$$

soit

$$v_A \times S_A = v_B \times S_B$$













$$Q = v \cdot S$$



C'est l'apparition d'une action mécanique parallèle à l'axe de rotation d'un système au cours de son mouvement au sein d'un fluide

Les bateaux sont construits de telle sorte que la poussée d'Archimède de l'eau soit égale à la valeur de leurs poids

Au cours d'un écoulement en régime permanent et à altitude constante, la pression  $P$  d'un fluide diminue lorsque sa vitesse augmente et inversement

|                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>C'est quoi la température d'un système?</p>                 | <p><b>2</b> </p> <p>C'est quoi la pression d'un système?</p>              | <p><b>3</b> </p> <p>Quelles sont les trois grandeurs thermodynamiques susceptibles de décrire l'état d'un gaz?</p> |
| <p><b>4</b> </p> <p>C'est quoi la température thermodynamique d'un système?</p> | <p><b>5</b> </p> <p>Quelle est la description microscopique d'un gaz?</p> | <p><b>6</b> </p> <p>C'est quoi l'équation d'état d'un gaz parfait?</p>                                             |
| <p><b>7</b> </p> <p>Quelles sont les limites du modèle du gaz parfait?</p>      | <p><b>8</b> </p> <p>C'est quoi la loi de Mariotte?</p>                    | <p><b>9</b> </p> <p>C'est quoi le volume molaire <math>V_m</math> d'un gaz?</p>                                    |
| <p><b>10</b> </p> <p>C'est quoi la loi d'Avogadro-Ampère?</p>                 | <p><b>11</b> </p> <p>C'est quoi un gaz réel?</p>                        | <p><b>12</b> </p> <p>Dans quelles conditions un gaz réel peut être considéré comme parfait?</p>                  |



La pression  $P$ , la température  $T$  et la masse volumique  $\rho$

C'est une grandeur macroscopique  $P$  qui mesure l'action, résultat des collisions des entités, sur une surface

C'est la grandeur macroscopique qui mesure le degré d'agitation des entités chimiques au sein d'un système

$$P \times V = n \times R \times T$$

$$R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$P$ : en Pa

$V$ : en  $\text{m}^3$

$n$ : en mol

$T$ : en K

D'un point de vue microscopique, un gaz est décrit par un ensemble d'entités distantes les unes des autres et en mouvement incessant

C'est la température exprimée en Kelvin (K) et est liée à la température  $\theta$  de l'échelle Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) par la relation suivante:

$$T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

$$V_m \left( \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \right) = \frac{V \left( \text{m}^3 \right)}{n \left( \text{mol} \right)}$$

Si  $T = \text{Cste}$  et  $n = \text{Cste}$   
alors  
 $P \times V = \text{Cste}$













Le modèle du gaz parfait est valable pour des pressions inférieures à quelques bars

Si la pression au sein de ce gaz ne dépasse pas quelques bars

- Les entités interagissent entre elles
- Le poids et le volume des entités ne sont pas négligeables

Si  $P = \text{Cste}$  et  $T = \text{Cste}$   
alors  
 $V_m = \text{Cste}$

C16. PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>C'est quoi l'énergie interne <math>U</math> d'un système?</p>                                                                                                                                                          | <p><b>2</b> </p> <p>C'est quoi l'énergie totale <math>E_{\text{tot}}</math> d'un système?</p>                                                                                                                           | <p><b>3</b> </p> <p>Exprimer la variation de l'énergie totale d'un système au repos et énoncer le premier principe de la thermodynamique.</p> |
| <p><b>4</b> </p> <p>C'est quoi la capacité thermique <math>C</math> et la capacité thermique massique <math>c</math> d'un système?</p>                                                                                                     | <p><b>5</b> </p> <p>Exprimer le transfert thermique <math>Q</math> échangé entre un système de capacité thermique <math>C</math> et l'extérieur lorsque sa température a changé de <math>\Delta T</math>.</p>           | <p><b>6</b> </p> <p>Quels sont les trois modes de transfert thermique?</p>                                                                    |
| <p><b>7</b> </p> <p>Donner les expressions du flux thermique <math>\Phi</math> en fonction de <math>Q</math> et <math>\Delta t</math> puis en fonction de <math>\Delta T</math> et la résistance thermique <math>R_{\text{th}}</math>.</p> | <p><b>8</b> </p> <p>Donner l'expression de <math>R_{\text{th}}</math> d'un matériau en fonction de son épaisseur <math>e</math>, de sa section <math>S</math> et de sa conductivité thermique <math>\lambda</math>.</p> | <p><b>9</b> </p> <p>C'est quoi la loi de Stefan-Boltzmann?</p>                                                                                |
| <p><b>10</b> </p> <p>Que signifie le mot <i>thermostat</i> et énoncer la loi de Newton?</p>                                                                                                                                              | <p><b>11</b> </p> <p>C'est quoi l'albédo?</p>                                                                                                                                                                         | <p><b>12</b> </p> <p>C'est quoi l'effet de serre?</p>                                                                                       |



