

SCIENCES PHYSIQUES

Première 1^{ère} (5^{ème} édition)

Le répertoire des savoir et savoir-faire

Manuel de Cours et Recueil d'Exercices Corrigés

Sous la direction de :

I. GADO, Ph. D.

Docteur en Curriculum et Instruction
Docteur en Méthodologie de Recherche, Evaluation et Mesure
Ex-Professeur Assistant à Cleveland State University (USA)
Professeur Certifié de Sciences Physiques.

En collaboration avec :

Raphaël R. KELANI

Master of Arts en Curriculum et Instruction
Professeur Certifié de Sciences Physiques
Ex-Conseiller Pédagogique

AVANT- PROPOS

Ce manuel scolaire s'adresse principalement aux élèves des classes de Premières C et D des Lycées et Collèges du BENIN. Son contenu est strictement conforme au programme de Sciences Physiques des classes de Premières C et D, et couvre tous les aspects de ce programme.

Cet manuel, écrit dans un langage simple et incisif, contient :

- la nomenclature des composés organiques figurant au programme des classes de Première et de Terminale ;
- dix (10) chapitres de chimie (Première partie) ;
- quinze (15) chapitres de Physique (Deuxième partie).

Chaque chapitre comporte :

- un rappel de cours simple et concis, recensant les notions essentielles (formules, théorèmes, définitions, relations importantes, propriétés fondamentales...) à maîtriser impérativement ;
- des exercices variés permettant de tester l'aptitude à raisonner, à mémoriser, à réinvestir, à schématiser, à calculer, à analyser, à synthétiser... ;
- des corrigés détaillés et commentés permettant aux élèves d'acquérir rapidement des méthodes de résolution des principaux types d'exercices.

L'entrée en vigueur de nouveaux objectifs, de nouvelles instructions et de nouvelles stratégies d'enseignement/apprentissage et d'évaluation des connaissances et savoir-faire nous a conduit à une conception des exercices répondant aux nouvelles tendances de l'enseignement des sciences physiques.

Le but de ce manuel est d'aider les élèves à acquérir des connaissances structurées, des savoir et savoir-faire essentiels sur lesquels s'appuiera l'enseignement des sciences physiques en Terminales C et D.

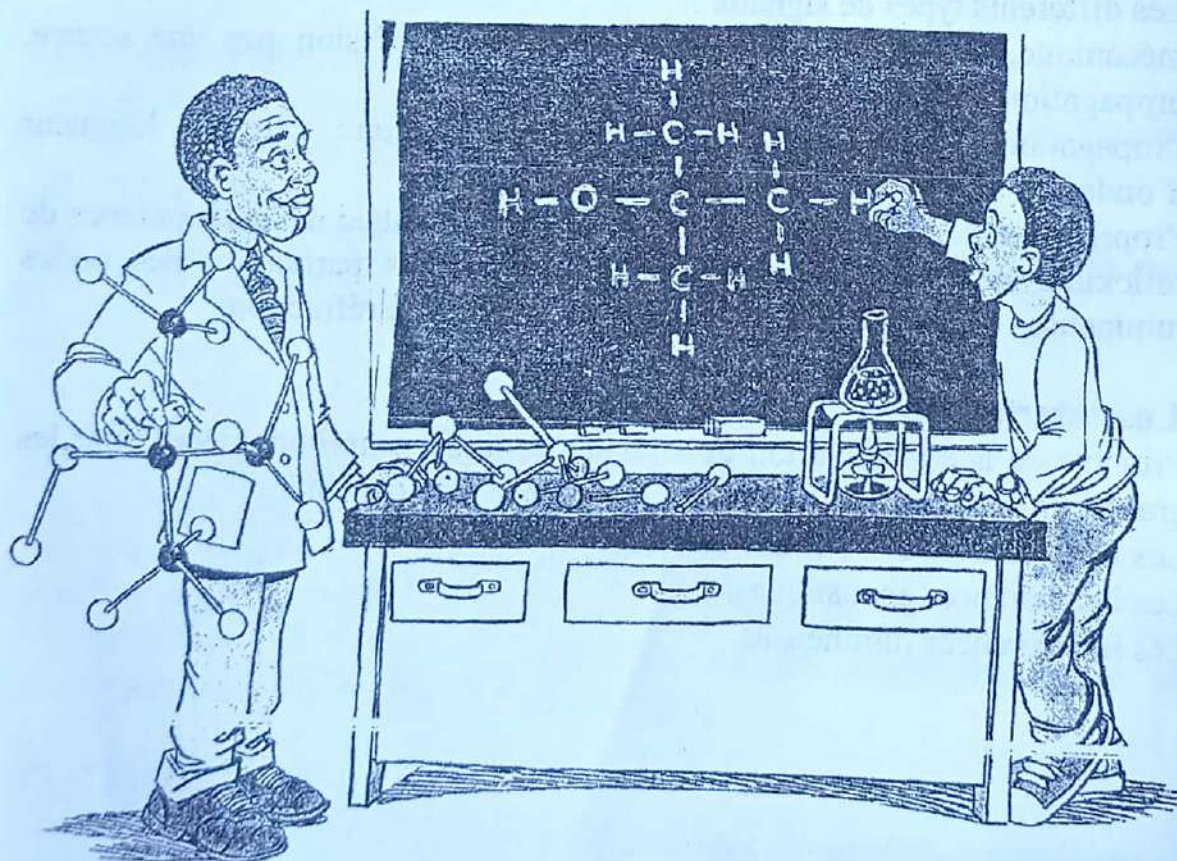
Nous souhaitons que ce manuel, élaboré pour les élèves, puisse aider nos collègues que nous remercions à l'avance pour toutes les critiques et suggestions visant à son amélioration qu'ils auront l'amabilité de nous transmettre. Il en sera tenu compte dans toute la mesure du possible dans les prochaines éditions.

Docteur GADO

SOMMAIRE

Avant-Propos	iv
Sommaire	v
Programme de Sciences Physiques.....	vi
PREMIERE PARTIE : Chimie (rappel de cours et exercices)...	10
C ₁ - Les composés organiques : détermination de la formule brute.....	11
C ₂ - Les alcanes.....	18
C ₃ - Les dérivés insaturés : alcènes et alcynes.....	27
C ₄ - Les composés aromatiques.....	38
C ₅ - Les composés organiques oxygénés : alcool, ester, éther-oxyde, aldéhyde, cétone, acide carboxylique.....	43
C ₆ - Ethanol, éthanal, acide éthanoïque.....	53
C ₇ - Estérification-Hydrolyse	59
C ₈ - Oxydoréduction en solution aqueuse.....	68
C ₉ - Piles et potentiels d'oxydoréduction.....	77
C ₁₀ - Généralisation de l'oxydoréduction (nombre d'oxydation et dosage par réaction d'oxydoréduction).....	87
DEUXIEME PARTIE : Physique (rappel de cours et exercices).	94
P ₁ -Notions de cinématique	95
P ₂ -Travail et puissance.....	103
P ₃ -Energie cinétique.....	111
P ₄ -Energie potentielle de pesanteur et énergie mécanique.....	121
P ₅ -Les lois des gaz parfaits.....	129
P ₆ -La calorimétrie	136
P ₇ -Champ électrostatique et d.d.p	142
P ₈ -Energie et puissance électriques : cas des conducteurs ohmiques	150
P ₉ -Energie et puissance électriques dans les générateurs et les récepteurs.....	157
P ₁₀ -Bilan énergétique dans un circuit électronique.....	165
P ₁₁ -Les condensateurs.....	177
P ₁₂ -Montages dérivateur et intégrateur. Alimentation continue stabilisée	185
P ₁₃ -Propagation d'un phénomène vibratoire entretenu	193
P ₁₄ -Interférence de deux ondes circulaires à la surface de l'eau...	201
P ₁₅ -Interférences lumineuses.....	209
TROISIEME PARTIE : corrigés des exercices	222
	à
	348

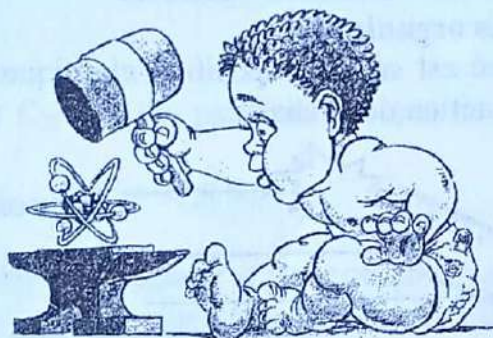
CHEMIE



Chapitre 1 - Chimie

LES COMPOSES ORGANIQUES :

DETERMINATION DE LA FORMULE BRUTE



1) INTRODUCTION

La chimie est actuellement divisée en deux grandes parties : la chimie organique et la chimie minérale. Une autre tendance considère que la chimie est divisée en trois parties : la chimie générale, la chimie minérale et la chimie organique.

La chimie générale étudie la structure des atomes, des ions et des molécules et cherche à établir les diverses lois régissant les réactions chimiques.

La chimie minérale s'intéresse plus particulièrement aux substances du règne minéral qu'elles soient naturelles ou artificielles comme l'eau, le charbon, le soufre, l'ammoniac... La chimie minérale étudie les composés qui ne contiennent pas de carbone (à l'exception du carbone lui-même et de quelques composés carbonés comme le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone et les carbonates).

La chimie organique s'attache à l'étude des substances extraites des organismes vivants appartenant aux règnes végétal et animal. Comme toutes ces substances contiennent l'élément carbone, on dit que la chimie organique est la chimie des composés du carbone.

2) LES COMPOSES ORGANIQUES

2-1 Constitution

Les composés organiques sont formés :

- toujours de carbone ;
- presque toujours d'hydrogène ;
- très souvent d'oxygène ;
- assez souvent d'azote ;
- rarement de chlore ;
- de quelques autres éléments à savoir le phosphore, le soufre, le calcium, le magnésium...

2-2 Importance des composés organiques

Les composés organiques se chiffrent par centaines de milliers et interviennent dans la vie quotidienne pour :

- nous nourrir (les végétaux et les animaux)
- nous loger (bois, colle...)
- nous vêtir (vêtements, fibres textiles...)
- nous soigner (les plantes dans la pharmacopée, les médicaments...)
- pour embellir notre cadre de vie (vernis, colorants, parfums, cosmétiques...)

2-3 Mise en évidence de l'élément carbone

a) Pyrolyse des composés organiques

La pyrolyse d'un composé est sa décomposition chimique lorsqu'il est porté à une température élevée sous l'action de la chaleur.

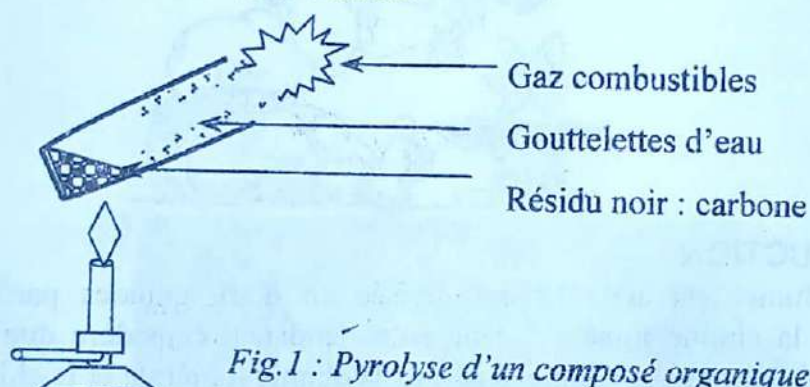


Fig. 1 : Pyrolyse d'un composé organique

La pyrolyse d'un composé organique donne dans tous les cas un résidu noir essentiellement composé de carbone. Tous les composés organiques contiennent donc l'élément carbone.

b) Combustion des composés organiques

La combustion d'une substance est sa réaction chimique avec le dioxygène accompagnée d'inflammation : on dit alors que la substance brûle. La combustion peut être complète ou incomplète.

3) LES FORMULES DES COMPOSES ORGANIQUES

3-1 Composition centésimale d'un composé

On appelle composition centésimale massique ou pourcentage en masse de carbone, d'hydrogène, d'oxygène ou d'azote d'un composé de formule $C_xH_yO_zN_t$ la masse de carbone, d'azote, d'hydrogène, et d'oxygène contenu dans 100g de ce composé. Soit M la masse molaire du composé.

$$M = 12x + y + 16z + 14t$$

$$\frac{12x}{\%C} = \frac{y}{\%H} = \frac{16z}{\%O} = \frac{14t}{\%N} = \frac{M}{100}$$

Si l'on désigne par M la masse molaire du composé, m la masse du composé, m_C la masse du carbone, m_O la masse de l'oxygène, m_N la masse d'azote et m_H la masse d'hydrogène, on a alors :

$$\frac{M}{m} = \frac{12x}{m_C} = \frac{y}{m_H} = \frac{16z}{m_O} = \frac{14t}{m_N}$$

$$\%C = \frac{m_C}{m} \times 100 \quad \%H = \frac{m_H}{m} \times 100 \quad \%O = \frac{m_O}{m} \times 100$$

$$\%H = \frac{1y}{M} \times 100; \quad \%C = \frac{12x}{M} \times 100; \quad \%O = \frac{16z}{M} \times 100; \quad \%N = \frac{14t}{M} \times 100$$

L'ensemble de ces pourcentages constitue la composition centésimale massique du corps considéré.

Exemple

La formule de l'éthanol est C_2H_6O . On peut montrer que sa composition centésimale massique est :

$$\%H = 13 \% \quad \%C = 52,2 \% \quad \%O = 34,8 \%$$

3-2 Relation entre densité de vapeur d'un composé et sa masse molaire.

Soit M la masse molaire d'un composé et soit d la densité gazeuse ou densité de vapeur du composé.

$$\text{On a la relation } d \approx \frac{M}{29} \Leftrightarrow M \approx 29 d$$

La masse molaire calculée à partir de cette expression est en réalité une masse molaire approchée.

3-3 Détermination de la formule d'un composé.

La formule d'un composé contenant du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène s'écrit $C_xH_yO_z$ avec x , y et z des nombres entiers positifs désignant respectivement les atomicités des atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. La détermination de la formule d'un composé nécessite la connaissance de la masse molaire du composé, d'une part et sa composition centésimale, d'autre part.

Pour déterminer la formule d'un composé, on procède

- à l'analyse élémentaire qualitative (on recherche la nature des différents éléments chimiques qui constituent le corps).
- à l'analyse élémentaire quantitative (on recherche les proportions en masse des différents constituants).
- pour un élément gazeux ou vaporisable, on a :

$$d = \frac{\text{Masse d'un certain volume du corps}}{\text{Masse du même volume d'air}}$$

$$d = \frac{\text{Masse de 22,4 L du corps}}{\text{Masse de 22,4 L d'air}} = \frac{M}{1,293 \times 22,4} = \frac{M}{29}$$

A partir de ces résultats, on tire la formule moléculaire brute qui indique le nombre et la nature des différents constituants du corps considéré.

Exemples : C_6H_6 ; $C_6H_{12}O_6$

3-4 La formule brute

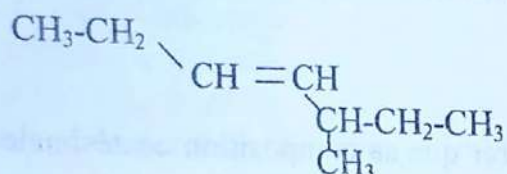
La formule moléculaire brute indique le nombre et la nature des différents constituants du corps considéré.

Exemples : CH_4 ; C_2H_6 ; $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$

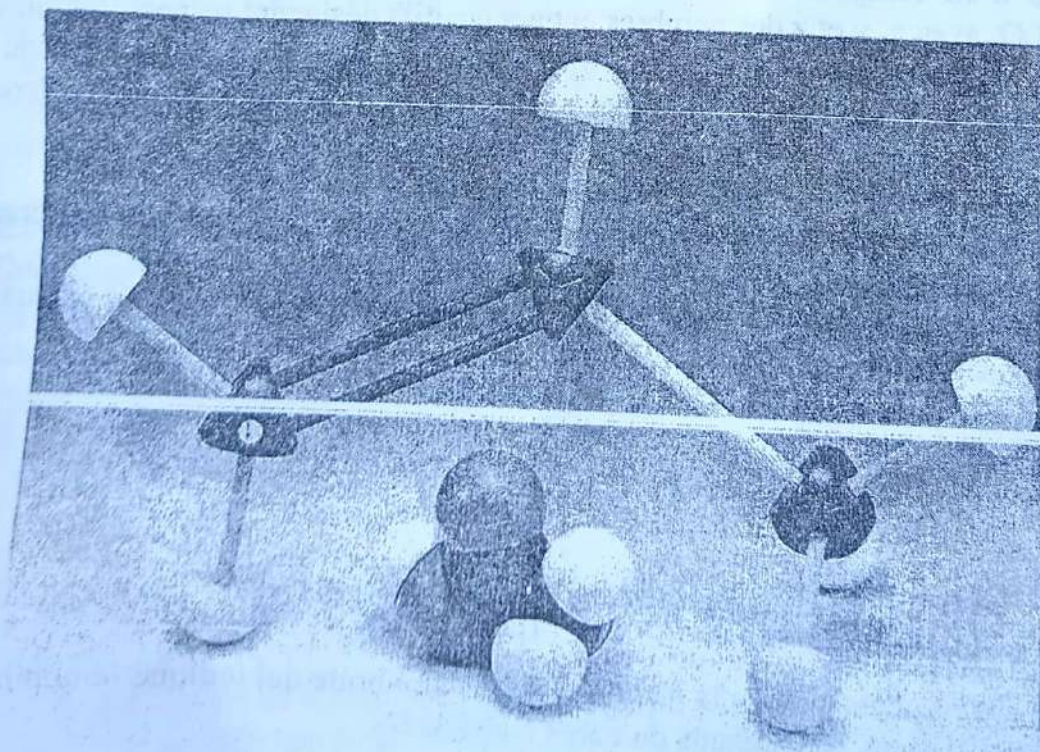
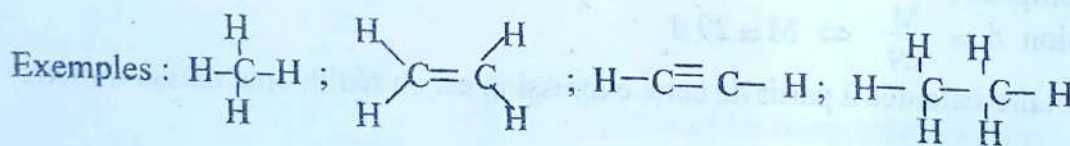
3-5 La formule semi-développée

Elle fait ressortir les groupes d'atomes et les modes de liaisons entre ces groupes.

Exemples : $\text{CH}_3 - \text{CH}_3$; $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$

**3-6 La formule développée ou structurale**

Elle fait ressortir les modes de liaison (liaison simple, liaison double, liaison triple) et la position des atomes les uns par rapport aux autres, en particulier comment les atomes de carbone sont liés entre eux et aux autres atomes de la molécule.



EXERCICES

Exercice C₁-1

La combustion complète de 0,58 g d'un composé organique donne 0,9 g d'eau et 1,76 g de dioxyde de carbone. La densité de vapeur du composé par rapport à l'air est égale à 2.

- 1) Montrer que ce composé ne contient que du carbone et de l'hydrogène.
- 2) Déterminer la composition centésimale massique de ce composé.
- 3) Déterminer la formule brute de ce composé.
- 4) Calculer le volume de dioxygène utilisé lors de la combustion.

Exercice C₁-2

La combustion complète de 2,3 g d'un liquide organique A formé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène donne 4,4 g de dioxyde de carbone et 2,70 g d'eau. Le volume d'une mole de ce liquide est 58,2 mL. La masse volumique du liquide pur est 790 kg/m³.

- 1) Calculer la masse molaire du composé.
- 2) Déterminer les masses de carbone, d'hydrogène et d'oxygène contenues dans le composé.
- 3) Déterminer la formule brute du liquide A.
- 4) Calculer la composition centésimale massique du liquide A.

Exercice C₁-3

Un liquide organique a pour formule brute C_xH_yO_z. On en vaporise 0,018 g dans un eudiomètre contenant un excès de dioxygène (voir figure).

Après passage de l'étincelle électrique, on trouve que la combustion a nécessité 30,8 cm³ de dioxygène et donné 22,4 cm³ d'un gaz absorbable par la potasse, les volumes gazeux étant mesurés dans les conditions normales.

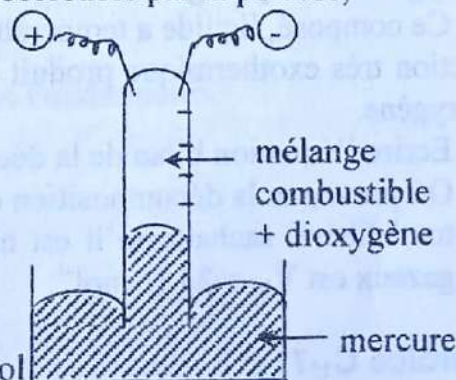
La densité de vapeur du composé est voisine de $d = 2,48$.

- 1) Ecrire l'équation de la combustion.
- 2) Déterminer x, y et z et écrire la formule brute du composé.

- 3) Calculer la masse d'eau recueillie.

$M(C) = 12 \text{ g/mol}$; $M(O) = 16 \text{ g/mol}$; $M(H) = 1 \text{ g/mol}$

On rappelle que la potasse absorbe le dioxyde de carbone.



Exercice C₁-4

La combustion complète de 3,6 g d'un composé organique de formule C_xH_yO donne de l'eau et un volume $v = 4,48 \text{ L}$ de dioxyde de carbone. La densité d de vapeur de ce composé est 2,48.

- 1) L'équation de la réaction s'écrit : $\text{C}_x\text{H}_y\text{O} + n\text{O}_2 \longrightarrow m\text{CO}_2 + p\text{H}_2\text{O}$

Détermine n , m et p en fonction de x et/ou de y pour que l'équation soit équilibrée.

2) Calculer les valeurs de x , y , n , m et p .

3) Quelle est la formule brute du composé ?

4) Quelle est la composition centésimale massique de ce composé ?

5) Calculer le volume de dioxygène utilisé.

On donne : $M(C) = 12 \text{ g/mol}$; $M(O) = 16 \text{ g/mol}$; $M(H) = 1 \text{ g/mol}$.

Exercice C₁-5

L'analyse d'un composé comprenant du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote a donné les résultats suivants :

- Dosage du carbone et de l'hydrogène : on oxyde 0,252 g du corps à analyser et l'on a obtenu 0,185 g de gaz carbonique et 0,151 g de vapeur d'eau.

- Dosage de l'azote : on a employé 0,368 g de matière et l'azote qui y était contenu a été transformé en gaz ammoniac qu'on fait passer à travers 20 cm³ de solution sulfurique normale ($\frac{1}{2}$ mole par litre). Après l'opération, l'acide libre restant dans ces 20 cm³ était le même que celui qui était primitivement contenu dans 7,7 cm³ de la liqueur normale employée.

1) Déterminer la composition centésimale massique du composé analysé.

2) Quelle est sa formule moléculaire sachant que la détermination d'une valeur approchée de la masse molaire a donné $M \approx 60 \text{ g.mol}^{-1}$?

On donne : $M(C) = 12 \text{ g/mol}$; $M(H) = 1 \text{ g/mol}$; $M(O) = 16 \text{ g/mol}$; $M(N) = 14 \text{ g/mol}$.

Exercice C₁-6

Un composé organique de formule brute $C_xH_yO_zN_t$ a pour masse molaire moléculaire 227 g.mol⁻¹.

L'analyse quantitative montre que cette substance comporte, en masse : 15,9 % de carbone et 18,5 % d'azote.

1) Déterminer x , y , z et t sachant que le rapport des pourcentages en masse d'oxygène et d'hydrogène est 28,82.

2) Ce composé, liquide à température ordinaire, se décompose au moins choc. La réaction très exothermique produit du dioxyde de carbone, de l'eau, du diazote et du dioxygène.

a) Ecrire l'équation bilan de la décomposition.

b) On provoque la décomposition de 10 g de ce composé. Calculer le volume gazeux total libéré, sachant qu'il est mesuré dans les conditions où le volume molaire gazeux est $V_M = 24 \text{ L. mol}^{-1}$

Exercice C₁-7

Soit un composé organique A contenant du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. La combustion de 1,40 g de ce composé produit 2,38 g de dioxyde de carbone et 1,10 g d'eau. L'azote contenu dans ce composé peut être libéré dans certaines conditions. Le volume d'azote recueilli à partir de 0,70 g de ce composé est égal à 76 cm³ dans les conditions normales. Le composé organique A ne contient qu'un seul atome d'azote par molécule.

- 1) Déterminer les masses de carbone, d'hydrogène, d'azote, d'oxygène contenues dans 1,40 g de ce composé.
- 2) Quelle est la composition centésimale massique du composé ?
- 3) Déterminer sa formule brute.

Exercice C₁-8

L'acide acétylsalicylique, connu sous le nom commercial d'aspirine, est l'un des médicaments les plus consommés aujourd'hui. L'analyse quantitative de l'acide acétylsalicylique donne la composition centésimale massique suivante :

60 % de carbone ; 35,5 % d'oxygène ; 4,5 % d'hydrogène.

Un comprimé de 0,5 g d'aspirine contient $2,777 \cdot 10^{-3}$ mol d'acide acétylsalicylique.

- 1) Déterminer :
 - a) la masse molaire de l'acide acétylsalicylique ;
 - b) la formule brute de l'acide acétylsalicylique.
- 2) Calcule en mg les masses de carbone, d'hydrogène et d'oxygène dans un comprimé d'aspirine de 500 mg.

Exercice C₁-9

La combustion complète de $V = 100 \text{ cm}^3$ d'un mélange de $V_1 \text{ cm}^3$ de méthane et de $V_2 \text{ cm}^3$ d'acétylène nécessite un volume $V_3 = 230 \text{ cm}^3$ de dioxygène.

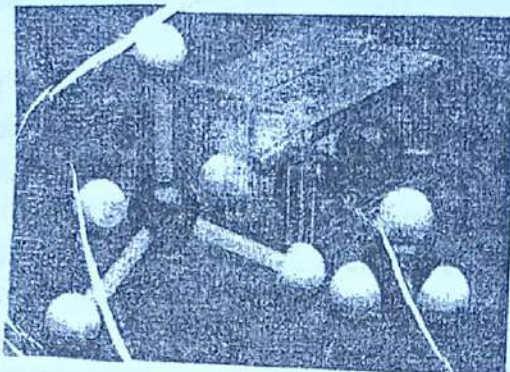
Déterminer la composition exprimée en cm^3 du mélange gazeux et le volume V_4 de dioxyde de carbone dégagé.

Exercice C₁ - 10

On introduit dans un eudiomètre 10 cm^3 d'un hydrocarbure gazeux et 80 cm^3 d'oxygène. On fait jaillir une étincelle qui déclenche la combustion complète du mélange. Après refroidissement, il reste dans l'eudiomètre 60 cm^3 d'un gaz dont l'analyse révèle qu'il est formé de 40 cm^3 de dioxyde de carbone et de 20 cm^3 d'oxygène.

- 1) Déterminer la formule brute de l'hydrocarbure.
- 2) Ecris alors l'équation de la réaction déclenchée dans l'eudiomètre.
- 3) Calcule la masse d'eau formée.

LES ALCANES



1) NOMENCLATURE DES ALCANES

1-1 Généralités

Les hydrocarbures sont des composés moléculaires formés uniquement de carbone et d'hydrogène. Leur formule générale s'écrit donc C_xH_y . Les hydrocarbures les plus répandus sont les alcanes. Les alcanes ont une exceptionnelle importance parce qu'ils constituent les combustibles domestiques et industriels, et représentent une matière première fondamentale pour les synthèses organiques.

1-2 La chaîne carbonée des alcanes

Les alcanes sont des hydrocarbures saturés à chaînes ouvertes : ce sont donc des hydrocarbures saturés et acycliques. Ils sont constitués de liaison de covalence carbone-carbone (C-C) et carbone-hydrogène (C-H). Dans les molécules d'alcanes, chaque atome de carbone forme 4 liaisons soit avec d'autres atomes de carbone, soit avec des atomes d'hydrogène. Dans une molécule d'alcane, il y a libre rotation autour de toute liaison C - C.

La formule générale des alcanes est : C_nH_{2n+2} où n est un nombre entier positif.

Exemples : CH_4 : méthane , C_2H_6 : éthane , C_3H_8 : propane.

1-3 Nomenclature des alcanes

La nomenclature des alcanes est importante car elle est à la base de la nomenclature des autres composés organiques en particulier des hydrocarbures aliphatiques, saturés ou non, substitués ou non et même des cyclanes.

On dit qu'un hydrocarbure est à chaîne linéaire ou à chaîne droite si chacun de ses atomes de carbone n'est lié qu'à un ou deux autres atomes de carbone.

Un hydrocarbure est dit ramifié s'il n'est pas linéaire : dans ce cas, l'un au moins de ses atomes de carbone est lié à plus de deux autres atomes de carbone.

1-3-1 Nomenclature des alcanes à chaîne droite

Les quatre premiers ont conservé leur nom usuel :

CH_4	méthane
$\text{CH}_3\text{-CH}_3$	éthane (C_2H_6)
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	propane (C_3H_8)
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	butane (C_4H_{10})

Pour les suivants, le nom est constitué d'un préfixe (mot grec) indiquant le nombre d'atomes de carbone suivi de la terminaison "ane".

$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	pentane (C_5H_{12})
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	hexane (C_6H_{14})
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	heptane (C_7H_{16})
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	octane (C_8H_{18})
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	nonane (C_9H_{20})
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	décane ($\text{C}_{10}\text{H}_{22}$)

Remarque

Les noms des alcanes à chaîne droite sont quelquefois suivis de "normal" ou précédés de la lettre n.

Exemple : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ butane normal ou n-butane.

1-3-2 Nomenclature des alcanes à chaîne ramifiée

Les alcanes à chaîne ramifiée sont formés d'une chaîne droite sur laquelle sont greffés des radicaux alkyle (ou groupe alkyle). Les groupes alkyle souvent rencontrés sont :

$\text{CH}_3\text{-}$	méthyle ;
$\text{C}_2\text{H}_5\text{-}$ ou $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-}$	éthyle ;
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}$	propyle ;
$\text{CH}_3\text{-}\underset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}\text{-CH}_3$	isopropyle ou méthyléthyle ;
$\text{CH}_3\text{-}\underset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}\text{-CH}_2\text{-}$	isobutyle ou 2-méthylpropyle ;

$\text{CH}_3\text{-}\underset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}}\text{-}$	tertiobutyle (tbu) ou 1,1-diméthyléthyle ;
--	--

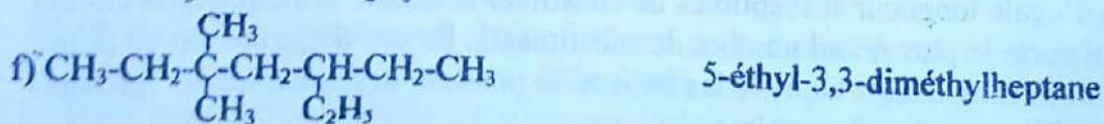
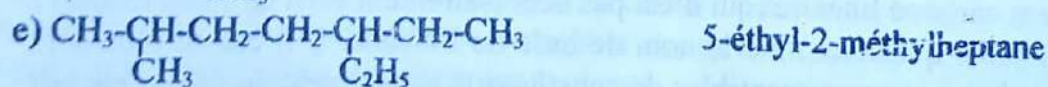
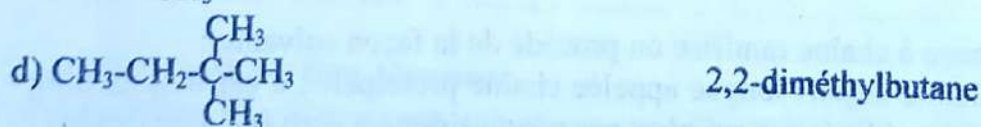
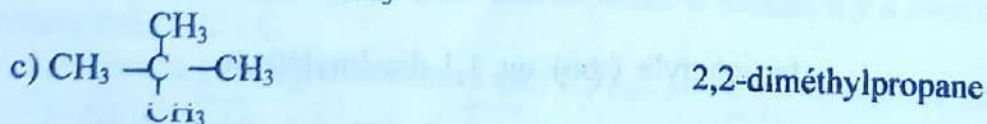
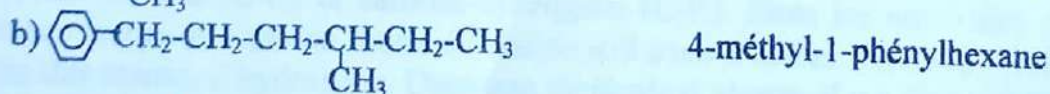
Pour nommer un alcane à chaîne ramifiée on procède de la façon suivante :

- on cherche la chaîne la plus longue appelée chaîne principale : c'est le plus long enchaînement carboné linéaire (qui n'est pas nécessairement écrit en ligne droite) ;
- c'est cette chaîne qui détermine le nom de base de l'alcane. S'il existe plusieurs chaînes d'égale longueur susceptibles de constituer la chaîne principale, on choisit celle qui porte le plus grand nombre de substituants. En cas d'égalité sur ce point, on choisit la chaîne dans laquelle les indices de position des substituants (groupes alkyle greffés) sont les plus petits ;

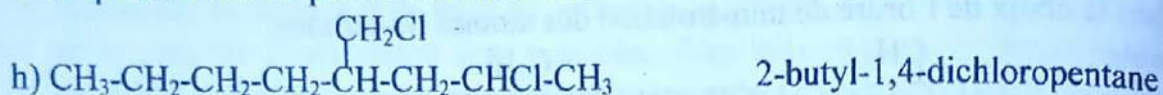
- on identifie les groupes alkyle greffés sur la chaîne principale et leur place par un indice de position ; cet indice ou numéro de position est obtenu grâce à la numérotation partant d'un bout de la chaîne ;
- deux sens de numérotation sont possibles. Pour obtenir le sens correct à utiliser, on écrit pour chaque sens de numérotation tous les chiffres (indices de position) obtenus par ordre croissant ; on obtient ainsi deux nombres. Le sens à adopter est celui pour lequel le premier chiffre différent est le plus petit quand on compare les deux nombres ; on peut dire plus simplement que le sens à adopter est celui qui correspond au plus petit nombre ;
- le nom de l'alcane est obtenu en faisant suivre l'indice de position d'un tiret et du nom du groupe alkyle correspondant et en terminant par le nom de la chaîne principale (qu'on accole au nom du dernier groupe alkyle).

Remarque :

- Les groupes alkyle greffés sur la chaîne principale sont classés soit par ordre alphabétique, soit par complexité croissante. Dans la suite, on adoptera l'ordre alphabétique.
- Si un même groupe alkyle se trouve deux, trois, quatre... fois greffés sur la chaîne principale, on le fait précéder d'un préfixe multiplicateur di, tri, tétra...
- Dans le classement par ordre alphabétique, on ne tient pas compte des préfixes liés (t-, sec -, ...) ni des préfixes multiplicateurs (di, tri, tétra, penta...) indiquant le nombre de fonctions identiques mais on tient compte des préfixes non liés tels que iso, néo...
- Les composantes du nom d'un hydrocarbure (indices de position, parties littérales) sont toutes liées par des tirets.
- Les indices de position multiples pour un même type de groupe alkyle greffé sont séparés par des virgules.
- Le "e" muet du nom des groupes alkyle utilisés en préfixe est éliminé.

Exemples :

N.B. : Dans le cas de plusieurs substituants halogénés, la chaîne la plus longue est celle qui renferme le plus de substituants.



2) QUELQUES PROPRIÉTÉS DES ALCANES

2-1 Propriétés physiques des alcanes

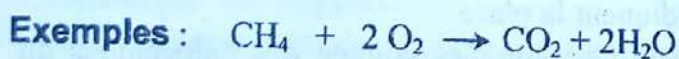
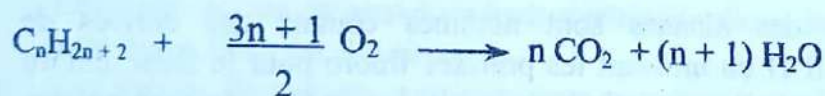
- Les premiers termes méthane, éthane, propane, butane sont gazeux dans les conditions ordinaires de température et de pression. Les suivants sont liquides puis solides quand le nombre d'atomes dépasse 15.
- Tous les alcanes sont insolubles dans l'eau. Ils sont très solubles les uns dans les autres.

2-2 Combustion des alcanes

Les alcanes gazeux et les vapeurs d'alcanes liquides ou solides brûlent dans l'air en dégageant beaucoup de chaleur. La combustion des alcanes peut être complète ou incomplète.

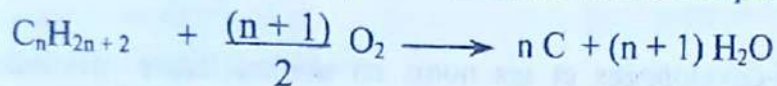
2-2-1 Combustion complète :

La combustion complète des alcanes donne de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone. C'est une réaction très exothermique. Pour l'alcane à n atomes de carbone l'équation de la réaction de combustion complète est :



2-2-2 Combustion incomplète :

En présence d'une quantité insuffisante de dioxygène, la combustion des alcanes est incomplète et donne de la vapeur d'eau et du carbone sous forme de noir de carbone ou noir de fumée. L'équation de la réaction chimique est :



Exemples :

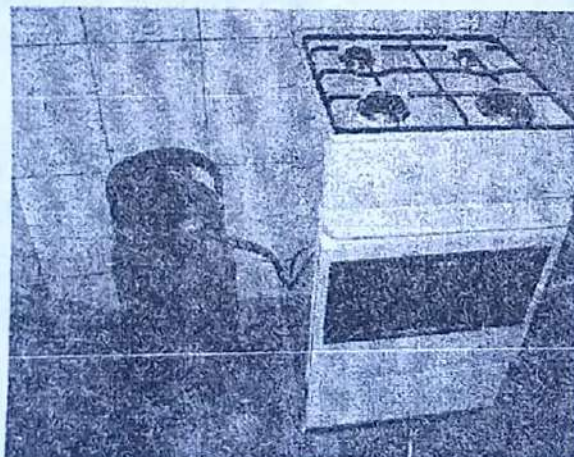


N.B.: La combustion incomplète des alcanes dans certaines conditions produit un gaz incolore, facilement inflammable, extrêmement toxique par inhalation, le monoxyde de carbone CO.



Importance des alcanes

La combustion des alcanes a des applications d'importance considérable : en effet, les alcanes sont utilisés comme combustibles de chauffage et comme carburants.



2-3 Les réactions de substitution des alcanes

Dans une réaction de substitution, un atome est remplacé par un autre atome (ou par un groupe d'atomes).

Exemple de chloration du méthane :

La chloration du méthane conduit à un mélange de 4 produits :



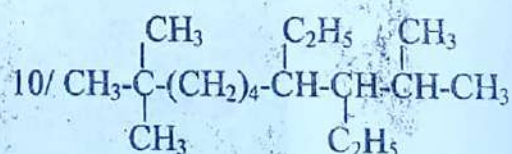
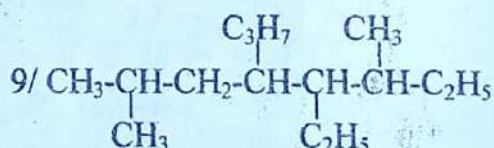
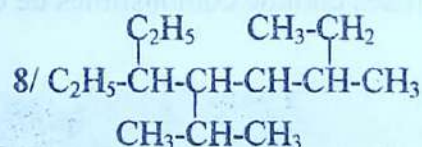
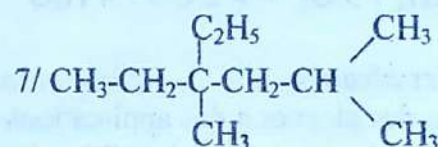
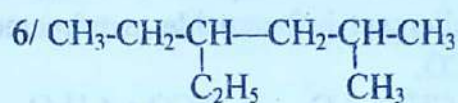
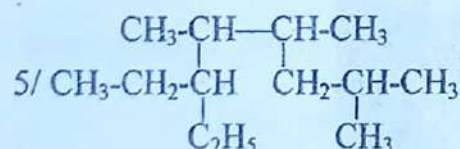
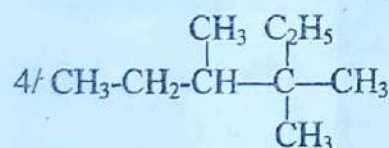
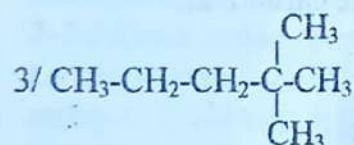
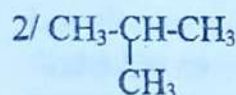
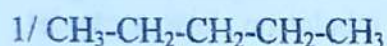
EXERCICES

Exercice C₂-1

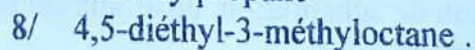
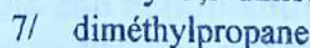
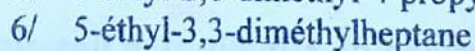
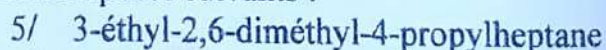
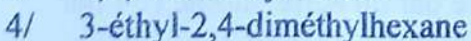
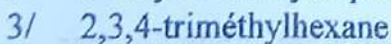
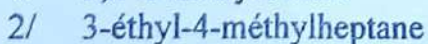
Ecrire les formules semi-développées et les noms en nomenclature officielle des alcanes de formule brute C₆H₁₄.

Exercice C₂-2

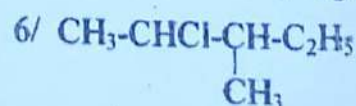
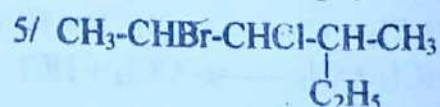
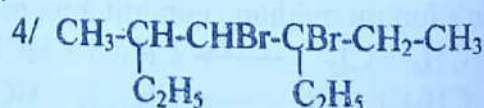
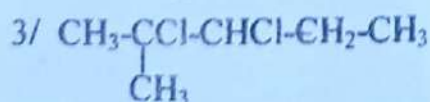
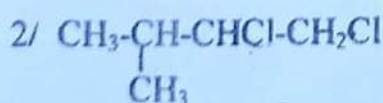
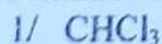
Nommer les hydrocarbures saturés suivants :

**Exercice C₂-3**

Ecrire les formules semi-développées des composés suivants :

**Exercice C₂-4**

Nommer les hydrocarbures halogénés suivants :



Exercice C₂-5

Ecrire les formules semi-développées des composés suivants :

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1/ 2-chloropropane | 5/ 1,2-dichloro-2-méthylpropane |
| 2/ trichlorofluorométhane | 6/ 1-chloro-2-méthylpropane |
| 3/ 2-bromo-3-méthylbutane | 7/ 4-méthyl-1-phénylhexane. |
| 4/ 2,3-dichloro-2-méthylpentane | |

Exercice C₂-6

On se propose de déterminer la formule moléculaire d'un gaz, reconnu comme n'étant formé que de carbone et d'hydrogène.

A cette fin, on introduit dans un eudiomètre 10 cm³ de ce gaz et 60 cm³ de dioxygène, puis on fait éclater l'étincelle qui déclenche la combustion du carbure d'hydrogène. Après retour aux conditions initiales de température et de pression, on constate que l'eudiomètre contient 40 cm³ d'un mélange gazeux, dont 30 cm³ sont absorbables par la potasse ou la soude et le reste par le phosphore ou le pyrogallate de sodium.

- 1) Ecrire l'équation de la combustion complète en prenant C_xH_y pour la formule de l'hydrocarbure.
 - 2) Déterminer la formule moléculaire du composé.
 - 3) Calculer la masse d'eau condensée lors de cette combustion.
- On rappelle que le gaz absorbable par le phosphore (ou le pyrogallate) est du dioxygène et celui absorbable par la potasse (ou la soude) est uniquement du dioxyde de carbone.

Exercice C₂-7

Un mélange contenant n₁ moles de méthane et n₂ moles d'éthane produit, par combustion complète avec du dioxygène en excès, 30,8 g de dioxyde de carbone et 21,6 g d'eau.

- 1) Ecrire les équations des réactions de combustion des deux alcanes.
- 2) Calculer les quantités de matière d'eau formée et de dioxyde de carbone produit.
- 3) Exprimer les quantités de matière d'eau et de dioxyde de carbone en fonction de n₁ et de n₂. On tiendra compte des coefficients stœchiométriques des équations de réaction. En déduire n₁ et n₂.
- 4) Calculer, dans le mélange initial d'alcanes, la composition en masse (exprimée en pourcentage) de chacun des deux composés.

Exercice C₂-8

On procède à la microanalyse d'un corps A qui est un produit de substitution monochloré d'un alcane. Les pourcentages en masses trouvés pour les éléments C et Cl présents dans A sont : %C = 45,86 % ; %Cl = 45,21 %

- 1) Déterminer la formule C_xH_yCl du corps A.
- 2) Quelle est la formule semi-développée de A sachant que sa molécule possède deux groupes méthyle ? Quel est son nom ?
- 3) Proposer une méthode de synthèse de A à partir d'un alcane B.
 - a) Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
 - b) Quel est le nom de l'alcane B ?

- c) En fait, cette synthèse produit simultanément un second dérivé monochloré A' ?
- Quel est son nom ?
 - Ecrire l'équation-bilan de la réaction qui l'engendre.

Exercice C₂-9

L'essence utilisée dans un moteur à explosion est un hydrocarbure saturé dont la densité par rapport à l'air est 3,5.

- 1) Déterminer sa formule et sa masse molaire exacte.
- 2) C'est un liquide de masse volumique $0,72 \text{ kg.L}^{-1}$. Son pouvoir calorifique est de $4,6 \cdot 10^6 \text{ J/mole}$. Sachant que ce moteur consomme 13 L d'essence par heure et que son rendement effectif est de 20 %, calculer la puissance de ce moteur.
- 3) On dessèche complètement le mélange gazeux évacué par le cylindre. Le gaz desséché est composé de dioxyde de carbone, de diazote et d'un excès de dioxygène évalué à 5 % en volume. Quelle est la composition centésimale massique de ce mélange ? On admettra que l'air renferme en volume 20 % de dioxygène et 80 % de diazote.

Exercice C₂-10

Dans cet exercice, les volumes des gaz sont mesurés dans les conditions normales de température et de pression.

La combustion complète de 6 cm^3 d'un mélange d'éthane et de butane fournit 16 cm^3 de dioxyde de carbone.

- 1) Calcule la composition en volume du mélange primitif.
- 2) Quelle est la masse de dioxygène nécessaire à cette combustion ?

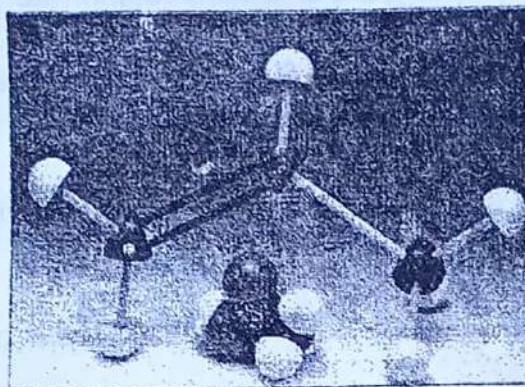
Exercice C₂-11

- 1) Un composé X bout à température constante. D'autre part, le craquage thermique de X donne du carbone et de l'hydrogène.
 - a) Quels renseignements peut-on en déduire pour X ?
 - b) Comment aurait-on pu montrer que X est un composé organique ?
- 2) La combustion complète de X donne 2,8 L de dioxyde de carbone, volume mesuré dans les CNTP.
 - a) Ecrire et équilibrer l'équation de la réaction complète d'un alcane de formule de $\text{C}_n \text{H}_{2n+2}$.
 - b) Montrer que l'on peut établir la formule brute de X.
 - c) La formule semi-développée de cet alcane est-elle unique ? Sinon, combien y a-t-il d'isomères de chaîne ?
- 3) Le chlore est en présence de lumière, décoloré par la vapeur de X. Que se passe-t-il ? Ecrire l'équation de la réaction.
- 4) L'étude des produits de substitution par le chlore montre qu'il existe un seul dérivé monochloré. Déterminer la formule semi-développée de X et son nom.

Chapitre 3 (Chimie)

LES DERIVES INSATURES :

ALCENES ET ALCYNES



1) NOMENCLATURE DES ALCENES

1-1 Définition

Les alcènes sont des hydrocarbures acycliques (c'est-à-dire à chaîne ouverte) dont la molécule comporte une double liaison entre deux atomes de carbone de la chaîne. La formule générale des alcènes est : C_nH_{2n} avec n un entier supérieur ou égal à deux.

1-2 Nomenclature

1-2-1 Nomenclature des alcènes à chaîne droite

La terminaison «ène» caractérise un alcène. Le nom de l'alcène à chaîne droite dérive de celui de l'alcane à chaîne droite correspondant en remplaçant la terminaison «ane» par «ène».

La position (ou place) de la double liaison est indiquée grâce à un indice de position (correspondant au numéro du premier atome de carbone doublement lié) placé avant la terminaison «ène».

Pour déterminer l'indice de position de la double liaison, il faut numéroter les atomes de carbone de la chaîne droite de façon à attribuer au premier atome de carbone qui porte la double liaison, le plus petit numéro possible (ce numéro est l'indice de position de la double liaison).

Exemples :

- | | |
|-----------------------------|--|
| a) $CH_2 = CH_2$ | éthène (appelé communément éthylène au lieu de éthène) |
| b) $CH_3 = CH-CH_3$ | prop-1-ène (plus simplement propène) |
| c) $CH_2 = CH-CH_2-CH_3$ | but-1-ène |
| d) $CH_3-CH = CH-CH_3$ | but-2-ène |
| e) $CH_3-CH_2-CH = CH-CH_3$ | pent-2-ène |

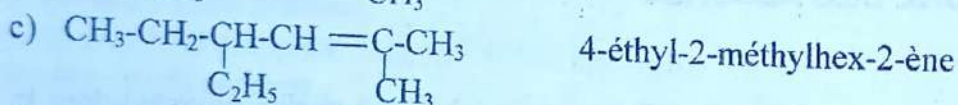
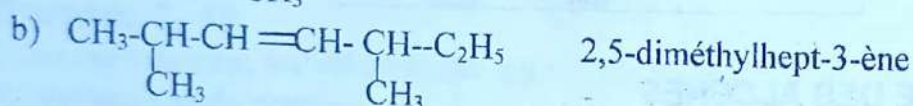
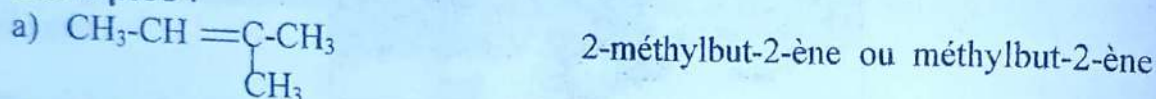
1-2-2 Nomenclature des alcènes à chaîne ramifiée

La nomenclature des alcènes est voisine de celle des alcanes. Pour nommer un alcène à chaîne ramifiée, on procède de la façon suivante :

- On cherche la chaîne carbonée la plus longue comportant la double liaison. C'est cette chaîne appelée chaîne principale qui détermine le nom de base de l'alcène (cette chaîne est nommée comme un alcène à chaîne droite).
- On identifie les groupes alkyle greffés sur la chaîne principale et leur place par l'indice de position obtenu grâce à la numérotation de la chaîne carbonée la plus longue.
- Le nom de l'alcène est obtenu en faisant suivre l'indice de position d'un tiret, le nom du groupe alkyle correspondant et en terminant par le nom de la chaîne principale.

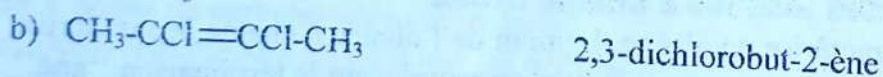
N.B. : Les groupes alkyle sont indiqués dans l'ordre alphabétique et on élide leur "e" terminal.

Exemples :



Remarque :

Les mêmes règles de nomenclature sont utilisées lorsque les groupes substituants sont des halogènes.



1-3 La stéréoisomérisation dans les alcènes

Généralités

On appelle isomères des composés qui ont la même formule brute, mais qui diffèrent par l'ordre ou la nature des liaisons qui relient les atomes entre eux, ou par la disposition des atomes dans l'espace. On distingue deux grandes classes d'isomérisation : l'isomérisation de constitution et la stéréoisomérisation.

A) Les isomères de constitution

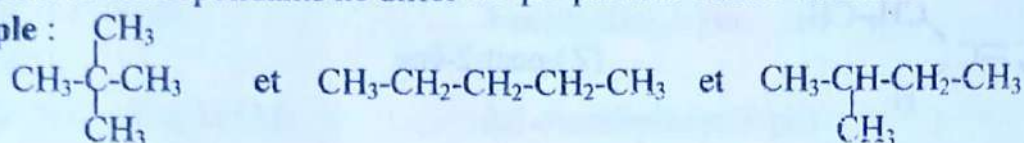
Les isomères de constitution ou isomères constitutionnels sont des composés de même formule brute dont les molécules diffèrent par leur constitution c'est-à-dire par l'ordre et la nature des liaisons qui lient les atomes entre eux.

Il existe trois catégories d'isomérisation de constitution : isomérisation de chaîne, isomérisation de position et isomérisation de fonction.

A/ 1) L'isomérisie de chaîne :

Les isomères correspondants ne diffèrent que par leur chaîne carbonée.

Exemple :

**A/ 2) L'isomérisie de position du groupe fonctionnel :**

Le groupe fonctionnel des isomères correspondants n'est pas à la même place.

Exemples

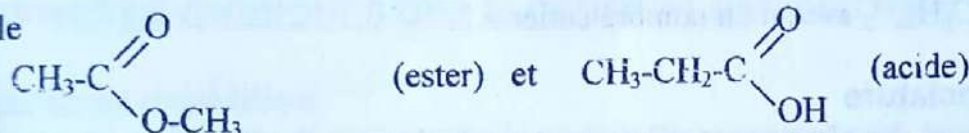
$\text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{CH}_3$ (propan-2-ol) et $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ (propan-1-ol)

$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ (but-2-ène) et $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ (but-1-ène)

A/ 3) L'isomérisie de fonction

Les isomères correspondants n'ont pas la même fonction chimique.

Exemple

**B/ Les stéréoisomères**

La stéréochimie est la partie de la chimie qui se consacre à l'étude de la disposition dans l'espace des atomes des molécules. Les stéréoisomères sont des isomères qui ne diffèrent que par la disposition de leurs atomes dans l'espace. On distingue deux types de stéréoisomères : les stéréoisomères de conformation et les stéréoisomères de configuration. Certaines molécules des alcènes peuvent exister sous des formes rigides distinctes que l'on appelle configurations.

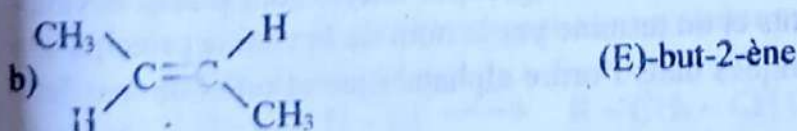
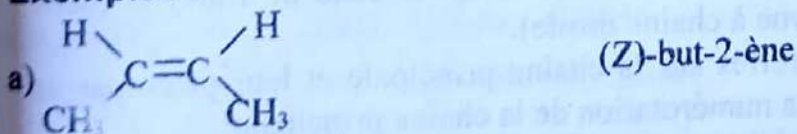
A un alcène de type $\text{R}-\text{CH}=\text{CH}-\text{R}'$ et de constitution donnée correspondent deux isomères configurationnels : l'isomère Z (anciennement appelé cis) et l'isomère E (anciennement appelé trans).

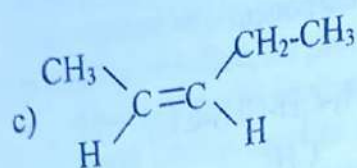
On appelle Z (de l'allemand Zusammen qui signifie ensemble) l'isomère configurationnel où les groupes R et R' sont du même côté d'une droite imaginaire qui passe par les centres des atomes de carbone doublement liés.

On appelle E (de l'allemand Entgegen qui signifie à l'opposé) l'isomère de configuration où les groupes R et R' sont situés de part et d'autre de la droite imaginaire qui passe par les centres des atomes de carbone doublement liés.

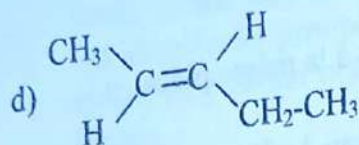
N.B. : Les lettres Z et E indiquant l'isomérisie de configuration se placent en avant du nom et entre parenthèses.

Exemples :





(Z)-pent-2-ène



(E)-pent-2-ène

2) NOMENCLATURE DES ALCYNES

2-1 Définition

Les alcynes sont des hydrocarbures à chaîne ouverte dont la molécule comporte une triple liaison entre deux atomes de carbone de la chaîne. La formule générale des alcynes est : C_nH_{2n-2} avec n un nombre entier ≥ 2 .

2-2 Nomenclature

La nomenclature des alcynes est strictement semblable à celle des alcènes, mais il faut utiliser la terminaison "yne" qui caractérise les alcynes.

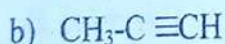
2-2-1 Nomenclature des alcynes à chaîne droite

Le nom de l'alcyne à chaîne droite dérive de celui de l'alcène à chaîne droite correspondant en remplaçant la terminaison "ène" par "yne". La place de la triple liaison est indiquée grâce à un indice de position placé avant la terminaison "yne". Cet indice de position est déterminé comme dans le cas des alcènes.

Exemples :



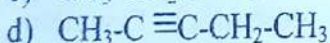
éthyne (communément appelé acétylène ; le nom officiel éthyne est peu usité).



prop-1-yne ou propyne



but-1-yne



pent-2-yne



pent-1-yne

2-2-2 Nomenclature des alcynes à chaîne ramifiée

Pour nommer un alcyne à chaîne ramifiée, on procède de la même façon que pour la nomenclature des alcènes à chaîne ramifiée, la terminaison "ène" étant remplacée par "yne".

On cherche la chaîne carbonée la plus longue comportant la triple liaison : c'est cette chaîne appelée chaîne principale qui détermine le nom de base de l'alcyne (cette chaîne est nommée comme un alcyne à chaîne droite).

On identifie les groupes alkyle greffés sur la chaîne principale et leur place par un indice de position obtenu grâce à la numérotation de la chaîne principale.

Dans l'écriture du nom, les indices de position des groupes alkyle sont placés devant les noms des groupes correspondants et on termine par le nom de la chaîne principale.

N.B. : Les groupes alkyle sont indiqués dans l'ordre alphabétique et on élide leur "e" terminal.

Exen

a) CH

b) CH

c) CH

d) CH

3) PR

3-1 F

Dans
réacti

3-1-1

• Tou
divisé
 $C_n H_2$
alcèn

• Le c
ouver
L'hy
 $C_n H_2$
alcyn

3-1-2

a) A

$CH_2 =$
Eth

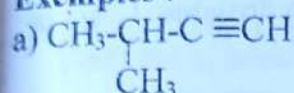
b) A

$CH_2 =$

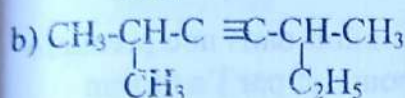
3-1-3

• L'a
donn
R -

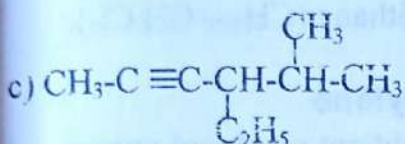
Exemples :



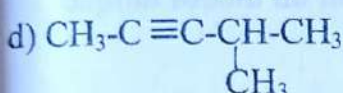
3-méthylbut-1-yne



2,5-diméthylhept-3-yne



4-éthyl-5-méthylhex-2-yne



4-méthylpent-2-yne

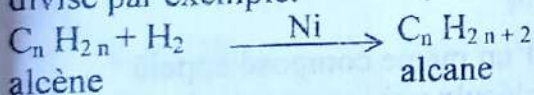
3) PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES ALCÈNES ET DES ALCYNES

3-1 Réactions d'addition

Dans une réaction d'addition, une molécule vient se fixer sur une autre molécule. Une réaction d'addition bouleverse la géométrie de la molécule qui la subit.

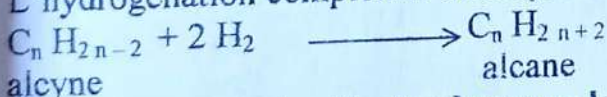
3-1-1 Hydrogénation

• Tous les alcènes additionnent du dihydrogène en présence d'un catalyseur : le nickel divisé par exemple.



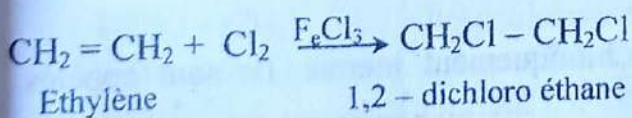
• Le dihydrogène s'additionne sur les alcynes en présence d'un catalyseur, par ouverture d'une ou des deux liaisons fragiles.

L'hydrogénation complète d'un alcyne s'écrit :

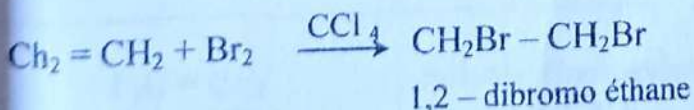


3-1-2 Addition de dihalogène sur les alcènes

a) Addition de dichlore (Cl_2)

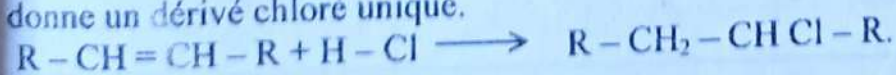


b) Addition de dibrome (Br_2)

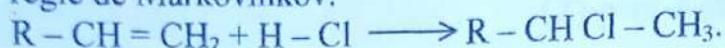


3-1-3 Addition du chlorure d'hydrogène sur les alcènes et sur l'acétylène

• L'addition du chlorure d'hydrogène sur un alcène symétrique ($\text{R} - \text{CH} = \text{CH} - \text{R}$) donne un dérivé chloré unique.



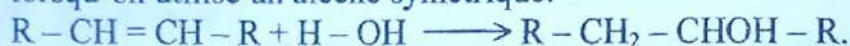
Dans l'addition du HCl sur un alcène dissymétrique ($R-CH=CH_2$), l'atome d'hydrogène se fixe de façon prépondérante sur le carbone le plus hydrogéné. C'est la règle de Markovnikov.



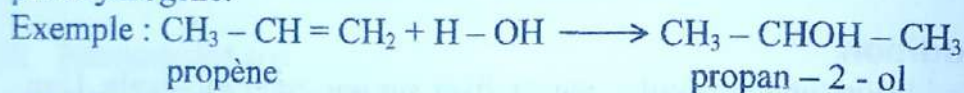
- L'addition du chlorure d'hydrogène sur l'acétylène C_2H_2 conduit dans une première étape au chlorure de vinyle ($CH_2=CHCl$), et la réaction se poursuit par l'addition d'une seconde molécule de HCl pour donner le 1,1 dichloroéthane (CH_3-CHCl_2).

3-1-4 Addition de l'eau sur les alcènes et sur l'acétylène

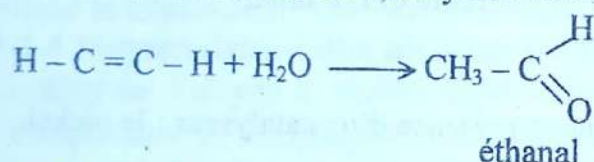
- L'addition de l'eau sur un alcène conduit à un alcool. On obtient un alcool unique lorsqu'on utilise un alcène symétrique.



Lorsqu'on utilise un alcène dissymétrique, la règle de Markovnikov s'applique. En d'autres termes, l'atome d'hydrogène se fixe de façon prépondérante sur le carbone le plus hydrogéné.



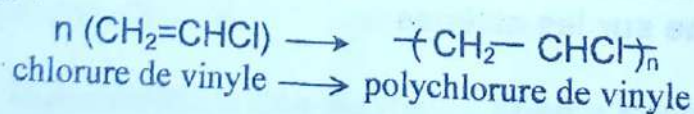
- L'addition de l'eau sur l'acétylène conduit à l'éthanal



3-2 La polymérisation

- Il y a polymérisation lorsque plusieurs molécules d'un même composé appelé monomère s'unissent entre elles pour former une molécule unique ayant même composition que le monomère. Le degré de polymérisation n est le nombre de molécules de monomères qui se sont unies. On a un dimère si $n = 2$, un trimère si $n = 3$, un haut polymère si $n > 100$.

Exemple :



Les polymères sont en général des corps chimiquement inertes. Ils sont appelés couramment *matières plastiques*. On distingue les *thermoplastiques* (qui deviennent fluides par chauffage) et les *thermodurcissables* (qui durcissent à la chaleur).

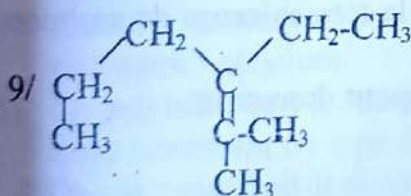
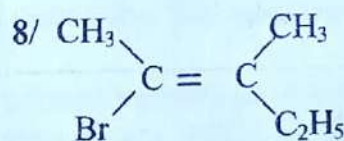
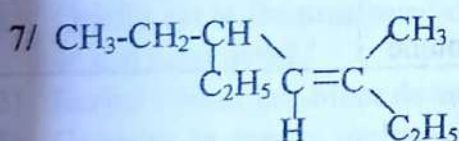
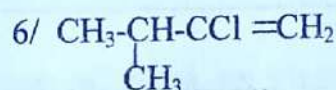
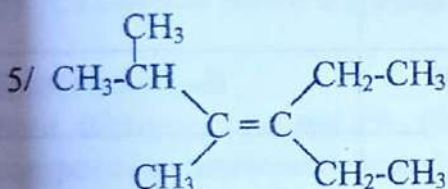
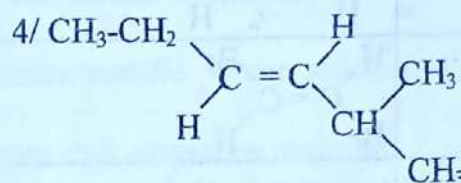
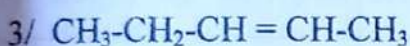
Tableau : Quelques exemples de polymères et leurs usages.

Formule et nom du monomère	Nom du polymère (abréviation)	Usages principaux
$\text{H}_2\text{C} = \text{CH}_2$ éthylène	Polyéthylène (P.E.)	- sacs d'emballage grands magasins - réipients ménagers - sacs poubelles - films d'emballage - jouets - tuyaux souples
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C} = \text{CH}_2 \\ \diagup \\ \text{H} \end{array}$ Propène (propylène)	Polypropylène (P.P.)	- réipients alimentaires ; bouteilles de lait - films pour emballage alimentaire - ficelles ; cordes - bandes de protection latérales pour automobiles.
$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ \diagdown \\ \text{C} = \text{CH}_2 \\ \diagup \\ \text{H} \end{array}$ Styrène	Polystyrène (P.S.)	- emballages : pots de yaourts, gobelets à boisson - pincettes à linge - boîtiers d'appareil photographique, de poste de radio... - emballages sur mesure - plaques isolantes
$\text{HCIC} = \text{CH}_2$ chlorure de vinyle	Polychlorure de vinyle (P.V.C.)	- tuyauterie : alimentation et évacuation d'eau ; gouttières - tuyaux souples pour le gaz - bouteilles d'eau minérale
$\text{F}_2\text{C} = \text{CF}_2$ tétrafluoroéthylène	Polytétrafluoroéthylène (P.T.F.E.) <i>(nom de marque : Téflon)</i>	- tuyaux, joints d'étanchéité, raccords - revêtements anti-frottement - revêtement anti-adhérent - prothèses

EXERCICES

Exercice C₃-1

Nommer les composés organiques suivants :

**Exercice C₃-2**Ecrire les formules semi-développées et les noms de tous les hydrocarbures de formule C_4H_8 (on les regroupera en deux familles).**Exercice C₃-3**

Ecrire les formules semi-développées des composés suivants :

- 1) but-2-ène ; 2) (Z)-but-2-ène ; 3) (E)-but-2-ène ; 4) 3-méthylpent-1-ène ;
 5) 4-éthyl-2-méthylhex-2-ène ; 6) 1-bromo-2-chloro-3-méthylbut-2-ène ;
 7) (Z)-5-éthyl-3-méthylhept-3-ène ; 8) (E)-5-méthylhex-2-ène ;
 9) 5-éthyl-2,6-diméthylhept-3-ène.

Exercice C₃-4Ecrire les formules semi-développées et les noms des alcènes isomères de formule brute C_5H_{10} (tenir compte des isomères Z et E).

Exercice C₃-5

Compléter le tableau suivant :

Formule brute	Formule semi-développée	Nom	Alcane, Alcène, Alcyne ou composé halogéné
	$\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\underset{\text{C}_2\text{H}_5}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$		Alcane
C_4H_8		2-méthylpropène	
	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} = \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$		Alcène
	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Br} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} = \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{Br} \quad \text{H} \end{array}$		
C_3H_4			
		(Z)-hex-3-ène	
	$\text{CH}_3-\text{C} \equiv \text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$		
		1-iodo-3,3-diméthylpentane	

Exercice C₃-6

Un hydrocarbure A présente les caractéristiques suivantes :

- Il décolore rapidement une solution de dibrome dans le tétrachlorure de carbone (CCl_4) ;
 - Il fixe une mole de dihydrogène en présence du nickel pour donner un hydrocarbure saturé B.
- 1) Donner la nature du composé A.
 - 2) Le composé réagit avec le chlorure d'hydrogène pour donner un composé unique C dont le pourcentage en chlore est de 39,22 %.
- a) Déterminer les formules brutes des composés C, B et A en menant un raisonnement logique et clair.
 - b) Donner les formules développées possibles de A et leur nom en nomenclature systématique.

Exercice C₃-7

$10,0 \text{ cm}^3$ d'un hydrocarbure gazeux A de formule C_xH_y sont mélangés à 80 cm^3 d'oxygène. Une étincelle jaillit dans le mélange ; la réaction se fait avec explosion. Après refroidissement, le volume gazeux est 65 cm^3 ; une solution de potasse absorbe 40 cm^3 ; le reste est de l'oxygène. (Tous ces volumes gazeux sont ramenés aux mêmes conditions de température et de pression)

- 1) Calculer x et y.
- 2) Déterminer la densité par rapport à l'air de A et la masse de 1 L de ce gaz dans les conditions normales.

- 3) Quelle masse de brome faut-il pour saturer 1 L (mesuré dans les conditions normales) de A ?
- 4) Ecrire les formules semi-développées possibles de A.

Exercice C₃-8

- 1) Donner l'expression de la densité d par rapport à l'air d'un alcène gazeux en fonction du nombre n d'atomes de carbone.
- 2) Quelle est la formule brute d'un alcène gazeux dont la densité par rapport à l'air est voisine de 2.
- 3) Ecrire les formules semi-développées de cet alcène et donner les noms des isomères correspondants.
- 4) On procède à l'hydratation de 4 g de l'isomère ramifié d'une solution d'acide sulfurique.
 - a) Ecrire l'équation de la réaction et nommer le produit obtenu en majorité.
 - b) Calculer la masse du produit sachant que le rendement de la réaction est de 85 %.

Exercice C₃-9

Pour fabriquer une matière plastique très connue, on utilise un monomère dont la composition centésimale massique est : %C = 38,4 ; %H = 4,8 ; %Cl = 56,8.

La masse molaire de ce composé vaut $62,5 \text{ g.mol}^{-1}$.

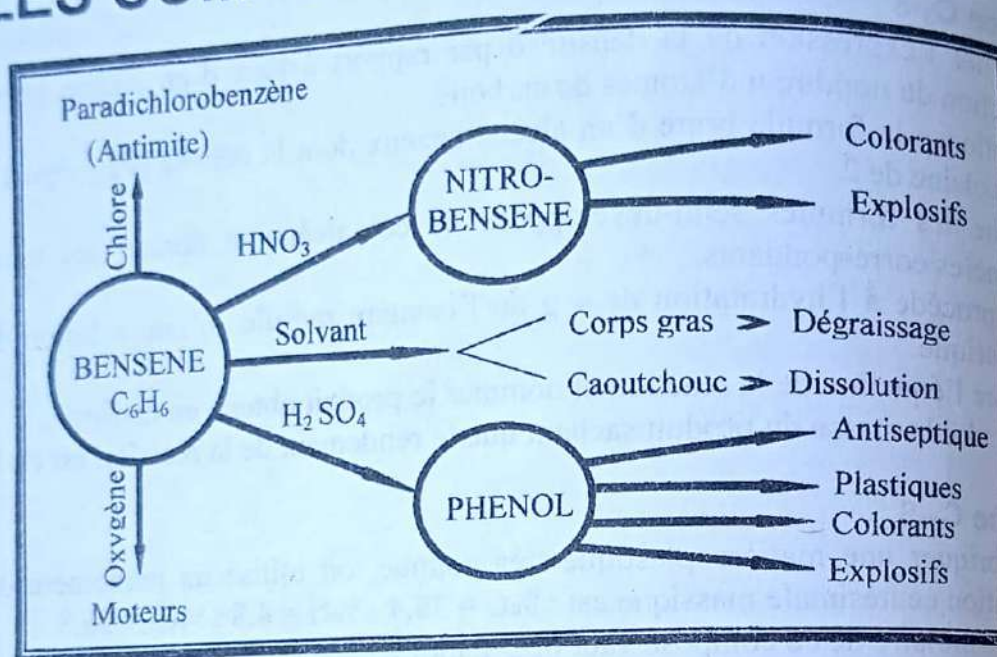
- 1) Quelle est la formule semi-développée de ce monomère ? Donner son nom officiel et son nom usuel.
- 2) Ecrire l'équation-bilan de sa polymérisation ; donner le nom du polymère obtenu.
- 3) Calculer la masse molaire du polymère obtenu si son indice de polymérisation vaut 2000.
- 4) Calculer la composition centésimale massique en carbone, hydrogène et chlore du polymère ; conclure.
- 5) Le polymère sert à fabriquer des fibres textiles. Pourquoi lorsque l'on repasse du linge contenant ce type de fibres, il ne faut pas dépasser la température de 80°C ? Que se produirait-il si on dépassait cette température ?

Exercice C₃-10

Un mélange gazeux est formé d'hydrogène et de deux carbures d'hydrogène formés du même nombre d'atomes de carbone. L'un des hydrocarbures est un alcane, l'autre est un alcène.

- a) La combustion complète de 100 cm^3 de ce mélange donne 210 cm^3 de dioxyde de carbone (volumes mesurés dans les mêmes conditions).
- b) La composition du mélange est telle que si l'on chauffe 100 cm^3 légèrement et en présence du nickel réduit, il ne reste plus, en fin de réaction, qu'un constituant unique, dont le volume, ramené aux conditions initiales, est de 70 cm^3 .
- c) Trouver la formule des deux hydrocarbures et la composition centésimale, en volumes, du mélange initial.
- d) Quel volume d'oxygène nécessite la combustion de 100 cm^3 de ce mélange ?

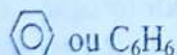
LES COMPOSES AROMATIQUES



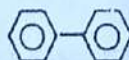
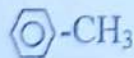
1) NOMENCLATURE DES HYDROCARBURES BENZENIQUES ET DES DERIVES HALOGENES, NITRES, SULFONES... DU BENZENE

Les hydrocarbures benzéniques portent également le nom d'hydrocarbures aromatiques ou arènes.

Le plus simple de ces hydrocarbures est le benzène de formule :



Les autres hydrocarbures benzéniques dérivent du benzène soit par adjonction de chaînes latérales, soit par la réunion de plusieurs cycles ou noyaux aromatiques :



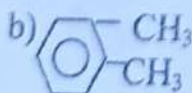
Les hydrocarbures benzéniques sont nommés comme des dérivés de substitution du benzène. La plupart de ces hydrocarbures ont des noms usuels (la nomenclature systématique est peu utilisée).

Les dérivés disubstitués du benzène peuvent exister sous trois formes isomères pour lesquelles on utilise les préfixes ortho, méta et para souvent abrégés en o, m et p.

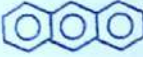
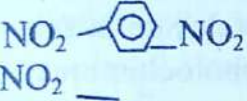
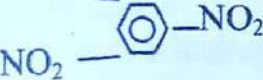
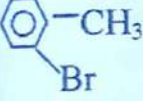
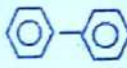
Exemples :



méthylbenzène ou toluène



1,2-diméthylbenzène ou ortho-diméthylbenzène ou ortho-xylène (ou o-xylène) ou o-diméthylbenzène

- c) $\text{CH}_3\text{--}\text{C}_6\text{H}_4\text{--CH}_3$ 1,4-diméthylbenzène ou para-diméthylbenzène ou diméthylbenzène ou para-xylène (p-xylène)
- d) $\text{C}_6\text{H}_5\text{--CH=CH}_2$ phényléthylène ou vinylbenzène ou styrène.
- e) $\text{C}_6\text{H}_5\text{--C}\equiv\text{CH}$ phénylacétylène
- f)  naphthalène
- g)  anthracène
- h)  chlorobenzène
- i)  1,3-dinitrobenzène
- j)  1,3,5-trinitrobenzène
- k)  1-bromo-2-méthylbenzène
- l)  diphényle

Remarque :

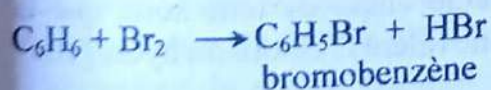
* Le groupe  est un groupe aryle appelé phényle.

* Le groupe  $\text{CH}_2\text{--}$ est un groupe alkyle appelé benzyle.

2) QUELQUES PROPRIETES CHIMIQUES DES COMPOSES AROMATIQUES

2-1 Réaction de substitution sur le benzène

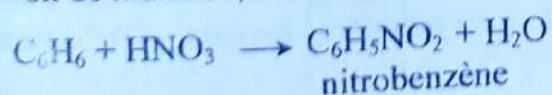
a) Substitution avec le brome ou bromation



Une deuxième substitution, beaucoup plus difficile à réaliser est possible : elle conduirait au dibromobenzène : $\text{C}_6\text{H}_4\text{Br}_2$.

b) Substitution avec l'acide nitrique ou nitration

La réaction de nitration, s'écrit :



Remarque : il existe un dérivé trinitré du benzène, le trinitrobenzène $C_6H_3(NO_2)_3$. On peut obtenir aussi un dérivé dinitré : le dinitrobenzène qui est un solide de formule $C_6H_4(NO_2)_2$.

c) Importance pratique des dérivés nitrés

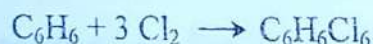
- Le mononitrobenzène est utilisé en parfumerie sous le nom d'essence de mirbane et surtout dans la fabrication de certains colorants.
- Le dinitrobenzène sert de matière première dans l'industrie des colorants.
- Le trinitrobenzène est un explosif (benzite).

d) Remarque

Le benzène présente des analogies avec les alcanes si l'on s'en tient au bilan des réactions de substitution. Cependant, les conditions expérimentales de la substitution par le chlore sont différentes : avec les alcanes, la réaction est photochimique ; avec le benzène, il faut employer un catalyseur.

2-2 Réactions d'addition

a) Addition de chlore



b) Addition d'hydrogène

Un mélange d'hydrogène et de vapeur de benzène passant sur du nickel (catalyseur) donne, à une température comprise entre 200 et 300 °C, un corps de formule C_6H_{12} , appelé cyclohexane.

La réaction s'écrit : $C_6H_6 + 3 H_2 \rightarrow C_6H_{12}$.

(Le cyclohexane sert de matière première dans la fabrication du nylon.)

c) Remarque

Le caractère non saturé du benzène présente quelques différences avec celui des alcènes et des alcynes ; en effet :

- Les additions sur le benzène sont plus difficiles à réaliser que sur les alcènes.
- Les additions sur le benzène sont moins nombreuses que sur les alcènes et les alcynes.
- Toute addition sur le benzène se fait en une seule étape de telle sorte que la molécule C_6H_6 fixe simultanément six atomes monovalents (chlore ou hydrogène).

EXERCICES

Exercice C₄-1

Ecrire les formules semi-développées des composés aromatiques dont les noms sont :

- 1) hydroxybenzène (phénol)
- 2) méthylbenzène (toluène)
- 3) 1,2-diméthylbenzène (orthoxyène)
- 4) phényléthylène (styrène) ou vinylbenzène
- 5) isopropylbenzène
- 6) 1-éthyl-4-méthylbenzène
- 7) 1,2-dinitrobenzène

Exercice C₄-2

Représenter et nommer tous les composés aromatiques de formule brute C₉H₁₂.

Exercice C₄-3 (Non Corrigé)

La masse volumique du benzène est $\rho = 880 \text{ kg.m}^{-3}$.

On effectue la combustion complète de 10 cm³ de benzène liquide.

- a) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de combustion.
- b) Quel est le volume d'air utilisé lors de cette combustion complète ? L'air contient, en volume, environ 20% de dioxygène.
- c) Calculer le volume de dioxyde de carbone formé dans les conditions normales.

Exercice C₄-4

1) Représenter et nommer les composés aromatiques de formule C₈H₁₀.

2) Ecrire la formule semi-développée du 2-chloropropane.

3) Le métaxylène ou 1,3-diméthylbenzène donne une réaction de substitution avec le 2-chloropropane au cours de laquelle un atome d'hydrogène du cycle benzénique est remplacé par un groupe isopropyle CH₃-CH-CH₃.

- a) Ecrire les formules des composés que l'on peut obtenir après cette substitution.
- b) Quel sera l'isomère le plus abondant si on tient compte de "l'encombrement" du groupe isopropyle ?

c) On provoque la nitration du composé le plus abondant obtenu précédemment.

La composition massique centésimale du composé obtenu après la nitration est :

C : 68,39 % ; H : 7,77 % ; N : 7,25 % ; O : 16,58 %.

Déterminer la masse molaire, la formule brute et les formules semi-développées possibles du composé aromatique obtenu.

Exercice C₄-5

On réalise la bromation du benzène, en présence de bromure de fer (III) FeBr₃ et un excès de brome. La réaction est conduite de telle façon que son rendement par rapport au benzène est de 80 %. A partir de 3,0 g benzène, combien de monobromobenzène a-t-on obtenu ? (On donnera le résultat en mole et en gramme)

Exercice C4-6

Un mélange gazeux de 200 cm³ de benzène, de cyclohexane et de dihydrogène est chauffé en présence du nickel. Après réaction, le volume gazeux final vaut 125 cm³. La combustion complète de 200 cm³ de ce mélange gazeux fournit 660 cm³ de dioxyde de carbone. Donner la composition en volume du mélange gazeux initial.

Exercice C4-7

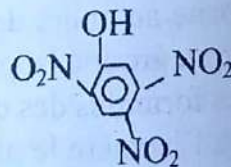
- 1) L'analyse chimique d'un hydrocarbure A montre que la combustion complète de 0,46 g de cet hydrocarbure donne 1,54 g de dioxyde de carbone et 0,36 g d'eau. Déterminer la formule brute de cet hydrocarbure.
- 2) Cet hydrocarbure réagit avec du dihydrogène sur du platine à 200°C pour donner un hydrocarbure saturé de formule brute C₇H₁₄. Quelle est la formule semi-développée de l'hydrocarbure A ?

Exercice C4-8

- 1) Un composé A chauffé en présence d'un catalyseur peut perdre une molécule de dihydrogène pour donner un composé B. Le composé B a pour formule brute C₈H₈ et comporte un noyau benzénique.
 - Donner la formule semi-développée et le nom de A.
 - Donner la formule semi-développée, le nom officiel et le nom usuel du composé B.
- 2) Le composé B (monomère) peut dans certaines conditions se polymériser pour donner un polymère C.
 - Ecrire l'équation - bilan de cette polymérisation.
 - Donner le nom du polymère obtenu.
 - Calculer la masse molaire moyenne de ce polymère, sachant que son indice moyen de polymérisation vaut 1500.

Exercice C4-9

L'acide picrique est le 2, 4, 6-trinitrophénol de formule :

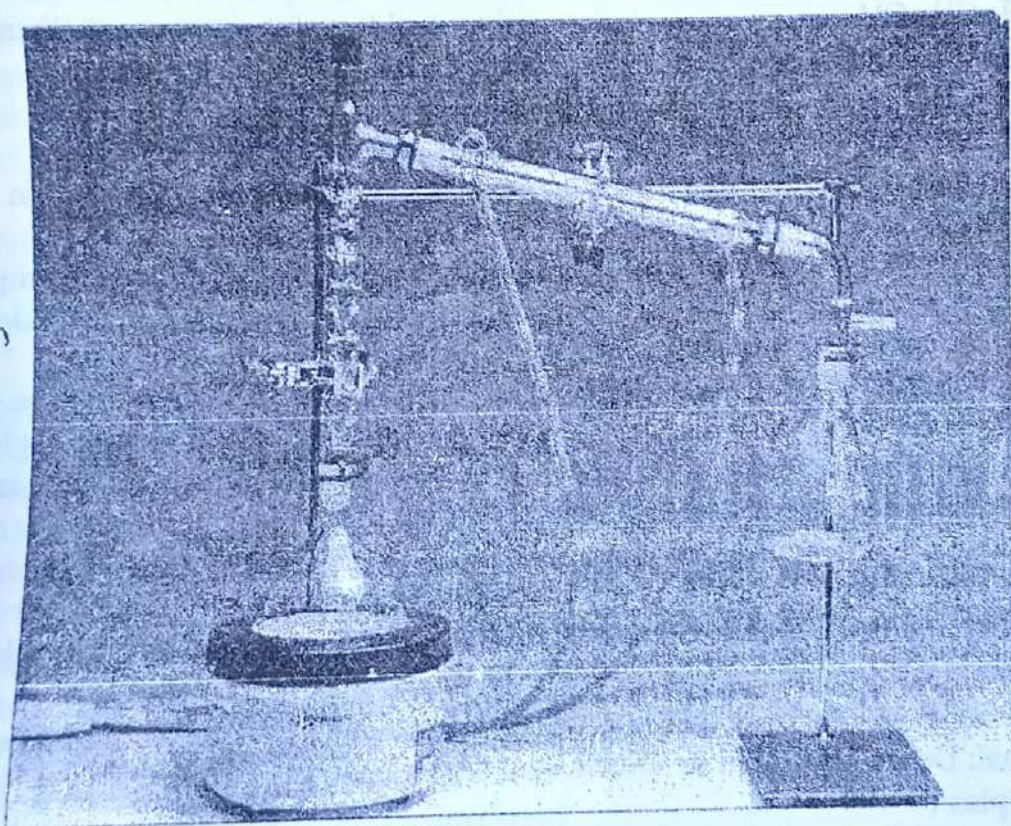


Quand on le chauffe, il se décompose de façon explosive en : vapeur d'eau, diazote, dioxyde de carbone et carbone.

- 1) Ecrire l'équation-bilan de la réaction de décomposition.
- 2) Quel est le volume de gaz dégagé (ramené dans les conditions normales de température et de pression) par la décomposition de 1 g d'acide picrique (l'eau est liquide dans ces conditions) ? Conclure.

Chapitre 5 (chimie)

LES COMPOSES ORGANIQUES OXYGENES : ALCOOL, ETHER-OXYDE, ALDEHYDE, CETONE ACIDE CARBOXYLIQUE, ESTER



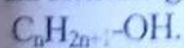
1) NOMENCLATURE DES ALCOOLS

1-1 Définition

Un alcool est un composé organique dont la molécule possède un groupe hydroxyle $-OH$ fixé sur un atome de carbone à structure tétraédrique. L'atome de carbone qui porte le groupe $-OH$ est appelé carbone fonctionnel. Le groupe $-OH$ est le groupe fonctionnel alcool.

La structure générale d'un alcool est : $\begin{array}{c} | \\ -C-OH \end{array}$

La formule générale d'un alcool (monoalcool) dérivant d'un alcane est :



La formule d'un alcool de ce type s'écrit $R-OH$, R - étant un radical alkyle ($R : C_nH_{2n+1}-$). Ces alcools sont appelés alcools saturés.

La formule brute d'un alcool est : $C_nH_{2n+2}O$.

1-2 Nomenclature**1-2-1 Nomenclature des alcools à chaîne droite**

Pour nommer un monoalcool à chaîne droite, on procède de la façon suivante :

- on compte le nombre d'atomes de carbone de la chaîne ;
- la chaîne carbonée est numérotée de façon à ce que l'atome de carbone fonctionnel ait le numéro le plus petit ;
- le nom de l'alcool dérive de celui de l'alcane à chaîne droite correspondant en remplaçant le suffixe "e" par le suffixe "ol". La position du groupe fonctionnel est indiquée par l'indice de position (numéro du carbone fonctionnel) placé avant la terminaison "ol".

Exemples :

- | | |
|--|---|
| a) CH_3OH | méthan-1-ol (ou plus simplement méthanol) |
| b) $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ | éthan-1-ol (ou plus simplement éthanol) |
| c) $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$ | propan-1-ol |
| d) $\text{CH}_3\text{-CHOH-CH}_3$ | propan-2-ol |

1-2-2 Nomenclature des alcools à chaîne ramifiée

Pour nommer un monoalcool saturé à chaîne ramifiée, on procède de la façon suivante :

- on cherche la chaîne principale c'est-à-dire la chaîne la plus longue comportant le carbone fonctionnel. C'est cette chaîne qui détermine le nom de base de l'alcool (cette chaîne est nommée comme un alcool à chaîne droite) ;
- on numérote les atomes de carbone de la chaîne principale de façon à ce que l'atome de carbone fonctionnel (ou le groupe fonctionnel) ait le numéro le plus petit ;
- on identifie les groupes alkyle substituants par leur nom, et leur place par un indice de position obtenu grâce à la numérotation précédente de la chaîne principale ;
- dans l'écriture du nom, les indices de position des groupes alkyle substituants sont placés avant le nom du groupe dont ils indiquent la place et on termine par le nom de la chaîne principale. Les indices de position sont reliés à la partie du nom à laquelle ils se réfèrent par des tirets placés de part et d'autre.

Les groupes alkyle sont indiqués dans l'ordre alphabétique et on élide leur "e" terminal. Deux indices qui se suivent sont séparés par une virgule.

Exemples :

- | | |
|--|----------------------------|
| a) $\text{CH}_3\text{-CHOH-CH(CH}_3\text{)-CH}_3$ | 3-méthylbutan-2-ol |
| b) $\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3\text{-C-CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ | 2-méthylpropan-2-ol |
| c) $\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C-CH}_2\text{-CH-CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2\text{-CH}_3 \end{array}$ | 3-éthyl-5-méthylhexan-3-ol |
| d) $\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{-CH-CH-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$ | 3,4-diméthylpentan-1-ol |

2) NOMENCLATURE DES ALDEHYDES

2-1 Définition

Un aldéhyde est un composé organique dont la molécule renferme

le groupe $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ | \\ \text{H} \end{array}$ (ou CHO et non COH) se situant nécessairement en bout de chaîne. Le carbone du groupe $-\text{CHO}$ est appelé carbone fonctionnel.

La formule générale d'un aldéhyde est : $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C} \\ | \\ \text{H} \end{array}$ ou $\text{R}-\text{CHO}$

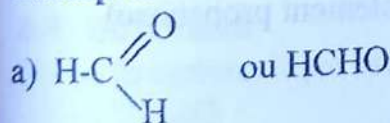
La formule brute d'un aldéhyde est : $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$.

2-2 Nomenclature

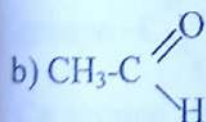
La terminaison «al» est caractéristique des aldéhydes. Pour nommer un aldéhyde, on procède de la façon suivante :

- on cherche la chaîne carbonée la plus longue contenant le groupe $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ | \\ \text{H} \end{array}$
- on numérote les atomes de carbone de cette chaîne en attribuant obligatoirement le numéro 1 à l'atome de carbone du groupe $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ | \\ \text{H} \end{array}$
- le nom de l'aldéhyde à chaîne droite dérive de celui de l'alcane correspondant en remplaçant le suffixe «e» par le suffixe «al», ce qui donne «alcanal» ;
- si la chaîne carbonée est ramifiée, on identifie les groupes alkyle substituants par leur nom, et leur place par un indice de position obtenu grâce à la numérotation précédente de la chaîne la plus longue ;
- dans l'écriture du nom de l'aldéhyde à chaîne ramifiée, les indices de position des groupes alkyle substituants sont placés avant le nom du groupe dont ils indiquent la place et on termine par le nom de la chaîne la plus longue.

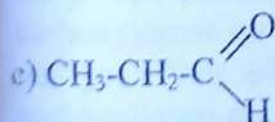
Exemples :



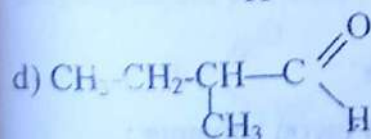
méthanal



éthanal

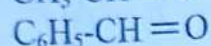
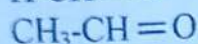
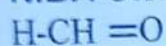


propanal



2-méthylbutanal

N.B. : Certains aldéhydes ont des noms d'usage.



formaldéhyde ou aldéhyde formique

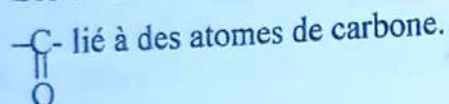
acétaldéhyde ou aldéhyde acétique

benzaldéhyde ou aldéhyde benzoïque (phénylméthanal)

3) NOMENCLATURE DES CETONES

3-1 Définition

Les cétones sont des composés organiques dont les molécules renferment le groupe



La formule générale des cétones est $\begin{array}{c} \text{R—C—R'} \\ || \\ \text{O} \end{array}$ ou R—CO—R'

La formule brute d'une cétone est : $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$

3-2 Nomenclature

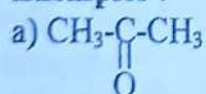
La terminaison "one" caractérise une cétone.

3-2-1 Nomenclature des cétones à chaîne droite

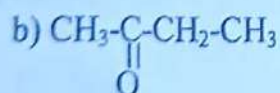
Pour nommer une cétone à chaîne droite, on procède de la façon suivante :

- on compte les atomes de carbone de la chaîne ;
- on numérote les atomes de carbone de cette chaîne, de gauche à droite ou de droite à gauche, de façon à ce que l'atome de carbone du groupe —CO— ait le plus petit numéro (ce numéro est appelé indice de position) ;
- le nom de la cétone dérive de celui de l'alcane à chaîne droite correspondant en remplaçant la terminaison "e" par la terminaison "one". La place du carbone du groupe —CO— est indiquée par l'indice de position situé avant la terminaison "one".

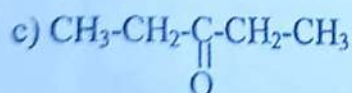
Exemples :



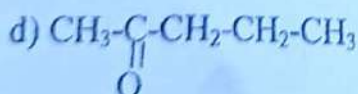
propan-2-one (ou plus simplement propanone)



butan-2-one (ou butanone)



pentan-3-one



pentan-2-one

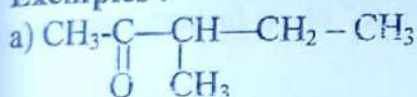
3-2-2 Nomenclature des cétones à chaîne ramifiée

Pour nommer une cétone à chaîne ramifiée, on procède de la façon suivante :

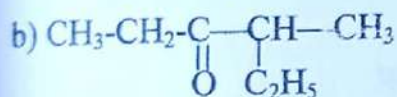
- on cherche la chaîne principale c'est-à-dire la chaîne la plus longue comportant le groupe —CO— ; c'est cette chaîne qui détermine le nom de base de la cétone ;

- on numérote les atomes de carbone de la chaîne principale de façon à ce que l'atome de carbone du groupe -CO- ait le numéro le plus bas ;
- on identifie les groupes alkyle substituants par leur nom, et leur place par un indice de position obtenu grâce à la numérotation précédente ;
- dans l'écriture du nom de la cétone, les indices de position des groupes alkyle substituants sont placés avant le nom du groupe dont ils indiquent la place et on termine par le nom de la chaîne la plus longue. Les indices de position sont reliés à la partie du nom à laquelle ils se réfèrent par des tirets placés de part et d'autre. Les groupes alkyle sont indiqués dans l'ordre alphabétique et on élide leur "e" terminal.

Exemples :



3-méthylpentan-2-one

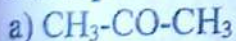


4-méthylhexan-3-one

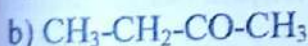
* Cas où les groupes R et R' sont simples.

Lorsque les groupes R et R' sont simples, on peut également nommer les cétones en faisant précéder le mot cétone des noms des groupes R et R' cités dans l'ordre alphabétique.

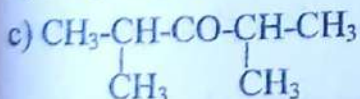
Exemples :



diméthylcétone



éthylméthylcétone

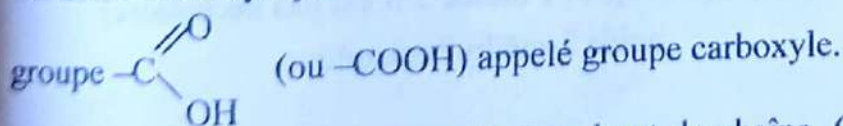


diisopropylcétone

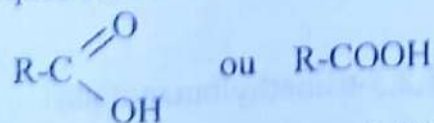
4) NOMENCLATURE DES ACIDES CARBOXYLIQUES

4-1 Définition

Un acide carboxylique est un composé organique dont la molécule contient le



Ce groupe est nécessairement situé en bout de chaîne. On distingue les monoacides carboxyliques qui possèdent un seul groupe -COOH et les polyacides carboxyliques qui possèdent plusieurs groupes -COOH . La formule générale des monoacides carboxyliques est donc :



- Un monoacide carboxylique, R-COOH , est dit saturé si R est un groupe alkyle ($\text{R} = \text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{-}$) : on parle d'acide alcanoïque.

- Un monoacide carboxylique, $R\text{-COOH}$, est insaturé si R est une chaîne carbonée contenant une ou plusieurs liaisons multiples.
- Un monoacide carboxylique, $R\text{-COOH}$, est aromatique si R contient un groupe aromatique. R est alors noté Ar (groupe aryle).
- La formule brute d'un monoacide carboxylique saturé est : $C_nH_{2n}O_2$.

4-2 Nomenclature des monoacides carboxyliques saturés

La terminaison "oïque" caractérise les acides carboxyliques.

4-2-1 Nomenclature des acides carboxyliques saturés à chaîne droite

Le nom de l'acide carboxylique à chaîne droite dérive de celui de l'alcane correspondant en remplaçant la terminaison "e" par "oïque" et en faisant précéder ce nom de "acide".

Exemples :

- | | |
|---|-------------------|
| a) $HCOOH$ | acide méthanoïque |
| b) $CH_3\text{-COOH}$ | acide éthanoïque |
| c) $CH_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$ | acide propanoïque |
| d) $CH_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$ | acide pentanoïque |

4-2-2 Nomenclature des acides carboxyliques saturés à chaîne ramifiée

On procède de la façon suivante :

- on cherche la chaîne carbonée la plus longue contenant le groupe -COOH ;
- on numérote les atomes de carbone de cette chaîne en commençant obligatoirement par le carbone du groupe -COOH auquel on donne le numéro 1 ;
- on identifie les groupes alkyle substituants par leur nom, et leur place grâce à un indice de position ;
- au nom de la chaîne carbonée la plus longue, on ajoute en préfixe les noms des groupes alkyle substituants précédés des indices de position respectifs.

Exemples :

- a) $CH_3\text{-}\underset{\substack{| \\ CH_3}}{CH}\text{-COOH}$ acide 2-méthylpropanoïque (ou plus simplement acide méthylpropanoïque ; l'indice 2 n'est pas nécessaire)
- b) $CH_3\text{-}\underset{\substack{| \\ CH_2}}{CH}\text{-CH}_2\text{-COOH}$ acide 3-méthylbutanoïque

- c) $CH_3\text{-CH}_2\text{-}\underset{\substack{| \\ C_2H_5}}{CH}\text{-}\overset{\substack{| \\ CH_3}}{CH}\text{-COOH}$ acide 3-éthyl-2-méthylpentanoïque

- d) $CH_3\text{-CH-}\underset{\substack{| \\ CH_3}}{\overset{\substack{| \\ CH_3}}{C}}\text{-COOH}$ acide 2,2,3-triméthylbutanoïque

5) NOMENCLATURE DES ESTERS

• Leur formule générale s'écrit $R - \overset{\overset{O}{\parallel}}{C} - O - R'$ ou $R - COOR'$

• L'ester $R-COOR'$ résulte de l'action de l'acide carboxylique $R-COOH$ sur l'alcool $R' - OH$.