- $\Delta E_{\text{tot}} = \Delta U$
- $\Delta U = Q + W$

$$E_{\text{tot}} = E_C + E_{\text{pp}} + U$$

$$U = E_{\text{C micro}} + E_{\text{P micro}}$$



- Conduction: Transfert thermique par mouvement de matière au sein d'un solide
- Convection: Transfert thermique par déplacement de matière au sein d'un liquide ou d'un gaz
- Rayonnement: Transfert thermique par le biais d'ondes électromagnétiques

$$Q = C \times \Delta T$$

$$= c \times m \times \Delta T$$

Q: Transfert thermique (J)  
 C: Capacité thermique ( $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ )  
 $\Delta T$ : Variation de température (K)  
 c: Capacité thermique massique ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )  
 m: Masse (kg)

- C est l'énergie qu'il faut fournir au système pour augmenter sa température de 1 Kelvin. Elle s'exprime en  $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
- c est l'énergie qu'il faut fournir à 1 kg du système pour augmenter sa température de 1 Kelvin. Elle s'exprime en  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$



$$F = \sigma \times T^4$$

F: Flux thermique par unité de surface ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ );  
 $\sigma$ : Constante de Stefan  
 $= 5,67 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ .  
 T: Température (K).

$$R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

e: Épaisseur du matériau (m);  
 $\lambda$ : Conductivité thermique ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ );  
 S: Surface du matériau ( $\text{m}^2$ ).

et

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$\Phi = \frac{T_C - T_F}{R_{\text{th}}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{th}}}$$



C'est le réchauffement naturel d'une planète provoqué par des gaz de son atmosphère qui absorbent une partie du rayonnement IR émis par le sol













L'albédo est la proportion de l'énergie solaire qui n'est pas absorbée par la Terre car elle est réfléchiée

- Un thermostat est un objet dont la température ne varie pas
- Loi de Newton:

$$\frac{dT(t)}{dt} = -A \times (T(t) - T_{\text{th}})$$

A est une constante ( $\text{s}^{-1}$ )

C17. LES PHÉNOMÈNES ONDULATOIRES

|                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 </p> <p>C17</p> <p>C'est quoi l'intensité sonore <math>I</math> d'une onde sonore?</p>                                                                                          | <p>2 </p> <p>C17</p> <p>C'est quoi le niveau sonore <math>L</math> d'une onde d'intensité sonore <math>I</math>?</p>              | <p>3 </p> <p>C17</p> <p>Préciser les conditions d'atténuation du niveau sonore <math>L</math> d'une onde.</p>                 |
| <p>4 </p> <p>C17</p> <p>C'est quoi le phénomène de diffraction d'une onde? À quelles conditions peut-il être observé?</p>                                                            | <p>5 </p> <p>C17</p> <p>Quelle est l'expression de l'angle <math>\theta</math> caractéristique du phénomène de diffraction?</p>   | <p>6 </p> <p>C17</p> <p>C'est quoi le phénomène d'interférences de deux ondes? À quelles conditions peut-il être observé?</p> |
| <p>7 </p> <p>C17</p> <p>Expliquer à l'aide de schémas les interférences constructives et destructives de deux ondes sinusoïdales.</p>                                                | <p>8 </p> <p>C17</p> <p>Quelle est l'expression de l'interfrange <math>i</math> caractéristique d'une figure d'interférences?</p> | <p>9 </p> <p>C17</p> <p>C'est quoi l'effet Doppler?</p>                                                                       |
| <p>10 </p> <p>C17</p> <p>Donner la formule du décalage Doppler <math>\Delta f</math> entre la fréquence du récepteur <math>f_R</math> et celle de l'émetteur <math>f_E</math>.</p> | <p>11 </p> <p>C17</p> <p>Donner un exemple d'application du phénomène d'interférences.</p>                                      | <p>12 </p> <p>C17</p> <p>Donner trois exemples d'application de l'effet Doppler.</p>                                        |



L'atténuation est géométrique à cause de la distance entre la source et le récepteur et par absorption due au matériau interposé entre la source et le récepteur

$$L = 10 \cdot \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

L: Niveau sonore en dB (Décibel); I: Intensité sonore en  $W \cdot m^{-2}$ ;  
 $I_0$ : Intensité sonore de référence en  $W \cdot m^{-2}$   
 $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} W \cdot m^{-2}$

C'est l'énergie transportée par l'onde sonore par unité de temps et de surface (elle s'exprime en  $W \cdot m^{-2}$ )

C'est l'addition de deux ondes lorsqu'elles sont cohérentes (c'est-à-dire le déphasage entre elles est constant) et de même longueur d'onde  $\lambda$

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{\lambda}{2D} \right)$$

L: Taille de la tache centrale de diffraction  
 D: Distance fente-écran

C'est l'éparpillement (d'angle  $\theta$ ) d'une onde lorsqu'elle rencontre une ouverture ou un objet dont la taille  $a$  est voisine ou inférieure à la longueur d'onde  $\lambda$  de cette onde. On obtient une figure de diffraction

Lorsque l'émetteur d'ondes est en mouvement par rapport au récepteur, ce dernier reçoit ces ondes avec une fréquence différente de celle de l'émetteur: plus grande en cas de rapprochement et plus petite en cas d'éloignement

$$i = \frac{\lambda D}{e}$$

D: Distance entre les fentes et l'écran  
 e: Distance entre les deux fentes  
 $\lambda$ : Longueur d'onde













- Les 2 ondes décalées de  $k \times \lambda$ : interférences constructives
- Les 2 ondes décalées de  $(k + 1/2) \times \lambda$ : interférences destructives

- Mesure de vitesses sur les routes
- Échographie Doppler
- Astrophysique

Casque audio anti-bruit

$$\Delta f = f_R - f_E = \frac{f_E \cdot v}{c}$$

$f_R$ : Fréquence du récepteur  
 $f_E$ : Fréquence de l'émetteur  
 v: Vitesse de la source  
 c: Célérité de l'onde

|                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>C'est quoi une lunette astronomique?</p>                                                                           | <p><b>2</b> </p> <p>Dans quel cas une lunette astronomique est dite afocale?</p>                                       | <p><b>3</b> </p> <p>Comment peut-on modéliser une lunette astronomique?</p>                                                        |
| <p><b>4</b> </p> <p>Comment construit-on l'image <math>A_1B_1</math> donné par l'objectif d'un objet AB situé à l'infini?</p>          | <p><b>5</b> </p> <p>Où se forme l'image finale <math>A'B'</math> dans le cas d'une lunette afocale?</p>                | <p><b>6</b> </p> <p>Comment construit-on l'image finale <math>A'B'</math> donné par l'oculaire lorsque la lunette est afocale?</p> |
| <p><b>7</b> </p> <p>Comment construit-on l'image finale <math>A'B'</math> donné par l'oculaire lorsque la lunette est non afocale?</p> | <p><b>8</b> </p> <p>C'est quoi le diamètre apparent <math>\theta</math> d'un objet?</p>                                | <p><b>9</b> </p> <p>C'est quoi le grossissement <math>G</math> d'une lunette?</p>                                                  |
| <p><b>10</b> </p> <p>C'est quoi le cercle oculaire d'une lunette astronomique?</p>                                                   | <p><b>11</b> </p> <p>Pourquoi on doit placer l'œil au niveau du cercle oculaire de la lunette pour voir l'image?</p> | <p><b>12</b> </p> <p>Que signifie concrètement une lunette de grossissement <math>G = 50</math>?</p>                             |



À l'aide de deux lentilles convergentes alignées le long d'un même axe optique

Lorsqu'elle donne d'un objet à l'infini une image à l'infini c'est-à-dire observable sans accommodation par un œil normal

C'est un instrument d'optique composé de l'objectif orienté vers l'objet à observer et de l'oculaire devant lequel on place l'œil