Pour nommer un ester, on cherche le nom de l'acide $R - COOH$ et on supprime le mot acide puis on remplace la terminaison oïque par la terminaison "oate". On ajoute "de" que l'on fait suivre du nom du groupe alkyle $R' -$.

• Exemples :

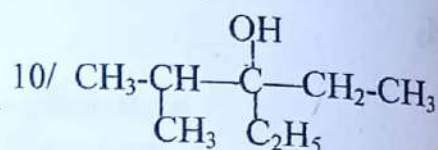
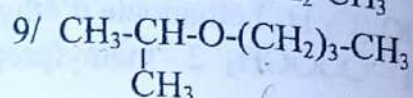
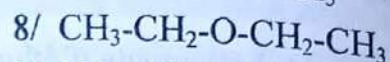
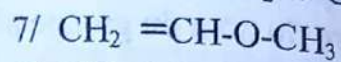
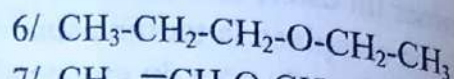
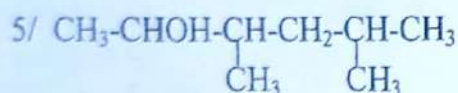
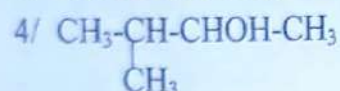
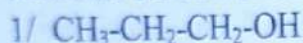
a) $CH_3 - COO (C_2 H_5)$ éthanoate d'éthyle

b) $CH_3 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - COOCH_3$ 2 - méthylpropanoate de méthyle.

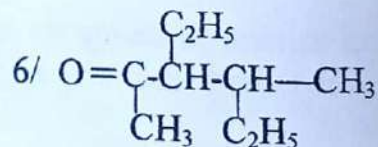
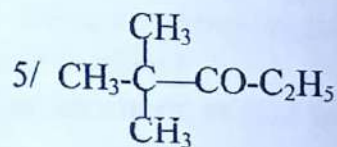
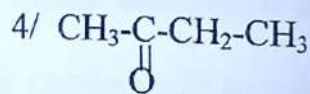
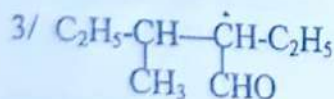
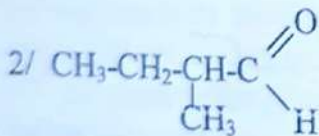
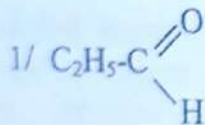
EXERCICES

Exercice C₅-1

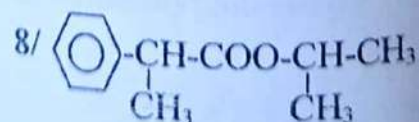
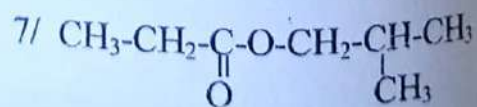
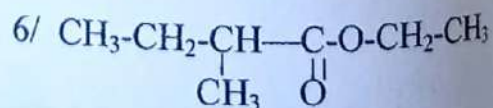
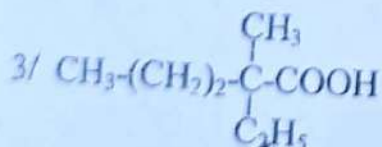
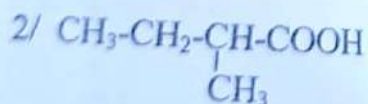
Nommer les composés suivants :

Exercice C₅-2

Nommer les composés carbonylés (aldéhydes et cétones) suivants :

Exercice C₅-3

Nommer les composés organiques suivants :



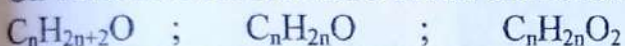
Exercice C₅-4

Ecrire les formules semi-développées des composés organiques dont les noms sont :

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1/ propan-2-ol | 6/ acide 2-éthyl-3-méthylbutanoïque |
| 2/ 3-éthyl-5-méthylhexan-3-ol | 7/ 1-méthyléthoxybutane |
| 3/ 3,4-diméthylpentan-2-one | 8/ méthoxypropane |
| 4/ 2,4-diméthylpentanal | 9/ méthylpropanoate d'éthyle |
| 5/ 4-éthyl-2,2-diméthylhexan-3-one | 10/ 3-méthylbutanoate de 1-méthylpropyle |

Exercice C₅-5

On considère les formules brutes suivantes :



On considère les familles suivantes des composés organiques oxygénés :

- | | |
|------------------------|-----------------|
| - acide carboxylique ; | - cétone ; |
| - aldéhyde ; | - éther-oxyde ; |
| - alcool ; | - ester. |

- Quelle est la formule générale des composés organiques cités ci-dessus ?
- Donner un exemple dans chaque cas.
- Quels sont les groupements fonctionnels qui caractérisent les composés appartenant à chaque famille ?

Attribuer à chaque famille une formule brute.

N.B. : On présentera les résultats des questions a, b et c en remplissant le tableau suivant :

Famille	Formule générale	Groupe fonctionnel	Formule brute	Exemple

Exercice C₅-6

On dissout 0,74 g d'un monoacide carboxylique saturé A dans l'eau et on complète la solution à $V = 100 \text{ cm}^3$.

On dose un volume $V_a = 10 \text{ cm}^3$ de cette solution par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C_b = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Pour atteindre l'équivalence, il a fallu verser 20 cm^3 de soude.

- Calculer la concentration molaire C_a de l'acide.
- Déterminer la masse molaire du composé A et sa formule brute.
- Ecrire trois formules semi-développées correspondant à cette formule brute et les nommer. Indiquer celle qui correspond au composé A dont on précisera le nom.

Exercice C₅-7

1) Un alcool de formule brute C_xH_yO a pour composition massique :

$$\% C = 52,17 ; \% H = 13,04$$

Déterminer la masse molaire moléculaire et la formule brute de cet alcool.

En déduire sa formule semi-développée et son nom.

2) Cet alcool peut être utilisé comme carburant.

a) Ecrire l'équation - bilan de sa combustion complète.

- b) Calculer le volume d'air dans les CNTP nécessaires à la combustion complète de 1 litre de cet alcool. La densité de l'alcool est égale à 0,8.
- c) La chaleur dégagée par la combustion de 1 mol de cet alcool vaut 1340 kJ. Calculer la chaleur dégagée par la combustion de 1 litre de l'alcool.

Exercice C₅-8

La combustion complète de 1,28 g d'une substance X de formule C_xH_yO a donné 1,28 g de dioxyde de carbone. D'autre part cette masse de substance étant vaporisée à 100°C sous la pression de 750 mm de mercure, on a trouvé que la vapeur occupait exactement un volume de 372,3 cm³.

- 1) Quelle est la formule brute de cette substance ? (On calculera donc x et y)
- 2) L'étude des propriétés de la substance X, indique la présence d'un noyau aromatique et d'une fonction alcool.

Quels sont la formule semi-développée et le nom de cet alcool ?

- 3) On fait subir à X une oxydation ménagée et on obtient un produit Y qui rosit le réactif de Schiff.

Ecrire l'équation de la réaction d'oxydation et nommer le produit Y.

A quelle famille organique appartient-il ?

- 4) Une masse $m = 15$ g de Y, laissée à l'air libre, s'oxyde en présence de lumière et donne lentement naissance à un produit cristallisé blanc Z.

- a) Quel est le nom de Z ? Quelle est sa masse sachant que le rendement de la réaction est de 80 % ?

- b) Comment appelle-t-on une réaction qui s'effectue par action de la lumière ? Donner un exemple de telles réactions.

On prendra : 76 cm de Hg = 10^5 Pa

Exercice C₅-9

Un ester, dont la chaîne carbonée est saturée, a une masse volumique de 1,7 kg/m³ lorsqu'il est à l'état gazeux, à 250°C sous la pression atmosphérique normale.

- 1) Combien y a-t-il d'atomes d'oxygène dans une molécule d'ester ?
- 2) On supposera que cet ester gazeux se comporte comme un gaz parfait pour déterminer la masse molaire et la formule brute de cet ester. On donne $R = 8,31$ U.S.I

- 3) Quelles sont les formules semi-développées possibles ?

Exercice C₅-10

L'amidon $(C_6H_{10}O_5)_n$ est formé de deux constituants : l'amylose (20 %) et l'amylopectine (80 %). L'amylose $n = 200$ et l'amylopectine $n = 25$ donnent par hydrolyse du maltose $C_{12}H_{22}O_{11}$ puis du glucose $C_6H_{12}O_6$.

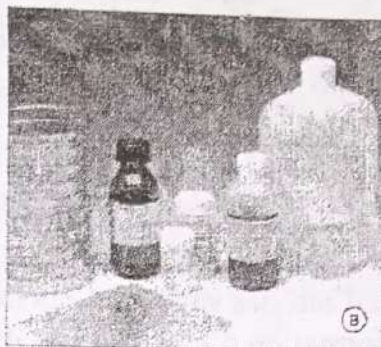
- 1) Calculer les masses molaires de l'amylose, l'amylopectine et de l'amidon.
- 2) Ecrire l'équation-bilan de l'hydrolyse de l'amidon en maltose puis en glucose.
- 3) Calculer la masse de maltose et celle de glucose que l'on peut obtenir à partir de 100 kg d'amidon.

- 4) Le glucose subit une fermentation en éthanol et en dioxyde de carbone. Le rendement de cette fermentation alcoolique est de 80 %. Calculer la masse et le volume d'éthanol que l'on peut obtenir à partir de 100 kg d'amidon.

On donne la densité de l'éthanol : $d = 0,8$.

ETHANOL – ETHANAL

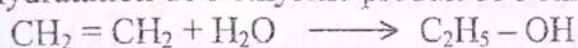
ACIDE ETHANOÏQUE



1) PREPARATIONS DE L'ETHANOL ET DE L'ETHANAL

1-1 Préparation de l'éthanol à partir de l'éthylène

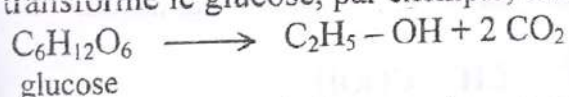
- L'hydratation de l'éthylène produit de l'éthanol.



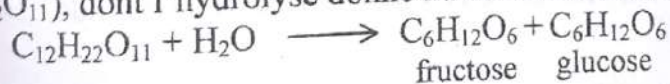
- La méthode industrielle actuelle d'obtention de l'éthanol consiste à envoyer l'éthylène et la vapeur d'eau à une température voisine de 300°C et sous pression forte sur un catalyseur constitué d'acide phosphorique et de l'acide sulfurique sur de la silice.

1-2 Autre mode d'obtention de l'éthanol : la fermentation des jus sucrés.

Les jus de fruits (pompes, raisin, prunes...) contiennent des sucres fermentescibles comme le glucose ou le fructose, tous deux de formule $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. La fermentation de ces jus transforme le glucose, par exemple, en éthanol.

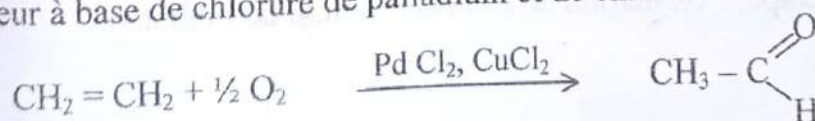


Certains jus comme celui de la canne à sucre par exemple, sont riches en saccharose ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), dont l'hydrolyse donne naissance à deux sucres fermentescibles.



1-3 Préparation de l'éthanal à partir de l'éthylène.

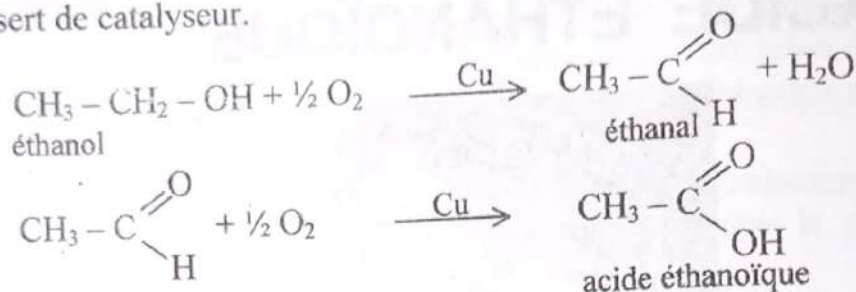
La fabrication industrielle de l'éthanal se fait actuellement par réaction de dioxygène sur l'éthylène à une température de 130°C et sans faible pression, en présence de catalyseur à base de chlorure de palladium et de chlorure de cuivre.



2) OXYDATION DE L'ETHANOL EN ETHANAL ET EN ACIDE ETHANOÏQUE.

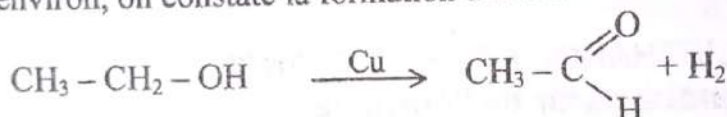
2-1 Oxydation mélangée par le dioxygène : la lampe sans flamme.

Un mélange de vapeurs d'éthanol et de dioxygène, mis en présence d'un fil de cuivre ou de platine préalablement porté au rouge, réagit selon une réaction suffisamment exothermique pour maintenir incandescent le fil métallique. Cette expérience dite de la lampe sans flamme conduit à deux oxydations ménagées successives dont le fil de cuivre sert de catalyseur.



2-2 Oxydation ménagée par déshydrogénation catalytique

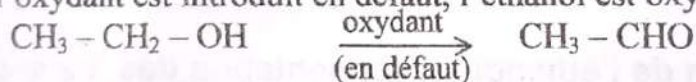
Si l'on fait passer, en l'absence d'air, des vapeurs d'éthanol sur du cuivre maintenu à 280°C environ, on constate la formation d'éthanal et de dihydrogène.



2-3 Oxydation ménagée par action d'autres oxydants

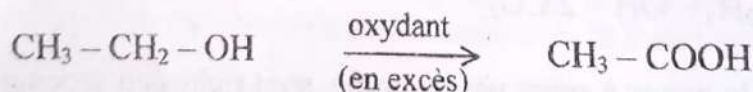
Le dichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) et le permanganate de potassium (KMnO_4), en solution aqueuse acide, sont des oxydants capables d'oxyder l'éthanol en éthanal, puis en acide éthanóïque.

- Si l'oxydant est introduit en défaut, l'éthanol est oxydé en éthanal.



L'éthanal formé comme tous les aldéhydes, est mis en évidence à l'aide des tests du réactif de Schiff et de la 2,4 - dinitrophénylhydrazine (DNPH).

Si l'oxydant est introduit en excès, l'éthanol est oxydé en acide éthanóïque.

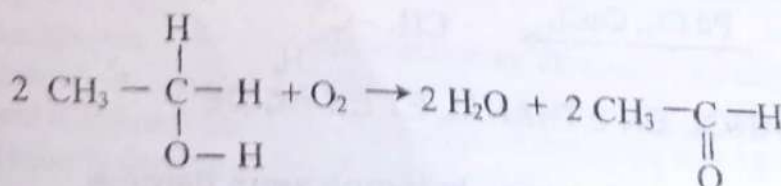


L'acide éthanóïque formé comme tous les acides est mis en évidence à l'aide des indications colorés et du papier pH.

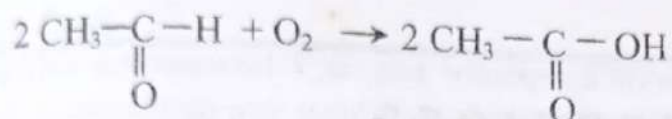
3) ETUDE DE QUELQUES PROPRIETES CHIMIQUES

3-1 L'oxydation de l'éthanol

- Dans une première étape, l'oxydation de l'éthanol donne de l'éthanal.



- Dans une seconde étape, l'aldéhyde est oxydé en acide acétique :



aldéhyde acétique

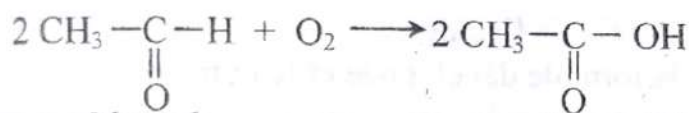
acide acétique

3-2 Oxydation par les oxydants

De nombreux oxydants peuvent transformer l'éthanol en éthanal et même l'éthanal en acide éthanoïque. Les oxydants les plus usuels sont :

- l'ion permanganate MnO_4^- en milieu acide ;
- l'ion dichromate $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ en milieu acide ;
- le trioxyde de chrome CrO_3 .

3-3 Oxydation de l'éthanal



éthanal

acide acétique

EXERCICES

Exercice C₆-1

1) Montre que la formule brute d'un acide carboxylique saturé est $C_nH_{2n}O_2$ avec n nombre d'atomes de carbone.

2) On dissout dans 200 cm^3 d'eau, $8,1\text{ g}$ d'acide carboxylique A à chaîne linéaire saturée. On prélève 20 cm^3 de la solution acide. On y ajoute quelques gouttes de phénolphthaléine. Ensuite on verse lentement dans cette solution acide, à l'aide d'une burette graduée une solution de soude de concentration molaire $C_B = 1\text{ mol/L}$. Pour obtenir le virage de l'indicateur coloré, il faut verser $V_B = 13,5\text{ cm}^3$ de solution de soude.

- Calcule la concentration molaire C_A de l'acide.
- Détermine la masse molaire, la formule développée et le nom de A.

3) Cet acide A est obtenu par l'oxydation ménagée d'un corps C qui provient aussi de l'oxydation ménagée d'un alcool B.

Donne les noms et les formules semi-développées de B et C.

4) L'alcool B est obtenu par hydratation d'un alcène D. Quel est cet alcène ?

Exercice C₆-2

L'éthanol est oxydé par le dioxygène de l'air en présence d'un catalyseur en deux étapes dans l'expérience de la lampe sans flamme. En fonction de la quantité de dioxygène utilisé, cette oxydation peut donner de l'éthanal et/ou de l'acide éthanoïque.

1) Ecrire les équations des réactions correspondant à la transformation :

- a) de l'éthanol en éthanal ;
- b) de l'éthanal en acide éthanoïque ;
- c) de l'éthanol en acide éthanoïque.

2) En partant de $29,1\text{ cm}^3$ d'éthanol de masse volumique 790 kg/m^3 on obtient une masse $m' = 18\text{ g}$ d'acide éthanoïque. Sachant que tout l'éthanol a réagi, montrer qu'il reste de l'éthanal dans le mélange et calculer sa masse.

Exercice C₆-3

On fait subir à une masse $m = 13,4\text{ g}$ d'un mélange d'éthanol et d'éthanal une oxydation ménagée en présence du dioxygène de l'air.

Le produit obtenu après oxydation ménagée totale du mélange est dissous dans l'eau de façon à obtenir 200 cm^3 de solution.

On prélève un volume $V_a = 20\text{ cm}^3$ de cette solution que l'on dose par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_b = 1,5\text{ mol/L}$ en présence de phénolphthaléine. On constate que pour obtenir le virage de l'indicateur coloré, il faut verser un volume $V_b = 20\text{ cm}^3$ d'hydroxyde de sodium.

Déterminer la masse m_1 d'éthanol et la masse m_2 d'éthanal que l'on a dans le mélange initial. Après oxydation, il ne reste dans le mélange final ni éthanol, ni éthanal.

Exercice C₆-4

Trois flacons contiennent l'un une solution d'éthanol, l'autre une solution aqueuse d'éthanol, le troisième une solution aqueuse d'acide éthanóïque. Les étiquettes se sont malencontreusement décollées. Pour réétiqueter correctement les flacons on procède à des tests analytiques simples sur un échantillon de chaque solution ; on obtient les résultats suivants :

Numéro du flacon	1	2	3
Test			
Solution KMnO_4 et acide sulfurique concentré	rien	décoloration	décoloration
Réactif de Schiff	rien	rose	rien

Que contiennent respectivement les flacons 1, 2 et 3 ?

Exercice C₆-5

En présence d'air, le vin se transforme en vinaigre. Cela correspond à l'oxydation de l'éthanol contenu dans le vin en acide éthanóïque.

- 1) Ecrire l'équation de la réaction.
- 2) Quelle quantité minimum d'acide éthanóïque peut-on obtenir lors de l'oxydation de 100 litres d'un vin contenant 90 cm^3 d'éthanol par litre (vin à 9 degrés) ?
- 3) En réalité, la concentration en acide éthanóïque du vinaigre obtenu est de $1,10 \text{ mol.L}^{-1}$. Calculer le rendement de la réaction d'oxydation. On donne : masse volumique de l'éthanol = 800 kg.m^{-3} .

Exercice C₆-6

La législation française actuelle autorise l'addition d'éthanol à l'essence, la proportion d'éthanol étant limitée à 5 % en volume. Afin de déterminer si un carburant, contenant de l'éthanol, est conforme à cette législation, on traite 20 cm^3 de ce carburant par une solution titrée de permanganate de potassium en milieu fortement acide. Seul l'éthanol est alors oxydé en acide éthanóïque. On constate qu'il faut ajouter 24 cm^3 de la solution de permanganate à $0,4 \text{ mol.L}^{-1}$ pour obtenir une coloration rose persistante. L'équation-bilan de l'oxydation de l'éthanol par les ions permanganate (MnO_4^-) s'écrit :



- 1) Déterminer la quantité d'éthanol contenu dans l'échantillon dosé.
- 2) En déduire la proportion, en volume, d'éthanol contenu dans le carburant étudié. Est-il conforme à la législation ?

On donne la masse volumique de l'éthanol : 790 kg.m^{-3}

Exercice C₆-7

On dispose d'une solution décimolaire d'éthanol dans l'eau. L'alcool de cette solution s'est partiellement oxydé en acide éthanoïque. On désire calculer la concentration de la solution en alcool et en acide éthanoïque. Pour cela, on prélève 10 mL de la solution que l'on dose par la soude décimolaire, en présence de phénolphtaléine. Le mélange a lieu pour un volume de 8,5 mL de soude. Calculer les concentrations de la solution en alcool et acide éthanoïque.

Exercice C₆-8

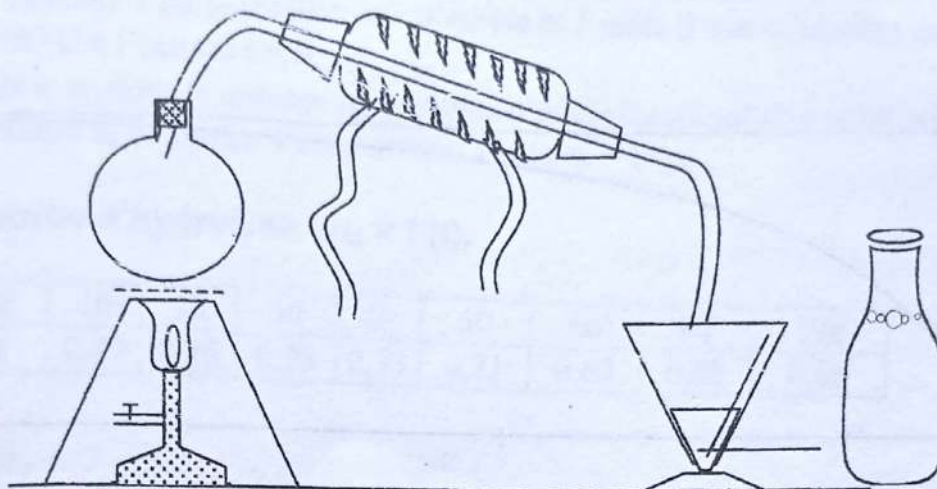
1) On considère un alcool à chaîne carbonée saturée de formule brute C_xH_yO .

- Donner l'expression de y en fonction x .
- Déterminer la masse molaire et la formule brute de l'alcool sachant que le pourcentage en masse de l'oxygène est 26,66 %.
- Quels sont les formules semi-développées et les noms des deux isomères de cet alcool ?

2) Dans un laboratoire, on mélange un des alcools et du propanal. On procède à l'oxydation ménagée de 17,6 g de ce mélange dans du dioxygène, en présence de cuivre.

- On obtient un seul et unique produit carboné :
 - Quel est l'alcool utilisé ?
 - Ecrire les équations-bilans des réactions d'oxydation et nommer le produit carboné formé.
- On dissout un dixième (1/10) du produit obtenu dans de l'eau distillée pour obtenir un litre de solution aqueuse. On dose 10 mL de la solution obtenue en présence d'un indicateur coloré approprié. Il faut 30 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire $C' = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ pour obtenir l'équivalence acido-basique. Déterminer les masses m_1 d'alcool et m_2 de propanal, ainsi que les pourcentages en quantité de matière de ces composés contenus dans le mélange initial.

ESTERIFICATION – HYDROLYSE

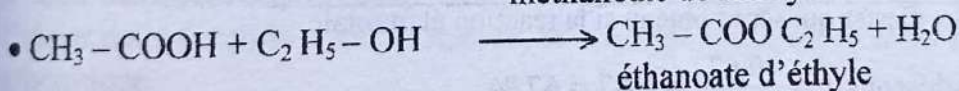
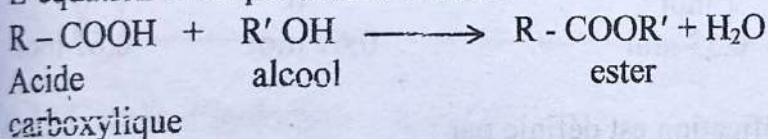


1) LA REACTION D'ESTERIFICATION

1-1 Définition et exemples

• La réaction d'estérification est la réaction d'un acide carboxylique avec un alcool ; elle donne naissance à un ester et à de l'eau.

L'équation bilan provisoire s'écrit :



1-2 Etude d'une réaction d'estérification

1-2-1 Réalisation du mélange réactionnel

On prépare des ampoules scellées identiques contenant chacune 1 mole d'acide éthanoïque et 1 mole d'éthanol. A l'instant $t = 0$, ces ampoules sont placées dans une enceinte dont la température est constante : 100°C par exemple. La réaction d'estérification ne peut être étudiée qu'à une température élevée.

1-2-2 Analyse du système chimique et courbe d'estérification

• Pour connaître l'état du système à un instant t , on extrait une ampoule de l'enceinte. Elle est ensuite refroidie dans de la glace et l'acide restant est dosé par une solution de soude titrée. Si n_a est le nombre de moles d'acide éthanoïque restant à cet instant, alors la quantité de matière n_e d'ester s'écrit : $n_e = 1 - n_a$.

• Pour une estérification s'effectuant à 100°C , il faut suivre l'évolution pendant une huitaine de jours. Le tableau ci-dessous indique l'évolution des nombres n_a et n_e en fonction du temps t .

t (h)	0	2	4	10	20	40	100	150	200
n_a (mol)	1	0,82	0,74	0,62	0,51	0,42	0,36	0,34	0,33
n_e (mol)	0	0,18	0,26	0,38	0,49	0,58	0,64	0,66	0,67

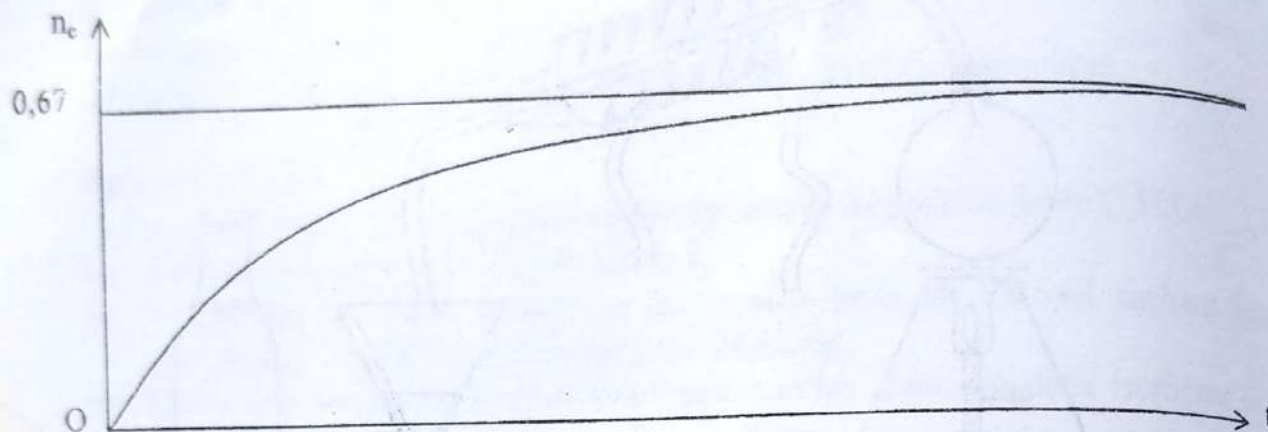
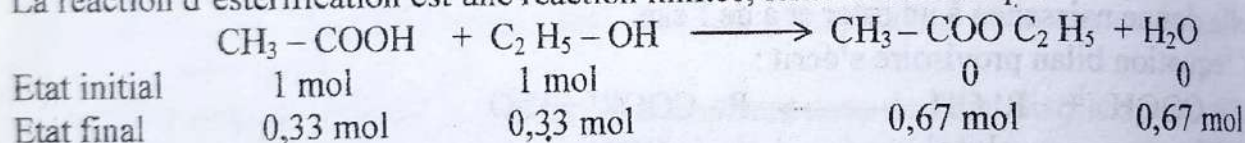


Fig.1 : Courbe d'estérification : $n_e = f(t)$

1-3 Les caractéristiques de la réaction d'estérification

La réaction d'estérification est une réaction limitée, lente et athermique.



La limite ℓ de la réaction d'estérification est définie par :

$$\ell = \frac{\text{nombre de moles d'ester formé au bout d'un temps très long}}{\text{nombre de moles d'ester qui serait obtenu si la réaction était totale}}$$

Pour le mélange ci-dessous $\ell = \frac{0,67}{1} = 0,67 = 67\%$

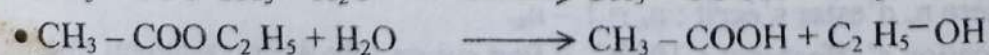
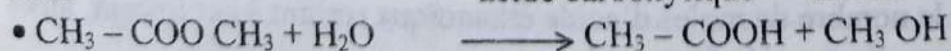
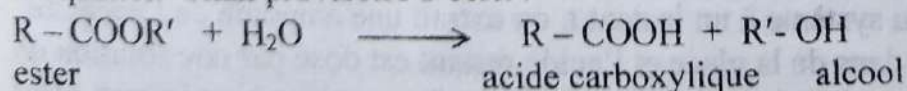
2) LA REACTION D'HYDROLYSE

2-1 Définition et exemples

• La réaction d'hydrolyse d'un ester est son action sur l'eau ; elle donne naissance à un acide carboxylique et à un alcool.

Estérification et hydrolyse d'un ester sont deux réactions inverses.

L'équation-bilan provisoire s'écrit :



2-2 Etude d'une réaction d'hydrolyse

2-2-1 Processus expérimental

- On procède de la même façon que pour l'estérification. Les ampoules scellées contiennent chacune 1 mole d'éthanoate d'éthyle et 1 mole d'eau et placées dans une enceinte à 100°C à l'instant $t = 0$.
- A un instant t , on dose le nombre n_a de moles d'acide formé par une solution de soude. Le nombre n_e de moles d'ester restant vaut : $n_e = 1 - n_a$.

2-2-2 La courbe d'hydrolyse : $n_e = f(t)$.

t (min)	0	10	20	30	40	50	60	90	120
n_e (mol)	1	0,89	0,80	0,75	0,73	0,71	0,69	0,68	0,68

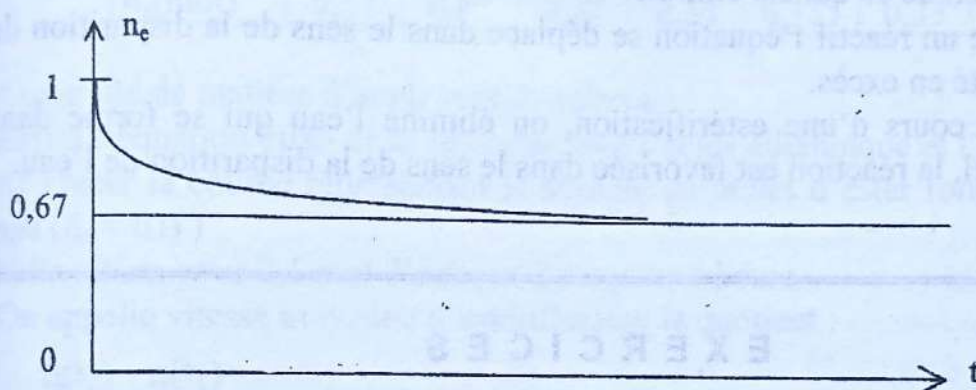


Fig.2 : Courbe d'hydrolyse : $n_e = f(t)$

2-3 Les caractéristiques de la réaction d'hydrolyse.

A l'instar de la réaction d'estérification, la réaction d'hydrolyse aussi est limitée, lente et athermique.

3) L'EQUILIBRE D'ESTERIFICATION-HYDROLYSE

- Un ensemble de deux réactions inverses susceptibles de se produire dans les mêmes conditions et donc, simultanément, porte le nom de réaction réversible. Par exemple l'ensemble estérification – hydrolyse d'un ester.

On représente une réaction réversible par une double flèche $\rightleftharpoons$

et on écrit : $\text{R} - \text{COOH} + \text{R}' + \text{OH} \rightleftharpoons \text{R} - \text{COOR}' + \text{H}_2\text{O}$ (estérification).

- $\text{R} - \text{COOR}' + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{R} - \text{COOH} + \text{R}' - \text{OH}$ (hydrolyse).

Lorsqu'on laisse évoluer une réaction réversible, on aboutit à un système chimique. L'équilibre chimique s'établit lorsque tout se passe comme si son évolution chimique avait cessé et qu'il est impossible de rendre totale l'une ou l'autre des deux réactions inverses.

- c) Soient B l'acide carboxylique et C l'alcool obtenus lors de l'hydrolyse de A. L'acide B peut être obtenu par oxydation ménagée de l'alcool C, lui-même obtenu par hydratation catalytique d'un alcène D. Déterminer les formules de A, B, C et D.
- 2) On mélange 6 g d'acide éthanoïque et 23 g d'éthanol. On chauffe ce mélange à 80°C. Au bout de plusieurs jours, la limite de l'équilibre est atteinte. On dose alors ce mélange par de la soude de concentration 1 mol/L en présence de phénolphthaléine. L'équivalence est obtenue pour 5 cm³ de soude.
- a) Nommer les réactions et écrire leurs équations. Donner la composition molaire du mélange initial.
- b) Calculer le nombre de moles d'ester formé à l'équilibre.

Exercice C7-3

On réalise l'estérification d'une mole d'acide éthanoïque par une mole d'éthanol. On dose d'heure en heure l'acide restant et on trouve les résultats suivants :

t en h	1	2	3	4	5	6	7
n _a (mol)	0,57	0,42	0,37	0,34	0,335	0,33	0,33

n_a = quantité de matière d'acide restant en mole.

- 1) Ecrire l'équation bilan de la réaction entre l'acide éthanoïque et l'éthanol.
- 2) a) Tracer la courbe représentant le nombre de moles d'ester formé en fonction du temps (n_e = f(t))
- Echelle : 2 cm pour 0,1 mol d'ester et 2 cm pour 1 heure.
- b) On appelle vitesse moyenne d'estérification le quotient :

$$v_m = \frac{n(t_2) - n(t_1)}{t_2 - t_1} \text{ où } n(t) \text{ est le nombre de moles d'ester formé à l'instant } t.$$

Calculer la vitesse moyenne d'estérification entre les instants t₁ = 1 h et t₂ = 3 h ; préciser l'unité.

- c) Déterminer graphiquement le temps correspondant à la formation de 0,50 mole d'ester.
- 3) a) Comment peut-on vite atteindre l'équilibre ?
- b) Comment peut-on déplacer l'équilibre dans le sens de la formation de l'ester ?
- 4) Evaluer le volume réactionnel sachant que la masse volumique de l'éthanol est ρ₁ = 790 kg/m³ et celle de l'acide éthanoïque ρ₂ = 1080 kg/m³.

Exercice C7-4

On veut préparer du 2-méthylpropanoate d'éthyle.

- 1) Quelle est la formule semi-développée de cet ester ?
- 2) Quel alcool et quel acide doit-on utiliser pour l'obtenir ? Ecrire l'équation bilan de la réaction.
- 3) La réaction a lieu dans une ampoule scellée en présence d'un peu d'acide sulfurique à 100°C.
- a) Quel est le rôle de l'acide sulfurique ?
- b) Quelle est la composition du mélange en masse d'ester et en masse d'alcool à

l'équilibre si le mélange initial comporte 0,15 mol d'acide et 0,15 mol d'alcool ? La limite d'estérification est de 66 %.

c) Le mélange initial comporte maintenant 0,15 mol d'acide et 0,45 mol d'alcool. La limite d'estérification pour ces proportions initiales est 90 %.

Quelle masse d'ester obtiendra-t-on à l'équilibre ?

N.B. : C : 12 g/mol ; H : 1 g/mol ; O : 16 g/mol.

Exercice C7-5

On étudie expérimentalement la cinétique de la réaction d'estérification du propan-1-ol par l'acide méthanoïque. Le mélange initial est constitué de 0,50 mole d'acide et de 0,50 mole d'alcool. La réaction a lieu à température constante. Pour déterminer le nombre n de moles d'ester formé à la date t , on dose le nombre n_a de moles d'acide restant dans le milieu réactionnel.

Les résultats de l'opération sont consignés dans le tableau suivant :

t en min	0	5	10	20	30	40	50	60
n_a	0,50	0,42	0,37	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
n_e	0							

- 1) Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
- 2) Compléter le tableau précédant puis tracer la courbe d'estérification $n_e = f(t)$.
On adoptera comme échelle : 1 cm pour 5 min ; 1 cm pour $2 \cdot 10^{-2}$ mole.
- 3) Déterminer à la date $t = 15$ min, la composition du milieu réactionnel.
- 4) Quelle influence aurait sur cette réaction :
 - une élévation de la température ?
 - l'addition au milieu réactionnel de quelques gouttes d'acide sulfurique concentré ?
- 5) Calculer le rendement de l'opération à la date $t = 60$ min.

Exercice C7-6

- 1) Un laborantin désire préparer 10 g d'éthanoate d'éthyle.
 - a) Quel alcool et quel acide doit-il utiliser ?
 - b) Quelle masse d'alcool faut-il utiliser en supposant la réaction complète ?
 - c) Pour des mélanges équimolaires de cet acide et de cet alcool, la limite d'estérification est en fait de 67 %.

Quelle masse d'éthanol faut-il faire entrer en réaction, dans ces conditions, pour obtenir 10 g de l'ester ?

- 2) On se propose d'étudier la disparition de l'éthanoate d'éthyle lors de son hydrolyse.

Pour cela, on dissout $m = 4,4$ g de cet ester dans un litre d'eau à 25°C . On répartit cette solution dans 10 tubes de 100 cm^3 .

A intervalle de temps régulier, on dose l'acide éthanoïque formé dans chaque tube par un volume V_b d'hydroxyde de sodium de concentration molaire volumique $C_b = 0,1$ mol/L.

On obtient les résultats suivants :

t(min)	0	10	20	40	50	60	90	120
V _b (cm ³)	0	10,3	18,5	30,3	34,4	37,5	43,2	46,8

- Ecrire les équations de la réaction d'hydrolyse de l'ester.
Calculer le nombre de moles d'ester contenu dans chaque tube à l'instant initial.
Quelles sont les caractéristiques de la réaction d'hydrolyse ?
- Pour chaque valeur de t, déterminer :
le nombre de mole n_a d'acide formé ;
le nombre de mole n_e d'ester restant.

Porter ces résultats dans un tableau.

- Tracer les courbes n_e = f(t) et n_a = f(t) sur le même graphique ;
Echelles : 1 cm pour 10 min ; 2 cm pour 10⁻³ mol.

- Déterminer graphiquement l'instant correspondant à la disparition de la moitié de l'ester.

Exercice C₇-7

- Ecrire les équations représentant les réactions d'estérification :
 - de l'éthanol par l'acide 2-méthylbutanoïque ;
 - du propan-2-ol par l'acide éthanoïque ;
 - du 2-méthylpropan-1-ol par l'acide méthanoïque.
- Ecrire les équations représentant les réactions d'hydrolyse :
 - du butanoate d'éthyle ;
 - du 2-méthylpropanoate de méthyle ;
 - du propanoate de 1-méthyléthyle.
- Un composé organique oxygéné A contient de l'oxygène, 54,5 % de carbone et 9,1 % d'hydrogène. La densité de vapeur par rapport à l'air du composé est 3,03.
 - Déterminer la formule brute du composé A.
 - Quels sont les formules semi-développées et les noms possibles de ce composé organique ?
 - Le composé A est soumis à une réaction d'hydrolyse et l'on obtient deux produits B et C. Le produit B, en solution aqueuse a un pH acide. 7,4 g du composé B sont dosés exactement par 40 cm³ d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire C_b = 2,5 mol/L. En déduire la formule semi-développée du produit B.
 - On réalise l'expérience de la lampe sans flamme avec le produit C (oxydation par l'oxygène de l'air en présence du cuivre incandescent).
On constate le rosissement du réactif de Schiff. Lorsqu'on poursuit la réaction, on obtient une solution acide D. 4,6 g de cet acide D sont dosés par la solution d'hydroxyde de sodium de concentration 2,5 mol/L. L'équivalence acido-basique est obtenue après avoir versé 40 cm³ d'hydroxyde de sodium.
Déduire de ces renseignements la formule semi-développée de l'acide D et du produit C.
Ecrire la formule semi-développée du composé A.

Exercice C7-8

1) Les affirmations suivantes sont-elles justes ? Les corriger si nécessaire.
 a) Pour préparer de l'éthanoate de 1-méthyléthyle ou d'isopropyle, il faut faire réagir de l'acide éthanoïque sur l'éthanol.
 b) Si l'on hydrolyse du propanoate d'éthyle, on obtient de l'acide propanoïque et de l'éthanol.

c) Une élévation de la température accélère la réaction d'estérification et retarde la réaction d'hydrolyse.

d) Un excès d'alcool ou d'acide déplace l'équilibre chimique en faveur de l'estérification.

2) Dans un tube à essais on introduit $V_1 = 11,3$ mL de propan-1-ol de masse volumique $\rho_1 = 799$ g/L, $V_2 = 8,6$ mL d'acide éthanoïque de masse volumique $\rho_2 = 1050$ g/L et 1 mL d'acide sulfurique de concentration 2,5 mol/L. Le tube à essais est placé au bain-marie à 90°C.

Au bout de 6 heures, la réaction n'évoluant plus, on prélève 8,2 mL du mélange que l'on dose par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_b = 2$ mol/L en présence de phénolphthaléine. Pour obtenir l'équivalence acido-basique il a fallu verser 10,8 mL de soude dans ce prélèvement.

a) Ecrire l'équation de la réaction entre l'acide éthanoïque et le propan-1-ol.

Quel est le ncm de cette réaction ?

Quelles sont ses particularités ? Pourquoi a-t-on acidifié le mélange chauffé ?

b) Montrer que le mélange initial est équimolaire en alcool et en acide éthanoïque.

c) Calculer le nombre de moles d'ions H_3O^+ apporté par l'acide sulfurique.

Calculer au bout de 6 heures le nombre de moles d'acide éthanoïque restant dans le mélange de même que le nombre de moles d'ester formé.

d) Calculer la limite de la réaction d'estérification. Pourquoi la réaction est-elle limitée ?

Exercice C7-9

On mélange dans un gros tube à essais un volume $V_1 = 29$ mL d'acide éthanoïque et un volume $V_2 = 46$ mL de butan-1-ol. On introduit 7,5 mL du mélange dans des tubes à essais numérotés qu'on place dans un bain-marie à 100°C. Dans chaque tube on introduit 3 gouttes d'acide sulfurique concentré. A différentes dates t , on dose l'acide restant dans un tube à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C_b = 2$ mol/L. Soit V_b le volume d'hydroxyde de sodium qu'il faut ajouter au contenu du tube pour obtenir l'équivalence. Un dosage préalable montre que 3 gouttes d'acide sulfurique concentré sont neutralisés par $v = 2$ cm³ de la solution d'hydroxyde de sodium.

Le tableau des résultats du dosage est le suivant :

t(min)	2	5	8	12	16	20	25	30	40	50
$V_b(\text{cm}^3)$	22	17,5	15	13,1	12,2	11,6	11,1	10,9	10,6	10,5
$n_a(\text{CH}_3\text{COOH restant})$										
$n_e(\text{ester formé})$										

- 1) Ecrire l'équation de la réaction entre l'acide éthanoïque et le butan-1-ol.
- 2) Montrer que le mélange initial est équimolaire en alcool et en acide éthanoïque.
- 3) Quel est le rôle joué par l'acide sulfurique ?
- 4) Compléter le tableau en calculant les nombres de moles d'acide éthanoïque restant et d'ester formé.
- 5) Tracer la courbe représentant le nombre de moles d'acide restant en fonction du temps. 1 cm $\longleftrightarrow$ $0,5 \cdot 10^{-2}$ mol ; 1 cm $\longleftrightarrow$ 4 min.
- 6) On appelle vitesse moyenne de disparition de l'acide éthanoïque entre les

dates t_1 et t_2 le quotient $v = - \frac{n(t_2) - n(t_1)}{t_2 - t_1}$ où $n(t)$ est le nombre de moles

d'acide restant à l'instant t . Calculer la vitesse moyenne de disparition de l'acide entre les instants $t_1 = 8$ min et $t_2 = 20$ min.

- 7) Au bout de 50 min la composition du mélange n'évolue plus. L'équilibre réactionnel est atteint. Calculer le pourcentage d'acide estérifié. Pourquoi la réaction est-elle limitée ?

On donne :

$M(C) = 12$ g/mol ; $M(O) = 16$ g/mol ; $M(H) = 1$ g/mol.

Masse volumique de l'acide éthanoïque pur : $\rho_1 = 1035$ g/L.

Masse volumique du butan-1-ol : $\rho_2 = 805$ g/L.

Exercice C7-10 (Non corrigé)

On donne :

- le volume molaire gazeux dans les conditions expérimentales $V_M = 24$ L.mol $^{-1}$;
- les masses atomiques molaires : $M(H) = 1$ g.mol $^{-1}$; $M(C) = 12$ g.mol $^{-1}$; $M(O) = 16$ g.mol $^{-1}$.

- 1) On introduit 2,22 g d'un alcool absolu R-OH à chaîne carbonée saturée non cyclique dans un tube avec un excès de sodium pur.

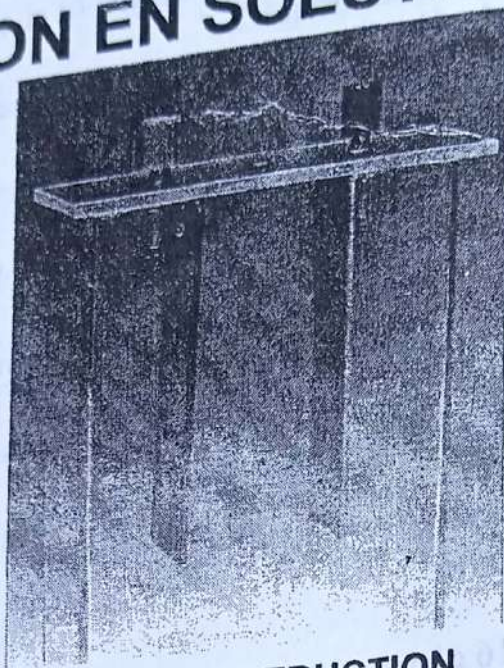
- a) Ecrire l'équation bilan de la réaction.
- b) Le volume du gaz formé au cours de la réaction vaut 360 mL dans les conditions de l'expérience.

- Calculer la masse molaire de l'alcool ;
- Déterminer la formule brute de l'alcool ;
- Quels sont les noms et les formules semi-développées possibles de cet alcool ?

- 2) On estérifie cet alcool avec l'acide 2-méthylbutanoïque. Ecrire les équations des réactions possibles et nommer les esters que l'on peut obtenir.

- 3) Quel est l'ester que l'on obtient en réalité sachant que l'un des atomes de carbone de l'alcool utilisé est lié à quatre atomes ou groupes d'atomes différents ?

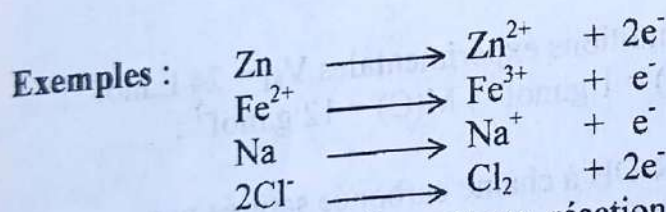
OXYDATION EN SOLUTION AQUEUSE



1) NOTION D'OXYDATION ET DE REDUCTION

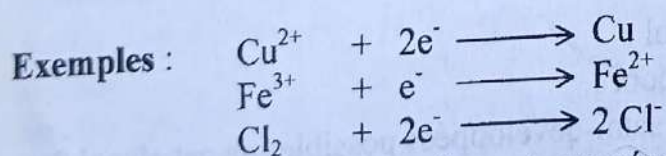
Une réaction d'oxydation est une réaction au cours de laquelle des électrons sont cédés.

oxydation = perte d'électrons



Une réaction de réduction est une réaction au cours de laquelle des électrons sont captés.

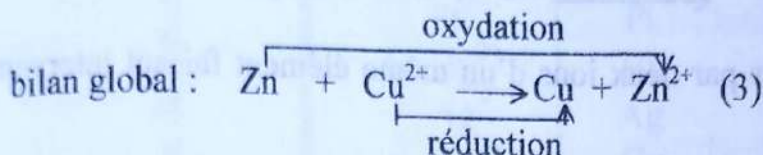
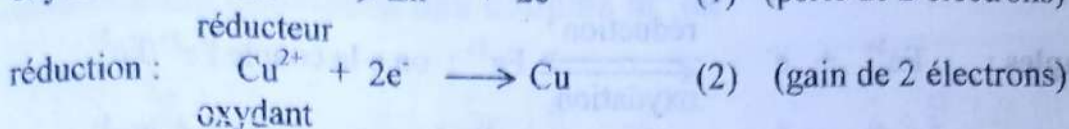
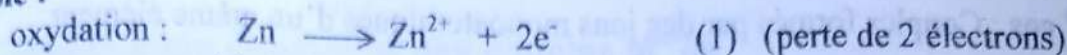
Réduction = gain d'électrons



Une réaction d'oxydoréduction est une réaction au cours de laquelle il y a transfert d'électrons entre des espèces chimiques.