- Le rayon lumineux issu de  $B_1$  passant par l'origine  $O_2$  de l'oculaire n'est pas dévié
- Le rayon lumineux issu de  $B_1$  et parallèle à l'axe optique sort en passant par le foyer image  $F'_2$  de l'oculaire
- Les deux rayons précédents sont parallèles et l'image finale  $A'B'$  est à l'infini

À l'infini

- Le rayon lumineux passant par l'origine  $O_1$  de l'objectif n'est pas dévié
- Le rayon lumineux passant par le foyer objet  $F_1$  de l'objectif sort parallèle à l'axe optique
- Le point d'intersection de ces deux rayons est le point  $B_1$
- Le point  $A_1$  est la projection verticale de  $B_1$  sur l'axe optique



$$G = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{f'_1}{f'_2}$$

$\theta$ : Diamètre apparent de l'objet vu à l'œil nu  
 $\theta'$ : Diamètre apparent de l'image finale vue à travers la lunette

C'est la taille angulaire  $\theta$  exprimée en radian de l'objet définie comme le rapport de la taille linéaire  $L$  de l'objet sur la distance  $D$  qui le sépare de l'œil qui observe cet objet

$$\theta = \frac{L}{D}$$













- Le rayon lumineux issu de  $B_1$  passant par l'origine  $O_2$  de l'oculaire n'est pas dévié
- Le rayon lumineux issu de  $B_1$  et parallèle à l'axe optique sort en passant par le foyer image  $F'_2$  de l'oculaire
- Les deux rayons précédents se coupent au point  $B'$
- Le point  $A'$  est la projection verticale de  $B'$  sur l'axe optique



La lunette divise par 50 la distance qui nous sépare de l'objet

Pour recevoir un maximum de lumière provenant de l'objet situé à l'infini

C'est l'image donnée par l'oculaire de la monture de l'objectif

|                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>Quels sont les deux modèles qui décrivent la lumière?</p>                                      | <p><b>2</b> </p> <p>C'est quoi un photon?</p>                                                                                                   | <p><b>3</b> </p> <p>C'est quoi l'effet photoélectrique?</p>                                                                   |
| <p><b>4</b> </p> <p>Quel est le modèle de la lumière qui permet d'interpréter l'effet photoélectrique?</p>         | <p><b>5</b> </p> <p>L'effet photoélectrique se produit à partir d'un nombre de photons seuil ou à partir d'une fréquence seuil des photons?</p> | <p><b>6</b> </p> <p>C'est quoi le travail d'extraction?</p>                                                                   |
| <p><b>7</b> </p> <p>Donner l'expression de l'énergie cinétique de l'électron libéré par effet photoélectrique.</p> | <p><b>8</b> </p> <p>C'est quoi une cellule photoélectrique?</p>                                                                                 | <p><b>9</b> </p> <p>C'est quoi une cellule photovoltaïque?</p>                                                                |
| <p><b>10</b> </p> <p>C'est quoi le rendement <math>\eta</math> d'une cellule photovoltaïque?</p>                 | <p><b>11</b> </p> <p>C'est quoi une jonction P-N?</p>                                                                                         | <p><b>12</b> </p> <p>Donner deux exemples de dispositifs utilisant la jonction PN et exploitant l'effet photoélectrique</p> |



C'est l'émission d'électrons par un matériau lorsqu'il est éclairé par une onde électromagnétique



C'est une particule immatérielle dotée d'une fréquence  $\nu$  et d'une énergie  $E$  appelée quantum d'énergie telle que:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$



- Le modèle ondulatoire où la lumière est considérée comme une onde électromagnétique
- Le modèle particulaire où la lumière est composée de grains de lumière, les photons



C'est l'énergie minimale  $W$  à fournir à un matériau pour en extraire un électron:

$$W = h \cdot \nu_s$$

À partir d'une fréquence seuil  $\nu_s$  L'effet se produit si la fréquence  $\nu$  des photons de l'onde électromagnétique est telle que:  $\nu \geq \nu_s$

C'est le modèle particulaire qui est basé sur les photons



C'est un convertisseur de l'énergie lumineuse en énergie électrique, donc un producteur d'électricité à partir de la lumière