- L'espèce chimique qui cède les électrons est appelé **réducteur** ; le réducteur est oxydé au cours d'une réaction d'oxydation.
- L'espèce chimique qui capte les électrons est appelé **oxydant** ; l'oxydant est réduit au cours d'une réaction de réduction.
- L'oxydation et la réduction se produisent simultanément au cours de la même réaction.
- Au cours d'une réaction d'oxydoréduction, les électrons cédés par le réducteur sont captés par l'oxydant.

Exemple :

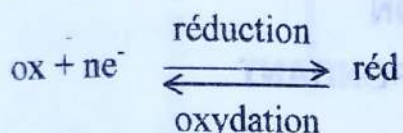


Les équations (1) et (2) sont appelées des demi-équations électroniques.

L'équation (3) est l'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction.

Généralisation

Si ox est l'oxydant et réd le réducteur, on a :



N.B. : Les électrons se placent toujours du côté de l'oxydant.

2) NOTION DE COUPLES D'OXYDOREDUCTION OU COUPLES REDOX

Deux espèces chimiques "oxydant" et "réducteur" forment un couple rédox si le gain de n électrons par l'oxydant (ox) conduit à la formation du réducteur (réd) selon la demi-réaction : $\text{ox} + \text{ne}^- \rightleftharpoons \text{réd}$.

Cette transformation se caractérise par un couple rédox ox/réd formé par l'ensemble d'une forme oxydée (ox) et d'une forme réduite (réd).

Dans le couple rédox ox/réd, il faut toujours écrire l'oxydant avant le réducteur.

On distingue plusieurs catégories de couples rédox :

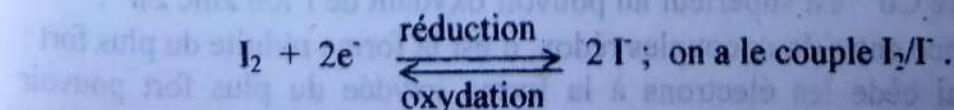
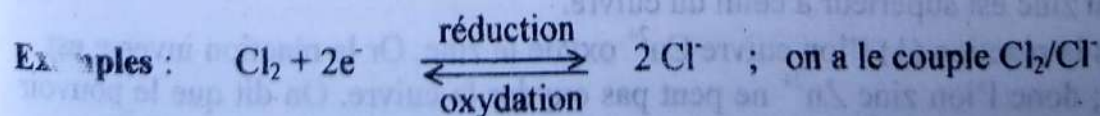
* **1^{er} cas** : couples formés par un métal M (forme réduite) et un cation métallique M^{n+} (forme oxydée).

Ce couple est noté M^{n+}/M

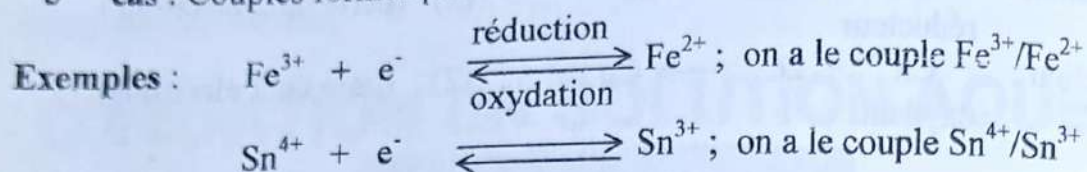
Exemples : Cu^{2+}/Cu , Zn^{2+}/Zn , Fe^{2+}/Fe ...

N.B. : On rattache souvent à cette catégorie de couples, le couple H^+/H_2 ou $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$ constitué par le dihydrogène H_2 et le proton H^+ (ou l'ion hydronium H_3O^+).

* **2^{ème} cas** : Couples formés par un corps simple (forme oxydée) et l'anion correspondant (forme réduite).

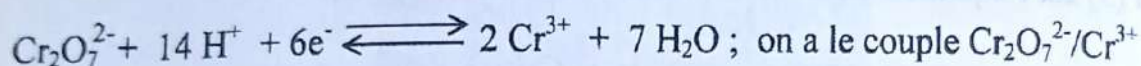
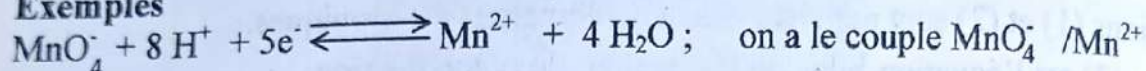


* 3^{ème} cas : Couples formés par des ions monoatomiques d'un même élément.



* 4^{ème} cas : Couples formés par deux ions d'un même élément faisant intervenir des ions polyatomiques.

Exemples



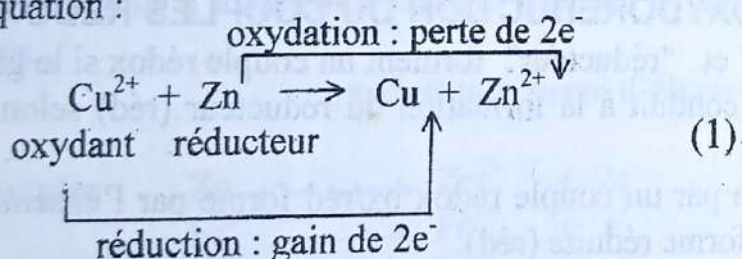
3) CLASSIFICATION QUALITATIVE DES COUPLES

OXYDANT/REDUCTEUR FORMES PAR UN ION

METALLIQUE M^{n+} ET LE METAL M CORRESPONDANT

3-1 Concurrence entre deux couples rédox

La réaction d'oxydoréduction entre le zinc Zn et l'ion cuivre Cu^{2+} se traduit par l'équation :



Les électrons cédés par le zinc sont captés par l'ion cuivre Cu^{2+} .

La réaction précédente fait apparaître deux couples rédox Zn^{2+}/Zn et Cu^{2+}/Cu .

Les oxydants sont : Cu^{2+} et Zn^{2+} .

Les réducteurs sont : Zn et Cu.

La réaction inverse $\text{Zn}^{2+} + \text{Cu} \longrightarrow \text{Zn} + \text{Cu}^{2+}$ est impossible.

Cela veut dire que le cuivre ne peut donc pas céder des électrons à l'ion Zn^{2+} .

Conclusion

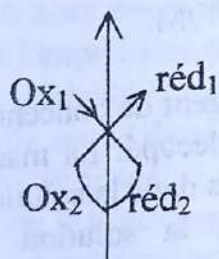
- D'après la réaction (1), le zinc réduit les ions Cu^{2+} ; la réaction inverse étant impossible, le cuivre ne peut pas réduire les ions zinc Zn^{2+} ; on dit que le pouvoir réducteur du zinc est supérieur à celui du cuivre.
- D'après la réaction (1) l'ion cuivre Cu^{2+} oxyde le zinc. Or la réaction inverse est impossible ; donc l'ion zinc Zn^{2+} ne peut pas oxyder le cuivre. On dit que le pouvoir oxydant de l'ion cuivre Cu^{2+} est supérieur au pouvoir oxydant de l'ion zinc Zn^{2+} .
- Dans la concurrence entre deux couples rédox, c'est la forme réduite du plus fort pouvoir réducteur qui cède les électrons à la forme oxydée du plus fort pouvoir oxydant.

3-2 Classification qualitative des couples M^{n+}/M

↑ Pouvoir oxydant croissant du cation M^{n+}	↑ Au^{3+} Pt^{2+} Hg^{2+} Ag^+ Cu^{2+} H_3O^+ Pb^{2+} Sn^{2+} Ni^{2+} Fe^{2+} Zn^{2+} Al^{3+}	↓ Pouvoir réducteur croissant du métal M
	↓ Au Pt Hg Ag Cu H_2 Pb Sn Ni Fe Zn Al	

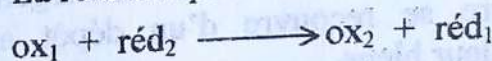
3-3 Utilisation de la classification : la règle du gamma

Entre deux couples rédox $ox_1/réd_1$ et $ox_2/réd_2$, la seule réaction naturelle est celle de l'oxydant le plus fort sur le réducteur le plus fort. La règle dite "du gamma" est un moyen de retrouver le sens naturel de la réaction entre deux couples $ox_1/réd_1$ et $ox_2/réd_2$.



L'oxydant le plus fort ox_1 réagit sur le réducteur le plus fort $réd_2$ pour donner le réducteur le plus faible $réd_1$ et l'oxydant le plus faible ox_2 .

La réaction possible a donc pour équation :



EXERCICES

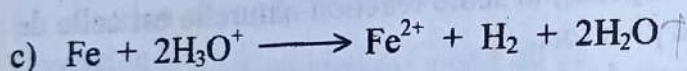
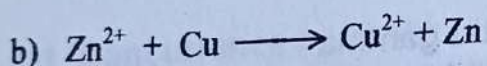
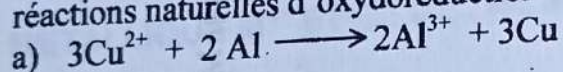
Exercice C₈-1

1) Donner la définition des termes suivants :

- oxydation
- réduction
- oxydant
- réducteur

2) Ecrire le bilan de la réaction d'oxydoréduction entre les couples Zn^{2+}/Zn et Cu^{2+}/Cu puis entre les couples Ag^+/Ag et Fe^{2+}/Fe .

3) Choisir parmi les équations-bilans suivantes, celle(s) qui correspond(ent) à des réactions naturelles d'oxydoréduction.

**N.B.** : On utilisera le classement des couples oxydoréducteurs M^{n+}/M .**Exercice C₈-2**

Dans un bécher contenant 200 mL d'une solution de nitrate d'argent de concentration molaire $C = 1 \text{ mol.L}^{-1}$, on plonge un morceau de cuivre bien décapé. La masse de cuivre est suffisante pour réagir avec tous les ions argent contenus dans la solution. Le morceau de cuivre se recouvre d'un dépôt argenté et la solution prend progressivement la couleur bleue.

1) Ecrire l'équation-bilan de la réaction qui s'est produite.

2) A quoi est due la couleur bleue prise par la solution ?

3) Calculer à la fin de la réaction (après la disparition de tous les ions argent Ag^+ contenus dans la solution) :

a) la masse d'argent déposée sur le cuivre ;

b) la masse de cuivre ayant réagi.

On donne les masses molaires suivantes : $M(\text{Ag}) = 108 \text{ g/mol}$; $M(\text{Cu}) = 64 \text{ g/mol}$.**Exercice C₈-3**

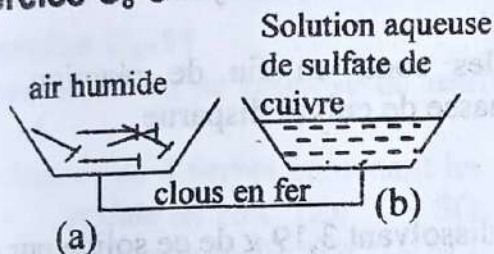
De la grenaille de zinc est placée dans 100 cm³ d'acide chlorhydrique de concentration $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$.

1) Ecrire l'équation-bilan de la réaction.

2) Quelle est la masse de zinc nécessaire pour, qu'après réaction, la concentration de la solution devienne égale à $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$?3) Quelle est alors la concentration des ions zinc Zn^{2+} dans la solution ? On donne $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g.mol}^{-1}$.

Exercice C₈-4

- 1) L'acide sulfurique commercial contient 98 % de sa masse d'acide pur. Quelle masse d'acide du commerce faut-il pour préparer 1 litre de solution d'acide sulfurique de concentration 1 mol.L^{-1} ?
 - 2) Ecrire l'équation – bilan de la réaction de l'acide sulfurique avec l'eau. Quelle est la concentration des ions H_3O^+ présents en solution ?
 - 3) On oxyde complètement 1,8 g de nickel avec la solution d'acide préparée.
 - a) Calculer le volume de dihydrogène dégagé (mesuré dans les conditions normales)
 - b) Calculer les concentrations des ions présents dans la solution.
- On donne : $M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{S}) = 32 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$;
 $M(\text{Ni}) = 58,7 \text{ g.mol}^{-1}$ et $K_e = 10^{-14}$.

Exercice C₈-5

Yao observe l'aspect de deux séries de clous en fer :

- en (a) les clous ont été exposés à l'air humide pendant plusieurs semaines ;
- en (b) les clous ont été immergés dans une solution aqueuse de sulfate de cuivre pendant plusieurs heures.

- 1) Indiquer, pour (a) et pour (b) :
 - l'aspect des clous ;
 - le nom des produits apparus sur les clous
- 2) Pour l'expérience (a) écrire l'équation de la réaction subie par le fer.
- 3) Pour analyser l'expérience (b), Yao retire les clous et verse quelques gouttes d'une solution de soude dans le liquide restant dans le récipient. Il observe la formation d'un précipité vert foncé.
 - a) Quel est le nom de ce produit ?
 - b) Quel ion est ainsi mis en évidence ?
 - c) Ecrire l'équation de la réaction ayant conduit à la formation du précipité vert foncé.
 - d) Ecrire l'équation de la réaction entre les clous et la solution de sulfate de cuivre.

Exercice C₈-6

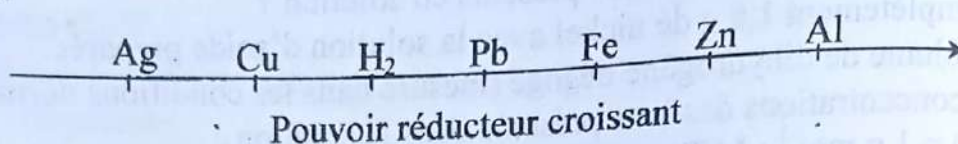
On cherche à connaître la composition massique d'un mélange d'aluminium et de fer en poudre. Pour cela, on attaque, 10 g de ce mélange avec un volume $V = 250 \text{ mL}$ d'une solution d'acide chlorhydrique.

- 1) Ecrire les demi-équations électroniques et les équations-bilans des réactions qui se produisent.
- 2) L'attaque de la totalité de la poudre a produit des ions Al^{3+} et Fe^{2+} en quantités égales. Quelle est la masse de chacun des métaux dans l'échantillon ?
- 3) En déduire le volume de dihydrogène dégagé (mesuré dans les conditions normales) et la quantité minimale d'acide chlorhydrique utilisé. Quelle est la concentration minimale de l'acide à utiliser ?

Exercice C₈-7

Une lame d'argent plongeant dans une solution de chlorure d'or (AuCl_3) se recouvre d'or.

- 1) a) Que peut-on dire du pouvoir réducteur de l'or ?
- b) Situer l'or dans la classification des métaux usuels. On utilisera la classification ci-dessous.



- c) Peut-on relier la place de l'or dans cette classification au fait que l'on trouve l'or dans la nature à l'état natif ?
- 2) Dans 150 cm^3 d'une solution de chlorure d'or à $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, on ajoute un excès de poudre de cuivre. Y a-t-il une réaction ?
- 3) Si la réaction se produit, déterminer quelles sont, en fin de réaction, la concentration molaire en ions cuivre II Cu^{2+} et la masse de cuivre disparue.

Exercice C₈-8

- 1) On prépare une solution de sulfate de cuivre en dissolvant 3,19 g de ce solide pur et anhydre dans 500 cm^3 d'eau.

Quelle est la concentration de cette solution ?

- 2) On verse de la limaille de fer, en large excès, dans cette solution.

Que se passe-t-il ? Ecrire l'équation-bilan de la réaction.

- 3) Calculer la masse du dépôt métallique obtenu.

- 4) On filtre et on verse ensuite, dans le filtrat obtenu, une solution d'hydroxyde de sodium ; on observe la formation d'un précipité vert.

Quel est ce précipité ? Calculer sa masse.

On donne les masses molaires atomiques en g.mol^{-1} : $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{O}) = 16$; $M(\text{S}) = 32$; $M(\text{Fe}) = 56$; $M(\text{Cu}) = 63,5$.

Exercice C₈-9

On plonge une lame de zinc dans 50 mL d'une solution de nitrate de plomb ($\text{Pb}^{2+} + 2\text{NO}_3^-$) de concentration $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$.

- 1) Quels sont les phénomènes observés ? Ecrire l'équation – bilan correspondante.
- 2) En supposant la réaction totale, quelle est la masse du dépôt métallique obtenu ?
- 3) On filtre et on verse ensuite une solution d'hydroxyde de sodium goutte à goutte. Un précipité blanc apparaît.

Quel est ce précipité ? Quelle masse peut-on théoriquement obtenir ?

- 4) Si on continue à ajouter la solution d'hydroxyde de sodium en grande quantité, qu'observe-t-on ?

Masses molaires atomiques en g.mol^{-1} : $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{O}) = 16$; $M(\text{Zn}) = 65,4$; $M(\text{Pb}) = 207$

Exercice C₈-10

Dans une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 de concentration $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ et de volume 250 cm^3 , on dissout $6,238 \text{ g}$ de sulfate de cuivre hydraté $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

- 1) Calculer les concentrations des ions H_3O^+ ; Cu^{2+} et SO_4^{2-} dans la solution.
- 2) On plonge, dans cette solution, de la poudre de fer en excès.
 - a) Quelles réactions vont-elles se produire ?
 - b) Ecrire les demi-équations électroniques et les équations bilan des réactions.
 - c) En supposant que les réactions sont totales, calculer la concentration en ions Fe^{2+} de la solution.
 - d) Calculer la masse du dépôt de cuivre et le volume de dihydrogène dégagé (mesuré dans les conditions normales).

Masses atomiques molaires en g.mol^{-1} : $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{O}) = 16$; $M(\text{S}) = 32$;
 $M(\text{Fe}) = 56$; $M(\text{Cu}) = 63,5$

Exercice C₈-11

Expérience : on se propose de retrouver une partie de la classification des couples M^{n+}/M .

On dispose de 4 verres contenant les solutions aqueuses suivantes :

- sulfate de zinc ($\text{Zn}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$)
- sulfate de fer II ($\text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$)
- sulfate de cuivre ($\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$)
- sulfate d'argent ($2\text{Ag}^+ + \text{SO}_4^{2-}$)

On plonge dans chaque solution une lame d'aluminium bien décapée.

On recommence l'expérience avec, successivement, une lame de zinc, une lame de fer, une lame de cuivre et une lame d'argent.

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Métal \ Solution	Zn	Fe	Cu	Ag
Sulfate de zinc	-	-	-	-
Sulfate de fer	+	-	-	-
Sulfate de cuivre	+	+	-	-
Sulfate d'argent	+	+	+	-

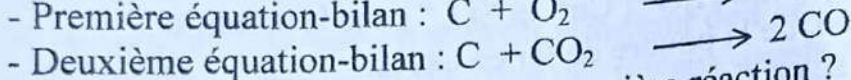
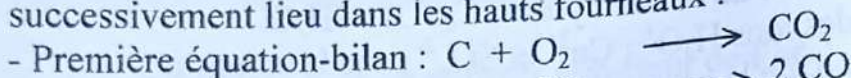
Code : Le signe (+) marqué dans chaque case indique qu'il y a réaction entre le métal et la solution correspondante. Le signe (-) indique qu'aucune réaction n'est observée.

Questions

- 1) Ecrire les équations-bilans des réactions ayant lieu.
- 2/ a) Interpréter le tableau.
- b) A partir des résultats expérimentaux résumés dans le tableau, donner une classification des métaux utilisés, par ordre de pouvoir réducteur croissant.
- c) En déduire le classement des cations métalliques issus de ces métaux par ordre de pouvoir oxydant croissant.

Exercice C₈-12

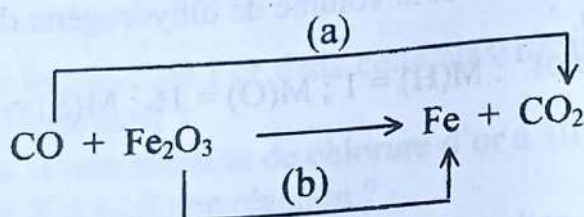
1) Les équations-bilan ci-dessous correspondent à deux réactions chimiques qui ont successivement lieu dans les hauts fourneaux :



a) Quel nom peut-on donner à la première réaction ?

b) Dans la deuxième réaction, on dit que le corps de formule CO_2 est réduit par le corps de formule C. Justifier cette expression

2) Dans le haut fourneau, la principale réaction chimique a pour équation-bilan :

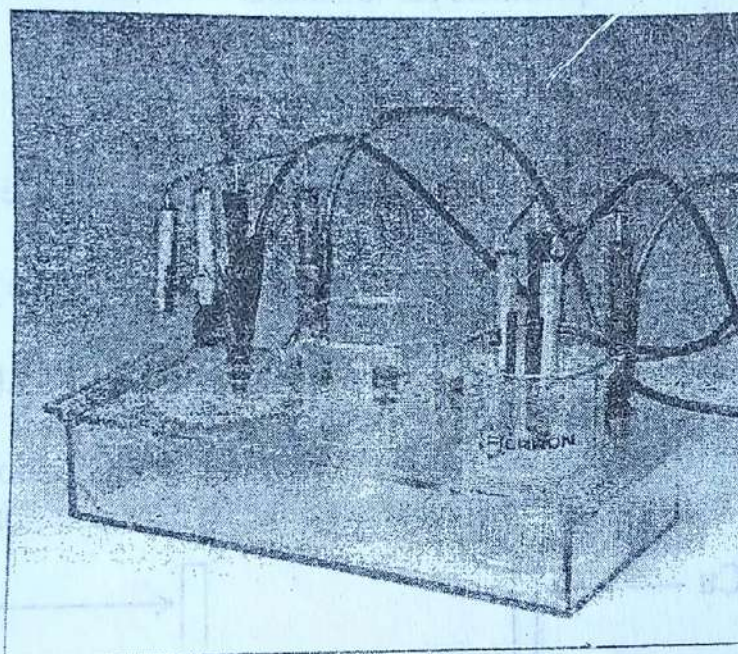


a) Equilibrer cette équation-bilan.

b) Donner le nom des corps réagissants et des corps obtenus.

c) Donner le nom des transformations repérées par (a) et (b) sur cette équation-bilan.

PILES ET POTENTIELS D'OXYDOREDUCTION

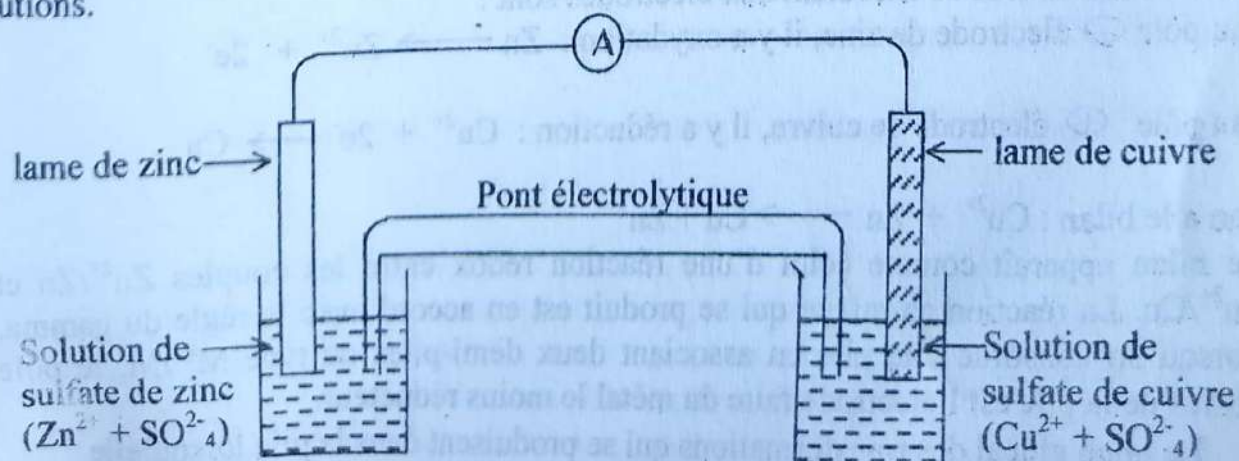


1) ETUDE D'UNE PILE ZINC / CUIVRE OU PILE DANIELL

1-1 Constitution

On réalise un montage comprenant :

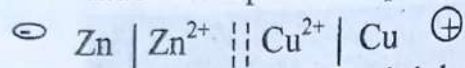
- une lame de cuivre bien décapée plongeant dans une solution de sulfate de cuivre de concentration 1 mol.L^{-1} ;
- une lame de zinc bien décapée plongeant dans une solution de sulfate de zinc de concentration 1 mol.L^{-1} ;
- un pont salin ou pont électrolytique permettant le contact électrique entre les deux solutions.



Un ampèremètre à zéro central montre que le courant circule (au sens conventionnel) dans le circuit extérieur de la lame de cuivre vers la lame de zinc. Il y a donc mouvement des électrons de la lame de zinc vers la lame de cuivre dans le circuit extérieur.

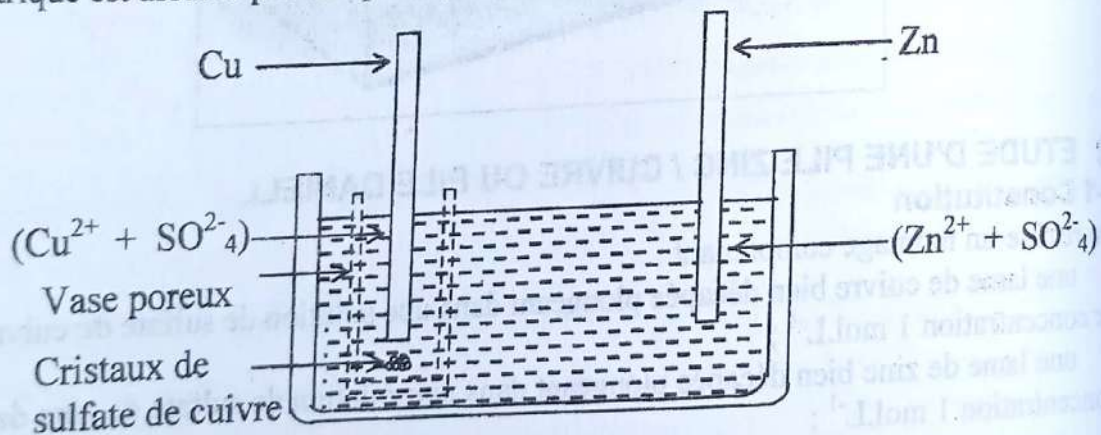
Ce dispositif constitue une pile dont le pôle positif est l'électrode de cuivre et le pôle négatif l'électrode de zinc.

La pile ainsi constituée est représentée par le schéma conventionnel suivant :



- le signe $\ominus$ est placé à gauche du côté de la borne négative ;
- le signe $\oplus$ est placé à droite à côté de la borne positive ;
- la barre en trait plein marque la séparation entre la solution et l'électrode métallique ;
- la double barre en pointillés schématise le pont électrolytique de jonction entre les deux compartiments.
- Chaque compartiment constitue une demi-pile et chaque demi-pile est le siège d'une demi-réaction électronique.

Remarque : Dans la pile Daniell utilisée quelquefois au laboratoire, la continuité électrique est assurée par une paroi poreuse séparant les deux solutions.



1-2 Fonctionnement

Les transformations se déroulant aux électrodes sont :

- au pôle $\ominus$ électrode de zinc, il y a oxydation : $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$

- au pôle $\oplus$ électrode de cuivre, il y a réduction : $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$

- on a le bilan : $\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} \longrightarrow \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$

Ce bilan apparaît comme celui d'une réaction rédox entre les couples Zn^{2+}/Zn et Cu^{2+}/Cu . La réaction chimique qui se produit est en accord avec la règle du gamma. Lorsqu'on constitue une pile en associant deux demi-piles de type M^{n+}/M , le pôle positif de la pile est l'électrode faite du métal le moins réducteur.

• Le bilan global des transformations qui se produisent dans la pile lorsqu'elle débite un courant est le même que celui de la réaction naturelle entre les couples : le métal le plus réducteur réduit les cations du métal le moins réducteur.

- Dans une pile, l'oxydation et la réduction se déroulent simultanément, mais séparément : au pôle négatif de la pile, constitué par le métal le plus réducteur, a lieu l'oxydation ; au pôle positif, constitué par le métal le moins réducteur, a lieu la réduction.

1-3 Force électromotrice

La pile ainsi obtenue est caractérisée par une force électromotrice f.é.m qu'on peut mesurer en branchant à ses bornes un voltmètre de très bonne qualité.

On a : $E_{Zn/Cu} = V_{Cu} - V_{Zn} = 1,08 \text{ V}$.

Remarque : La mesure des f.é.m des piles permet de classer quantitativement les couples oxydant/réducteur.

2) POTENTIEL D'OXYDOREDUCTION D'UN COUPLE

2-1 Electrode normale à hydrogène

Chaque couple oxydoréducteur est caractérisé par une tension appelée potentiel d'oxydoréduction ou potentiel d'électrode.

Ce potentiel est mesuré par rapport à un couple rédox de référence qui est le couple H_3O^+/H_2 . Dans cette demi-pile, l'électrode de référence est l'électrode normale à hydrogène réalisée dans certaines conditions (solution acide de $pH = 0$ et pression du dihydrogène au-dessus de la solution $p = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, pression normale).

Par convention, le potentiel de l'électrode normale à hydrogène E.N.H est nul à toute température ; ce qu'on note : $E_{H_3O^+/H_2} = 0^0$

2-2 Potentiel normal d'oxydoréduction

Le potentiel normal d'oxydoréduction du couple M^{n+}/M est le potentiel de l'électrode M utilisée dans les conditions standard par rapport à l'E.N.H.

On impose aux concentrations des ions métalliques en solution la valeur

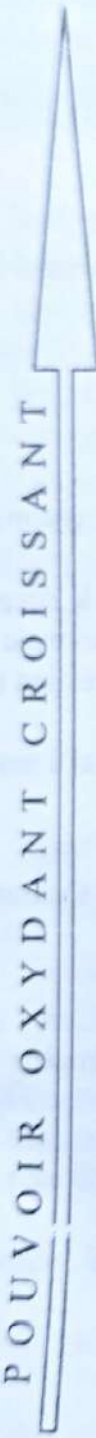
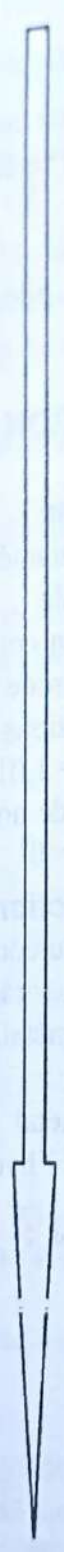
$$[M^{n+}] = 1 \text{ mol.L}^{-1}.$$

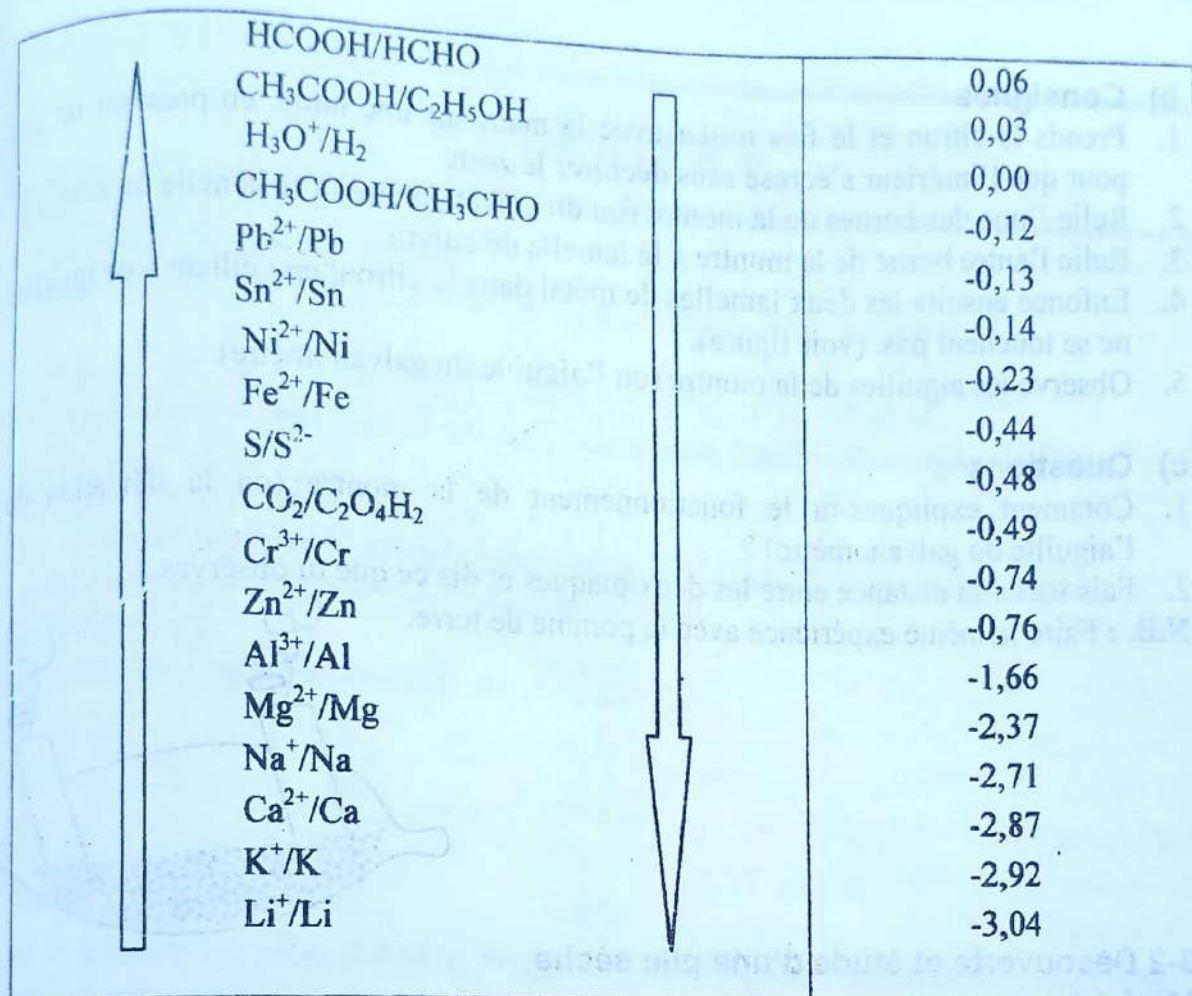
Le potentiel normal est positif si le métal est moins réducteur que l'hydrogène et négatif si le métal est plus réducteur que l'hydrogène.

Exemples de potentiels normaux :

$$E_{Cu^{2+}/Cu}^0 = 0,34 \text{ V} ; E_{Ag^+/Ag}^0 = 0,80 \text{ V} ; E_{Fe^{2+}/Fe}^0 = -0,44 \text{ V} ; E_{Al^{3+}/Al}^0 = -1,67 \text{ V}.$$

2-3 Potentiels normaux des couples oxydoréducteurs

Couples ox/red		E° (V)
 POUVOIR OXYDANT CROISSANT	F_2/F^-	2,87
	$S_2O_8^{2-}/SO_4^{2-}$	2,01
	H_2O_2/H_2O	1,77
	ClO^-/Cl^-	1,71
	ClO^-/Cl_2^-	1,63
	MnO_4^-/Mn^{2+}	1,51
	Au^{3+}/Au	1,50
	Ce^{4+}/Ce^{3+}	1,45
	Cl_2/Cl^-	1,36
	$Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$	1,33
	CrO_4^{2-}/Cr^{3+}	1,33
	O_2/H_2O	1,23
	MnO_2/Mn^{2+}	1,21
	Br_2/Br^-	1,07
	Pt^{2+}/Pt	1,0
	NO_3^-/NO	0,96
	Hg^{2+}/Hg	0,86
	Ag^+/Ag	0,80
	Fe^{3+}/Fe^{2+}	0,77
	O_2/H_2O_2	0,68
	I_2/I^-	0,54
	Cu^+/Cu	0,52
	Cu^{2+}/Cu	0,34
	$HCHO/CH_3OH$	0,19
	CH_3CHO/C_2H_5OH	0,19
	SO_4^{2-}/SO_2	0,17
	Cu^{2+}/Cu^+	0,16
	Sn^{4+}/Sn^{2+}	0,15
	$HCOOH/CH_3OH$	0,12
	$S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$	0,08
 POUVOIR REDUCTEUR CROISSANT		



HCOOH/HCHO	0,06
CH ₃ COOH/C ₂ H ₅ OH	0,03
H ₃ O ⁺ /H ₂	0,00
CH ₃ COOH/CH ₃ CHO	-0,12
Pb ²⁺ /Pb	-0,13
Sn ²⁺ /Sn	-0,14
Ni ²⁺ /Ni	-0,23
Fe ²⁺ /Fe	-0,44
S/S ²⁻	-0,48
CO ₂ /C ₂ O ₄ H ₂	-0,49
Cr ³⁺ /Cr	-0,74
Zn ²⁺ /Zn	-0,76
Al ³⁺ /Al	-1,66
Mg ²⁺ /Mg	-2,37
Na ⁺ /Na	-2,71
Ca ²⁺ /Ca	-2,87
K ⁺ /K	-2,92
Li ⁺ /Li	-3,04

2-4 Utilisation des potentiels d'oxydoréduction

- * Entre deux couples rédox, la seule réaction naturelle est celle où l'oxydant du couple de plus haut potentiel oxyde le réducteur du couple de plus bas potentiel.
- * Le pôle positif d'une pile est constitué par l'électrode correspondant au couple de plus haut potentiel.
- * Le pôle négatif est constitué par l'électrode correspondant au couple de plus bas potentiel.
- * La f.é.m d'une pile est égale à la différence entre le potentiel rédox du couple présent au pôle positif de cette pile et le potentiel rédox du couple présent à son pôle négatif.
- * On admettra le résultat suivant :
Une réaction d'oxydoréduction est totale si la différence des potentiels normaux des deux couples mis en jeu est supérieure ou égale à 0,3 V.

3) APPLICATION PRATIQUE :

3-1 Comment produire de l'électricité à l'aide d'un citron

a) Matériel :

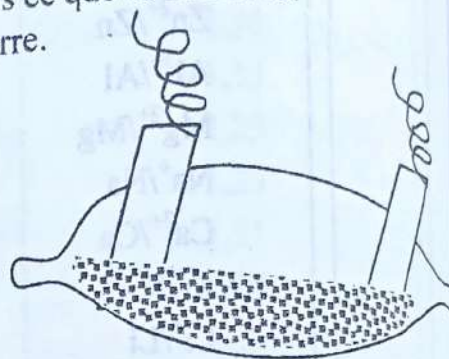
- 1 citron (jaune de préférence)
- 2 lamelles (l'une en zinc et l'autre en cuivre)
- 1 montre à quartz très sensible (ou un galvanomètre sensible)
- 2 fils de connexion.

b) Consignes

1. Prends le citron et le fais rouler avec la main sur une table, en pressant un peu pour que l'intérieur s'écrase sans déchirer le zeste.
2. Relie l'une des bornes de la montre (ou du galvanomètre) à la lamelle de zinc.
3. Relie l'autre borne de la montre à la lamelle de cuivre.
4. Enfonce ensuite les deux lamelles de métal dans le citron, en veillant à ce qu'elles ne se touchent pas. (voir figure).
5. Observe les aiguilles de la montre (ou l'aiguille du galvanomètre).

c) Questions

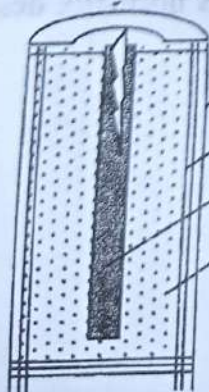
1. Comment expliques-tu le fonctionnement de la montre (ou la déviation de l'aiguille du galvanomètre) ?
 2. Fais varier la distance entre les deux plaques et dis ce que tu observes.
- N.B. : Faire la même expérience avec la pomme de terre.

**3-2 Découverte et étude d'une pile sèche****Matériel**

- Une vieille pile cylindrique
- Une scie

Consignes

1. Débarrasse une vieille pile sèche de son enveloppe extérieure.
2. Scie la pile par moitié et étudie la manière dont elle est construite.
3. Observe l'électrode de carbone, qui constitue le pôle positif, au centre, le tube de zinc qui constitue l'électrode négative, et la substance contenue entre les deux pôles, qui constitue l'électrolyte (c'est-à-dire le produit chimique qui agit sur les plaques de la pile).
4. Observe que le zinc a été rongé par le produit chimique.
5. Observe que les produits chimiques ont été emprisonnés dans le tube de zinc au moyen de goudron (voir figure).



- A Enveloppe en zinc
B Papier absorbant
C Electrode de carbone
D Electrolyte et matière absorbante

EXERCICES

Exercice C₉-1

On considère les piles suivantes :

Pile A : $\ominus \text{Pb} \mid \text{Pb}^{2+} \parallel \text{Cu}^{2+} \mid \text{Cu} \oplus$ avec $E_1 = E^\circ_{\text{Cu}} - E^\circ_{\text{Pb}} = 0,47 \text{ V}$.

Pile B : $\ominus \text{Zn} \mid \text{Zn}^{2+} \parallel \text{Pb}^{2+} \mid \text{Pb} \oplus$ avec $E_2 = E^\circ_{\text{Pb}} - E^\circ_{\text{Zn}} = 0,63 \text{ V}$.

1) Quel serait le pôle positif de la pile constituée à partir des couples Cu^{2+}/Cu et Zn^{2+}/Zn ?

2) Calculer la f.é.m de cette pile.

3) Calculer le potentiel normal des couples Zn^{2+}/Zn et Pb^{2+}/Pb sachant que le potentiel normal du couple Cu^{2+}/Cu vaut $0,34 \text{ V}$.

Exercice C₉-2

On donne les potentiels normaux des couples :

$\text{Cu}^{2+}/\text{Cu} : E_1^\circ = 0,34 \text{ V}$

$\text{Pb}^{2+}/\text{Pb} : E_2^\circ = -0,13 \text{ V}$

$\text{Zn}^{2+}/\text{Zn} : E_3^\circ = -0,76 \text{ V}$

$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe} : E_4^\circ = -0,44 \text{ V}$

On considère les piles formées par l'association de deux demi-piles correspondant aux couples rédox ci-dessus.

1) a) Quels couples faut-il utiliser pour obtenir la pile ayant la f.é.m la plus grande ? Cette pile sera notée A.

- Calculer la f.é.m de cette pile.
- Schématiser cette pile en indiquant son pôle positif et son pôle négatif.
- Ecrire les équations des réactions aux électrodes (on précisera s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction) et l'équation-bilan correspondant au fonctionnement de cette pile.

b) La pile A débite un courant d'intensité constante de 75 mA pendant 2 h .

- Quelle est la quantité d'électricité q débitée ?
- Quelle est la variation de masse de chaque électrode ?

(On précisera s'il s'agit d'une augmentation ou d'une diminution de masse).

2) - Quels couples faut-il utiliser pour obtenir la pile ayant la f.é.m la plus faible ? Cette pile sera notée B.

- Calculer la f.é.m de cette pile.
- Schématiser cette pile en indiquant le métal qui constitue le pôle positif et celui qui constitue le pôle négatif.

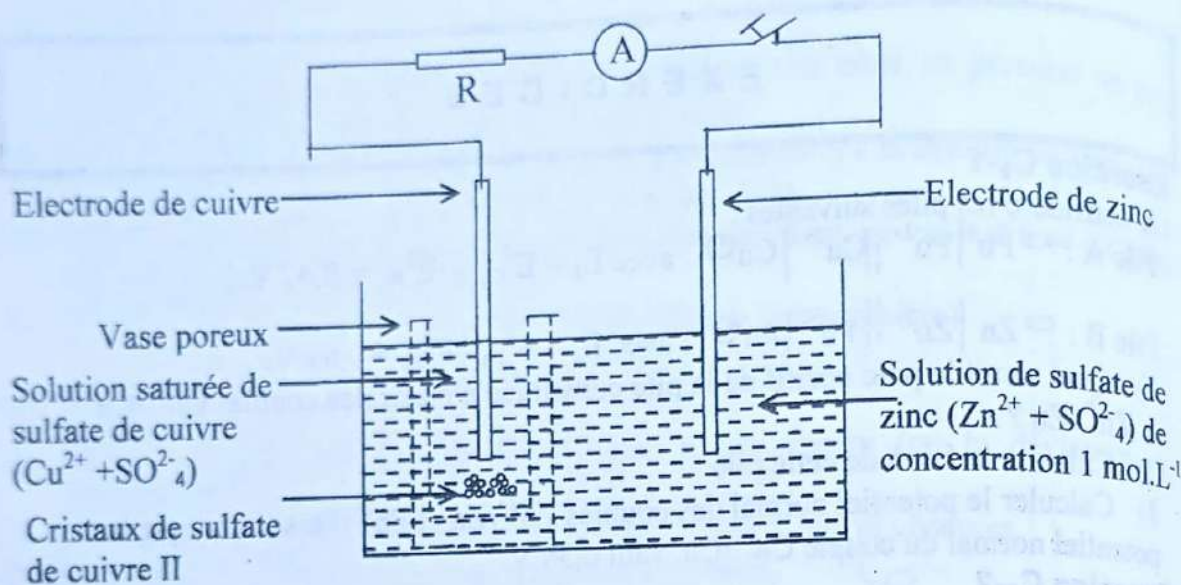
On donne :

$M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g/mol}$; $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g/mol}$; $M(\text{Fe}) = 56 \text{ g/mol}$; $M(\text{Pb}) = 207 \text{ g/mol}$.

On prendra $N_e = 96500 \text{ C}$.

Exercice C₉-3

La pile Daniell schématisée ci-dessous débite un courant I dans un conducteur ohmique de résistance R .



On donne les potentiels normaux des couples mis en jeu.

$$E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = 0,34 \text{ V} ; E^\circ_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = -0,76 \text{ V}.$$

On ferme l'interrupteur et on laisse passer le courant pendant un certain temps. Choisissez parmi les propositions suivantes celles qui sont correctes. Justifiez.

- 1) La masse de l'électrode en cuivre :
 - a) augmente ;
 - b) diminue ;
 - c) reste constante.
- 2) La masse de l'électrode en zinc :
 - a) augmente ;
 - b) diminue ;
 - c) ne varie pas.
- 3) La concentration de la solution de sulfate de zinc en ions Zn^{2+} :
 - a) augmente ;
 - b) diminue ;
 - c) reste constante.
- 4) La quantité de cristaux de cuivre :
 - a) augmente ;
 - b) diminue ;
 - c) est constante.
- 5) A l'électrode en zinc, on a la réaction suivante-:
 - a) $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Zn}$
 - b) $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$
- 6) A l'électrode en cuivre, on a la réaction suivante :
 - a) $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$
 - b) $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
- 7) Le bilan du fonctionnement de la pile est :
 - a) $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$
 - b) $\text{Cu} + \text{Zn}^{2+} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{Zn}$
 - c) $\text{CuSO}_4 \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$

- g) Les électrons circulent dans le circuit extérieur :
- de l'électrode en cuivre vers l'électrode en zinc ;
 - de l'électrode en zinc vers l'électrode en cuivre.
- g) La force électromotrice de la pile ainsi réalisée est :
- 1,1 V
 - 0,42 V
 - 1,5 V.

Exercice C₉-4 (non corrigé)

1) On donne un premier extrait des tables des potentiels normaux d'oxydo-réduction π_0 de certains couples, ainsi que la masse molaire des éléments correspondants :

Elément	Masse molaire (g.mol ⁻¹)	Couples	π_0 (V)
Aluminium	27	Al ³⁺ /Al	-1,66
Argent	108	Ag ⁺ /Ag	0,80
Cuivre	64	Cu ²⁺ /Cu	0,34
Fer	56	Fe ²⁺ /Fe	-0,44
Zinc	65	Zn ²⁺ /Zn	-0,76

- Ecrire la demi-équation correspondant à chaque couple oxydant-réducteur ;
- Quels couples doit-on associer pour réaliser une pile de type Daniell
(Les concentrations des solutions valant 1 mol.L⁻¹) :
 - de force électromotrice de valeur maximale (pile A)
 - de force électromotrice de valeur minimale (pile B) ?

On donnera les valeurs de ces forces électromotrices.

c) Schématiser les piles ainsi constituées et donner les équations-bilans des réactions qui interviennent.

d) On s'intéresse à la pile A que l'on fait débiter ; au bout d'un certain temps, on note que la masse de l'une des électrodes de A a augmenté de 2 g ; calculer la variation de masse de l'autre électrode pendant le même temps.

2) Soit maintenant un second extrait des tables des potentiels normaux d'oxydoréduction π_0 concernant d'autres couples :

Couple	π_0 (V)
Fe ³⁺ /Fe ²⁺	0,77
MnO ₄ ⁻ /Mn ²⁺	1,51
NO ₃ ⁻ /NO	0,96
SO ₄ ²⁻ /SO ₂	0,17

- a) Ecrire l'équation bilan de l'oxydation des ions Fe(II) par les ions permanganate ; comment doit-être le milieu réactionnel ?
- b) Pour qu'il en soit ainsi, on utilise toujours de l'acide sulfurique ; expliquer pourquoi on ne peut pas utiliser l'acide nitrique pour effectuer cette opération.

Exercice C₉-5

On dispose d'une plaque d'argent, d'une plaque de plomb, de solutions de nitrate d'argent et de nitrate de plomb.

- 1) a) Dessiner la pile que l'on peut réaliser, en précisant bien le métal qui constitue le pôle positif et celui qui constitue le pôle négatif.
- b) Pourquoi n'utilise-t-on pas dans le pont entre les deux récipients une solution de chlorure de potassium ?
- 2) a) Quand la pile fonctionne, écrire les réactions aux électrodes et l'équation globale.
- b) Que vaut sa f. é. m ?
- 3) Cette pile doit débiter un courant d'intensité 0,2 A pendant une heure et demie.
 - a) Quel métal sera consommé et en quelle quantité ?
 - b) Quelle doit être la concentration minimale de la solution de nitrate d'argent si on ne peut en utiliser que 250 cm³ ?

Données :

- Masses atomiques molaires en g.mol⁻¹ : $M(\text{Ag}) = 108$; $M(\text{Pb}) = 207$
- Chargé élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- Constante d'Avogadro : $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = N$
- Les potentiels normaux : $E^\circ \text{Ag}^+/\text{Ag} = 0,8 \text{ V}$; $E^\circ \text{Pb}^{2+}/\text{Pb} = -0,13 \text{ V}$

Exercice C₉-6

On place 50 mg de cuivre dans 100 mL d'une solution de chlorure d'or AuCl_3 à $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$; on agit jusqu'à ce que la réaction soit terminée.

- 1) a) A l'aide du tableau des potentiels normaux, prévoir la réaction qui s'effectue.
- b) Ecrire alors l'équation – bilan de la réaction. Est-elle totale ?
- 2) Calculer en fin de réaction :
 - la masse du dépôt métallique.
 - la concentration de chacun des ions en solution.

Masses atomiques molaires en g.mol⁻¹ : $M(\text{Cu}) = 63,5$; $M(\text{Au}) = 197$

Exercice C₉-7

1) La f. é. m de la pile : $\ominus \text{TI} / \text{TI}^+ \parallel \text{Ag}^+ / \text{Ag} \oplus$

(TI : thallium) vaut : $E = 1,14 \text{ V}$ dans les conditions standard.

Calculer le potentiel standard du couple TI^+/TI , sachant que celui du couple Ag^+/Ag par rapport à l'électrode standard à hydrogène est 0,80 V.

2) On réalise une pile à partir des couples TI^+/TI et Cu^{2+}/Cu .

Connaissant le potentiel standard $E^\circ \text{Cu}^{2+}/\text{Cu} = 0,34 \text{ V}$, préciser la polarité et la f. é. m de la pile ainsi construite. Ecrire l'équation – bilan de la réaction qui s'effectue quand la pile débite.

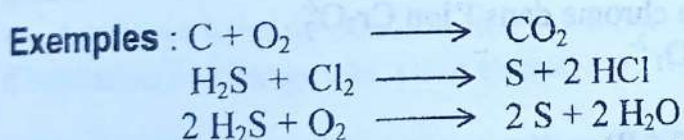
GENERALISATION DE L'OXYDOREDUCTION. NOMBRE D'OXYDATION. DOSAGES PAR REACTION D'OXYDOREDUCTION

1) NOMBRE D'OXYDATION

1-1 Electronégativité

On appelle électronégativité d'un élément la mesure de son aptitude à attirer les électrons.

1-2 Définition du nombre d'oxydation

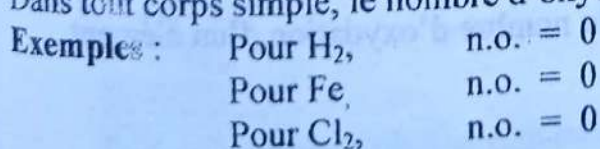


Ces réactions, en général complexes, rendent difficile la recherche des oxydants et des réducteurs. Cette recherche est rendue facile par l'utilisation des nombres d'oxydation. On appelle nombre d'oxydation (n.o. en abrégé) d'un élément dans une espèce chimique (ion, molécule) la charge de l'ion fictif obtenu en attribuant les électrons de liaison à l'atome de l'élément le plus électronégatif de la (ou des) liaison(s). Le nombre d'oxydation (n.o.) est noté en chiffres romains.

1-3 Règles d'attribution des nombres d'oxydation

a) Cas d'un corps simple

Dans tout corps simple, le nombre d'oxydation de l'élément est nul.



b) Cas d'un ion simple

Le nombre d'oxydation de l'élément est égal à la valeur algébrique de la charge de l'ion.

Exemples :	Dans Na^+ ,	$\text{n.o.}(\text{Na}) = +\text{I}$
	Dans Fe^{2+} ,	$\text{n.o.}(\text{Fe}) = +\text{II}$
	Dans O^{2-} ,	$\text{n.o.}(\text{O}) = -\text{II}$

c) Cas de l'oxygène et de l'hydrogène dans les corps composés et les ions complexes

- * Dans la plupart des composés moléculaires ou ions polyatomiques, le nombre d'oxydation de l'élément oxygène est généralement égal à $-\text{II}$.
- * Dans la plupart des composés moléculaires ou ions polyatomiques, le nombre d'oxydation de l'élément hydrogène est généralement égal à $+\text{I}$.
- * Il y a quelques exceptions à ces règles.

d) Cas d'un élément dans un corps composé

La somme algébrique des nombres d'oxydation des atomes constituant le corps composé est nulle ($\sum \text{n.o.} = 0$).

Exemples :	Pour CO_2 ,	$\text{n.o.}(\text{C}) + 2.\text{n.o.}(\text{O}) = 0$
	Pour $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$,	$\sum \text{n.o.} = 2.\text{n.o.}(\text{C}) + 6.\text{n.o.}(\text{H}) + \text{n.o.}(\text{O}) = 0$

e) Cas d'un élément dans un ion polyatomique

Dans un ion polyatomique, la somme algébrique des nombres d'oxydation de tous les atomes présents est égale à la valeur algébrique de la charge de l'ion.

Exemples :	Pour l'ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$,	$\sum \text{n.o.} = -\text{II}$
	Pour l'ion NH_4^+ ,	$\sum \text{n.o.} = +\text{I}$

f) Application à la recherche des nombres d'oxydation

Déterminons le nombre d'oxydation du chrome dans l'ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.

Soit x le n.o. du chrome dans l'ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.

On a : $\sum \text{n.o.} = -\text{II}$

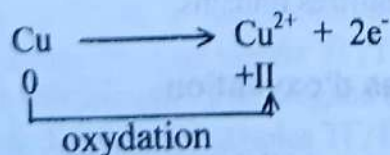
$$\sum \text{n.o.} = 2x + 7.\text{n.o.}(\text{O}) = 2x + 7.(-\text{II}) = -\text{II}$$

$$2x = -\text{II} - 7.(-\text{II}) = 12 \text{ d'où } x = +\text{VI}$$

1-4 Utilisation des nombres d'oxydation

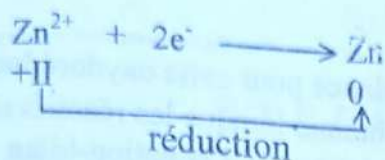
* Une oxydation équivaut à une augmentation du nombre d'oxydation d'un élément.

Exemple :



* Une réduction équivaut à une diminution du nombre d'oxydation d'un élément.

Exemples :



N.B. : Au cours d'une réaction d'oxydoréduction, la somme de tous les nombres d'oxydation gagnés par les atomes qui s'oxydent est égale à la somme de tous les nombres d'oxydation perdus par les atomes qui se réduisent.
 L'oxydant est l'espèce qui renferme un élément dont le nombre d'oxydation diminue.
 Le réducteur est l'espèce qui renferme un élément dont le nombre d'oxydation augmente.

b) Equilibre d'une équation d'oxydoréduction

1^{ère} méthode : obtenir l'équation-bilan en passant par les demi-équations

- Ecrire la réaction d'oxydation.
- Ecrire la réaction de réduction.
- Ecrire l'équation-bilan en tenant compte du fait que le nombre d'électrons captés par l'oxydant est égal au nombre d'électrons cédés par le réducteur.

Application : voir exercices.

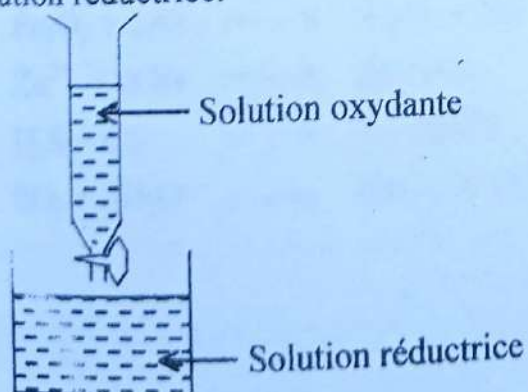
2^{ème} méthode : obtenir l'équation-bilan sans passer par les demi-équations et en utilisant les nombres d'oxydation.

- Ecrire l'équation-bilan provisoire en précisant les formules des produits et des réactifs sans leur affecter des coefficients.
- Calculer, par atome d'élément la variation de son nombre d'oxydation.
- Choisir les coefficients de l'équation de telle sorte que la somme de tous les nombres d'oxydation gagnés soit égale à la somme de tous les nombres d'oxydation perdus.
- Appliquer la loi de conservation des atomes aux éléments dont le nombre d'oxydation ne change pas. (voir exercices)

2) DOSAGE PAR REACTION D'OXYDOREDUCTION

2-1 Mode opératoire

- Le but du dosage d'oxydoréduction est de déterminer la concentration molaire en oxydant d'une solution oxydante ou la concentration molaire en réducteur d'une solution réductrice.



- Dans le bécher on verse un volume V_r d'une solution réductrice de concentration C_r .
- Dans la burette graduée on verse un volume V d'une solution oxydante de concentration C_o .

Le dosage nécessite l'observation de l'équivalence pour cette oxydoréduction

- L'équivalence (la fin de la réaction) est obtenue lorsque les réactifs ont été introduits dans les proportions stoechiométriques de l'équation-bilan traduisant la réaction d'oxydoréduction.

Généralement, on détermine l'équivalence par le changement de coloration du contenu du bécher.

2-2 Relation entre les molarités ou concentrations molaires volumiques et les volumes des solutions mises en jeu.

- Si V_o est le volume de la solution oxydante de molarité C_o qui a réagi, alors le nombre de moles d'oxydant utilisé est : $n_{\text{oxydant}} = n_{\text{ox}} = C_o V_o$.
Soit n_o le nombre de moles d'électrons captés par une mole de l'oxydant au cours de sa réduction complète ; le nombre de moles d'électrons captés par n_{ox} mole d'électrons est de :

$$n_{e\text{-captés}} = n_o C_o V_o$$

- Si V_r est le volume de la solution réductrice utilisée et C_r sa concentration, alors le nombre de moles de réducteur est : $n_{\text{réducteur}} = n_{\text{red}} = C_r V_r$.
Si chaque mole de réducteur cède n_r moles d'électrons, alors le nombre total de moles d'électrons cédés par n_{red} moles de réducteur sera de :

$$n_{e\text{-cédés}} = n_r C_r V_r$$

- A l'équivalence, lors d'une réaction d'oxydoréduction, le nombre de moles d'électrons cédés par le réducteur est égal au nombre de moles d'électrons captés par l'oxydant. On a alors :

$$n_{e\text{-captés}} = n_{e\text{-cédés}} \text{ soit } n_o C_o V_o = n_r C_r V_r$$

EXERCICES

Exercice C₁₀-1

L'ion permanganate MnO_4^- , en milieu (H^+) oxyde l'ion fer II (Fe^{2+}) à l'état d'ion fer III (Fe^{3+}). Corrélativement, il est réduit à l'état d'ion manganoux Mn^{2+} .

- 1) Quels sont les couples rédox mis en jeu ?
- 2) Ecrire les deux demi-équations rédox mettant en évidence les électrons cédés et captés. En déduire l'équation-bilan de la réaction d'oxydoréduction.

Exercice C₁₀-2

1) Déterminer le nombre d'oxydation attribué au soufre dans les molécules et ions suivants : SO_2 , H_2SO_4 , SO_4^{2-} , HSO_3^- , S , $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$, H_2S .

2) Indiquer l'espèce chimique la plus oxydante et l'espèce chimique la plus réductrice.

Exercice C₁₀-3

Ecrire et équilibrer les demi-équations électroniques d'oxydoréduction des couples suivants :

- | | |
|--|--|
| 1) $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ | 6) $\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3/\text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{CH}_3$ |
| 2) Cu^{2+}/Cu | 7) $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$ |
| 3) $\text{CH}_3\text{CHO}/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ | 8) $\text{CO}_2/\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_2$ |
| 4) $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{CHO}$ | 9) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ |
| 5) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$ | |

Pour certaines réactions, on fera intervenir le milieu acide si c'est nécessaire.

Exercice C₁₀-4

Déterminer parmi les réactions dont les équation-bilans équilibrées sont données ci-dessous, celles qui sont des réactions d'oxydoréduction.

Préciser alors l'élément oxydant et l'élément réducteur.

- 1) $\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$
- 2) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$
- 3) $\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2$
- 4) $\text{H}_2\text{S} + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{S} + 2\text{HCl}$
- 5) $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{HSO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$

Exercice C₁₀₋₅

Equilibrer, en utilisant les demi-équations électroniques et/ou les nombres d'oxydation, les équations d'oxydoréduction suivantes :

- 1) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Cr}^{3+} + \text{Fe}^{3+}$ (en milieu acide)
- 2) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \longrightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$ (en milieu acide)
- 3) $\text{MnO}_4^{2-} \longrightarrow \text{MnO}_2 + \text{MnO}_4^-$ (en milieu basique)
- 4) $\text{I}^- + \text{MnO}_4^- \longrightarrow \text{IO}_3^- + \text{MnO}_4^{2-}$ (en milieu basique)
- 5) $\text{MnO}_4^- + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$
- 6) $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + \text{I}^- \longrightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{I}_2$
- 7) $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{S} + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Exercice C₁₀₋₆

La solution aqueuse oxydante de dichromate de potassium contient des ions dichromate $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ et des ions potassium K^+ .

En milieu acide, l'éthanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ est oxydé en éthanal CH_3CHO qui à son tour est oxydé en acide éthanoïque CH_3COOH par l'ion dichromate selon les conditions expérimentales.

Simultanément, l'ion dichromate est réduit en ion chrome Cr^{3+} .

- 1) Ecrire la demi-équation électronique correspondant à la réduction de l'ion dichromate.
- 2) Ecrire la demi-équation d'oxydoréduction correspondant à la transformation par les ions dichromate :

- a) de l'éthanol en éthanal ;
- b) de l'éthanal en acide éthanoïque ;
- c) de l'éthanol en acide éthanoïque.

3) Quelle masse de dichromate de potassium faut-il utiliser pour oxyder totalement un volume $V = 29,1$ mL d'éthanol en acide éthanoïque ?

4) Si l'on ne possède pas de potassium, on peut utiliser une solution oxydante de permanganate de potassium ($\text{K}^+ + \text{MnO}_4^-$) en milieu acide.

Quel volume V_0 de permanganate de potassium de concentration molaire $C_0 = 0,1$ mol.L⁻¹ faut-il utiliser pour oxyder totalement les 29,1 mL d'éthanol en acide éthanoïque. L'ion permanganate est réduit en ion Mn^{2+} au cours de la réaction.

On donne : $M(\text{K}) = 39$ g/mol ; $M(\text{Cr}) = 52$ g/mol ; $M(\text{O}) = 16$ g/mol.

Masse volumique de l'éthanol pur $\rho = 790$ g/L.

Exercice C₁₀₋₇

On verse dans un bécher une solution de diiode I_2 de volume $V_0 = 20$ mL et de concentration C_0 inconnue.

On dose la solution de diiode par une solution de thiosulfate de sodium ($2\text{Na}^+ + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) de concentration molaire $C_r = 0,2$ mol.L⁻¹.

L'équivalence se produit après avoir versé dans le contenu du bécher un volume $V_r = 15$ mL de la solution de thiosulfate de sodium ($2\text{Na}^+ + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$).

Les couples rédox mis en jeu sont :

- couple I_2/I^- avec $E^0_{I_2/I^-} = 0,54 \text{ V}$;
- couple $S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}$ avec $E^0_{S_4O_6^{2-}/S_2O_3^{2-}} = 0,08 \text{ V}$.

- 1) Schématiser le dispositif expérimental et décrire le protocole expérimental.
- 2) Montrer que la réaction entre les deux solutions est une réaction d'oxydo-réduction. Préciser l'élément oxydant et l'élément réducteur.
- 3) Ecrire l'équation-bilan de la réaction produite.
- 4) Calculer la concentration molaire C_0 de la solution de diiode.

N.B. : La solution de thiosulfate de sodium est incolore.

La solution de diiode est brune.

Exercice C₁₀₋₈

Pour doser une solution de sulfate de fer II ($Fe^{2+} + SO_4^{2-}$) de concentration C_r inconnue, on en prélève un volume $V_r = 10 \text{ mL}$ qu'on verse dans un bécher ; on y ajoute un peu d'acide sulfurique.

On place dans la burette une solution de permanganate de potassium ($K^+ + MnO_4^-$) de concentration $C_0 = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$.

On ajoute progressivement la solution de permanganate de potassium dans le bécher.

On constate que pour obtenir l'équivalence (teinte violette persistante), il faut verser un volume $V_0 = 15 \text{ mL}$ de la solution de permanganate de potassium.

- 1) Ecrire l'équation-bilan de ce dosage par oxydoréduction.

Quel est l'oxydant et quel est le réducteur ?

On donne les potentiels normaux des couples mis en jeu :

- Couple MnO_4^-/Mn^{2+} $E_1 = 1,51 \text{ V}$

- Couple Fe^{3+}/Fe^{2+} $E_2^0 = 0,77 \text{ V}$

- 2) Démontrer la relation fondamentale des dosages rédox $n_0 C_0 V_0 = n_r C_r V_r$.

En déduire la concentration molaire C_r de la solution de sulfate de fer II.

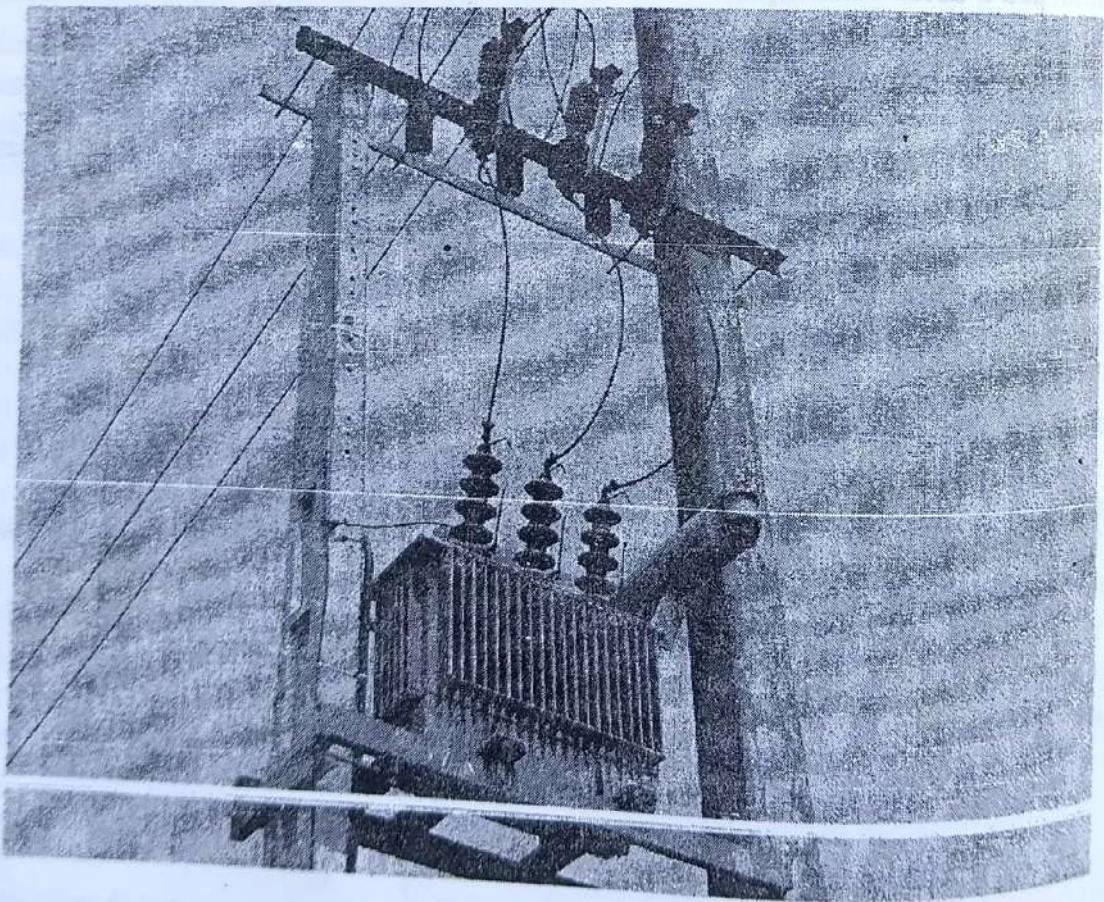
- 3) Calculer la masse m de sulfate de fer II cristallisé qu'il a fallu dissoudre dans l'eau distillée pour obtenir 100 mL de solution.

Le sulfate de fer II cristallisé est hydraté et a pour formule $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

On donne : $M(Fe) = 56 \text{ g/mol}$; $M(S) = 32 \text{ g/mol}$; $M(O) = 16 \text{ g/mol}$;

$M(H) = 1 \text{ g/mol}$.

PHYSIQUE



NOTIONS DE CINEMATIQUE



La cinématique est l'étude mathématique des mouvements des solides indépendamment des causes qui les produisent.

1) DEFINITIONS ELEMENTAIRES

1-1 Le mobile

Le mobile est un corps qui est en mouvement. Il est souvent représenté par un point M appartenant au corps.

1-2 Le référentiel

Le référentiel est un objet de référence c'est-à-dire un système matériel par rapport auquel on étudie le mouvement d'un mobile.

N.B. : Un objet est en mouvement lorsque sa position change au cours du temps.

Un corps immobile par rapport à un observateur peut être en mouvement par rapport à un autre observateur. La notion de mouvement est relative d'où la nécessité de préciser le référentiel dans l'étude du mouvement d'un mobile.

1-3 Repère d'espace et repère de temps

Pour étudier le mouvement d'un mobile, il est nécessaire de lier au référentiel choisi un repère qui va permettre de définir les coordonnées du mobile à chaque instant. Le plus souvent, le repère est déterminé par une origine O appartenant au référentiel et un système d'axes.

Lorsqu'un mobile est en mouvement par rapport à un référentiel, sa position dans l'espace change lorsque le temps s'écoule.

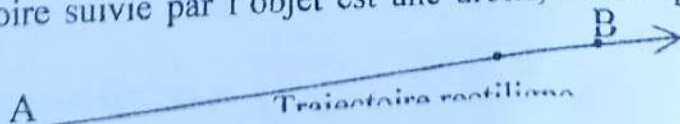
Pour connaître à chaque instant la position d'un mobile par rapport à un référentiel, il faut se donner un repère d'espace et un repère de temps.

1-4 La trajectoire

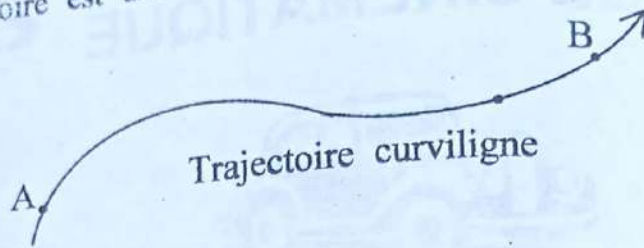
* Un objet est en mouvement ou subit un déplacement lorsque sa position change au cours du temps.

* L'ensemble des positions successives occupées par un objet au cours de son déplacement est appelé trajectoire : c'est le chemin suivi par l'objet.

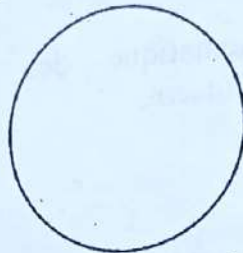
- Si la trajectoire suivie par l'objet est une droite, on dit que le déplacement est rectiligne.



- Si la trajectoire est une courbe quelconque, on dit que le déplacement est curviligne.



En particulier si la trajectoire est un cercle ou un arc de cercle, on dit que le déplacement est circulaire.



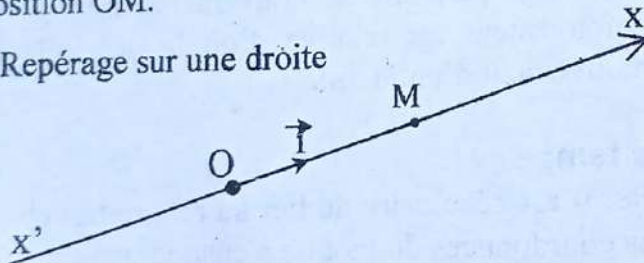
trajectoire circulaire

2) PARAMETRES DE POSITION

2-1 Coordonnées cartésiennes

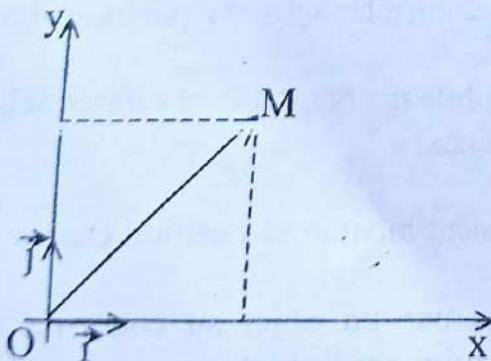
Dans un repère R d'origine O , la position d'un point M est donnée par le vecteur position $\vec{OM}$.

* Repérage sur une droite



Repère $(O, \vec{i})$
abscisse x ; fonction du temps
vecteur position $\vec{OM} = x\vec{i}$

* Repérage dans un plan

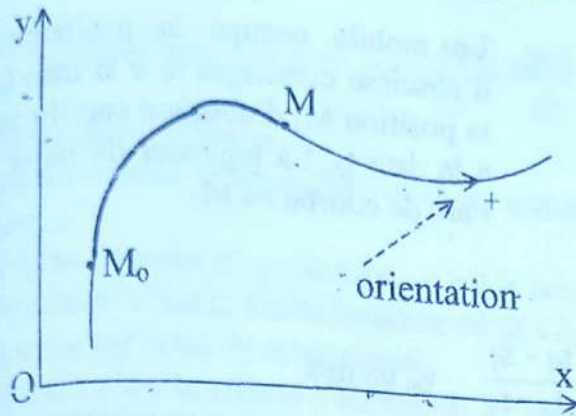


Repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$

$M \left\{ \begin{array}{l} \text{abscisse } x \\ \text{ordonnée } y \end{array} \right.$

Vecteur position $\vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j}$
 x et y sont les coordonnées cartésiennes du mobile.

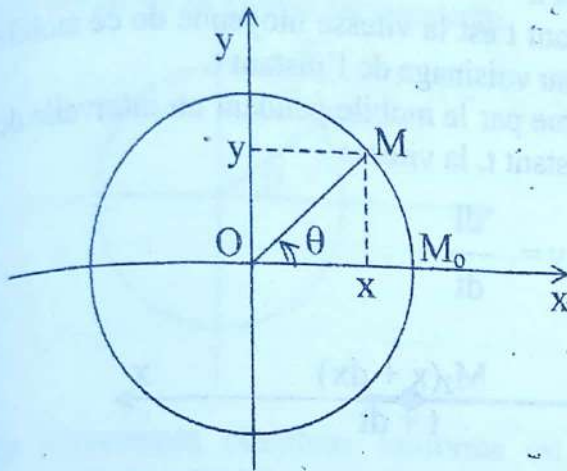
2-2 Coordonnée curviligne : abscisse curviligne



La trajectoire étant connue, on peut repérer la position d'un point mobile M par son abscisse curviligne s qui est égale à la longueur de l'arc de courbe orientée d'origine M_0 , position du point M à la date t_0 .

$$s = \widehat{M_0 M}$$

2-3 Abscisse angulaire



* La trajectoire étant connue, la position du point mobile M peut être repérée par le secteur angulaire ou abscisse angulaire

$$\theta = (\vec{OM_0}, \vec{OM})$$

M_0 étant la position du point mobile M à l'instant initial t_0 .

* La trajectoire du point M peut être définie par l'abscisse curviligne

$$s = \widehat{M_0 M}$$

Si R est le rayon de la trajectoire, la relation entre l'abscisse curviligne s et l'abscisse angulaire est : $s = R \cdot \theta$ avec s en m; θ en rad et R en m.

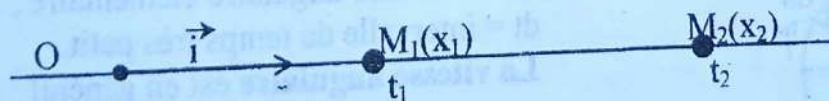
3) VITESSE D'UN MOBILE

3-1 Vitesse moyenne v_m

La vitesse moyenne d'un mobile est le quotient de la distance parcourue par le temps du parcours.

$$v_m = \frac{\text{distance parcourue}}{\text{temps de parcours}} = \frac{l}{t} \quad \begin{cases} l \text{ en m} & v_m \text{ en m/s} \\ t \text{ en s} \end{cases}$$

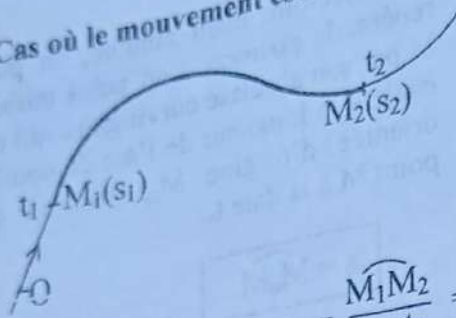
* Cas où le mouvement est rectiligne (la trajectoire est une droite)



Le mobile est en M_1 à l'instant t_1 et en M_2 à l'instant t_2 ;

$$\text{la vitesse moyenne est : } v_m = \frac{\overline{M_1 M_2}}{t_2 - t_1} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

* Cas où le mouvement est curviligne



La vitesse moyenne est : $v_m = \frac{\widehat{M_1M_2}}{t_2 - t_1} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$ v_m en m/s

3-2 Vitesse instantanée v :

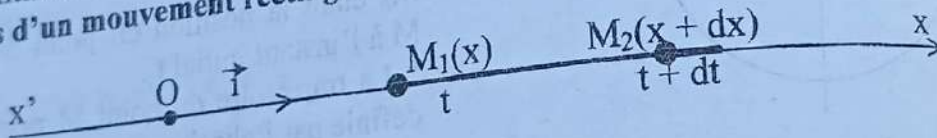
La vitesse instantanée est la vitesse à l'instant t .

La vitesse instantanée v d'un mobile à l'instant t est la vitesse moyenne de ce mobile calculée sur un intervalle de temps très petit au voisinage de l'instant t .

Si dl est la distance infiniment petite parcourue par le mobile pendant un intervalle de temps dt infiniment petit au voisinage de l'instant t , la vitesse

instantanée est donnée par l'expression $v = \frac{dl}{dt}$

* Cas d'un mouvement rectiligne

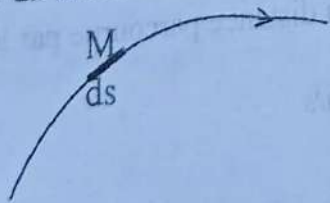


Pour M_1 ($x_1 = x$ et $t_1 = t$)

Pour M_2 ($x_2 = x + dx$ et $t_2 = t + dt$)

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{x + dx - x}{t + dt - t} = \frac{dx}{dt}$$

* Cas d'un mouvement curviligne

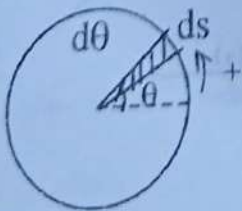


ds = déplacement curviligne élémentaire ;
 dt = intervalle de temps très petit au voisinage

de t ; la vitesse instantanée au point

M est : $v = \frac{ds}{dt}$ v est appelée vitesse linéaire ou vitesse curviligne

* Cas d'un mouvement circulaire



$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

$d\theta$ en rad,

dt en s,

ω en rad/s ou rad.s^{-1} .

$d\theta$ = abscisse angulaire élémentaire ;
 dt = intervalle de temps très petit.

La vitesse angulaire est en général représentée par ω . La vitesse angulaire représente l'angle dont le mobile a tourné pendant l'unité de temps.

N.B. : Relation

3-3 Le vecteur

Le vecteur vitesse

suivantes :

- Origine ou
- Direction :
- Sens : c'est
- Norme : c

4) MOUVEMENT

Le mouvement

et si la norme

* Le mouvement
temps qui
La période
effectuer

$$T = \frac{\theta}{\omega}$$

* La fréquence
effectué

N.B. : Relation entre v et ω : $v = \frac{ds}{dt} = \frac{dR\theta}{dt} = R \frac{d\theta}{dt} = R\omega$ $v = R\omega$

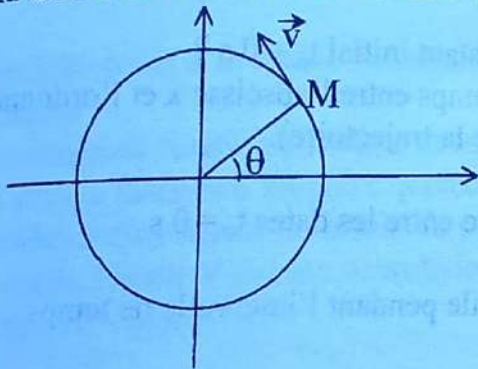
3-3 Le vecteur vitesse

Le vecteur vitesse d'un mobile M à un instant t est donné par les caractéristiques suivantes :

- Origine ou point d'application : c'est la position du mobile M à l'instant t .
- Direction : c'est la droite tangente en M à la trajectoire.
- Sens : c'est celui du mouvement.
- Norme : c'est la vitesse v du mobile à l'instant t .

4) MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME

Le mouvement d'un point est circulaire uniforme si sa trajectoire est une circonférence et si la norme de sa vitesse est constante.



θ = abscisse angulaire ;
 s = abscisse curviligne ;
 $v = R\omega$; ω = vitesse angulaire.

* Le mouvement circulaire uniforme est périodique ; ce qui veut dire que le mouvement se reproduit toujours de façon identique au bout d'un même intervalle de temps qui est sa période.

La période T d'un mouvement circulaire uniforme est le temps mis par le mobile pour effectuer un tour sur sa trajectoire.

$t = \frac{\theta}{\omega}$; pour un tour, $t = T$ et $\theta = 2\pi$ d'où

$T = \frac{2\pi}{\omega}$

* La fréquence N d'un mouvement circulaire uniforme est le nombre de tours effectués par le mobile par seconde : c'est donc l'inverse de la période.

$N = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ N en hertz (Hz)

$$v = R\omega$$

EXERCICES

Exercice P₁₋₁

Les coordonnées cartésiennes d'un point mobile dans un repère orthonormé $(O, \vec{i}, \vec{j})$ sont :

$$\vec{OM} \begin{cases} x = 2t - 2 & (x \text{ en m}) \\ y = t + 1 & (y \text{ en m}) \end{cases}$$

- 1) Donner l'expression du vecteur position $\vec{OM}$ du mobile dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ à un instant t quelconque.
- 2) Quelles sont les coordonnées du mobile à l'instant initial $t_0 = 0$ s ?
- 3) Etablir une relation simple indépendante du temps entre l'abscisse x et l'ordonnée y du mobile à un instant t quelconque (équation de la trajectoire).
En déduire la nature de la trajectoire.
- 4) a/ Représenter la trajectoire $y = f(x)$ du mobile entre les dates $t_0 = 0$ s et $t_1 = 5$ s. Echelle : 1 cm pour 1 m.
b/ Quelle est la distance d parcourue par le mobile pendant l'intervalle de temps $t_1 - t_0$?
c/ Calculer la vitesse moyenne du mobile pendant cette durée.
- 5) Le mobile peut-il passer par le point $M'(x' = 6 \text{ m} ; y' = 4 \text{ m})$?
Si oui, à quelle date ?
- 6) Le mobile peut-il passer par le point $M''(x'' = 14 \text{ m} ; y'' = 9 \text{ m})$?
Si oui, à quelle date ?

Exercice P₁₋₂

Les équations horaires du mouvement d'un mobile se déplaçant dans un plan muni d'un repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ sont :

$$\vec{OM} \begin{cases} x = t^2 - 2 & x \text{ en m} \\ y = 2t^2 - 2 & y \text{ en m avec } t \geq 0 \text{ s} \end{cases}$$

Le mobile est mis en mouvement à la date $t_0 = 0$ s.

- 1) Déterminer l'équation cartésienne $y = f(x)$ de la trajectoire. En déduire la nature de la trajectoire.
- 2) Déterminer les coordonnées du mobile au début du mouvement et 5 s après le début du mouvement.
- 3) Déterminer l'expression de la distance parcourue par le mobile entre l'instant initial et un instant t quelconque. Calculer la distance parcourue 10 s après le début du mouvement.
- 4) A quel instant le mobile passe-t-il par le point d'abscisse nulle ? Quelle est alors son ordonnée ?

Exercice
Le système
dentés l'u
Le pigno
entraîné,
circonfé

La moby
1) Calc
a) La v
b) La v
c) La v
2) A q
raison d

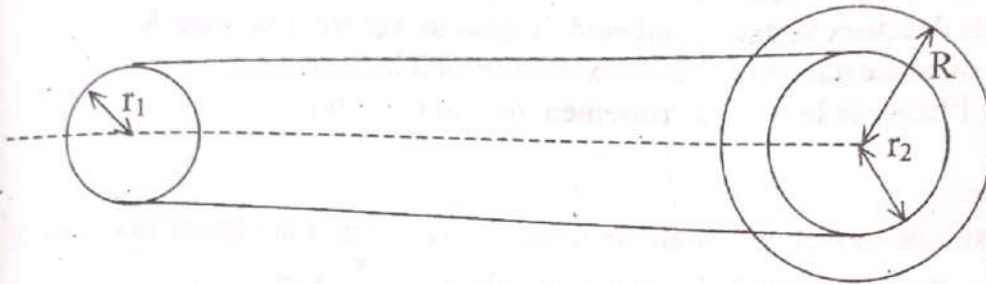
Exerci
Dans ce
de cent
autour
A l'aide
orbite
A l'alti

$$v = R$$

1) Et
périod
A.N. :
2) En
plan é
Ca
Infor
circul
auto
la sur
Grâce
assure

Exercice P₁-3

Le système d'entraînement d'une roue de mobylette est constituée par deux pignons dentés l'un de rayon $r_1 = 2,5$ cm et l'autre de rayon $r_2 = 7,5$ cm reliés par une chaîne. Le pignon entraîneur, de rayon r_1 , est lié au moteur de la mobylette. Le pignon entraîné, de rayon r_2 , est lié à la roue de rayon $R = 30$ cm. On suppose que la vitesse circonférentielle (ou périphérique) de la roue est celle de la mobylette.



La mobylette roule à la vitesse constante de 45 km.h^{-1}

- 1) Calculer :
 - a) La vitesse de rotation en tr/min et en rad/s de la roue.
 - b) La vitesse linéaire d'un point quelconque de la chaîne.
 - c) La vitesse de rotation en tr/min du pignon entraîneur.
- 2) A quelle vitesse V avance la mobylette lorsque le pignon lié au moteur tourne à raison de 1500 tr/min ?

Exercice P₁-4

Dans cet exercice, la Terre est considérée comme une sphère homogène, de masse M , de centre O et de rayon $R = 6370$ km, animée d'un mouvement de rotation uniforme autour de l'axe des pôles.

A l'aide d'une fusée, on satellise autour de la terre un satellite de masse m sur une orbite circulaire à l'altitude z . L'orbite est dans le plan de l'Equateur.

A l'altitude z , la vitesse du satellite est donnée par l'expression :

$$v = R \sqrt{\frac{g_0}{R + z}} \quad \text{avec } g_0 = 9,8 \text{ N/kg.}$$

- 1) Etablir en fonction de g_0 , R et z les expressions de la vitesse angulaire ω et de la période T de révolution du satellite autour de la terre.

A.N. : Calculer v , ω et T pour $z = 400$ km.

- 2) En réalité, le satellite est **géostationnaire** et décrit une orbite circulaire dans le plan équatorial à l'altitude z_0 autour de la terre. Sa période de rotation est $T_0 = 86400$ s.

Calculer l'altitude z_0 et la vitesse linéaire du satellite à cette altitude.

Information : Un satellite géostationnaire est un satellite qui tourne sur une orbite circulaire dans le même sens que la terre, avec la même vitesse angulaire qu'elle, autour du même axe. Par suite, le satellite paraît fixe pour un observateur immobile à la surface de la terre.

Grâce à cette propriété de fixité apparente, le satellite géostationnaire est utilisé pour assurer des communications intercontinentales permanentes.

Exercice P₁₋₅

Une route présente un tronçon rectiligne entre deux points A et B distants de 10 km. Une voiture V_1 passe devant le point A à 8 h et se dirige vers le point B à une vitesse de 72 km/h. Une voiture V_2 passe devant le point B à 8 h 2 min et se dirige vers le point A à la même vitesse de 72 km/h.

L'équation horaire du mouvement de la voiture V_1 est : $x_1 = 20t$

L'équation horaire du mouvement de la voiture V_2 est : $x_2 = -20t + 12400$.

Les mouvements des deux voitures sont étudiés dans un repère d'origine A.

- 1) Calculer la distance qui sépare les deux voitures à 8 h 4 min.
- 2) Déterminer l'heure et le lieu du croisement des deux voitures.

Exercice P₁₋₆

Un mobile décrit une trajectoire circulaire de rayon $R = 2$ m à la vitesse $\omega = 2$ rad.s⁻¹.

A la date $t_1 = 1$ s, il est au point A d'abscisse angulaire $\theta = \frac{\pi}{6}$ rad.

- 1) Quelle est la relation qui lie l'abscisse angulaire et la date ?
- 2) Quelle est la vitesse linéaire du mobile ?
- 3) Quel temps met-il pour effectuer un tour ?

Exercice P₁₋₇

Pour puiser de l'eau dans un puits, on utilise un treuil constitué d'un cylindre de rayon $r = 10$ cm, sur lequel s'enroule la corde soutenant le seau, et que l'on met en rotation grâce à une manivelle de rayon $R = 40$ cm.

- 1) La profondeur du puits est $h = 12$ m. Combien de tours faut-il effectuer pour faire monter un seau d'eau du fond jusqu'en haut du puits ?
- 2) On met le treuil en rotation à la « vitesse » de 3 tours en 8 secondes. Calculer :
 - la fréquence de rotation du treuil ;
 - la vitesse d'ascension du seau ;
 - la vitesse de l'extrémité de la manivelle
- 3) Après avoir recueilli l'eau, on laisse le seau descendre librement dans le puits. On constate que le treuil tourne régulièrement (à cause des frottements) à la fréquence de 0,5 Hz.

Calculer le temps mis par le seau pour atteindre le fond du puits.

Exercice P₁₋₈

Une automobile de longueur $l = 5$ m, roulant à la vitesse $V_A = 90$ km/h arrive derrière un camion de longueur $L = 10$ m, roulant à la vitesse $V_C = 72$ km.h⁻¹. Les deux véhicules conservent des vitesses constantes. L'automobile va donc doubler le camion. En admettant que le dépassement commence quand l'avant de l'automobile est à la distance $d_1 = 20$ m de l'arrière du camion et se termine quand l'arrière de l'automobile est à la distance $d_2 = 30$ m de l'avant du camion. Calculer :

- 1) La durée du dépassement
- 2) La distance parcourue sur la route par la voiture pendant le dépassement.

Chapit

1) TR

Le trav
produit

Rema

• Si

• Si

• Si

2) T

2-1 N

Le tra

est le

infini

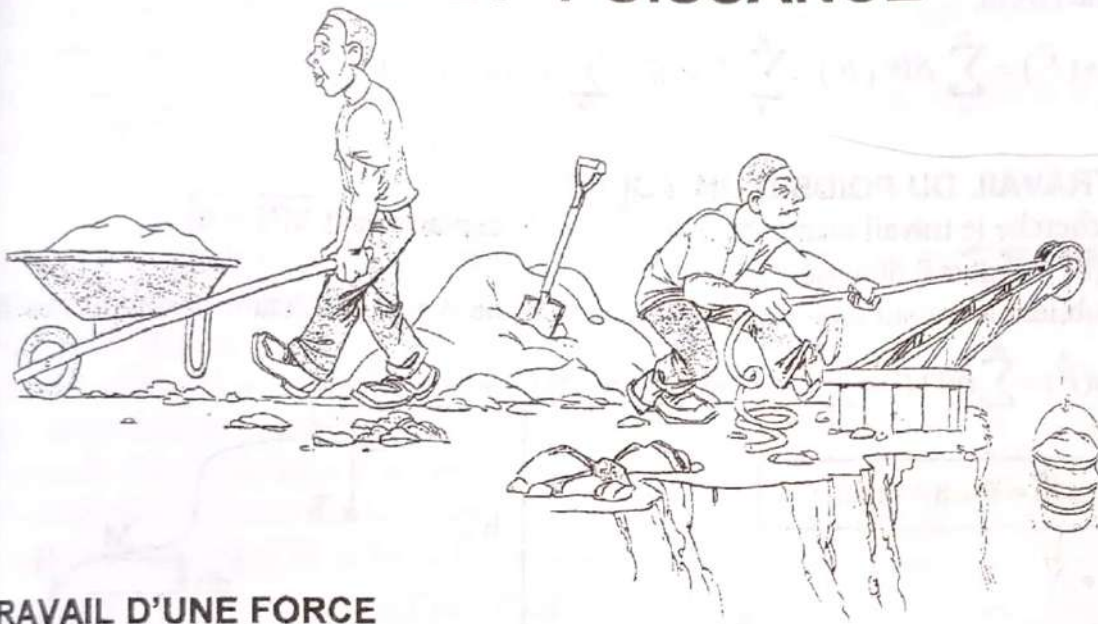
MN e

D'où

Avec

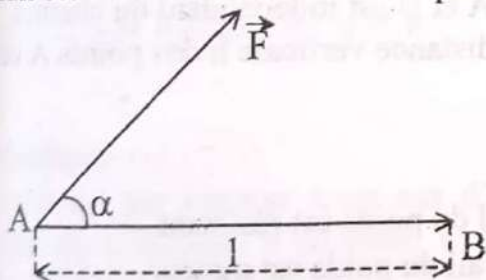
Chapitre 2 (Physique)

TRAVAIL ET PUISSANCE



1) TRAVAIL D'UNE FORCE

Le travail de la force $\vec{F}$ dont le point d'application se déplace de A à B est égal au produit scalaire du vecteur force $\vec{F}$ par le vecteur déplacement $\vec{AB} = \vec{l}$



$$W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = \vec{F} \cdot \vec{l} \\ = F \cdot AB \cdot \cos \alpha$$

avec $\alpha = (\vec{F}, \vec{AB})$

F en N, AB = l en m ; W en J.

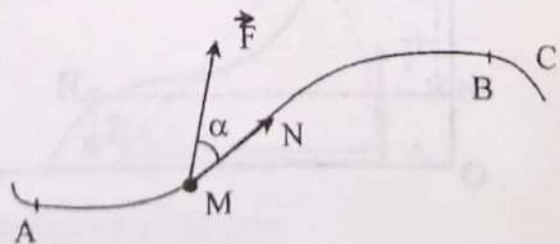
Remarque :

- Si $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$, $W > 0$; le travail de la force $\vec{F}$ est moteur.
- Si $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $\cos \alpha = 0$ et $W = 0$; le travail de $\vec{F}$ est nul.
- Si $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$, $W < 0$; la force $\vec{F}$ effectue un travail résistant.

2) TRAVAIL ELEMENTAIRE D'UNE FORCE

2-1 Notion de travail élémentaire d'une force

Le travail élémentaire d'une force $\vec{F}$ noté $\delta W(\vec{F})$ est le travail de cette force pour un déplacement infiniment petit de son point d'application. MN est infiniment petit : on pose $\vec{MN} = d\vec{l}$. D'où $\delta W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{MN} = \vec{F} \cdot d\vec{l} = F \cdot dl \cdot \cos \alpha$. Avec $\alpha = (\vec{MN}, \vec{F})$



2-2 Travail de la force sur le trajet AB le long de la courbe C

Le travail d'une force variable pour un déplacement quelconque de son point d'application s'obtient en faisant la somme des travaux élémentaires sur ce déplacement.

$$W_{AB}(\vec{F}) = \sum_A^B \delta W(\vec{F}) = \sum_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l} = \sum_A^B F \cdot dl \cdot \cos \alpha$$

3) TRAVAIL DU POIDS D'UN CORPS

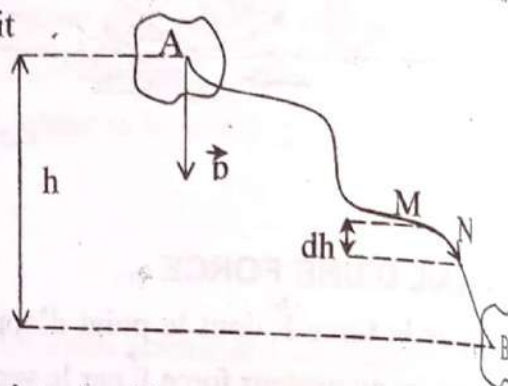
On cherche le travail élémentaire de $\vec{P}$ pour le déplacement $\overrightarrow{MN} = d\vec{l}$

$$\delta W(\vec{P}) = \vec{P} \cdot d\vec{l} = P \cdot dl \cdot \cos \alpha = P \times dh.$$

On obtient le travail total de $\vec{P}$ sur la courbe C de A à B en faisant la somme des dh .

$$W_{AB}(\vec{P}) = \sum_A^B \delta W(\vec{P}) = \sum_A^B P \cdot dh = P \cdot \sum_A^B dh. \text{ soit }$$

$$W_{AB}(\vec{P}) = P \times h = mgh$$



Le travail du poids d'un corps entre deux points A et B est indépendant du chemin suivi pour aller de A à B. Il ne dépend que de la distance verticale h des points A et B. On dit que le poids est une force conservative.

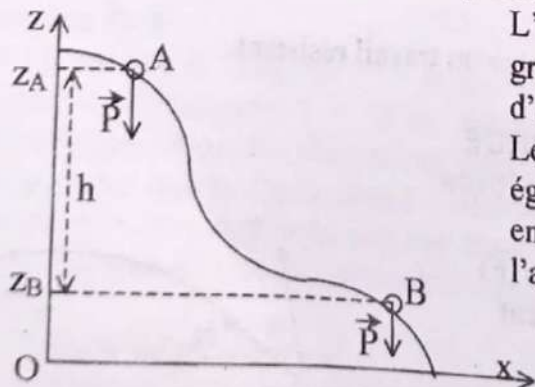
N.B :

- Si le corps monte : $W_{AB} = -mgh < 0$; le travail du poids est résistant.

- Si le corps descend : $W_{AB} = mgh > 0$; le travail du poids est moteur.

Si le point de départ A est sur le même plan horizontal que le point d'arrivée B, alors $W(\vec{P}) = 0$; le travail du poids est nul.