C'est un dispositif qui génère un courant électrique sous l'effet de la lumière. Elle est composée de deux électrodes: la cathode et l'anode enfermées dans un tube vide ou rempli d'un gaz inerte. Elle est utilisée comme capteur de lumière pour mesurer l'intensité lumineuse d'une source













$$E_c = h\nu - W = h(\nu - \nu_s)$$



Cellule photovoltaïque et diode électroluminescente

C'est la surface de contact entre deux semi-conducteurs dont l'un est dopé positivement et l'autre est dopé négativement

$$\eta = \frac{E_{\text{électrique}}}{E_{\text{lumineuse}}} \times 100$$

|                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1</b> </p> <p>C'est quoi l'intensité du courant électrique?</p>                                | <p><b>2</b> </p> <p>Exprimer l'intensité du courant électrique <math>i(t)</math> en fonction de la charge <math>q(t)</math>.</p>            | <p><b>3</b> </p> <p>C'est quoi le phénomène de condensation d'électricité? C'est quoi un condensateur?</p>                                    |
| <p><b>4</b> </p> <p>C'est quoi la capacité <math>C</math> d'un condensateur?</p>                     | <p><b>5</b> </p> <p>Donner l'expression de <math>C</math> en fonction de la charge <math>q</math> et la tension <math>u</math>.</p>         | <p><b>6</b> </p> <p>C'est quoi le comportement capacitif?</p>                                                                                 |
| <p><b>7</b> </p> <p>Rappeler les deux lois de l'électricité, la loi d'Ohm et la loi des mailles.</p> | <p><b>8</b> </p> <p>Comment établir l'équation différentielle de la charge d'un condensateur à travers d'une résistance <math>R</math>?</p> | <p><b>9</b> </p> <p>Comment établir l'équation différentielle de la décharge d'un condensateur à travers d'une résistance <math>R</math>?</p> |
| <p><b>10</b> </p> <p>C'est quoi la constante de temps <math>\tau</math> d'un circuit RC série?</p> | <p><b>11</b> </p> <p>Au bout de combien de <math>\tau</math> le condensateur d'un circuit RC série est totalement chargé?</p>             | <p><b>12</b> </p> <p>Au bout de combien de <math>\tau</math> le condensateur d'un circuit RC série est totalement déchargé?</p>             |



La condensation d'électricité est l'accumulation de charges positives et négatives sur les faces en regard de deux matériaux dont un est chargé et l'autre non chargé (neutre)

Un condensateur est un ensemble de deux conducteurs placés l'un en face de l'autre et séparés par un isolant

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

C'est le débit de charges électriques c'est-à-dire la quantité d'électricité qui traverse la surface S du conducteur par unité de temps



Le comportement capacitif est l'avance en phase de l'intensité par rapport à la tension aux bornes d'un dipôle

$$i(t) = C \times \frac{du(t)}{dt}$$

$$q(t) = C \times u(t)$$

$q(t)$  en Coulomb C  
C en Farad F  
 $u(t)$  en Volt V

C'est le coefficient de proportionnalité entre la charge  $q$  portée par les armatures d'un condensateur et la tension  $u$  entre les armatures



- Loi d'Ohm:  $u_r(t) = R \times i(t)$
- Loi des mailles:  
 $u_r(t) + u_c(t) = 0$

- Relation:  $i(t) = C \times \frac{du_c(t)}{dt}$

$$\frac{du_c(t)}{dt} + \frac{1}{\tau} u_c(t) = 0$$

avec  $\tau = RC$

- Loi d'Ohm:  $u_r(t) = R \times i(t)$
- Loi des mailles:  
 $u_r(t) + u_c(t) = E$

- Relation:  $i(t) = C \times \frac{du_c(t)}{dt}$

$$\frac{du_c(t)}{dt} + \frac{1}{\tau} u_c(t) = \frac{E}{\tau}$$

avec  $\tau = RC$

- Loi d'Ohm:  $u(t) = R \times i(t)$  pour un dipôle ohmique
- Loi des mailles: Dans une maille orientée d'un circuit électrique, la somme des tensions le long de cette maille est toujours nulle



Au bout de  $5 \tau$

Au bout de  $5 \tau$

- C'est la durée, au cours de la charge du condensateur, au bout de laquelle la tension aux bornes du condensateur atteint 63% de sa valeur finale.
- C'est la durée, au cours de la décharge, au bout de laquelle la tension aux bornes du condensateur atteint 37% de sa valeur initiale