Autre expression du travail du poids



L'axe $z'z$ est orienté vers le haut. Le centre de gravité du solide se déplace du point A d'altitude z_A au point B d'altitude z_B .

Le travail du poids du solide de masse m est égal au produit du poids par la différence entre l'altitude z_A du point de départ A et l'altitude z_B du point d'arrivée B.

$$W(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$$

Remarque

- Si le travail
 - Si le travail
 - Si le
- $z_A = z_B$

4) TRAVAIL

4-1 Mo

Le moment est égal la distance. Avec le - le moment à Δ est - le moment à Δ est L'unité

Remarque

Le moment produit ligne d

4-2 T

Le travail à un scalaire de la force

$$W(\vec{F})$$

- Si

Remarque : posons $|z_A - z_B| = h$

- Si le corps monte, $z_A < z_B$ soit $z_A - z_B = -h < 0$; on a $W(\vec{P}) = -mgh < 0$: le travail du poids est résistant.
- Si le corps descend, $z_A > z_B$ soit $z_A - z_B = h > 0$; on a : $W(\vec{P}) = mgh > 0$: le travail du poids est moteur.
- Si le point de départ A est sur le même plan horizontal que le point d'arrivée B, $z_A = z_B$ d'où $W(\vec{P}) = 0$: le travail du poids est nul.

4) TRAVAIL D'UNE FORCE AGISSANT SUR UN SOLIDE EN ROTATION AUTOUR D'UN AXE FIXE

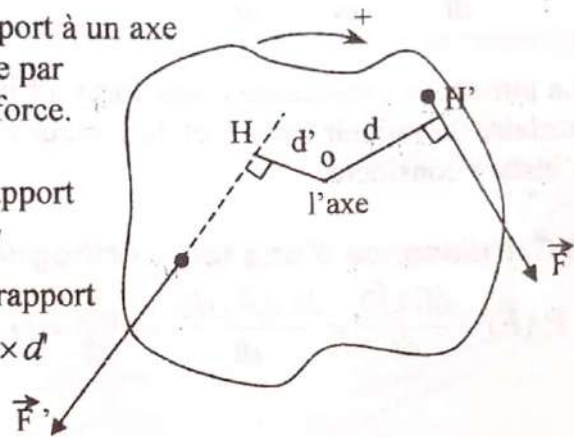
4-1 Moment d'une force

Le moment arithmétique d'une force par rapport à un axe est égal au produit de l'intensité F de la force par la distance de l'axe à la ligne d'action de la force.

Avec le sens positif choisi sur la figure :

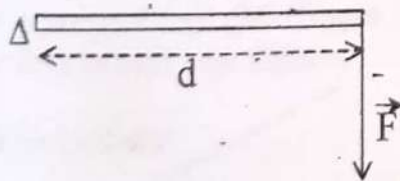
- le moment algébrique de la force $\vec{F}$ par rapport à Δ est positif : $M_{\Delta}(\vec{F}) > 0$ et $M_{\Delta}(\vec{F}) = +F \times d$
- le moment algébrique de la force $\vec{F}'$ par rapport à Δ est négatif : $M_{\Delta}(\vec{F}') < 0$ et $M_{\Delta}(\vec{F}') = -F' \times d'$

L'unité S.I. de moment est le N.m.



Remarque

Le moment par rapport à un axe d'une force $\vec{F}$ orthogonale à cet axe est égal au produit de l'intensité F de cette force par la distance d entre l'axe de rotation et la ligne d'action de cette force.



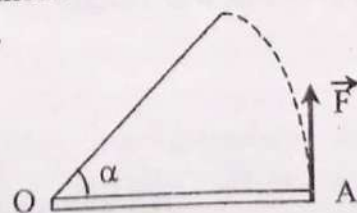
$$M_{\Delta}(\vec{F}) = F \cdot d$$

F en N, d en m, $M_{\Delta}(\vec{F})$ en N.m.

4-2 Travail d'une force orthogonale à l'axe

Le travail d'une force $\vec{F}$ de moment constant appliquée à un solide en rotation s'obtient en multipliant le moment de la force par rapport à l'axe par l'angle de rotation.

$$W(\vec{F}) = M_{\Delta}(\vec{F}) \cdot \alpha \quad \alpha \text{ en radians}$$



- Si n est le nombre de tours : $\alpha = 2\pi n$ d'où $W(\vec{F}) = M_{\Delta}(\vec{F}) \times 2\pi n$

5) PUISSANCE D'UNE FORCE

5-1 Définition et unité

- La puissance d'une force constante est le quotient du travail effectué par cette force par le temps mis pour le faire. $P(\vec{F}) = \frac{W(\vec{F})}{t}$
- L'unité S.I. de puissance est le watt (W).

5-2 Puissance instantanée d'une force

$$P_t = \frac{\delta W(F)}{dt} = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{l}}{dt} \text{ or } \frac{d\vec{l}}{dt} = \vec{v} \text{ d'où } \boxed{P_t = \vec{F} \cdot \vec{v} = F \cdot v \cdot \cos \alpha} \text{ avec } \alpha = (\vec{v}, \vec{F})$$

La puissance instantanée d'une force à l'instant t s'obtient en faisant le produit scalaire du vecteur force $\vec{F}$ et du vecteur vitesse $\vec{v}$ du point d'application de la force à l'instant considéré.

5-3 Puissance d'une force orthogonale à l'axe

$$P_t(\vec{F}) = \frac{\delta W(\vec{F})}{dt} = \frac{M_\Delta(\vec{F}) \cdot d\alpha}{dt} \text{ or } \frac{d\alpha}{dt} = \omega \text{ d'où } \boxed{P_t = M_\Delta(\vec{F}) \cdot \omega}$$

Exe

Un r

d'un

Calc

force

1) 1

2) 2

avec

3) 3

l'hor

4) 4

(dén

voie

Exe

Un :

vites

incli

trac

pent

c

1)

2)

3)

4)

EXERCICES

Exercice P₂-1

Un manœuvre tire une voiturette de poids $P = 250 \text{ N}$ (chargement compris) à l'aide d'une corde sur laquelle il exerce une force $\vec{F}$ d'intensité $F = 300 \text{ N}$.

Calculer pour un déplacement $d = 50 \text{ m}$ les travaux du poids P de la voiturette et de la force $\vec{F}$ du manœuvre dans les 4 cas suivants :

- 1) 1^{er} cas : La voie est horizontale ; la corde est parallèle à la voie (voir figure 1).
- 2) 2^{ème} cas : La voie est horizontale ; la corde, attachée en bas de la voiturette, fait avec la voie un angle de 30° (voir figure 2).
- 3) 3^{ème} cas : La voiturette se déplace sur une voie inclinée d'un angle $\alpha = 30^\circ$ par rapport à l'horizontale ; la corde est parallèle à la voie inclinée (voir figure 3).
- 4) 4^{ème} cas : La voiturette se déplace sur une voie inclinée de pente 1/2 (dénivellement de 1 m pour un trajet le long de la route de 2 m) ; la corde fait avec la voie inclinée un angle de 30° (voir figure 4).

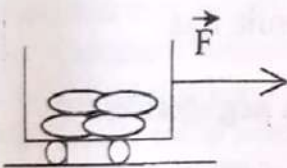


Figure 1

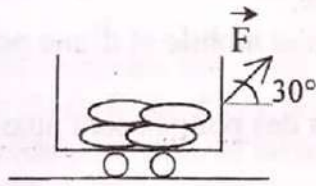


Figure 2

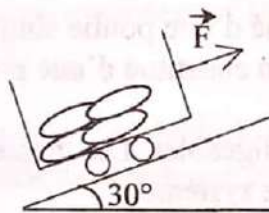


Figure 3

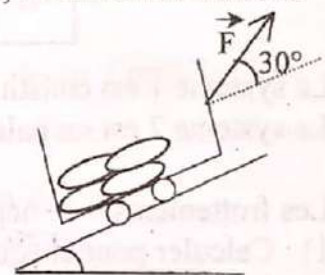
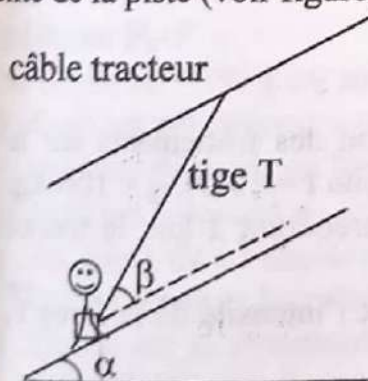


Figure 4

Exercice P₂-2

Un skieur de poids $P = 800 \text{ N}$ (équipement compris), tiré par un remonte-pente à la vitesse constante de 90 km/h , gravit une piste rectiligne de longueur $AB = l = 2 \text{ km}$ et inclinée d'un angle $\alpha = 20^\circ$ par rapport au plan horizontal. Le skieur est relié au câble tracteur par une tige métallique T qui fait un angle $\beta = 30^\circ$ avec la ligne de plus grande pente de la piste (voir figure).

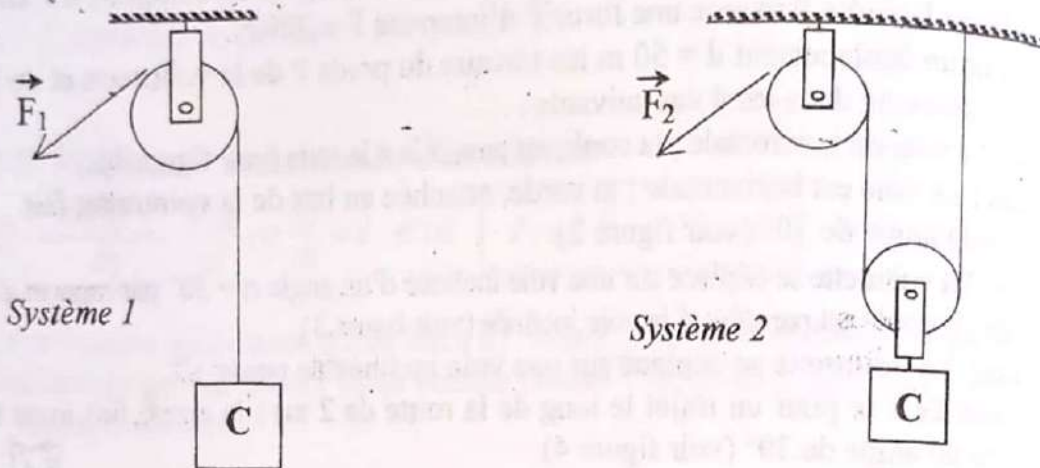


La piste est recouverte de neige fraîche créant une force de frottement. Pendant tout le mouvement, l'ensemble des forces de frottement agissant sur le skieur est équivalent à une force unique de même direction que sa vitesse, de sens opposé et d'intensité constante $f = 40 \text{ N}$.

- 1) Faire le bilan des forces appliquées au skieur.
- 2) Calculer le travail de ces forces sur le trajet de longueur AB .
- 3) Calculer l'intensité de la tension exercée par la tige sur le skieur.
- 4) Quelle est la puissance de cette tension ?

Exercice P₂-3

Pour soulever à vitesse constante une caisse de poids $\vec{P} = 500 \text{ N}$ d'une hauteur $h = 5 \text{ m}$, un manœuvre dispose sur un chantier des deux systèmes schématisés ci-dessous :



Le système 1 est constitué d'une poulie simple.

Le système 2 est un palan constitué d'une poulie mobile et d'une poulie fixe.

Les frottements sont négligeables. Les masses des poulies sont aussi négligeables.

- 1) Calculer pour chaque système :
 - a) l'intensité de la force exercée par le manœuvre ;
 - b) le travail effectué par le manœuvre ;
 - c) la longueur de corde tirée ;
 - d) la puissance de la force sachant que la durée de la montée est $t_1 = 20 \text{ s}$ avec le système 1 et $t_2 = 40 \text{ s}$ avec le système 2.
- 2) Quel est l'avantage et quel est l'inconvénient de chaque système ? Lequel conviendrait le mieux à un enfant pouvant déployer au maximum une force d'intensité 400 N .

Exercice P₂-4

Une locomotive tire un wagon de masse $m = 20 \text{ t}$. L'action des frottements sur le wagon est celle d'une force opposée au mouvement, d'intensité $f = 10^4 \text{ N}$. $g = 10 \text{ N/kg}$.

- 1) Ce convoi roule sur une voie rectiligne, horizontale, parcourant 2 km , le travail fourni par la locomotive au wagon est $2,4 \cdot 10^7 \text{ J}$. Déterminer le travail effectué par la force de frottement $\vec{f}$ et l'intensité de la force $\vec{F}$, constante, exercée par la locomotive sur le wagon.
- 2) Le convoi gravit une rampe rectiligne, de pente $0,01$ (1%) à la vitesse de 108 km/h . Les intensités des forces $\vec{F}$ et $\vec{f}$ sont les mêmes qu'au 1). Déterminer les puissances des différentes forces qui s'exercent sur le wagon. Evaluer leur somme. Interpréter.

Exerci

Pour ti
manive
cylindre
1) Cal
2) La
appliqu
l'équili
3) Cal
4) Les
l'ouvrie
5) Cal
On pre

Exerci

Un skie
d'un re
 $T = 100$
1) Le s
directio
2) Cal
3) Cal
4) Qu
On pre

Exerc

Une m
1) Qu
mc
2) Qu
3) Au
Qu
4) Qu
0,2

Exercice P₂-5

Pour tirer un seau d'eau d'un puits de profondeur h , un ouvrier tourne 14 fois la manivelle d'un treuil sur lequel s'enroule la corde portant le seau. Le rayon R du cylindre du treuil est de 20 cm. La longueur l de la manivelle OA est de 60 cm.

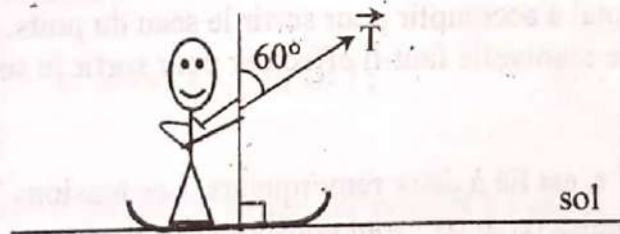
- 1) Calculer la profondeur du puits.
- 2) La masse du seau plein d'eau est de 15 kg. Calculer la force que l'on doit appliquer à l'extrémité de la manivelle et perpendiculairement à celle-ci pour établir l'équilibre.
- 3) Calculer le travail effectué par le poids du seau d'eau à la sortie du puits.
- 4) Les forces de frottement n'étant pas négligeables, le travail réellement effectué par l'ouvrier est évalué à 2 775 J. Calculer le rendement de l'installation.
- 5) Calculer la puissance de l'ouvrier sachant que l'opération a duré 1 min.

On prendra $g = 10 \text{ N/kg}$ et $\pi = \frac{22}{7}$.

Exercice P₂-6

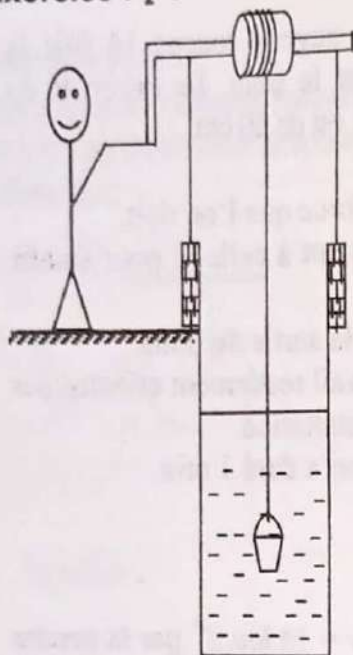
Un skieur de masse $m = 70 \text{ kg}$ est tiré à vitesse constante $v = 10 \text{ km.h}^{-1}$ par la perche d'un remonte-pente qui fait un angle de 60° avec la verticale en exerçant une traction $T = 100 \text{ N}$.

- 1) Le sol est horizontal : quelles sont les forces exercées sur le skieur ? préciser leur direction et leur sens.
 - 2) Calculer l'intensité de toutes les forces.
 - 3) Calculer le travail de chacune d'elle si le skieur se déplace de 400 m.
 - 4) Quelle est la puissance de la force de traction exercée par la perche ?
- On prendra $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

**Exercice P₂-7**

Une masse $m = 100 \text{ g}$ est suspendue en A à un fil OA de longueur $OA = 1 \text{ m}$.

- 1) Quel est par rapport à un axe horizontal et perpendiculaire à OA passant par O le moment du poids en fonction de l'angle θ que fait OA avec la verticale ?
- 2) Quel est le travail du poids quand θ varie de 60° à 0° ?
- 3) Au cours de ce déplacement, en quel point la vitesse maximale est-elle atteinte ? Quelle est alors la puissance de la force de pesanteur à cet instant ?
- 4) Quelle est la puissance moyenne de cette force si le déplacement s'effectue en $0,25 \text{ s}$? On prendra $g = 10 \text{ N/kg}$.

Exercice P₂-8

Le puits représenté ci-contre a une profondeur totale $d = 20$ m. Le niveau de l'eau dans le puits représente la moitié de la profondeur totale du puits.

Un seau plein d'eau, de poids total $P = 200$ N, est complètement immergé dans l'eau, au fond du puits. La poussée d'Archimède qui s'exerce sur ce seau dans l'eau est assimilable à une force constante F_a d'intensité $F_a = 100$ N.

Le treuil utilisé pour sortir le seau du fond du puits a les caractéristiques suivantes :

- rayon du cylindre sur lequel s'enroule la corde ; $r = 10$ cm ;
- longueur de la manivelle : $l = 50$ cm.

Les frottements au niveau du treuil sont négligeables :

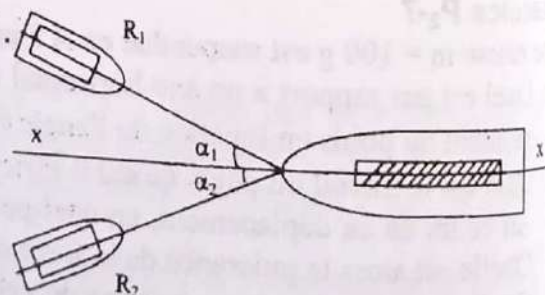
- 1) Déterminer l'expression de l'intensité de la force $\vec{F}$ exercée à l'extrémité de la manivelle en fonction de l'intensité de la tension $\vec{T}$ du fil, du rayon r du cylindre et de la longueur l de la manivelle à l'équilibre.
- 2) Déterminer l'intensité de la force $\vec{F}$ dans les situations suivantes :
 - a) le seau est dans l'eau ;
 - b) le seau est hors de l'eau.
- 3) La remontée se fait lentement à vitesse constante.
 - a) Calculer le travail total à accomplir pour sortir le seau du puits.
 - b) Combien de tours de manivelle faut-il effectuer pour sortir le seau du puits ?

Exercice P₂-9

Un navire, de masse 10^5 t, est lié à deux remorqueurs. Les tensions $\vec{T}_1$ et $\vec{T}_2$ des câbles C_1 et C_2 , ainsi que les angles α_1 et α_2 , sont constants. Le navire est remorqué sur 1,6 km le long de $x'x$. (Voir figure).

On donne $T_1 = 10^5$ N, $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 20^\circ$.

- 1) Détermine la tension T_2 , sachant que le remorqueur R_2 fournit un travail 1,6 fois plus grand que R_1 .



- 2) Soit $\vec{T} = \vec{T}_1 + \vec{T}_2$, la force exercée par le système (R_1, R_2) sur le navire. Montre que : $W(\vec{T}) = W(\vec{T}_1) + W(\vec{T}_2)$ (On fera un travail purement littéral).
- 3) Le navire parcourt la distance 1,6 km à vitesse constante. Détermine numériquement le travail effectué par la force $\vec{F}$ exercée par l'eau sur le navire.

Chapitre

EN

1) EN

L'énergie
la vitesse

E

2) EN

L'énergie
angulaireE_cJ_A en kg

3) EN

Si un s
son éne
rotation

Chapitre 3 (Physique)

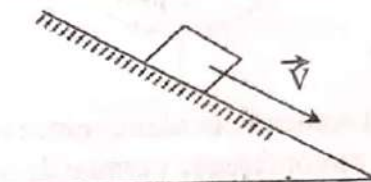
ENERGIE CINETIQUE ET THEOREME DE L'ENERGIE CINETIQUE

1) ENERGIE CINETIQUE D'UN SOLIDE EN TRANSLATION

L'énergie cinétique E_c d'un solide de masse m animé d'un mouvement de translation à la vitesse $\vec{v}$ a pour expression :

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

m en kg, v en m/s, E_c en J.

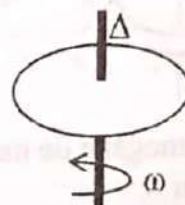


2) ENERGIE CINETIQUE D'UN SOLIDE EN ROTATION

L'énergie cinétique E_c d'un solide en rotation autour d'un axe fixe Δ à la vitesse angulaire ω a pour expression :

$$E_c = \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2$$

ω en rad.s^{-1} ; E_c en J;

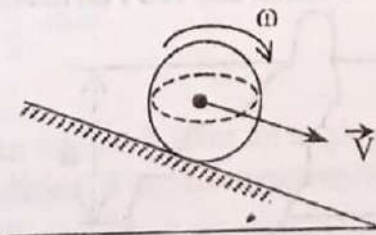


J_{Δ} en kg.m^2 est le moment d'inertie du solide par rapport à l'axe Δ .

3) ENERGIE CINETIQUE D'UN SYSTEME EN MOUVEMENT COMPLEXE

Si un système est animé d'un mouvement complexe (de translation et de rotation), son énergie cinétique est égale à la somme des énergies cinétiques de translation et de rotation.

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2$$



4) THEOREME DE L'ENERGIE CINETIQUE

La variation de l'énergie cinétique d'un système matériel entre deux instants t_1 et t_2 est égale à la somme algébrique des travaux effectués par les forces appliquées au système matériel entre ces deux instants.

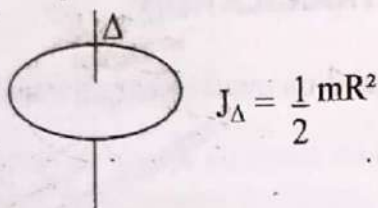
$$\Delta E_c = E_{c_2} - E_{c_1} = \Sigma W(\vec{F})$$

Pour un solide en mouvement de translation : $\Delta E_c = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = \Sigma W(\vec{F})$

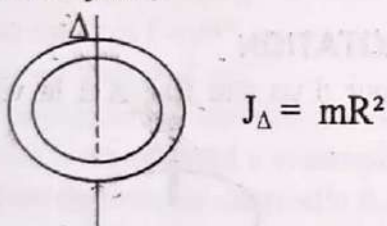
Pour un solide en mouvement de rotation : $\Delta E_c = \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega_2^2 - \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega_1^2 = \Sigma W(\vec{F})$

5) MOMENT D'INERTIE DE QUELQUES SOLIDES HOMOGENES PAR RAPPORT A UN AXE PASSANT PAR LE CENTRE D'INERTIE

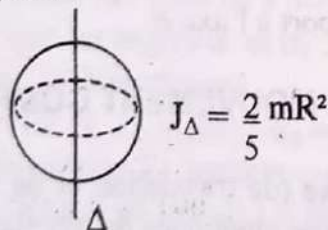
- a) Disque homogène de masse m et de rayon R



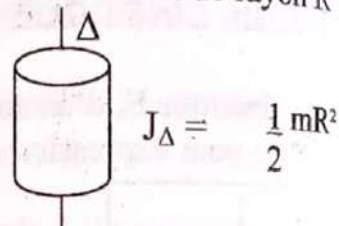
- c) Anneau circulaire mince ou circonférence pesante de masse m et de rayon R



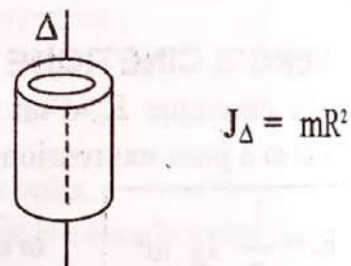
- e) Sphère homogène de masse m et de rayon R



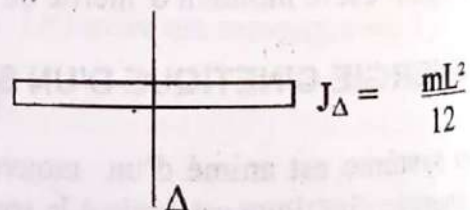
- b) Cylindre homogène de masse m et de rayon R



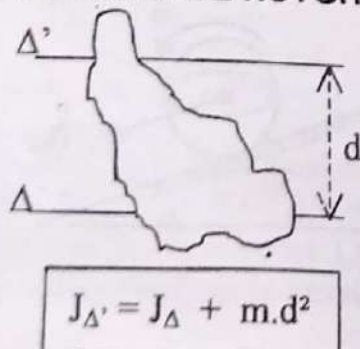
- d) Cylindre creux ou manche de masse m et de rayon R



- f) Tige mince homogène de masse m et de longueur L



6) THEOREME DE HUYGHENS



Le moment d'inertie d'un solide homogène par rapport à un axe quelconque Δ' est la somme du moment d'inertie J_{Δ} de ce solide par rapport à un axe Δ , parallèle à Δ' et passant par le centre d'inertie G du solide, et du produit de la masse m du solide par le carré de la distance entre les axes Δ et Δ' .

EXERCICES

Exercice P₃-1

Une voiture de masse $m = 1500 \text{ kg}$ (passagers compris) roule à la vitesse de 108 km/h . Calculer l'énergie cinétique de la voiture.

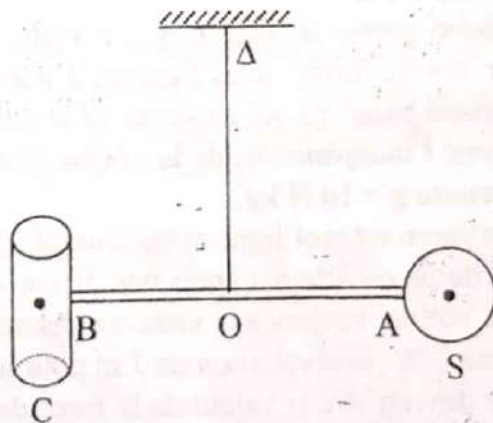
Exercice P₃-2

Une sphère homogène S de masse m_S et de rayon $r_S = \frac{\ell}{8}$ et un cylindre homogène C de masse m_C et de rayon $r_C = \frac{\ell}{4}$ sont respectivement soudés aux points A et B d'une barre homogène de longueur $AB = \ell$ et de masse m_B . L'ensemble est supporté par un fil d'acier de masse négligeable en un point O milieu de la barre AB (voir figure)

1) Calculer le moment d'inertie J_Δ de tout le système, en fonction de m_B et ℓ . (l'axe Δ passe par O).

On donne : $\ell = 0,6 \text{ m}$; $m_B = 240 \text{ g}$;
 $m_C = 8m_B = m_S$

2) Le système oscille dans un plan horizontal autour de Δ . A un instant donné, un point de la sphère diamétralement opposé à A a une vitesse $v = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$. Calculer l'énergie cinétique du système.



Exercice P₃-3

Une boule homogène sphérique de masse $m = 1,5 \text{ kg}$ et de rayon $R = 5 \text{ cm}$ roule sans glisser sur un plan horizontal.

La vitesse du centre d'inertie G de la boule est de 2 m/s .

1) Exprimer l'énergie cinétique de translation E_{tr} de la boule en fonction de son énergie cinétique de rotation E_{rot} .

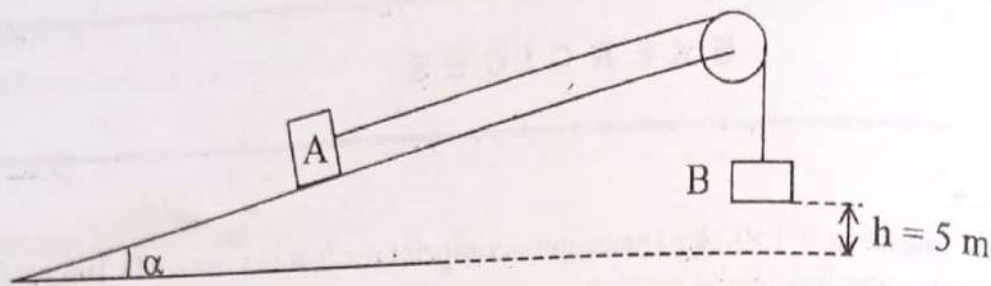
2) Calculer l'énergie cinétique totale de la boule en mouvement.

On donne : Moment d'inertie de la boule $J_{\Delta G} = \frac{2}{5} mR^2$.

Exercice P₃-4

Un corps A de masse $m_1 = 2 \text{ kg}$ posé sur un plan incliné faisant un angle $\alpha = 30^\circ$ avec le plan horizontal est entraîné par l'intermédiaire d'un fil inextensible de masse négligeable par un corps B de masse $m_2 = 1,8 \text{ kg}$.

Le fil passe dans la gorge d'une poulie de masse négligeable. Au début du mouvement, le corps B est abandonné sans vitesse initiale d'une hauteur $h = 5 \text{ m}$ au dessus du sol. On prendra $g = 9,8 \text{ N/kg}$.



- 1) On suppose que les forces de frottement sont négligeables sur le plan incliné.
 - a) Calculer le travail effectué par le système A + B au moment où le corps B touche le sol.
 - b) En déduire la vitesse du corps B au moment où il touche le sol.
- 2) En réalité, sur le plan incliné existent des forces de frottement assimilables à une force f tangente à la trajectoire du corps A. Le corps B arrive au sol à la vitesse $v_1 = 2 \text{ m/s}$. Calculer l'intensité de la force de frottement.

Exercice P₃-5

On désire porter la vitesse d'une voiture pesant $3\,000 \text{ kg}$, partant du repos, à une valeur $v = 72 \text{ km.h}^{-1}$ sous l'action d'une force propulsive F créée par le moteur. Les résistances passives qui agissent sur la voiture pendant tout le mouvement équivalent à une force f indépendante de la vitesse et d'intensité constante $f = 300 \text{ N}$.

On prendra $g = 10 \text{ N/kg}$.

- 1) La route est rectiligne et horizontale. Calculer l'intensité de la force propulsive si cette vitesse est atteinte après une distance $d = 1 \text{ km}$.
- 2) La voiture roulant à la vitesse constante de 72 km.h^{-1} aborde une route rectiligne de pente 3% (dénivellation de 3 m pour un trajet le long de la route de 100 m). Quelle devrait être la valeur de la force de propulsion F' du moteur pour que la voiture conserve sa vitesse constante sur la montée ?
- 3) En réalité, au moment où la voiture aborde la pente de 3% , on supprime la force de propulsion. Calculer la distance parcourue par la voiture avant l'arrêt.

Exercice P₃-6

Un volant de masse $M = 500 \text{ kg}$, assimilable à une circonférence pesante de rayon $R = 30 \text{ cm}$, située dans un plan vertical, tourne autour d'un axe fixe passant par son centre de gravité.

- 1) Calculer son moment d'inertie par rapport à un axe Δ passant par son centre de gravité O et perpendiculaire à son plan.
- 2) Quelle est l'énergie cinétique du volant lorsque sa vitesse de rotation est 300 tours par minute ?
- 3) Calculer la puissance moyenne fournie par le volant lorsque sa vitesse de rotation passe de 300 à 150 tours par minute en 15 secondes.

Exercice P₃-7

Une voiture de masse $m = 1000 \text{ kg}$ se déplace sur une route rectiligne et horizontale. Pour simplifier, les frottements seront supposés équivalents à une force unique f de sens contraire au vecteur vitesse et d'intensité 500 N .

1) La voiture démarre et accélère ; sa vitesse passe de 0 à 72 km/h après un parcours de 2 km .

a) Représenter et citer les forces appliquées à la voiture au cours de ce démarrage.

b) Calculer la force de propulsion F développée par le moteur de la voiture pendant ce démarrage.

2) La phase d'accélération terminée, la voiture poursuit sa route à la vitesse constante de 72 km/h sur une distance de 5 km .

a) Calculer la nouvelle valeur de la force de propulsion F' développée par le moteur.

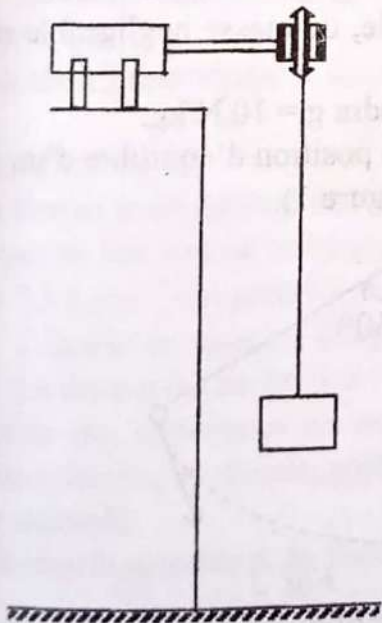
b) Quelle est la puissance du moteur dans ces conditions ?

3) Le conducteur lancé à la vitesse de 72 km/h voit un obstacle, débraye, freine et s'arrête sur une distance de 50 m .

Calculer l'intensité f' de la force de freinage supposée constante.

Exercice P₃-8

Une cage d'ascenseur de poids $P = 10\,000 \text{ N}$, chargement compris, se trouve initialement au fond d'un puits de mine à 150 m de profondeur. Elle peut se déplacer verticalement grâce à une force motrice exercée sur elle par l'intermédiaire d'un câble de masse négligeable relié à un moteur. On donne $g = 10 \text{ N/kg}$.



Partie du repos, cette cage effectue un mouvement d'ascension en deux phases :

- durant la 1^{ère} phase, la cage est tirée par une force $F_1 = 10500 \text{ N}$ sur une hauteur h_1 .
- Pendant la 2^{ème} phase, la cage est tirée par une force $F_2 = 9000 \text{ N}$ sur une hauteur h_2 et arrive en haut avec une vitesse nulle.

1) Calculer le travail du poids à la fin de l'ascension.

2) Etablir la relation entre P , F_1 , F_2 , h_1 et h_2 pour que la cage d'ascenseur arrive en haut du puits de mine avec une vitesse nulle.

3) Déterminer h_1 et h_2

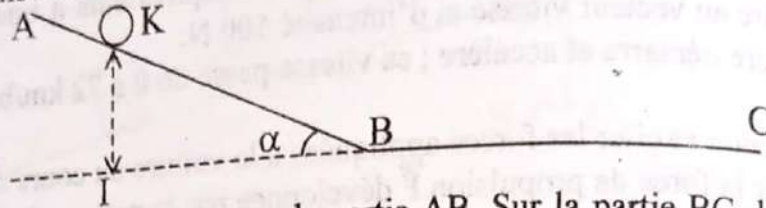
4) Calculer la vitesse atteinte par l'ascenseur à la fin de la 1^{ère} phase.

Exercice P₃-9

Un dispositif pouvant servir à l'élaboration d'un jeu est formé d'un rail ABC constitué de deux parties AB et BC situées dans un même plan vertical (voir schéma).

- La première partie AB est inclinée d'un angle $\alpha = 30^\circ$ par rapport à l'horizontale ;

- La seconde partie BC est horizontale. Le jeu consiste à lâcher un solide S en un point situé entre A et B pour qu'en C la vitesse du solide soit nulle (le joueur gagne si le solide s'immobilise en C).



Les frottements sont négligeables sur la partie AB. Sur la partie BC, les frottements sont équivalents à une force f constante parallèle à BC et opposée au vecteur vitesse.

1) Un solide S de masse $m = 200 \text{ g}$ est abandonné sans vitesse initiale d'un point K situé entre A et B. On donne $g = 9,8 \text{ N/kg}$.

a) Représenter au début du mouvement les forces appliquées au solide S.
b) De quelle hauteur $IK = H$ faut-il lâcher le solide pour qu'en B la vitesse ait la valeur $V_B = 6,0 \text{ m.s}^{-1}$.

2) Le mobile aborde alors avec la vitesse $V_B = 6,0 \text{ m.s}^{-1}$ la partie horizontale du rail.

a) Représenter en un point M situé entre B et C les forces appliquées au solide S.

b) Quand le solide S atteint le point C, sa vitesse a pour valeur $V_C = 2 \text{ m.s}^{-1}$.

En posant $BC = L$, établir l'expression de f en fonction de m , L , V_B et V_C .

Calculer f sachant que $L = 4 \text{ m}$.

3) De quelle distance KB faut-il lâcher le solide pour que sa vitesse soit nulle en C?

Exercice P₃-10

Un pendule est constitué par une petite bille b de rayon négligeable et de masse $m = 200 \text{ g}$ suspendue à l'extrémité d'un fil inextensible, de masse négligeable et de longueur $l = 60 \text{ cm}$.

L'autre extrémité du fil est fixée en un point O. On prendra $g = 10 \text{ N/kg}$.

1) Dans une première expérience, le fil est écarté de sa position d'équilibre d'un angle $\theta_0 = 90^\circ$ et abandonné sans vitesse initiale (voir figure 1).

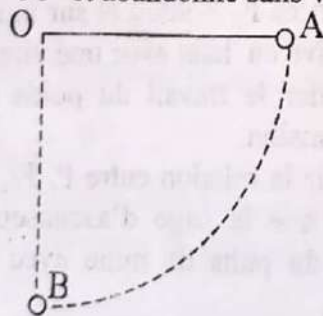


Fig. 1

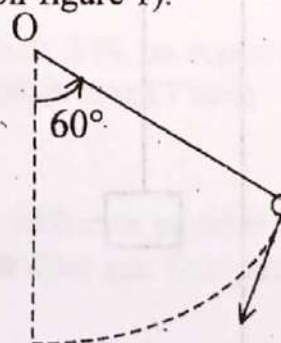


Fig. 2

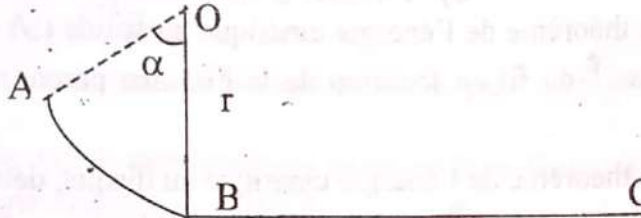
- a) Calculer le travail effectué par chacune des forces appliquées à la bille entre le début du mouvement et l'instant où la bille passe par sa position d'équilibre.
b) Déterminer la vitesse du solide au passage par la position d'équilibre B.
- 2) Dans une deuxième expérience, le fil est écarté de sa position d'équilibre d'un angle $\theta = 60^\circ$ et la bille est lancée vers le bas avec une vitesse $V_0 = 2 \text{ m.s}^{-1}$ (voir figure 2)
Déterminer la vitesse du solide au passage par la position d'équilibre.

Exercice P₃-11

Une piste ABC est formée de deux parties AB et BC situées dans un même plan vertical (voir schéma).

- AB est une portion de cercle de centre O, de rayon $r = 3$ m et d'angle au centre O de valeur $\alpha = (\overrightarrow{OB}, \overrightarrow{OA}) = 60^\circ$.

- CD est une partie rectiligne de longueur $BC = l = 4$ m.



Un solide S de masse $m = 500$ g est abandonné sans vitesse initiale du point A. On prendra $g = 9,8$ N/kg.

1) a) Calculer le travail du poids du solide entre A et C.
b) Calculer la vitesse V_C du solide lors de son arrivée au point C en supposant les frottements négligeables sur la piste ABC.

2) En réalité, sur la piste ABC les forces de frottement équivalent à une force unique f tangente à la trajectoire et d'intensité constante.

a) Représenter en un point M situé entre B et C les forces appliquées au solide S.
b) Etablir l'expression du travail de la force de frottement sur le parcours ABC en fonction de f , r , α et L .

c) Le solide lâché du point A sans vitesse initiale arrive au point C avec une vitesse $V'_C = 2$ m.s⁻¹.

Calculer l'intensité de la force de frottement.

Exercice P₃-12

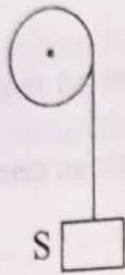
Un disque homogène d'acier de rayon $r = 10$ cm et d'épaisseur $e = 4$ mm est mobile autour de son axe de révolution Δ fixe et horizontal. La masse volumique de l'acier est $\rho = 7,8$ g.cm⁻³. On prendra $g = 9,8$ N/kg.

1) Calculer le moment d'inertie J du disque d'acier par rapport à Δ .

2) Le disque est monté sur l'arbre d'un moteur. Il est mis en mouvement par le moteur qui développe un couple de moment constant $\mathcal{M} = 0,4$ N.m. Au bout d'un certain temps, le disque, parti du repos, atteint la vitesse maximale de $N = 200$ tours par seconde.

Calculer le nombre n de tours effectués par le disque entre le début du mouvement et l'instant où la vitesse maximale est atteinte.

3) On enroule sur le disque servant de poulie, un fil inextensible et sans masse soutenant un solide (S) de masse $m = 500$ g. Le moteur est supprimé. On abandonne le solide (S) sans vitesse initiale. Le solide prend alors un mouvement de translation rectiligne (voir figure).



Le solide (S) acquiert la vitesse V après une chute de longueur l . On néglige tous les frottements. On admet que la tension du fil est constante le long de ce fil et au cours du mouvement.

- Représenter les forces appliquées au solide (S) et au disque servant de poulie.
- Enoncer le théorème de l'énergie cinétique.
- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au solide (S) déterminer le travail $W(\vec{T})$ de la tension $\vec{T}$ du fil en fonction de la distance parcourue l et de la vitesse acquise V .
- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au disque, déterminer l'expression du travail $W(\vec{T}')$ de la tension $\vec{T}'$ du fil au niveau du disque en fonction de la vitesse angulaire w acquise.
- Comparer $W(\vec{T})$ à $W(\vec{T}')$ et en déduire la vitesse V du solide S en fonction de la hauteur de chute l ; faire l'application numérique pour $l = 50$ cm.

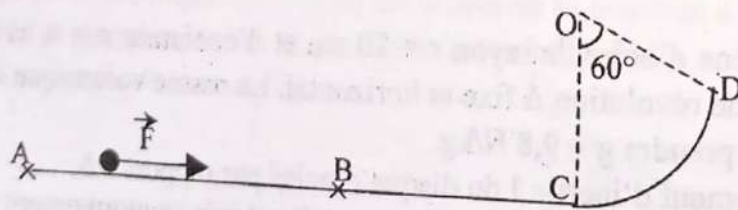
Exercice P₃-13

Dans ce problème on négligera tous les frottements et on prendra $g = 10$ N/kg.

La piste de lancement d'un projectile M comprend une partie rectiligne horizontale ABC et une portion circulaire CD, centrée en O, de rayon $r = 1$ m d'angle au centre $\alpha = 60^\circ$ et telle que OC est perpendiculaire à AC.

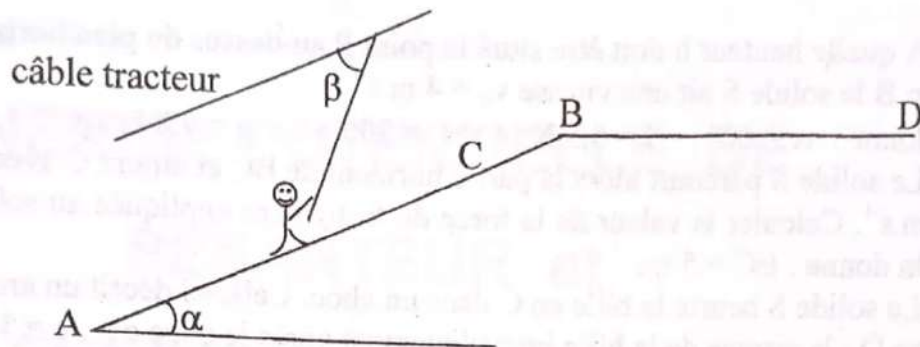
Le projectile M, assimilable à un point matériel, de masse $m = 0,5$ kg est lancé suivant AB = 1 m avec une force $\vec{F}$ constante ne s'exerçant qu'entre A et B.

- Quelle intensité minimale faut-il donner à $\vec{F}$ pour que le projectile quitte la piste en D ? On suppose que $V_A = 0$.
- Avec quelle vitesse V_D le projectile est-il éjecté quand $F = 150$ N ?



Exercice P₃-14

Un skieur de masse $m = 80$ kg (équipement compris) tiré par un remonte-pente gravit une piste rectiligne de longueur $AB = l = 2$ km et inclinée d'un angle $\alpha = 20^\circ$ par rapport au plan horizontal. Le skieur est relié au câble tracteur par une tige métallique T qui fait un angle constant $\beta = 30^\circ$ avec le câble tracteur (voir figure). La piste est recouverte de neige fraîche créant une force de frottement. Pendant tout le mouvement, l'ensemble des forces de frottement agissant sur le skieur est équivalent à une force unique de sens opposé au vecteur vitesse du skieur et d'intensité constante $f = 40$ N. On prendra $g = 9,8$ N/kg.



Le mouvement du skieur pendant la montée sur le plan incliné AB comprend deux phases :

- une première phase AC de démarrage au cours de laquelle la vitesse du skieur passe de 0 à 72 km/h sur une distance $d_1 = 500$ m.
- une deuxième phase CB effectuée à la vitesse constante de 72 km/h sur le reste du trajet qu'on notera d_2 .

- 1) a/ Représenter les forces appliquées au skieur pendant la 1^{ère} phase.
- b) Calculer le travail effectué par chacune des forces appliquées au skieur au cours de la 1^{ère} phase du mouvement.

En déduire la tension T_1 de la tige au cours de cette phase.

- 2) a/ Calculer le travail effectué par chacune des forces appliquées au skieur au cours de la 2^{ème} phase. En déduire la tension T_2 de la tige au cours de cette phase.

- b) Calculer la puissance des forces appliquées au skieur au cours de la deuxième phase.

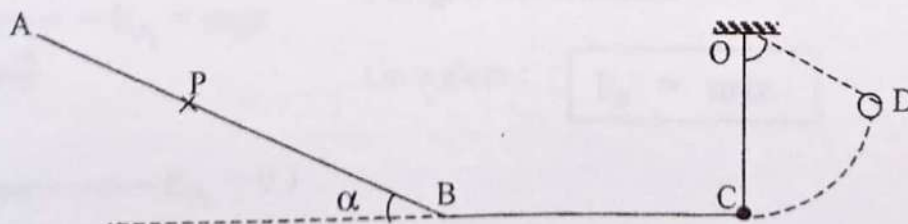
- 3) A la fin de la montée, le skieur arrive sur une piste horizontale et se libère de la tige qui le tire. Il effectue sur la piste horizontale un mouvement rectiligne de vitesse initial $V = 72$ km/h.

Calculer la distance d_3 parcourue jusqu'à l'arrêt sur cette piste.

Exercice P₃-15

Une piste ABC située dans un plan vertical est composée de deux parties : l'une AB constitue la ligne de plus grande pente d'un plan incliné de l'angle α sur le plan horizontal, l'autre BC est horizontale. Le raccordement en B est supposé parfait.

En un point O de la verticale de C, on suspend un pendule simple constitué d'une petite bille ponctuelle de masse $m = 100$ g fixée à l'extrémité d'un fil inextensible de longueur l et de masse négligeable de sorte qu'en position d'équilibre, la bille coïncide avec le point C.



D'un point P de AB on lâche sans vitesse initiale un solide ponctuel S de masse M qui glisse le long de AB avec des forces de frottement d'intensité f .

- 1) A quelle hauteur h doit être situé le point P au-dessus du plan horizontal BC pour qu'en B le solide S ait une vitesse $v_B = 4 \text{ m.s}^{-1}$?
On donne : $\alpha = 60^\circ$; $f = 0,5 \text{ N}$; $M = 300 \text{ g}$; $g = 9,8 \text{ N/kg}$.
- 2) Le solide S parcourt alors la partie horizontale BC et atteint C avec une vitesse de $2,5 \text{ m.s}^{-1}$. Calculer la valeur de la force de frottement appliquée au solide S entre B et C. On donne : $BC = 5 \text{ m}$.
- 3) Le solide S heurte la bille en C dans un choc. Celle-ci décrit un arc de cercle de centre O ; la vitesse de la bille immédiatement après le choc est $v = 3,75 \text{ m/s}$.
- a) A quelle hauteur remonte-t-elle au-dessus du plan horizontal BC ? Soit D la position correspondante de la bille.
- b) Lorsque la bille est en D, on brûle le fil. Calculer la distance entre C et son point de chute sur le plan horizontal BC sachant que $l = 1 \text{ m}$.

Exercice P₃-16

Une locomotive de masse $m_1 = 100 \text{ t}$, tire un seul wagon, de masse $m_2 = 30 \text{ t}$. Les résistances dues aux frottements sont supposées constantes et égales à 500 N par tonne en mouvement. Le train démarre sur une voie qui s'élève avec une pente de 2% . On prendra $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

Le moteur de la locomotive développe une force $\vec{F}$ supposée constante.

- 1) Déterminer F sachant qu'en 1 km le train atteint la vitesse $v = 15 \text{ m.s}^{-1}$. (Prendre comme système l'ensemble du train).
- 2) Quelle est alors la puissance du moteur ?
- 3) En prenant comme système le wagon seule, déterminer l'intensité de la force $\vec{T}_1$, supposée constante, exercée par la locomotive sur le wagon.
- 4) En prenant comme système la locomotive seule, déterminer l'intensité de la force $\vec{T}_2$ exercée par le wagon sur la locomotive. Interpréter en comparant au résultat du 3).
- 5) Pourquoi dans la question 1, n'a-t-on pas pris en compte les travaux de $\vec{T}_1$ et $\vec{T}_2$?

Ch



1)

L'é
posi
dans

avec

N.B
est é

ENERGIE POTENTIELLE DE PESANTEUR et ENERGIE MECANIQUE



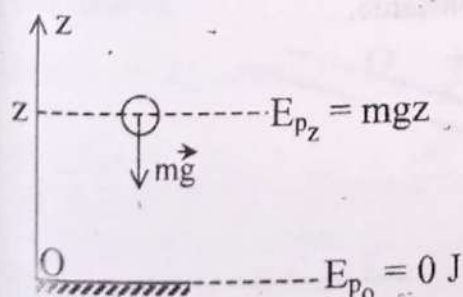
1) ENERGIE POTENTIELLE DE PESANTEUR

L'énergie potentielle de pesanteur d'un solide est l'énergie qu'il possède du fait de sa position par rapport à la Terre. L'énergie potentielle de pesanteur d'un corps placé dans un champ de pesanteur uniforme à l'altitude z a pour expression :

$$E_p = mgz + C$$

(C est une constante arbitraire)

avec z , altitude du centre d'inertie du corps sur un axe Oz vertical orienté vers le haut.



N.B. : La constante C est nulle lorsque la position de référence est confondue avec l'origine des altitudes.

On a alors :

$$E_p = mgz$$

N.B : Le travail du poids d'un corps entre deux positions dans le champ de pesanteur est égal à la diminution de son énergie potentielle entre ces deux positions.

$$W_{12}(\vec{P}) = E_{p1} - E_{p2} = -\Delta E_p$$

2) ENERGIE MECANIQUE

L'énergie mécanique E d'un corps est la somme de son énergie cinétique E_c et de son énergie potentielle E_p :

$$E = E_c + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgz$$

3) CONSERVATION DE L'ENERGIE MECANIQUE

Lorsqu'un système est isolé (c'est-à-dire qu'il ne reçoit pas de travail de l'extérieur et les frottements nuls ou négligeables) son énergie mécanique reste constante. On parle de la conservation de l'énergie mécanique : un tel système est dit conservatif.

$$E = E_1 = E_2 = \text{constante}$$

Ou encore, lorsque les forces appliquées à un solide, à l'exception de son poids, effectuent un travail nul, son énergie mécanique se conserve.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + mgz = \text{cste}$$

Exemples :

- L'énergie mécanique d'un solide en chute libre se conserve.
- L'énergie mécanique d'un solide en chute sans frottement sur un plan incliné se conserve.
- L'énergie mécanique d'un pendule pesant oscillant sans frottement se conserve.

4) NON-CONSERVATION DE L'ENERGIE MECANIQUE

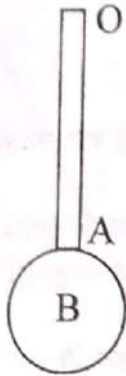
La variation de l'énergie mécanique d'un système entre deux instants t_1 et t_2 est égale à la somme des travaux des forces non conservatives qui s'exercent sur le système entre ces deux instants.

$$\Delta E = E_2 - E_1 = W_{\text{ext}}$$

- Si $W_{\text{ext}} < 0$ alors $E_2 < E_1$: L'énergie mécanique du solide diminue. C'est le cas d'un solide soumis à des forces de frottement qui travaillent.
- Si $W_{\text{ext}} > 0$ alors $E_2 > E_1$: L'énergie mécanique du solide augmente. C'est le cas d'une automobile gravissant une côte à vitesse constante.

EXERCICES

Exercice P₄-1



Une boule pleine homogène sphérique de masse $m_1 = 600$ g, de rayon $r = 4$ cm est soudée en A à une tige cylindrique mince homogène AO de longueur $l = 60$ cm et de masse $m = 400$ g. L'ensemble est mobile autour d'un axe horizontal passant par l'extrémité libre O de la tige. Le système formé par la boule et la tige constitue un pendule pesant (voir figure).

1) Déterminer le moment d'inertie de ce pendule par rapport à l'axe O.

2) On écarte le pendule d'un angle $\theta = 30^\circ$ à partir de sa position d'équilibre stable. Calculer pour cette position l'énergie potentielle de pesanteur :

- de la boule ;
- de la tige ;
- du pendule.

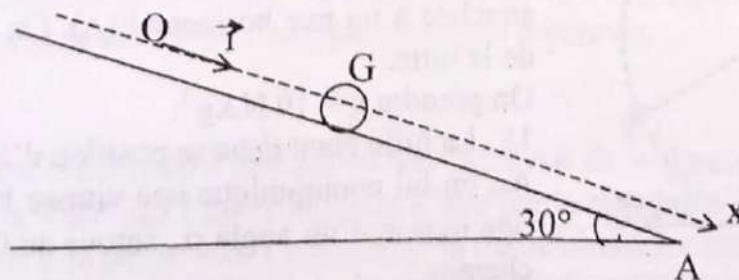
La position de référence et l'origine des altitudes sont confondues avec le point O. On prendra $g = 10$ N/kg.

Exercice P₄-2

Une bille d'acier, de dimensions négligeables, de masse $m = 200$ g est abandonnée sans vitesse initiale en un point O situé sur un plan incliné OA faisant un angle $\alpha = 30^\circ$ avec le sol horizontal.

La position de la bille dans le repère $(O, \vec{i})$ est repérée par l'abscisse x de son centre de gravité G. On néglige les forces de frottements. La longueur du plan incliné est $OA = 4$ m, le point A étant au sol. On donne $g = 10$ N/kg.

On choisit l'origine des temps à l'instant où la bille est lâchée. On fixe la position de référence et l'origine des altitudes au niveau du sol (plan horizontal contenant le point A). (voir figure).



1) Donner l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur E_p de la bille en fonction de m , g , α , x et OA .

- 2) Calculer l'énergie mécanique initiale de la bille.
- 3) Calculer l'énergie potentielle de la bille après un parcours de 2,5 m.
- 4) Calculer la variation d'énergie potentielle de la bille après un parcours de 2,5 m sur le plan incliné à partir de sa position initiale.
- 5) Représenter graphiquement (sur le même graphique) l'énergie potentielle, l'énergie mécanique et l'énergie cinétique de la bille en fonction de x .

Echelle : 1 cm $\longleftrightarrow$ 0,5 m et 1 cm $\longleftrightarrow$ 1 J

Exercice P₄₋₃

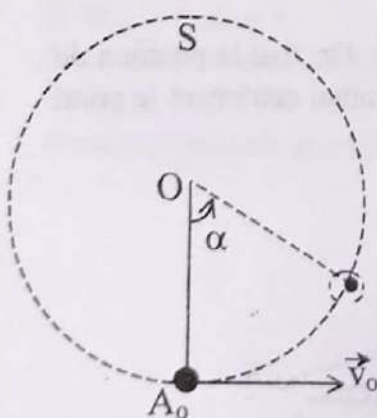
On néglige les frottements dans tout l'exercice. On donne $g = 10 \text{ N/kg}$.

Une règle plate homogène, de longueur $l = 100 \text{ cm}$ et de masse $m = 400 \text{ g}$ est mobile dans un plan vertical autour d'un axe passant par l'une de ses extrémités.

- 1) On écarte la règle d'un angle de $30^\circ = \theta_0$ de sa position d'équilibre dans le sens positif et on lui communique une vitesse angulaire $\omega_0 = 4 \text{ rad/s}$ dans le sens négatif.
 - a) Calculer l'énergie mécanique de la règle au début du mouvement.
 - b) Calculer la vitesse linéaire de l'extrémité libre de la règle au passage par la position d'équilibre.
 - c) Calculer l'angle θ dont s'écarte la règle par rapport à la position d'équilibre après avoir dépassé celle-ci.
- 2) On recommence l'expérience précédente en écartant la règle d'un angle $\theta_0 = 30^\circ$ de sa position d'équilibre mais en lui communiquant une vitesse angulaire $\omega_0 = 10 \text{ rad/s}$ dans le sens positif.
 - a) Calculer l'énergie mécanique de la règle au début du mouvement.
 - b) Comment varie l'énergie mécanique au cours du mouvement ?
 - c) Quelle est, au cours du mouvement, la valeur de l'énergie cinétique maximale ? En déduire la vitesse angulaire maximale.
 - d) Déterminer également la valeur de l'énergie cinétique minimale.

N.B. : On prendra pour position de référence et origine des altitudes la position du centre de gravité de la règle à l'équilibre.

Exercice P₄₋₄



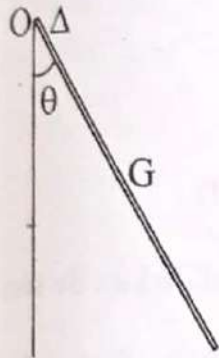
Un solide est constitué par une bille ponctuelle (M) de masse $m = 200 \text{ g}$ accrochée en A à l'une des extrémités d'une tige OA de longueur $l = 0,80 \text{ m}$ et de masse négligeable. L'autre extrémité O de la tige est attachée à un axe horizontal (Δ). On néglige le rayon de la bille.

On prendra $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

- 1) La bille étant dans sa position d'équilibre stable A_0 , on lui communique une vitesse horizontale $\vec{v}_0$. La tige tourne d'un angle α_0 autour de O , puis rebrousse chemin.
- Donner l'expression de l'énergie mécanique E_0 au début du mouvement.
 - Calculer v_0 sachant que la tige s'écarte au maximum d'un angle $\alpha_0 = 150^\circ$.

- 2) Pour quelle vitesse initiale v_0 la bille décrit-elle un cercle complet ?
 3) On suppose que $v_0 = 7 \text{ m.s}^{-1}$. Dans ces conditions, la bille atteint-elle le point S ?
 Si elle l'atteint, déterminer alors sa vitesse en ce point. Evaluer également la vitesse de la bille au point C tel que $\widehat{A_0OC} = \alpha = 45^\circ$.
 N.B. : La position de référence de l'énergie potentielle de pesanteur est en A_0 .

Exercice P₄-5



On néglige les frottements dans tout l'exercice.

On donne $g = 10 \text{ N/kg}$.

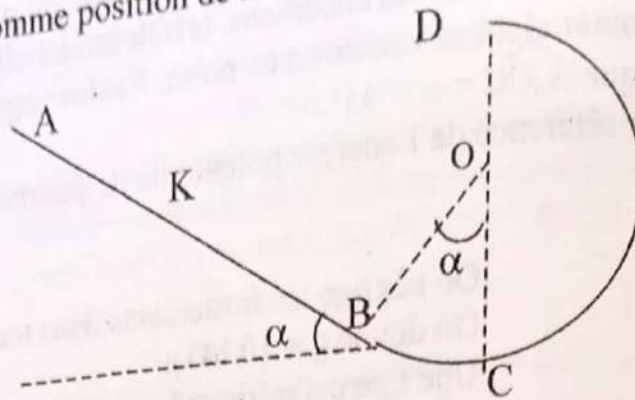
Une tige cylindrique homogène de longueur $l = 60 \text{ cm}$ de masse $m = 400 \text{ g}$ est mobile dans un plan vertical autour d'un axe de rotation (Δ) horizontal, passant par l'une de ses extrémités. Le système formé constitue un pendule pesant.

- 1) Calculer le moment d'inertie de la tige par rapport à l'axe (Δ).
- 2) On écarte la tige de sa position d'équilibre d'un angle $\theta_0 = 60^\circ$ dans le sens positif et on l'abandonne sans vitesse initiale. La position de référence et l'origine des altitudes sont confondues avec la position du centre de gravité G de la tige à l'équilibre.
 - a) Soit θ l'abscisse angulaire du centre de gravité G de la tige par rapport à la position d'équilibre à un instant t quelconque.
 Exprimer l'énergie potentielle de pesanteur E_p de la tige en fonction de m , g , l et θ .
 Calculer l'énergie mécanique de la tige au début du mouvement.
 - b) Pour quelle position, la vitesse angulaire de la tige est-elle maximale ?
 Calculer cette vitesse maximale.
 - c) Montrer que le système oscille en s'écartant du même angle $\theta_0 = 60^\circ$ de part et d'autre de la position d'équilibre.
- 3) Après avoir écarté à nouveau la tige d'un angle $\theta_0 = 60^\circ$ par rapport à la position d'équilibre, on lui communique une vitesse angulaire $\omega_0 = 15 \text{ rad.s}^{-1}$ dans le sens positif.
 - a) Calculer l'énergie mécanique au début du mouvement.
 - b) Quel est le mouvement de la tige ?
 - c) Quelle est, au cours du mouvement, la valeur de l'énergie cinétique maximale ?
 Calculer également la valeur de l'énergie cinétique minimale.

Exercice P₄-6

Une piste verticale est constituée d'une partie rectiligne AB de longueur $l = AB = 1 \text{ m}$ inclinée d'un angle $\alpha = 60^\circ$ sur l'horizontale et d'une partie circulaire BCD raccordée tangentiellement en B à la partie AB. Le rayon de la partie circulaire est $r = 20 \text{ cm}$. Un solide ponctuel de masse $m = 200 \text{ g}$, de dimensions négligeables, est abandonné en A sans vitesse initiale.

On prend le point C comme position de référence et comme origine des altitudes ; on donne $g = 10 \text{ N/kg}$.



- 1) Calculer l'énergie potentielle de pesanteur du solide en A, B, C et D.
- 2) Calculer l'énergie mécanique du solide au début du mouvement.
- 3) En supposant les frottements négligeables, calculer la vitesse du solide lors de son passage en B, C et D.
- 4) En réalité, le solide lâché du point A sans vitesse initiale arrive au point B avec la moitié de la vitesse calculée au point B à la troisième question.
 - En déduire la variation de l'énergie mécanique du solide entre A et B.
 - On suppose que la perte d'énergie mécanique du solide est due à une force de frottement constante. Calculer la valeur de cette force de frottement.

Exercice P₄₋₇

On considère une tige homogène de longueur l , mobile autour d'un axe passant par l'une de ses extrémités. Le moment d'inertie de la tige par rapport à cet axe est J .

On écarte la tige d'un angle α_0 de sa position d'équilibre et on l'abandonne sans vitesse initiale.

Le système "terre-pendule" sera considéré comme isolé. Le tableau ci-dessous donne les valeurs de l'énergie potentielle de pesanteur de la tige en fonction de son élongation angulaire α . (L'angle maximal est 5°).

α (en degré)	5	4	3	2	1	0	-0,5	-1,5	-2,5	-3,5	-4,5	-5
E_p (en 10^{-2} J)	7,5	4,8	2,7	1,2	0,3	0	0,08	0,7	1,9	3,7	6,0	7,5

- a) Déterminer l'expression de l'énergie mécanique du système à un instant t quelconque.
- b) Représenter en fonction de α l'énergie potentielle du système.
Echelles : 1 cm pour 1 degré ; 1 cm pour 10^{-2} J .
- c) Utiliser le graphe précédent pour déterminer l'énergie cinétique de la tige à l'élongation $\alpha = -3^\circ$.

On donne : $J = \frac{1}{3} ml^2$; $l = 80 \text{ cm}$; $g = 10 \text{ N/kg}$.

Pour α petit, on a : $\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2}$.

Exercice P4-8

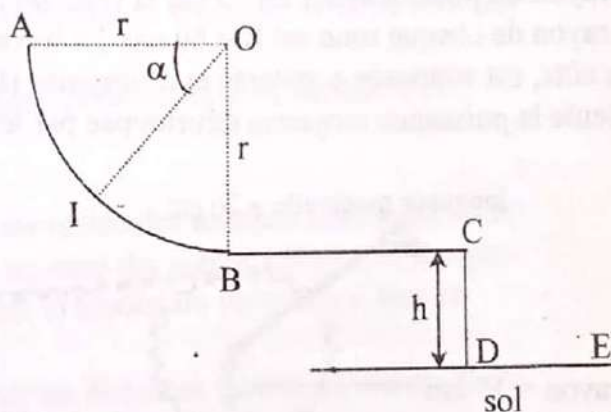
L'intérieur d'un bol est une demi-sphère de rayon $r = 6 \text{ cm}$. Un solide S, ponctuel, de masse $m = 50 \text{ g}$, glisse parfaitement sur la paroi de ce bol. On choisit comme position de référence : le fond du bol ; $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

- 1) Que peut-on dire de l'énergie mécanique totale de S au cours de son mouvement sur la paroi ?
- 2) Montrer que, si l'énergie mécanique E du solide S est inférieure ou égale à une certaine valeur E_{max} , alors la bille reste piégée dans le bol. Calculer E_{max} .
- 3) Posé sur la paroi, S est lancé vers le fond du bol avec l'énergie mécanique $E = 0,80 E_{\text{max}}$.
 - a) A quel endroit l'énergie cinétique de S est-elle maximale ?
En déduire la vitesse linéaire maximale de S.
 - b) A quelle hauteur maximale par rapport au fond du bol, le solide remonte-t-il ?
 - c) On appelle $\vec{R}$ la réaction du bol, normale à la paroi.
 - Pour quelle altitude, $\vec{R}$ fait-elle un angle $\theta = 50^\circ$ avec la verticale ?
 - Quelle est alors la vitesse de S ?

Exercice P4-9

Une piste verticale est constituée d'une partie circulaire AB et d'une partie horizontale BC tangentiellement raccordées.

AB est un quart de cercle de rayon $r = 32 \text{ cm}$ et $BC = L = 25 \text{ cm}$. Au dessous de C, à la distance $h = 15 \text{ cm}$ se trouve le sol.



Une petite sphère métallique (S) de masse 200 g , supposée ponctuelle est abandonnée en A sans vitesse initiale.

- 1) On néglige les frottements sur la piste ABC.
 - a) En appliquant le principe de la conservation de l'énergie mécanique, calculer la vitesse de la sphère lors de son passage en B et C
 - b) Donner l'expression de la vitesse V_I au point I en fonction de g , r et α . La calculer pour $\alpha = (\vec{OA} ; \vec{OI}) = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$.

Le sol sera pris pour état de référence et on prendra : $g = 9,8 \text{ N/kg}$

2) En réalité, les frottements ne sont pas négligés sur la piste ABC. Ils équivalent à une force f , tangente à la trajectoire et opposée au mouvement, d'intensité $f = 0,3 \text{ N}$.

a) Peut-on appliquer au système le principe de conservation de l'énergie mécanique en vue de déterminer les vitesses en B et en C ?

Sinon, énoncer alors le théorème de la non conservation de l'énergie mécanique

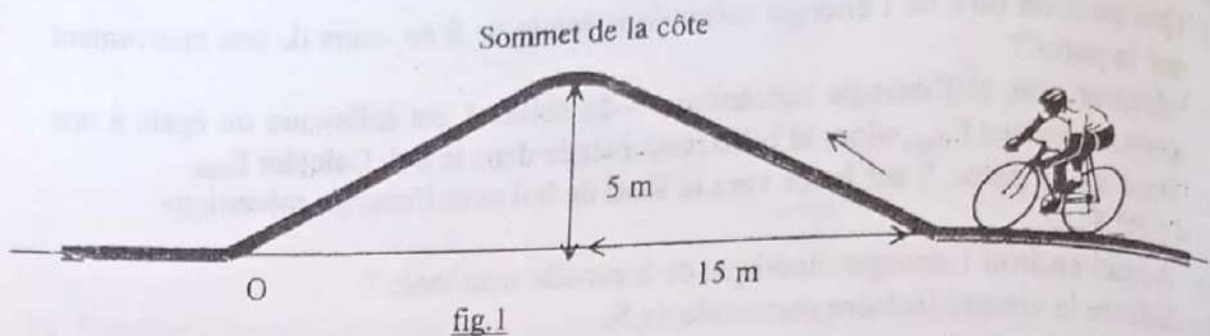
b) Calculer les vitesses en B et en C.

c) Calculer alors la vitesse de chute en E.

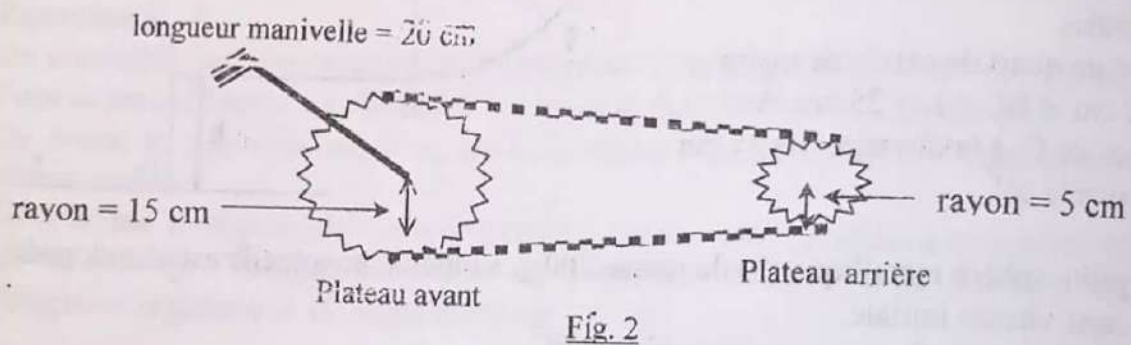
D'après BAC 1999/BENIN (Session Annulée)

Exercice P₄-10

1- Un cycliste de masse 70 kg (vélo compris) s'élance sur une route horizontale et arrête de pédaler au pied d'une côte (voir fig.1).



- a) On néglige les frottements. Calcule en km.h^{-1} la vitesse avec laquelle le cycliste abordera la côte.
- b) La longueur des manivelles des pédales du vélo est $r = 20 \text{ cm}$. Le rayon du plateau avant est 15 cm et celui du plateau arrière est 5 cm (voir fig.2). Le rayon de chaque roue est $R = 60 \text{ cm}$. La force exercée sur la pédale, avant d'arriver à la côte, est supposée constante et d'intensité 100 N. Calcule la puissance moyenne développée par le cycliste.



- 2- En réalité, l'expérience montre que le cycliste atteint le sommet de la côte s'il abonde cette côte avec une vitesse de $36,2 \text{ km.h}^{-1}$.
- a) Cette vitesse est-elle inférieure ou supérieure à la précédente ? Pourquoi ?
- b) Les forces de frottements sont assimilables à un vecteur somme $\vec{f}$, de sens opposé au vecteur vitesse $\vec{v}$. Calcule l'intensité de $\vec{f}$ supposée constante.
- 3- Calcule la vitesse du cycliste au point O de l'autre côté de la pente.
- 4- A quelle distance de O s'arrête-t-il ? Prendre $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

LES LOIS DES GAZ PARFAITS



1) ETUDE DE L'ETAT GAZEUX

1-1 L'agitation moléculaire dans un gaz

L'état gazeux est désordonné. Les gaz sont formés de molécules dont l'agitation est extrêmement intense.

Dans un gaz réel, il existe des forces d'interaction entre les molécules du gaz.

Dans les conditions habituelles, ces forces sont faibles, toutefois, elles ne sont pas négligeables.

Un gaz parfait est constitué de molécules quasi ponctuelles sans aucune interaction.

1-2 Propriétés des gaz

Dans un gaz, les interactions étant faibles, les molécules sont peu liées entre elles et peuvent s'éloigner de grandes distances les unes des autres. On dit que les gaz sont expansibles, c'est-à-dire qu'ils occupent la totalité du volume qui leur est offert.

Il est possible, par compression, de diminuer les distances intermoléculaires et de réduire le volume d'un gaz. On dit que les gaz sont compressibles.

Les masses volumiques des gaz sont environ mille fois plus faibles que celles des liquides et des solides.

La plupart des gaz sont incolores, mais il existe des gaz colorés comme le dichlore et le dioxyde d'azote.

Les gaz se dilatent ; c'est-à-dire que sous l'action de la chaleur, ils augmentent de volume.

2) PRESSION D'UN GAZ

2-1 Pression et bombardement moléculaire

L'enveloppe d'un ballon mal gonflé, préalablement flasque et facilement déformable, devient rigide et difficilement déformable, lorsqu'on le gonfle. On dit qu'on a augmenté la pression de l'air qu'il contient. Ainsi, la pression du gaz est d'autant plus grande que le bombardement moléculaire est plus intense.

2-2 Définition de la pression d'un gaz

Si la force pressante est normale à la surface pressée et s'exerce uniformément sur toutes les parties de cette surface, la valeur p de la pression s'obtient en divisant l'intensité F de la force pressante par l'aire S de la surface pressée.

$$p = \frac{F}{S}$$

p en pascals (Pa), F en N, S en m²

On utilise souvent :

- Le bar : 1 bar = 10⁵ Pa ;
- L'hectopascal : 1 hPa = 100 Pa ;
- L'atmosphère : 1 atm = 101325 Pa ;
- Le centimètre de mercure : 1 cm de mercure ≈ 1,33.10³ Pa
1 atm = 76 cm de mercure.

2-3 La pression atmosphérique

La pression atmosphérique est la pression exercée par l'air atmosphérique sur une surface avec laquelle il est en contact.

La valeur de la pression atmosphérique varie avec le lieu et avec le temps.

Dans les conditions usuelles, la pression atmosphérique normale est égale à 1 atm soit 101325 Pa.

2-4 Mesure des pressions

On mesure les pressions avec des manomètres. Seule la pression atmosphérique est mesurée avec des baromètres. Dans les laboratoires de chimie, les hôpitaux, l'industrie, les bouteilles de gaz comprimé souvent utilisées, sont munies de manomètres métalliques. On utilise souvent des manomètres et des baromètres à mercure.

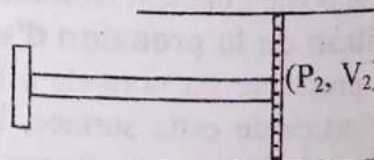
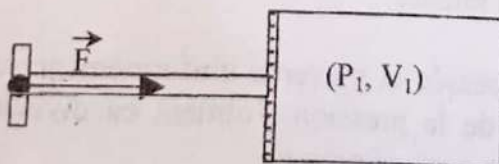
3) COMPRESSIBILITE ISOTHERME DES GAZ : LOI DE BOYLE - MARIOTTE

- L'adjectif « isotherme » signifie qui a la même température. Ainsi, une évolution isotherme d'un gaz, par exemple, est une transformation qui s'effectue à température constante.
- Loi de Boyle - Mariotte : Lorsqu'une masse déterminée de gaz parfait évolue à température constante, le produit p.v de sa pression par son volume reste constant.

$$P.V = \text{Cste si } t = \text{Cste}$$

Ou encore, pour le gaz parfait dans l'état n°1 caractérisé par les variables (pression P₁, volume V₁, température t) et dans l'état n°2 caractérisé par les variables (P₂, V₂, t), on peut écrire :

$$P_1.V_1 = P_2.V_2$$



4) LA TEMPERATURE ABSOLUE

4-1 Rapport de deux températures absolues

Pour une masse de gaz parfait dans deux états :

Etat 1 : p_1 , V_1 et T_1 ; et Etat 2 : p_2 , V_2 et T_2

T_1 et T_2 sont deux températures absolues à définir.

Par définition :
$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{p_1 \cdot V_1}{p_2 \cdot V_2}$$

4-2 Température absolue ou échelle Kelvin

Pour deux températures T et T_0 , on fixe T et on choisit la température absolue pour le point triple de l'eau : $T_0 = 273,16^\circ$

Ainsi : $T = T_0 \cdot \frac{pV}{p_0V_0}$ ou $T = 273,16^\circ \cdot \frac{pV}{p_0V_0}$

L'unité de température absolue est le Kelvin (K).

Pour le point triple de l'eau : $T_0 = 273,16 \text{ K}$.

4-3 La température Celcius

L'échelle de température Celcius se déduit de l'échelle absolue par une simple translation.

Pour un état donné, on note :

t : la température Celcius (en $^\circ\text{C}$)

T : la température absolue (en K).

On a la relation : $T = t + 273,15$ ou $t = T - 273,15$

Plus simplement on écrit :

$$T = t + 273 \text{ ou } t = T - 273$$

5) L'EQUATION D'ETAT DES GAZ PARFAITS

La quantité $\frac{p \cdot V}{T}$ d'un gaz parfait est proportionnelle à la quantité de matière n du gaz.

On écrit :

$$P \cdot V = n R T$$

p : pression du gaz en pascals (Pa)

V : volume du gaz en m^3

T : température absolue en Kelvin (K)

n : quantité de matière (mol)

$R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ est la constante molaire des gaz parfaits

Remarque sur le gaz parfait

Le produit PV est égale à une constante pour de pression très faible. Lorsque la pression augmente, le produit $P \cdot V$ n'est plus une constante. On appelle gaz parfait un gaz pour lequel le produit $P \cdot V$ est rigoureusement constant à une t° donnée. Le gaz n'existe pas au faite dans la réalité parce que le produit $P \cdot V$ varie avec la pression à une t° donnée. Le gaz parfait est un état vers lequel tend tout gaz réel lorsque sa pression tend vers zéro.

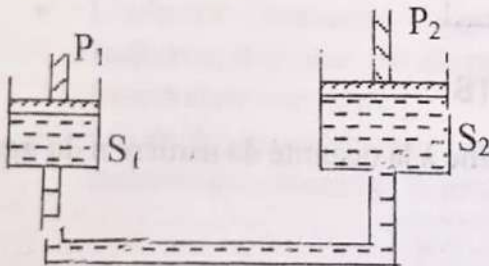
EXERCICES

Exercice P₅₋₁

- 1) Une caisse de poids $P = 60 \text{ N}$ repose sur une table horizontale par une surface rectangulaire d'aire $S = 1200 \text{ cm}^2$. Calculer la pression exercée par la caisse sur la table.
- 2) La table, de poids $P_1 = 40 \text{ N}$, supportant la caisse précédente repose sur le sol par 4 pieds dont chaque surface de contact a une aire $s = 25 \text{ cm}^2$. Calculer en Pa et en bar la pression subie par le sol.
- 3) On incline la table d'un angle $\alpha = 25^\circ$ et l'on dispose d'une cale pour empêcher la caisse de glisser.
 - a) Quelles sont les forces qui s'exercent sur la caisse ?
 - b) Déterminer l'intensité de la force pressante exercée par la caisse sur la table.
 - c) Calculer la pression subie par la table inclinée.

Exercice P₅₋₂

Deux récipients cylindriques verticaux C_1 et C_2 de sections respectives $S_1 = 50 \text{ cm}^2$ et $S_2 = 500 \text{ cm}^2$ contenant de l'eau communiquent par la base par un tube de faible diamètre. Deux pistons P_1 et P_2 , de poids négligeables, pouvant glisser sans frottements, sont placés en contact avec les surfaces libres de l'eau dans les deux cylindres. Les pistons sont d'abord sur un même plan horizontal.



- 1) On pose sur le petit piston P_1 une masse $m = 1 \text{ kg}$. Calculer la masse M qu'il faut placer sur le grand piston pour le maintenir en équilibre sur le même plan horizontal.

- 2) On retire les masses m et M et on exerce sur le grand piston une force $\vec{F}$ qui l'enfonce d'une longueur $L = 1 \text{ cm}$. De quelle longueur l se déplace le petit piston ?

Exercice P₅₋₃

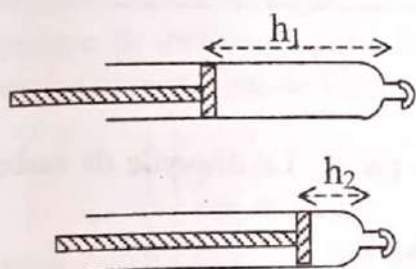
Un récipient de paroi rigide, de volume constant 10 L , contient une masse $m = 8,5 \text{ g}$ de gaz ammoniac (NH_3) à la température $t_1 = 0^\circ\text{C}$. La pression atmosphérique est égale à 10^5 Pa .

- 1) Calculer la pression P_1 du gaz
- 2) Quelle est la pression atteinte lorsque le récipient est porté à la température $t_2 = 100^\circ\text{C}$?
- 3) A la température t_2 , le robinet qui ferme le récipient se met à fuir, si bien qu'une partie du gaz ammoniac s'échappe dans l'atmosphère, sans que l'air extérieur puisse rentrer.

- a) D'après vous à quel moment la fuite du gaz cesse-t-elle ?
 En déduire la pression du gaz à l'intérieur du récipient.
- b) Combien reste-t-il alors de moles de gaz ammoniac dans le récipient ? Calculer la masse de gaz correspondante.
- 4) La fuite ayant cessé, à quelle température en °C faudrait-il porter le récipient pour atteindre la pression P_1 calculée à la question 1) ?
- On donne les masses atomiques molaires en g.mol^{-1} : $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{N}) = 14$.

Exercice P₅₋₄

On dispose d'une pompe à vélo dont on bouche l'orifice avec le doigt. On enferme ainsi un volume déterminé d'air sur une hauteur $h_1 = 21 \text{ cm}$ à la pression $P_1 = 10^5 \text{ Pa}$ lorsque le piston de la pompe est en équilibre.



- a) A l'aide du piston on comprime lentement l'air contenu dans la pompe jusqu'à obtenir une hauteur finale $h_2 = \frac{h_1}{3}$

La température ne varie pas au cours de l'opération et on admettra que l'air est un gaz parfait.

Calculer la nouvelle valeur de la pression dans la pompe.

- b) La surface de l'orifice a une aire $s = 4 \text{ mm}^2$. Calculer la force pressante exercée par le gaz sur le doigt du manipulateur.

Exercice P₅₋₅

1) On enferme de l'air sec à la température de 20°C dans un cylindre long d'axe vertical de 250 cm^2 de section par un piston hermétique horizontal de masse négligeable, mobile sans frottement à l'intérieur du cylindre. Le piston est soumis sur sa face supérieure à la pression atmosphérique $H = 75 \text{ cm}$ de mercure. Le piston se trouve initialement à une hauteur $h_1 = 30 \text{ cm}$ du fond du cylindre.

- a) Quelle est la pression de l'air enfermé dans le cylindre ?
- b) Quelle est la masse de l'air enfermé dans le cylindre ?
- 2) En chauffant le cylindre, on porte la température de l'air enfermé à 60°C , la pression restant constante. Calculer la nouvelle hauteur h_2 atteinte par le piston.
- 3) Lorsque la hauteur h_2 précédemment calculée est atteinte, un dispositif approprié bloque l'évolution du piston. Dans ces conditions, on chauffe à volume constant le cylindre et on porte la température à 100°C . Calculer la nouvelle pression de l'air enfermé.

On donne :

- Masse d'un litre d'air dans les conditions normales (température 0°C , pression 76 cm de mercure) : $1,293 \text{ g}$.
- La dilatation du cylindre est négligeable.

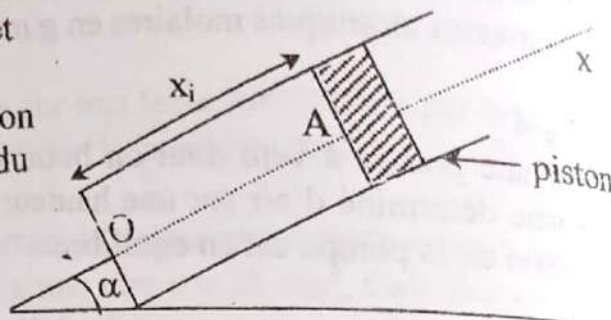
Exercice P₅₋₆

Dans le dispositif schématisé sur la figure, le piston a pour masse $m = 15 \text{ kg}$ et pour section $S = 150 \text{ cm}^2$. Il est mobile sans frottement dans un cylindre d'axe Ox , incliné de $\alpha = 30^\circ$ avec l'horizontale.

Ce cylindre contient du dioxyde de carbone CO_2 . On repère la position du piston par $OA = x_i$.

La pression atmosphérique est $1,01 \text{ bar}$ et on donne $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.

- 1) Le piston est équilibré dans la position repérée par $x_1 = 40 \text{ cm}$. La température du dioxyde de carbone est $\theta_1 = 15^\circ\text{C}$.



- a) Quelle est la pression du dioxyde de carbone ?
- b) Quelle est la masse du dioxyde de carbone ?
- 2) Le piston est en équilibre dans la position repérée par x_i . Le dioxyde de carbone gazeux est à la température absolue T .

Exprimer T en fonction de x_i . Quelle est la fonction $T(x_i)$?

- 3) Le dioxyde de carbone est à la température $\theta_2 = 20^\circ\text{C}$ et s'y maintiendra. On pousse le piston lentement. Le piston s'équilibre dans une position repérée par $x_2 = 35 \text{ cm}$.

Déterminer l'intensité de la force $\vec{F}$, à exercer sur la force supérieure parallèlement à Ox , pour le maintenir en équilibre.

On donne $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$.

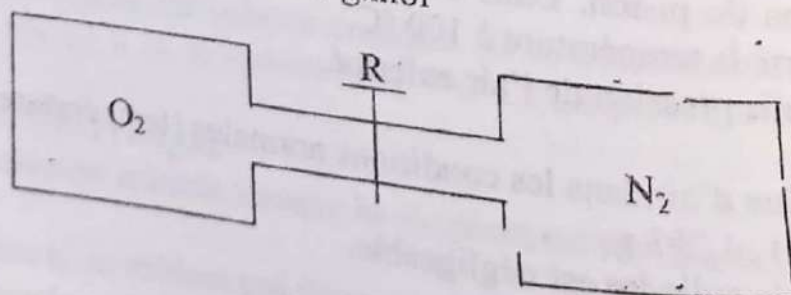
Exercice P₅₋₇

Le produit $P.V$ pour une mole de gaz parfait est égal, à 15°C , à $2396 \text{ Pa.m}^3.\text{mol}^{-1}$.

Deux récipients, pouvant communiquer par un robinet R contiennent l'un 50 L de dioxygène sous la pression de 2 bars à 15°C , l'autre 100 L de diazote sous la pression de $1,5 \text{ bar}$ à 15°C . Les deux gaz sont considérés comme parfaits.

- 1) On ouvre R , les deux gaz, diffusent l'un dans l'autre. On obtient un mélange homogène à 15°C . Calculer la pression de ce mélange de gaz considéré comme parfait.
- 2) Calculer la masse molaire de ce mélange de gaz parfaits et son volume molaire à 15°C sous 1 bar .

On donne $M(\text{N}) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$



Exercice P₅₋₈

Un réservoir, pression $P_0 =$ gonfler un ba $V = 50 \text{ L}$, sa

- 1) Calculer
 - 2) Calculer 20°C
 - 3) Combien
- On donne la

Exercice P₅₋₉

Les expériences la pression atmosphérique

gaz 1

Calculer e

Exercice P₅₋₁₀

On vient

contenu d

températu

On donne

1- Quelle

2- Calcul

dans les

3- Le co

Quelle r

pneu res

N.B : C

pression

4- Aprè

manoe

chauffe

est enc

a) Que

b) A q

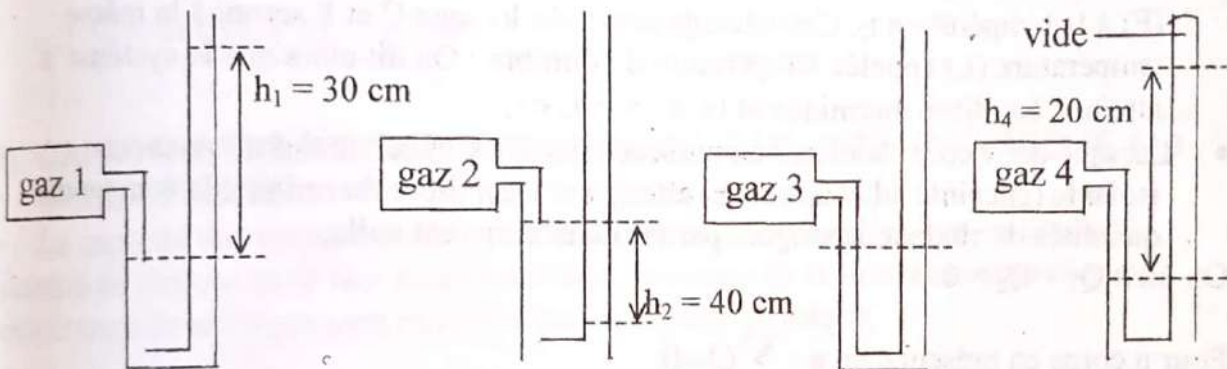
Exercice P₅-8

Un réservoir, de volume constant $U = 200 \text{ L}$, contient de l'hélium comprimé, à la pression $P_0 = 50 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ et à la température constante $t_0 = 20^\circ \text{C}$. On l'utilise pour gonfler un ballon initialement vide. Après gonflage, le volume de celui-ci est $V = 50 \text{ L}$, sa pression $p = 10^5 \text{ Pa}$ et sa température $t = 17^\circ \text{C}$.

- 1) Calculer la masse initiale, m , d'hélium.
 - 2) Calculer la pression P du réservoir après le gonflage, sa température étant toujours 20°C .
 - 3) Combien peut-on gonfler de ballons à la pression $p = 10^5 \text{ Pa}$?
- On donne la masse molaire atomique de l'hélium : $M = 4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Exercice P₅-9

Les expériences de la figure ci-dessous sont réalisées dans un laboratoire pour mesurer la pression de différents gaz à l'aide de différents manomètres à mercure. La pression atmosphérique au lieu de l'expérience est égale à 75 cm de mercure.



Calculer en pascals, en cm de mercure et en atm la pression de chaque gaz.

Exercice P₅-10 Gonflage d'un pneu de vitesse

On vient juste de monter un pneu (modèle sans chambre à air) sur la jante. L'air contenu dans ce pneu est donc à la pression atmosphérique $P_1 = 10^5 \text{ Pa}$ et à la température $t_A = 17^\circ \text{C}$. Le volume intérieur du pneu est $V = 30 \text{ L}$.

On donne $R = 8,30 \text{ S.I.}$

- 1- Quelle quantité de matière n_1 d'air contient-il ?
 - 2- Calcule la masse d'air que le pneu contient, sachant que la masse molaire de l'air dans les CNTP est 29 g/mol .
 - 3- Le constructeur conseille de "gonfler le pneu à $1,8 \text{ bar}$ " lorsque "le pneu est froid". Quelle masse d'air doit-on faire pénétrer dans le pneu ? La température à l'intérieur du pneu reste pratiquement égale à 17°C . Le volume intérieur du pneu reste constant.
- N.B :** On rappelle qu'en fait, le constructeur indique la surpression, par rapport à la pression atmosphérique, qu'il faut donner à l'air du pneu.
- 4- Après une certaine période d'utilisation, le chauffeur fait vérifier ses pneus. Le manomètre indique dans le pneu monté une surpression $1,80 \text{ bar}$. L'air dans le pneu, chauffé par un long parcours, est à la température 45°C . La pression atmosphérique est encore égale à $P_A = 10^5 \text{ Pa}$.

- a) Quelle masse d'air le pneu a-t-il perdu depuis le gonflage précédent ?
- b) A quelle surpression faudrait-il porter le pneu pour compenser cette perte ?

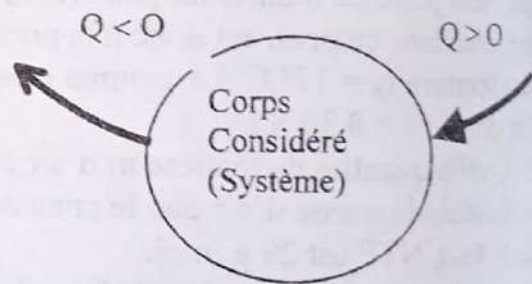
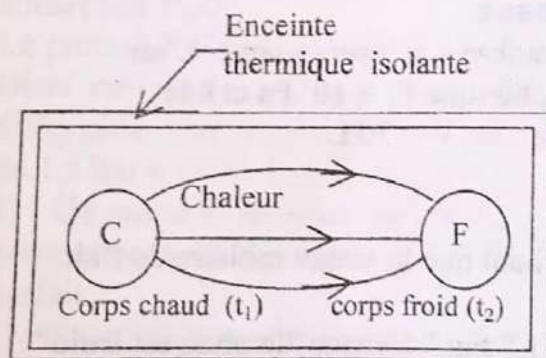
LA CALORIMETRIE

1) DEFINITION ET PRINCIPES DE LA CALORIMETRIE

- La calorimétrie est la mesure des quantités de chaleur.
- Les mesures calorimétriques s'effectuent dans des enceintes thermiquement isolantes ; c'est-à-dire qui empêchent tout échange d'énergie thermique avec le milieu extérieur.
- Le corps chaud (C) à la température t_1 cède de l'énergie thermique au corps froid (F) à la température t_2 . Cet échange prend fin lorsque C et F seront à la même température (t_e) appelée température d'équilibre : On dit alors que le système a atteint l'équilibre thermique et on a : $t_2 < t_e < t_1$.
- Lorsque deux corps sont mis en présence dans une enceinte thermiquement isolante (enceinte adiabatique) et atteignent l'équilibre thermique, la somme des quantités de chaleur échangées par les deux corps est nulle.

On écrit $Q_1 + Q_2 = 0$.

Pour n corps en présence on a : $\sum_{i=1}^n Q_i = 0$



- Lorsqu'un corps de masse m échange de l'énergie thermique, cette quantité de chaleur a pour formule $Q = m c (t_2 - t_1)$
 - Si le corps s'échauffe, alors $t_2 > t_1$ d'où $Q > 0$. Le corps qui s'échauffe reçoit de l'énergie sous forme de chaleur.
 - Si le corps se refroidit, alors $t_2 < t_1$ d'où $Q < 0$. Au cours du refroidissement, le corps cède la quantité de chaleur.

2) QUANTITE DE CHALEUR ABSORBÉE PAR UN CORPS

La quantité de chaleur Q ou W qu'il faut fournir à un corps de masse m pour élever sa température de t_1 à t_2 (ou de T_1 à T_2) est donnée par l'expression.

$$Q = m.c.(t_2 - t_1)$$

ou

$$Q = m.c.(T_2 - T_1)$$

Q en J, m en kg, t_1 et t_2 en $^{\circ}\text{C}$, T_1 et T_2 en K, c en $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ou $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$; c est la chaleur massique ou capacité thermique massique.

3) QUANTITE DE CHALEUR PERDUE PAR UN CORPS

La quantité de chaleur Q ou W perdue par un corps de masse m qui se refroidit de la température t_1 (ou T_1) à la température t_2 (ou T_2) est définie par la formule :

$$Q = m.c.(t_1 - t_2)$$

ou

$$Q = m.c.(T_1 - T_2)$$

4) CAPACITE THERMIQUE MASSIQUE ET CAPACITE THERMIQUE (ou CALORIFIQUE)

- La capacité thermique massique c d'une substance est numériquement égale à la quantité de chaleur qu'il faut fournir à l'unité de masse de la substance pour élever sa température de un degré sans modification de son état physique.

$$c = \frac{Q}{m(t_1 - t_2)} = \frac{Q}{m \Delta t}$$

L'unité S. I de capacité thermique massique est le $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

- La capacité thermique C (ou capacité calorifique) d'un corps considéré est numériquement égale à la quantité de chaleur qu'il faut lui donner pour élever sa température de un degré sans modification de son état physique. La capacité calorifique d'un corps de masse m et de chaleur massique c a pour expression :

$$C = m c = \frac{Q}{(t_1 - t_2)} = \frac{Q}{\Delta t}$$

L'unité S. I de capacité thermique est le J.K^{-1} ou $\text{J.}^{\circ}\text{C}^{-1}$

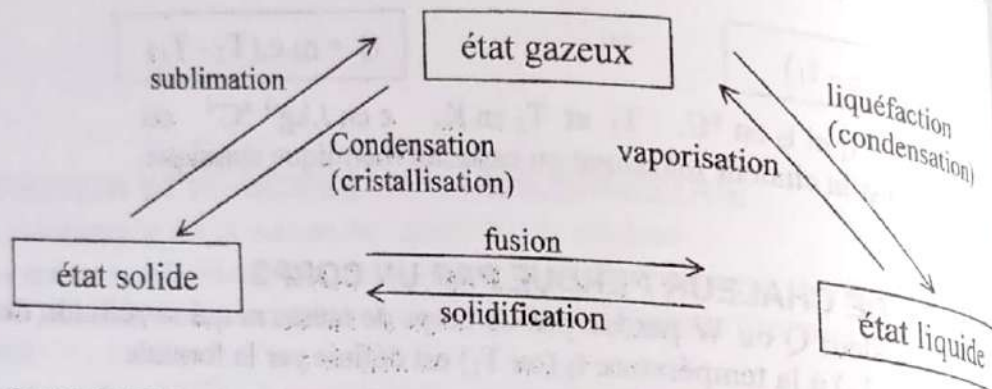
Remarque

Si le corps comporte plusieurs parties, sa capacité thermique s'obtient en faisant la somme des capacités thermiques des diverses parties :

$$C = C_1 + C_2 + \dots = m_1 c_1 + m_2 c_2 + \dots = \sum_{i=1}^{i=n} m_i c_i$$

5) LES CHANGEMENTS D'ETAT D'UN CORPS PUR

On appelle changement d'état, le passage de la matière d'un état physique à un autre état physique ; ce changement d'état se fait à température constante par absorption ou par dégagement de chaleur.



6) CHALEUR LATENTE

La chaleur latente L de changement d'état est la quantité de chaleur absorbée ou cédée par une unité de masse (1 kg) d'un corps pour changer d'état physique à la même température et à la même pression.

La quantité de chaleur Q mise en jeu pour changer d'état physique à un corps pur de masse m est donnée par l'expression :

$$Q = m.L$$

m en kg et L en $J.kg^{-1}$.

N.B. : Les chaleurs latentes de deux changements d'état inverses sont opposées.

1. La chaleur latente de fusion

La chaleur latente de fusion L_f de l'eau à $0^\circ C$ est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 kg de glace prise à $0^\circ C$ pour la transformer en eau liquide à $0^\circ C$ à pression constante de 1 atm.

Pour une masse m de glace, la quantité de chaleur nécessaires pour la fondre entièrement est

$$a = m L_f$$

2. Chaleur latente de vaporisation

Dans le cas de vaporisation

$$a = m L_v$$

L_v est la chaleur latente de vaporisation.

N.B.

L_f et L_v s'expriment en J/kg .

Exercice P₆-1

Définir les termes

- calorimétrie ;
- capacité thermique ;
- capacité thermique massique ;
- chaleur latente ;
- chaleur latente de fusion ;
- sublimation ;
- vaporisation ;
- solidification ;
- réaction exothermique ;
- réaction endothermique ;

Exercice P₆-2

Le vase calorimétrique

- Calculer la chaleur massique d'un corps.
- Le calorimètre est un accessoire indispensable pour la mesure de la capacité thermique.

3) La température

On introduit dans

$t_2 = 100^\circ C$, la

a) Calculer

b) En déduire

On donne la

Exercice P₆-3

Choisissez p

1) La vapo

a) de l'état

b) de l'état

c) de l'état

2) La crist

a) de l'état

b) de l'état

c) de l'état

3) La c

a) de l'ét

EXERCICES

Exercice P₆-1 (non corrigé)

Définir les termes suivants :

- a) calorimétrie ;
- b) capacité thermique ;
- c) capacité thermique massique ;
- d) chaleur latente ;
- e) chaleur latente de fusion ;
- f) sublimer ;
- g) vaporisation ;
- h) solidification ;
- i) réaction exothermique
- j) réaction athermique.

Exercice P₆-2

Le vase calorimétrique d'un calorimètre est en aluminium, sa masse est $m_1 = 50$ g.

- 1) Calculer la capacité thermique de ce vase sachant que la capacité thermique massique de l'aluminium vaut : $c = 920 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- 2) Le calorimètre contient une masse d'eau $m_2 = 100$ g ; le thermomètre et les accessoires du calorimètre ont une capacité thermique de $15 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$. Calculer la capacité thermique totale C du calorimètre entier.
- 3) La température initiale du calorimètre est $t_1 = 17,2^\circ\text{C}$.

On introduit dans le calorimètre une certaine quantité d'eau à la température $t_2 = 100^\circ\text{C}$, la température d'équilibre s'établit à $t_e = 38,5^\circ\text{C}$.

- a) Calculer la capacité thermique C' de l'eau introduite.
- b) En déduire la valeur de la masse d'eau.

On donne la capacité thermique massique de l'eau : $c_e = 4,19 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Exercice P₆-3

Choisissez parmi les affirmations suivantes celles qui sont exactes.

- 1) La vaporisation est le passage d'un corps :
 - a) de l'état liquide à l'état gazeux ;
 - b) de l'état solide à l'état gazeux ;
 - c) de l'état liquide à l'état solide.
- 2) La cristallisation est le passage d'un corps :
 - a) de l'état gazeux à l'état liquide ;
 - b) de l'état gazeux à l'état solide ;
 - c) de l'état liquide à l'état solide ;

- 3) La condensation est le passage d'un corps :
 - a) de l'état gazeux à l'état solide ;

- b) de l'état gazeux à l'état liquide ;
- c) de l'état liquide à l'état solide.
- 4) La solidification est le passage d'un corps :
 - a) de l'état gazeux à l'état solide ;
 - b) de l'état liquide à l'état solide ;
 - c) de l'état solide à l'état liquide.

Exercice P₆-4

Pour laver son bébé, Madame X... mélange 5 L d'eau chaude prise à la température $t_1 = 95^\circ\text{C}$ et 3 L d'eau froide à la température $t_2 = 20^\circ\text{C}$ dans un récipient de capacité thermique négligeable.

- 1) Calculer la température finale t_e du mélange à l'équilibre thermique.
- 2) En réalité, elle veut obtenir une eau tiède à 38°C .
Doit-elle encore ajouter au mélange précédent de l'eau chaude ou de l'eau froide ? Justifier la réponse et calculer le volume d'eau nécessaire à ajouter.

On donne :

- masse volumique de l'eau : 1 kg/L ;
- capacité thermique massique de l'eau : $c = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Exercice P₆-5

Données : chaleur massique de l'eau : $c_e = 4190 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 chacun massique de la glace : $c_s = 2100 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 chaleur latente de fusion de la glace : $L = 3,34.10^5 \text{ J.kg}^{-1}$

- 1) Dans de l'eau, on introduit un morceau de glace :
 - a) Si toute la glace fond, que peut-on dire de la température du mélange en équilibre thermique ?
 - b) Si une partie de la glace fond, que peut-on dire de la température du mélange en équilibre thermique ?
 - c) Après une étude dans laquelle on a supposé que toute la glace fondait, on trouve une température finale $+2,5^\circ\text{C}$, est-ce possible ? Quelle hypothèse faut-il modifier ?
- 2) On mélange de l'eau, dont la masse est m_1 et la température t_1 avec de la glace, dont la masse est m_s et la température t_s , dans une bouteille thermos, de capacité calorifique négligeable. Il n'y a pratiquement pas d'échange de chaleur avec l'extérieur.

Déterminer la température t_e à l'équilibre thermique et la masse de glace restante, dans les deux cas suivants :

- a) $m_1 = 100 \text{ g}$; $t_1 = 18^\circ\text{C}$; $m_s = 10 \text{ g}$; $t_s = -3^\circ\text{C}$
- b) $m_1 = 100 \text{ g}$; $t_1 = 10^\circ\text{C}$; $m_s = 25 \text{ g}$; $t_s = 0^\circ\text{C}$

Exercice P₆-6

Désireuse d'obtenir de l'eau tiède pour laver son bébé, Assiba dépose une bassine d'aire $S = 3000 \text{ cm}^2$ contenant 12 L d'eau à la température initiale de 20°C en plein soleil de 12 h à 12 h 50 min.

La puissance transportée par le rayonnement solaire arrivant au lieu d'exposition de la bassine est pratiquement constante et égale à $1,2 \text{ kW}$ par mètre carré. Le volume d'eau qui s'évapore est négligeable.

En raiso
absorbée
solaire.

1) Calc

2) Calc

l'exposi

3) Déte

4) Pen

obtenir

On don

On pren

Exercic

1) Un

On y int

Montrer

tempéra

2) Dar

20

ther

Cal

3) Dar

tem

a) Qu

b) Cal

Donnée

- Cap

- Cap

- Ch

Exerci

Dans

tempér

$t_2 = -10$

On dor

- cap

- cap

- ch

Exerc

Une c

conten

durant

pertes

Sachar

est éga

On do

En raison de la réflexion d'une partie du rayonnement solaire, la quantité de chaleur absorbée par l'eau ne représente que les 60% de celle transportée par le rayonnement solaire.

- 1) Calculer la puissance transférée à l'eau par le rayonnement solaire.
- 2) Calculer la quantité de chaleur réellement absorbée par l'eau pendant la durée de l'exposition de la bassine au soleil.
- 3) Déterminer la température finale de l'eau.
- 4) Pendant combien de temps devrait-elle laisser la bassine d'eau en plein soleil pour obtenir une température finale de 38°C .

On donne la masse volumique de l'eau : 1 kg/L .

On prendra pour chaleur massique de l'eau : $c = 4200 \text{ J.kg}^{-1}\text{.}^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Exercice P₆₋₇

- 1) Un calorimètre de capacité thermique négligeable contient 100 g d'eau à 20°C . On y introduit un morceau de glace de masse 20 g initialement à la température 0°C . Montrer qu'il ne reste pas de glace lorsque l'équilibre thermique est atteint. Calculer la température d'équilibre.
- 2) Dans le système précédent, on ajoute alors un second morceau de glace de masse 20 g dont la température est cette fois, -18°C . Montrer que, lorsque l'équilibre thermique est atteint, il reste de la glace et que la température d'équilibre est 0°C . Calculer alors les masses d'eau liquide et de glace en présence.
- 3) Dans l'ensemble précédent, on introduit un autre glaçon de masse 20 g à la température -18°C .
 - a) Quelle est la nouvelle température d'équilibre ?
 - b) Calculer la masse d'eau qui se congèle.

Données :

- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_e = 4190 \text{ J.kg}^{-1}\text{.}^{\circ}\text{C}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau solide : $c_g = 2100 \text{ J.kg}^{-1}\text{.}^{\circ}\text{C}^{-1}$
- Chaleur latente de fusion de la glace (à 0°C) : $L_f = 3,34 \cdot 10^5 \text{ J.kg}^{-1}$

Exercice P₆₋₈

Dans un "thermos" (milieu adiabatique isolant) contenant 30 cm^3 d'eau à la température $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$, on plonge un glaçon de masse $m_2 = 5 \text{ g}$ à la température initiale $t_2 = -10^{\circ}\text{C}$. Calculer la température à l'équilibre thermique.

On donne :

- capacité thermique massique de l'eau liquide : $C_1 = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}\text{.}^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- capacité thermique massique de la glace : $C_2 = 2,10 \text{ kJ.kg}^{-1}\text{.}^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- chaleur latente de fusion de la glace : $L_f = 334 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

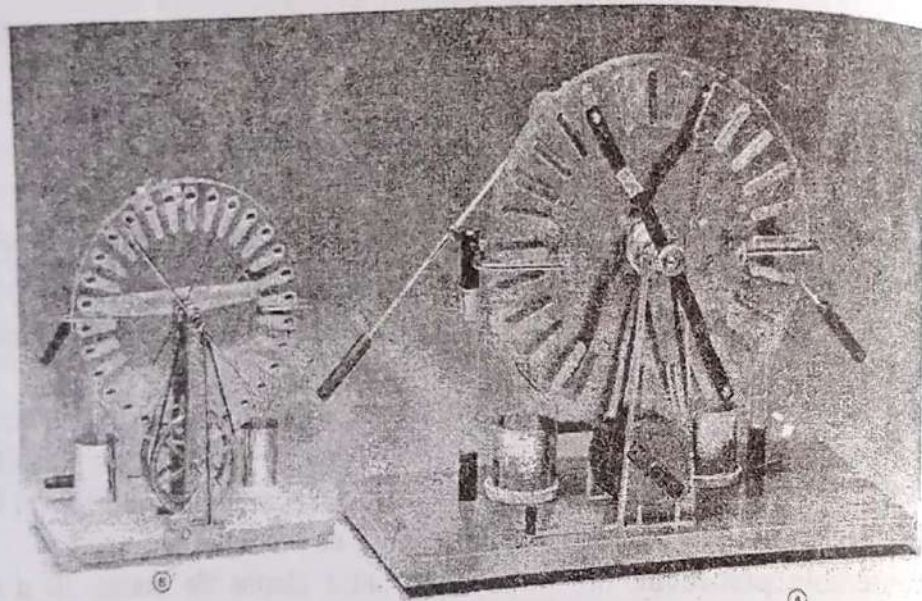
Exercice P₆₋₉

Une cuisinière électrique de puissance 2 kW est utilisée pour chauffer 2 L d'eau contenue dans une casserole en aluminium de masse $m_2 = 500 \text{ g}$. On suppose que durant l'opération, la casserole subit la même variation de température que l'eau. Les pertes de chaleur sont supposées négligeables.

Sachant que le temps nécessaire pour élever la température de l'eau de 20°C à 80°C est égale à $4 \text{ min } 25 \text{ s}$, calculer la capacité thermique massique de l'aluminium.

On donne : chaleur massique de l'eau : $c = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}\text{.}^{\circ}\text{C}^{-1}$.

CHAMP ELECTROSTATIQUE ET DIFFERENCE DE POTENTIEL



1) LOI DE COULOMB

Deux charges électriques ponctuelles q et q' exercent l'une sur l'autre des forces opposées dont l'intensité commune $F = F'$ est proportionnelle aux valeurs absolues des charges et à l'inverse du carré de la distance qui les sépare.

$$F = F' = \frac{K |q| \cdot |q'|}{r^2} \text{ avec } K = 9 \cdot 10^9 \text{ USI,}$$

q en coulombs (C), r en mètres (m), F en newtons (N)

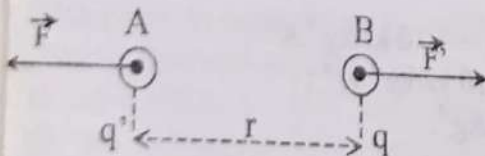


Fig. 1 : répulsion si q et q' sont de même signe

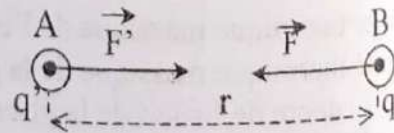


Fig. 2 : attraction si q et q' sont de signes contraires

CHAMP ELECTRIQUE $\vec{E}$

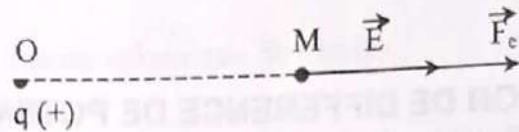
2-1 Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle.

On appelle champ électrique $\vec{E}$, toute région de l'espace où une charge électrique q se trouve soumise à une force électrique $\vec{F}$.

$$\vec{F} = q\vec{E} \Leftrightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}; \quad \text{en module } F = |q| E$$

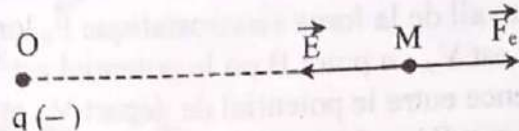
Une charge q placée en un point O , crée en un point M de l'espace un champ électrostatique $\vec{E}$. On distingue deux cas :

1^{er} cas : $\vec{F}$ et $\vec{E}$ ont même sens.
Si $q > 0$; $\vec{F}$ et $\vec{E}$ ont même sens.



$\vec{E}$ est centrifuge

2^e cas :
Si $q < 0$; $\vec{F}$ et $\vec{E}$ sont de sens contraire



$\vec{E}$ est un centripète.

2-2 Champ électrique créé par plusieurs charges ponctuelles.

Le champ électrostatique $\vec{E}$ créé en un point M de l'espace par un ensemble de charges $q_1, q_2, \dots, q_n$ est la somme vectorielle des champs électrostatiques créés par toutes les charges

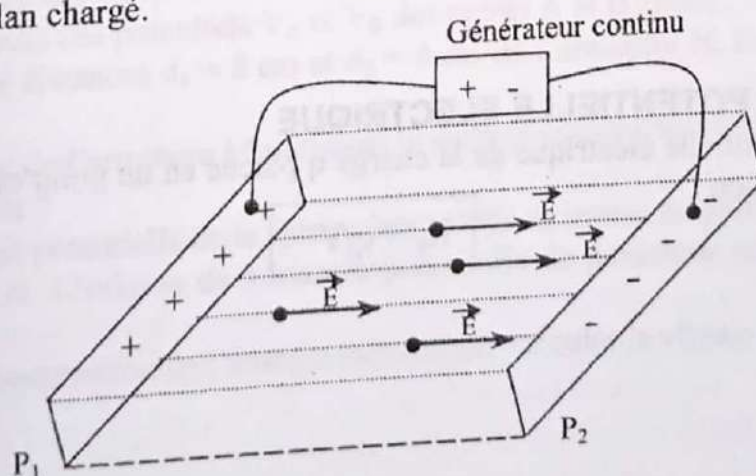
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \text{ ou } \vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

forces
des

3) LE CHAMP ELECTROSTATIQUE UNIFORME

3-1 Définition et obtention

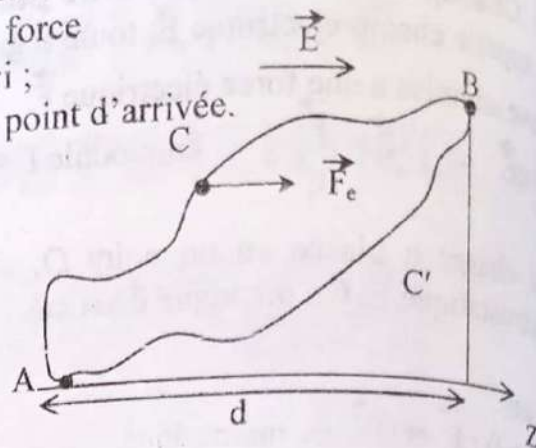
- Le champ électrostatique est uniforme dans une région de l'espace si, en tout point de cette région, il conserve même direction, même sens et même intensité.
- On obtient un champ électrostatique uniforme en appliquant une tension continue entre deux plaques métalliques planes et parallèles. Le système ainsi réalisé est un condensateur plan chargé.



3-2 Travail de la force électrostatique dans un champ uniforme.

Dans un champ électrostatique, le travail de la force électrostatique est indépendant du chemin suivi ; il ne dépend donc que du point de départ et du point d'arrivée.

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \vec{AB} = q(\vec{E} \cdot \vec{AB}) = q E d.$$



4) NOTION DE DIFFERENCE DE POTENTIEL

4-1 Définition de la différence de potentiel

- Le travail de la force électrostatique $\vec{F}_e$ lorsque la charge q passe du point A où le potentiel est V_A au point B où le potentiel est V_B est égal au produit de la charge q par la différence entre le potentiel de départ V_A et celui d'arrivée V_B .

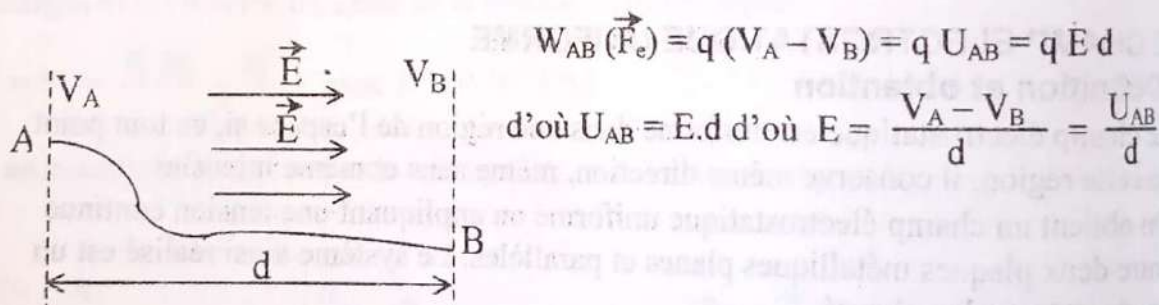
$$W_{AB}(\vec{F}_e) = q(V_A - V_B) \text{ or } W_{AB}(\vec{F}_e) = q(\vec{E} \cdot \vec{AB}). \text{ Il vient que } V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{AB}.$$

- La différence de potentiel $V_A - V_B$ et la tension U_{AB} représentent la même grandeur.

$$V_A - V_B = U_{AB} \text{ ainsi } W_{AB}(\vec{F}_e) = q(V_A - V_B) = q U_{AB}$$

$$W_{AB} \text{ en joules (J)} ; \quad q \text{ en coulomb (C)} ; \quad V_A - V_B = U_{AB} \text{ en volts (V).}$$

4-2 Relation entre champ électrostatique et tension.



5- ENERGIE POTENTIELLE ELECTRIQUE

L'énergie potentielle électrique de la charge q placée en un point où le potentiel est V a pour expression :

$$E_p = q.V$$

EXERCICES

Exercice P₇₋₁

Une goutte d'huile sphérique, de rayon $r = 4,39 \mu\text{m}$, électrisée, est en équilibre entre deux plaques métalliques planes parallèles et horizontales A et B d'un condensateur plan chargé. La plaque A est au dessus de la plaque B.

La charge de la goutte est équivalente à celle de 100 électrons. Le champ électrique $\vec{E}$ entre les plaques est uniforme.

On donne : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $g = 10 \text{ N/kg}$; masse volumique de l'huile $\rho = 900 \text{ kg.m}^{-3}$.

- a) Faire un croquis en précisant :
 - les forces appliquées à la goutte ;
 - la plaque chargée positivement ;
 - le sens du champ électrique $\vec{E}$.
- b) Calculer la norme E du champ électrique $\vec{E}$.

Exercice P₇₋₂

On considère un condensateur plan d'armatures horizontales M et N. On place sur l'armature N du bas une sphère de masse $m = 1 \text{ g}$ et portant une charge électrique $q = -2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$.

La distance entre M et N est $d = 10 \text{ cm}$. On prendra $g = 10 \text{ N/kg}$.

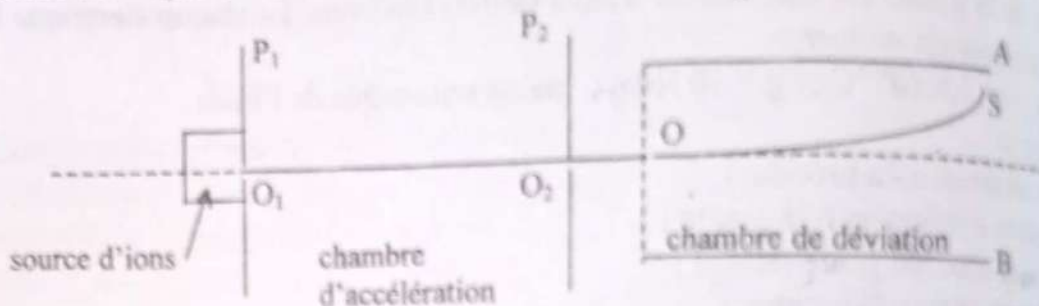
- 1) Quelle condition doit remplir la tension $U = V_M - V_N$ établie entre M et N pour qu'on observe le décollage de la sphère de N vers M ?
- 2) On établit entre M et N une différence de potentiel $U = V_M - V_N = 1000 \text{ V}$ et on observe le décollage de la sphère.
 - a) Calculer la valeur E du champ électrique $\vec{E}$ dans le condensateur.
 - b) Quelle variation d'énergie cinétique subit la sphère lorsqu'elle se déplace spontanément de la plaque N à la plaque M ?
 - c) Quelle est la vitesse v de la sphère à son arrivée sur la plaque M ?
- 3) On choisit l'origine des potentiels sur l'armature N : on a donc $V_N = 0$; la d.d.p entre M et N vaut toujours 1000 V .
 - a) Calculer les valeurs des potentiels V_A et V_B des points A et B situés respectivement à des distances $d_1 = 8 \text{ cm}$ et $d_2 = 4 \text{ cm}$ de l'armature N. En déduire la différence $V_B - V_A$.
 - b) A quelle distance de l'armature M se trouve la surface équipotentielle pour laquelle $V = 600 \text{ volts}$?
 - c) Calculer l'énergie potentielle de la sphère lorsqu'elle se trouve au point A situé à 8 cm de l'armature N. L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur sera prise sur l'armature N.
 - d) En utilisant la conservation de l'énergie mécanique, calculer la vitesse v_A de la sphère au point A.

Exercice P₇₋₃

Dans cet exercice on négligera le poids des particules devant les autres forces. Des ions magnésium $^{24}\text{Mg}^{2+}$ et $^{26}\text{Mg}^{2+}$ sont produits sans vitesse initiale dans une chambre d'ionisation puis dirigés vers une chambre d'accélération entre deux plaques parallèles P_1 et P_2 soumises à une tension $U_1 = V_{P_1} - V_{P_2} = 1000 \text{ V}$.

Ces ions traversent la plaque P_2 en O_2 et pénètrent en O dans un champ électrostatique $\vec{E}_0$ uniforme vertical.

On donne : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; masse d'un nucléon $m_0 = \frac{10}{6} \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.



- 1) Préciser sur un schéma, le sens du champ électrique $\vec{E}_1$ et l'orientation de U_1 qui permettent une accélération des ions dans la chambre d'accélération.
- 2) Les énergies cinétiques en O_2 des deux sortes d'ions sont-elles égales ?
- 3) Calculer les vitesses respectives v_1 et v_2 des ions $^{24}\text{Mg}^{2+}$ et $^{26}\text{Mg}^{2+}$ lorsqu'ils arrivent en O_2 .
- 4) Les ions pénètrent dans la chambre de déviation verticale en un point O situé à égale distance de chacune des plaques A et B avec les vitesses v_1 et v_2 précédemment calculées.

Quel doit être le sens du champ électrique $\vec{E}_0$ pour que les ions soient déviés vers la plaque A ?

- 5) On applique entre les plaques A et B distantes de $d = 3 \text{ cm}$ une tension $U_0 = 1200 \text{ V}$. Les ions $^{24}\text{Mg}^{2+}$ sortent de la chambre de déviation en un point S tel que $O'S = d' = 1 \text{ cm}$. On prend l'origine des potentiels au point O . On a donc $V_O = 0$.
 - a) Calculer le potentiel électrostatique V_S du point S par rapport à O .
 - b) Calculer les énergies potentielles électrostatiques des ions $^{24}\text{Mg}^{2+}$ en O et en S en joules et en électronvolts.
 - c) En déduire l'énergie cinétique et la vitesse v_S des ions $^{24}\text{Mg}^{2+}$ à la sortie de la chambre de déviation en S .

Exercice P₇₋₄

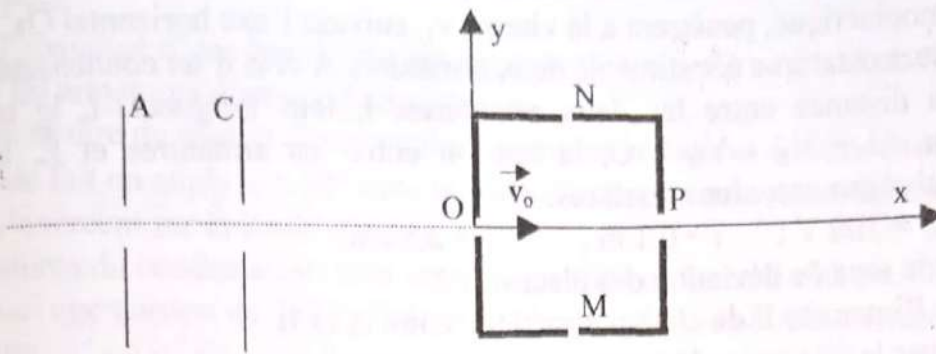
Dans le dispositif ci-dessous règne un vide poussé. La force de pesanteur sera négligée par rapport aux autres forces.

Un faisceau homocinétique de protons d'abord accéléré par une tension appliquée entre deux plaques A et C pénètre en O à une vitesse $v_0 = 800 \text{ km.s}^{-1}$ dans une enceinte de section carrée de côté $2r = 50 \text{ cm}$ où les ouvertures OMP et NP sont situées aux milieux des côtés. Le proton est une particule de masse $m = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ et de charge $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

1) a) Qu
b) Calcul
c) Calcul
2) Dans
pour qu
paraboli
a) Don
électriq
b) Préc
c) Don
 E, v_0, q
3) On s
Par quel

Exercice
On pren
 $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
1) Un fi
nulle. Ce
P et la ca

a) Déte
entre la
b) Calc
vitesse

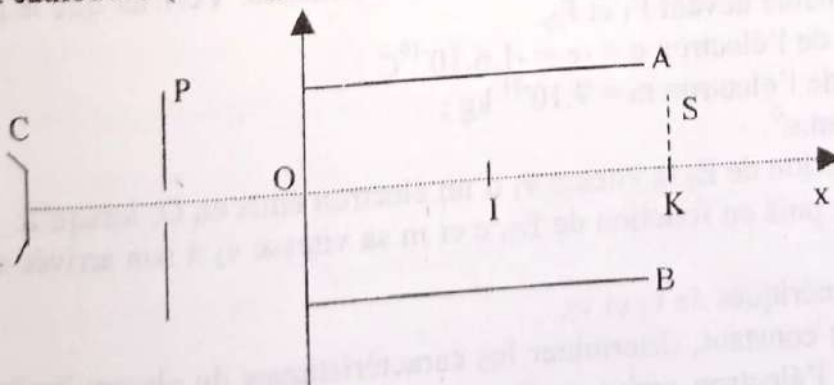


- 1) a) Quel doit être le signe de la différence de potentiel $U = V_A - V_C$?
- b) Calculer en joule et en électron-volt l'énergie cinétique d'un proton qui franchit l'ouverture O.
- c) Calculer la valeur de la d.d.p $U = V_A - V_C$.
- 2) Dans cette enceinte de section carrée, on applique un champ électrique uniforme $\vec{E}$ pour que le faisceau franchisse l'ouverture N après avoir décrit une trajectoire parabolique dans le repère (Ox, Oy).
- a) Donner l'expression de la force $\vec{F}$ qui s'exerce sur un proton dans le champ électrique uniforme $\vec{E}$.
- b) Préciser la direction et le sens de $\vec{E}$.
- c) Donner l'expression de la valeur v_N de la vitesse du proton en N en fonction de m , E , v_0 , q et r . Calculer numériquement v_N sachant que : $E = 53440 \text{ V/m}$.
- 3) On supprime le champ électrique $\vec{E}$.
Par quelle ouverture le proton sort-il de l'enceinte sachant qu'il pénètre par l'ouverture O ?

Exercice P₇-5

On prendra pour charge de l'électron $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ et pour masse de l'électron $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

- 1) Un faisceau d'électrons est émis par une cathode C, avec une vitesse pratiquement nulle. Ce faisceau d'électrons est accéléré par une tension U_1 appliquée entre la plaque P et la cathode C (voir figure).



- a) Déterminer le signe de $U_1 = V_P - V_C$ et le sens du champ électrique $\vec{E}_1$ existant entre la plaque P et la cathode C.
- b) Calculer la tension U_1 pour que les électrons arrivent sur la plaque P avec la vitesse $v_1 = 25000 \text{ km.s}^{-1}$.

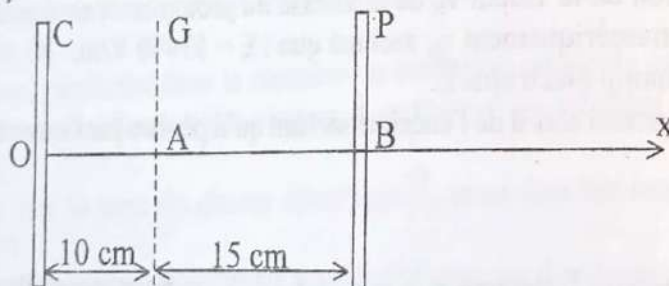
2) La plaque P est percée d'un trou laissant passer les électrons. Ces électrons, en faisceau homocinétique, pénètrent à la vitesse v_1 , suivant l'axe horizontal Ox, dans un déflecteur électrostatique constitué de deux armatures A et B d'un condensateur plan. Soient d , la distance entre les deux armatures, l , leur longueur, I , le centre du condensateur, $U = V_A - V_B > 0$, la tension entre les armatures et $\vec{E}$, le champ électrique qui règne entre les armatures.

On donne : $U = 100 \text{ V}$; $l = 0,1 \text{ m}$; $d = 2,5 \text{ cm}$.

- Quel est le sens de déviation des électrons ?
- Calculer l'intensité E du champ électrique entre A et B.
- Déterminer la vitesse v_s de sortie d'un électron sachant que la déviation verticale $h = KS$ que subit le faisceau d'électrons à la sortie du condensateur est égale à $5,6 \text{ mm}$.

Exercice P7-6

Dans un tube où l'on a fait le vide, on place une cathode plane C qui émet des électrons sans vitesse initiale, une grille G perméable aux électrons et une plaque P, toutes deux planes et parallèles à C. Les trois électrodes sont perpendiculaires à un axe orienté Ox qui coupe C en O, G en A, P en B de sorte que $OA = 10 \text{ cm}$ et $AB = 15 \text{ cm}$. La cathode C est portée au potentiel zéro, G au potentiel V_G toujours positif et P au potentiel V_P . Le champ électrique sera considéré comme uniforme entre les électrodes et nul en deçà de C et au delà de P. (voir figure).



1) a) Représenter les vecteurs champs électriques $\vec{E}_1$ entre C et G, puis $\vec{E}_2$ entre G et P et calculer leurs valeurs numériques pour $V_B = 1000 \text{ V}$ et $V_P = 1600 \text{ V}$.

b) Représenter les vecteurs forces électriques $\vec{F}_1$ entre C et G et $\vec{F}_2$ entre G et P s'exerçant sur un électron émis par C et calculer leurs intensités. Vérifier que le poids de l'électron est négligeable devant F_1 et F_2 .

- On donne : charge de l'électron $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
masse de l'électron $m = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$;
b) $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

2) a) Exprimer en fonction de E_1 la vitesse v_1 d'un électron émis en O, lorsqu'il traverse la grille en A ; puis en fonction de E_2 , e et m sa vitesse v_2 à son arrivée en B sur P.

Calculer les valeurs numériques de v_1 et v_2 .

b) Le champ $\vec{E}_1$ restant constant, déterminer les caractéristiques du champ limite $\vec{E}_2$ entre G et P pour que l'électron arrive en B avec une vitesse nulle ; en déduire le potentiel de la plaque P dans ces conditions.

D'après BAC 1995-Bénin

Exercice

Un pendule

1- Que

2- Le pe

forces q

3- Les a

entre ce

masse e

4- Calc

vertical

5- En de

les deux

6- Prop

Exercice P₇₋₇

Un pendule constitué d'une boule chargée négativement - Q ($Q > 0$) et d'un fil, est placé entre les armatures d'un condensateur plan.

- 1- Que peux-tu dire du champ électrostatique entre les armatures du condensateur ?
- 2- Le pendule fait un angle $\alpha = 30^\circ$ avec la verticale. Représente sur un schéma les forces qui s'exercent sur la boule chargée.
- 3- Les armatures du condensateur sont séparées par une distance $d = 20$ cm. On établit entre celles-ci une tension de 200V. Calcule la charge - Q de la boule, sachant que sa masse est 10g.
- 4- Calcule le travail de la force électrostatique lorsque la boule passe de la position verticale à sa position d'équilibre. On donne : longueur du fil $l = 12$ cm.
- 5- En déduire la variation d'énergie potentielle et la différence de potentielle U' entre les deux points.
- 6- Proposer une méthode plus directe pour calculer U' . On donne $g = 9,81$ N / kg.

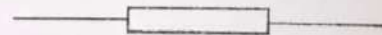
ENERGIE ET PUISSANCE ELECTRIQUES : CAS DES CONDUCTEURS OHMIQUES

1) DEFINITION ET SYMBOLE D'UN CONDUCTEUR OHMIQUE

Un conducteur ohmique est un composant électrique qui s'oppose plus ou moins au passage du courant électrique. Il transforme en chaleur toute l'énergie électrique qu'il reçoit. Un conducteur ohmique est caractérisé par une grandeur électrique appelée résistance R .

L'unité de la résistance est l'ohm (Ω).

Le symbole d'un conducteur ohmique est :



La résistance d'un conducteur ohmique se mesure directement avec un ohmmètre. Le symbole de l'ohmmètre est :

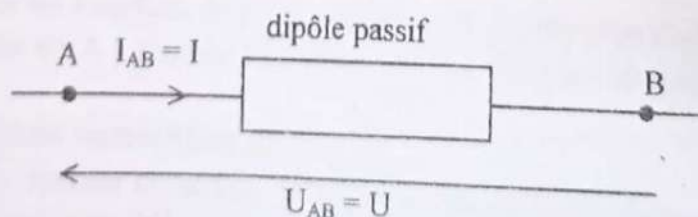


2) ECHANGES ENERGETIQUES DANS UN DIPOLE

2-1 Energie reçue par un dipôle

a) La convention récepteur

Dans une portion de circuit ne comportant pas de générateur, le courant circule dans le sens des potentiels décroissants.



b) L'énergie reçue par un dipôle

Lorsque pendant le temps t la charge q entre en A de potentiel V_A , et sort en B de potentiel V_B , elle perd de l'énergie électrique.

$$q V_A - q V_B = q (V_A - V_B).$$

Cette én

Energie =

2-2 P
En régi
l'énerg

P reçue =

3) LO

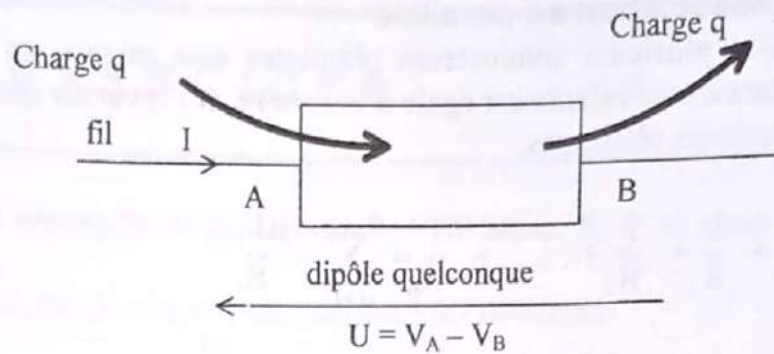
4) RE
FIL

La rés
- p
- ir
- fi

5) A
5-1
Lorsc
équ
ohmi

R = F

Cette énergie représente l'énergie reçue par le dipôle pendant le temps t . On écrit :



$$E_{\text{reçue}} = q (V_A - V_B) = qU \text{ soit } \boxed{E_{\text{reçue}} = I t (V_A - V_B) = U I t}$$

2-2 Puissance électrique reçue par un dipôle

En régime continu, la puissance électrique reçue par un dipôle est le quotient de l'énergie reçue pendant le temps t par ce temps t .

$$P_{\text{reçue}} = \frac{E_{\text{reçue}}}{t} = U I$$

$P_{\text{reçue}}$ en watts (W), U en volts (V), I en ampères (A).

3) LOI D'OHM POUR UN CONDUCTEUR OHMIQUE

$$\boxed{U = R.I}$$

4) RESISTANCE D'UN CONDUCTEUR OHMIQUE CYLINDRIQUE OU D'UN FIL

La résistance d'un conducteur ohmique homogène, cylindrique est :

- proportionnelle à sa longueur l ;
- inversement proportionnelle à sa section S ;
- fonction d'un facteur ρ qui caractérise sa nature et qu'on appelle résistivité.

$$\boxed{R = \rho \frac{l}{S}}$$

l en m
 S en m^2
 ρ en $\Omega \cdot \text{m}$
 R en Ω

5) ASSOCIATIONS DE CONDUCTEURS OHMIQUES

5-1 Association en série

Lorsque plusieurs conducteurs ohmiques sont montés en série, la résistance équivalente de l'association est égale à la somme des résistances des conducteurs ohmiques.

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

5-2 Association en parallèle

Lorsque plusieurs conducteurs ohmiques sont montés en parallèle, l'inverse de la résistance équivalente est égale à la somme des inverses des résistances de chacun des conducteurs ohmiques.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

6) PUISSANCE ELECTRIQUE EN COURANT CONTINU

La puissance P consommée par un appareil électrique soumis à un courant continu est égale au produit de la tension U à ses bornes et de l'intensité I du courant qui le traverse.

$$P = UI$$

P en watts (W), U en volts (V), I en ampères (A).

Les multiples et les sous-multiples du watt les plus utilisés sont :

- le kilowatt (kW) : $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$;
- le milliwatt (mW) : $1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$.

* Pour un conducteur ohmique de résistance R , on a :

$$P = U \cdot I \quad \text{or} \quad U = RI \quad \text{d'où} \quad P = RI^2$$

$$U = RI \Rightarrow I = \frac{U}{R} \quad \text{d'où} \quad P = UI = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

En résumé

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

7) ENERGIE ELECTRIQUE

L'énergie électrique W consommée par un appareil est égale au produit de sa puissance P par la durée t de son fonctionnement.

$$W = P \cdot t \quad W \text{ en J ; } P \text{ en W ; } t \text{ en s.}$$

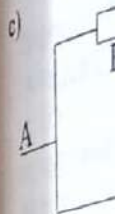
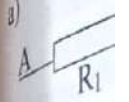
N.B. : $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}$; $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$

8) LOI DE JOULE

La quantité de chaleur dégagée dans un conducteur ohmique par effet Joule est égale au produit de la résistance R du conducteur ohmique par le carré de l'intensité du courant qui le traverse et par la durée t du passage du courant.

$$W = R \cdot I^2 \cdot t$$

Exercice P8
On considère
 $R_1 = 50 \text{ ohms}$
Calculer la ré



Exercices P
Pour déterm
schématisé ci

- 1) Reproduire le sens d les polar
- 2) L'ampère comporte 15 l'intensité d
- a) Quelle e
- b) Pourrait Justifier
- 3) La tensi dont le cadr 1 V, 10 V
- a) On utilis s'immobili

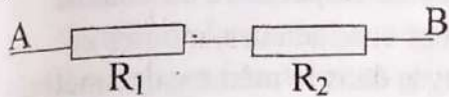
EXERCICES

Exercice P₈₋₁

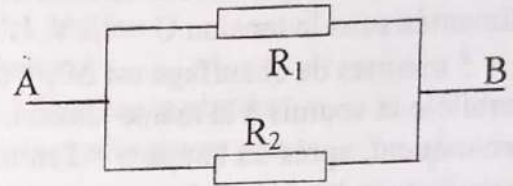
On considère 3 conducteurs ohmiques de résistances $R_1 = 20$ ohms, $R_2 = 30$ ohms et $R_3 = 50$ ohms.

Calculer la résistance équivalente de chacune des associations suivantes :

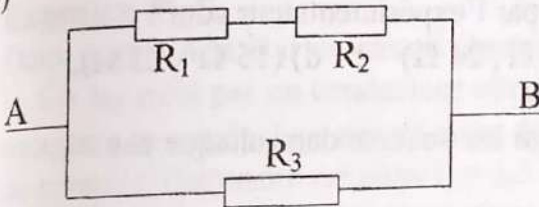
a)



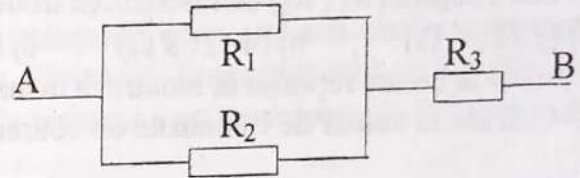
b)



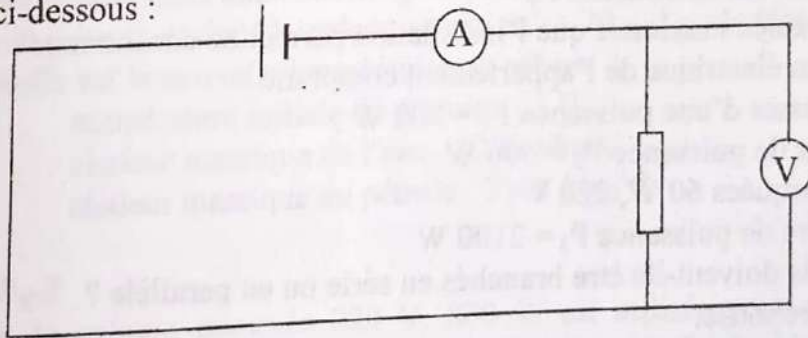
c)



d)

Exercices P₈₋₂

Pour déterminer la résistance d'un conducteur ohmique on réalise le montage schématisé ci-dessous :



- 1) Reproduire et compléter le schéma en indiquant :
 - le sens du courant traversant le conducteur ohmique ;
 - les polarités des appareils de mesures.
- 2) L'ampèremètre utilisé comporte les calibres 3 mA, 30 mA, 300 mA. Sa graduation comporte 150 divisions. L'ampèremètre est utilisé sur le calibre 300 mA pour mesurer l'intensité du courant. On constate que l'aiguille se fixe sur la division 120.
 - a) Quelle est l'intensité du courant mesuré ?
 - b) Pourrait-on utiliser cet ampèremètre sur le calibre 30 mA pour cette mesure ? Justifier la réponse.
- 3) La tension aux bornes du conducteur ohmique est mesurée à l'aide d'un voltmètre dont le cadran comporte 100 divisions. Les calibres disponibles sur le voltmètre sont : 1 V, 10 V et 100 V.
 - a) On utilise le calibre 10 V lors de la mesure et on constate que l'aiguille s'immobilise en face de la graduation 90. Quelle est la tension mesurée ?

- b) Quelle serait l'indication de l'aiguille du voltmètre (en division) si on utilisait le calibre 100 V ? Le calibre 1 V ?
 Quel est le calibre le mieux adapté pour cette mesure et pourquoi ?
 La mesure est-elle possible dans tous les cas ?
 4) Calculer la résistance du conducteur ohmique.

Exercice P₈-3

Deux conducteurs ohmiques, de résistances inconnues R_1 et R_2 sont montées en série, placés à l'intérieur d'un calorimètre de capacité thermique totale $C = 1100 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ et alimentés sous la tension $U = 15 \text{ V}$. L'accroissement de la température au bout de $t_1 = 5$ minutes de chauffage est $\Delta\theta_1 = 5,1^\circ \text{C}$. Ces mêmes conducteurs, montés en parallèle et soumis à la même tension $U = 15 \text{ V}$, plongés dans le même calorimètre, provoquent, après un temps $t_2 = 2$ minutes de chauffage, une augmentation de la température $\Delta\theta_2 = 9,2^\circ \text{C}$.

- 1- Les couples (R_1, R_2) de résistances trouvés par l'expérimentateur sont :
 a) ($2 \Omega, 6 \Omega$) ; b) ($4 \Omega, 8 \Omega$) ; c) ($12 \Omega, 24 \Omega$) ; d) ($15 \Omega, 25 \Omega$).
 Choisis la bonne réponse et montre ta démarche.
 2- Calcule la valeur de l'intensité du courant qui les traverse dans chaque cas.

Exercice P₈-4

Le compteur d'énergie électrique d'un appartement porte les indications suivantes : 220 V ; 15 A.

- 1) Que signifient ces indications ?
 Calculez la puissance maximale que l'installation permet de consommer
 2) L'installation électrique de l'appartement comprend :
 - un fer à repasser d'une puissance $P_1 = 500 \text{ W}$;
 - un aspirateur de puissance $P_2 = 500 \text{ W}$;
 - 8 lampes marquées 60 W, 220 V ;
 - une cuisinière de puissance $P_3 = 2100 \text{ W}$
 a) Ces appareils doivent-ils être branchés en série ou en parallèle ? Justifier la réponse.
 b) Si on utilise ensemble ces appareils, quelle puissance serait nécessaire pour les faire fonctionner simultanément ?
 Quelle serait l'intensité I dans le circuit ? Est-ce possible ? Justifier la réponse.
 c) Combien de lampes peut-on allumer quand l'aspirateur, le fer à repasser et la cuisinière fonctionnent en même temps ?
 3) La plaque du fer à repasser a une chaleur massique de $420 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ et une masse de 1 kg. En combien de temps sa température s'élève-t-elle de 50°C . Les pertes d'énergie sont négligeables.
 4) En dehors de tout appareil, on branche un appareil de chauffage et on relève au compteur les consommations indiquées en kWh : à 9 h 40 min on trouve 8029 et à 11 h 10 min, 8032.
 a) Quelle est la puissance de cet appareil de chauffage ?
 b) Quelle est l'intensité du courant qui le traverse ?

Exercice P

Deux lampes
 lampe L_2 (6

- 1) Que sign
 Calculer les
 2) Etablir l
 cette relation
 3) Ces deu
 entre ses bo
 a) Calculer
 b) Quelle e
 c) Les lam
 On suppose

Exercice P

Deux points
 U. On les re

- remplace ce
 du premier,
 1) Calculer
 2) On les m
 courant prin
 3) Les deu
 m = 500 g
 minutes. Qu
 On donne :

Exercice P

Une plaque
 d'huile de
 massique de

- 1) Les per
 environnant
 a) La quan
 b) L'énerg
 c) La duré
 2) A quell
 3) On sup
 fournie. Cal
 a) La quan
 b) L'énerg
 c) La duré
 d) La temp

Exercice P₈-5

Deux lampes à incandescence portant les indications suivantes : lampe L₁ (6 V, 2 W), lampe L₂ (6 V, 6 W).

1) Que signifient ces indications ?

Calculer les intensités correspondant au fonctionnement normal de ces lampes.

2) Etablir la relation entre la puissance P, la tension U et la résistance R. Utiliser cette relation pour calculer la résistance de chaque lampe en cours de fonctionnement.

3) Ces deux lampes sont associées en série aux bornes d'un générateur qui maintient entre ses bornes une tension constante de 12 V.

a) Calculer l'intensité du courant qui traverse les lampes.

b) Quelle est la tension aux bornes de chaque lampe ?

c) Les lampes fonctionnent-elles normalement ? Justifier la réponse.

On supposera que la résistance des lampes ne varie pratiquement pas.

Exercice P₈-6

Deux points A et B d'un circuit électrique présentent entre eux une tension constante U. On les relie par un conducteur ohmique, l'intensité du courant est I₁ = 2 A. Si l'on remplace ce conducteur par un autre dont la résistance est supérieure de 2,5 Ω à celle du premier, l'intensité est alors I₂ = 1,5 A.

1) Calculer les résistances respectives des deux conducteurs.

2) On les monte en dérivation entre les points A et B. Quelle est l'intensité du courant principal ?

3) Les deux conducteurs ainsi montés sont plongés dans un calorimètre contenant m = 500 g de pétrole et dont la valeur en eau m' = 30 g. Le courant passe pendant 5 minutes. Quelle est la nouvelle température du pétrole ?

On donne :
température initiale du pétrole : 15 °C,
chaleur massique de l'eau : 4200 J/kg°C,
chaleur massique du pétrole : 2100 J/kg°C.

Exercice P₈-7

Une plaque de cuisson marquée 220 V, 800 W est utilisée pour chauffer 2400 g d'huile de la température initiale 20°C à la température finale 120°C. La chaleur massique de l'huile est 2400 J/kg°C.

1) Les pertes (chauffage du récipient contenant l'huile et chauffage de l'air environnant) sont évaluées à 20 % de l'énergie consommée par l'huile. Calculer :

a) La quantité de chaleur cédée à l'huile.

b) L'énergie électrique fournie à la plaque de cuisson.

c) La durée du chauffage.

2) A quelle température se trouve l'huile 10 min après le début du chauffage ?

3) On suppose maintenant que les pertes sont évaluées à 20 % de l'énergie électrique fournie. Calculer :

a) La quantité de chaleur cédée à l'huile.

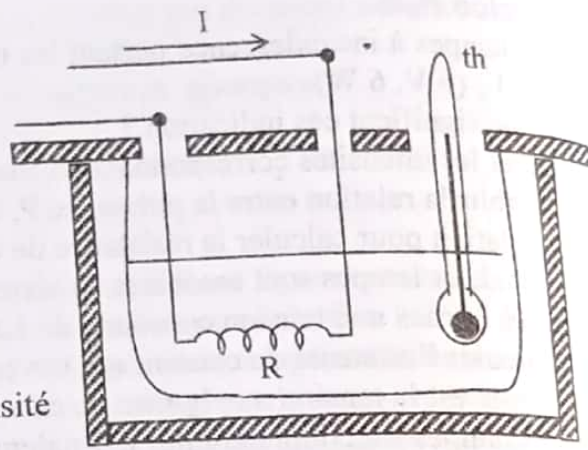
b) L'énergie électrique fournie.

c) La durée du chauffage.

d) La température de l'huile 10 min après le début du chauffage.

Exercice P₈-8 Effet Joule

- 1- Un fil métallique de résistance $R = 10 \, \Omega$, de capacité calorifique négligeable, plonge dans l'eau distillée d'un calorimètre, muni d'un thermomètre ; cet ensemble a la capacité calorifique $C = 500 \, \text{J.K}^{-1}$. Le fil étant parcouru par un courant d'intensité constante, en deux minutes, la température dans le calorimètre passe de $\theta_i = 20,1^\circ \text{C}$ à $\theta_f = 25,5^\circ \text{C}$. Calcule l'intensité du courant.
- 2- On fait passer maintenant un courant d'intensité $I' = 3 \, \text{A}$. Déterminer la variation de la température pendant deux minutes. Compare-la à celle obtenue lors de l'expérience décrite au 1.
- c) Cette variation de la température vérifie-t-elle l'effet Joule ?
- 3- Le fil métallique de section circulaire a une longueur de 60 cm. Sachant que la résistivité de ce fil est $\rho = 2,5 \cdot 10^{-7} \, \Omega \cdot \text{m}$, son diamètre est :
- a) 18 mm ; b) 0,35 mm ; c) 0,14 mm ; d) $6,9 \cdot 10^{-2} \, \text{mm}$.
- Choisis la bonne réponse et montre ta démarche.



ENERGIE
DANS L



1) GENERATEUR
1-1 Définition

Un générateur est un dispositif qui effectue la transformation d'énergie. Le symbole d'un générateur est :

$$U_{PN} = V_P - V_N$$

Le symbole d'un générateur est :

Un générateur a une résistance interne r .

1-2 Loi d'Ohm

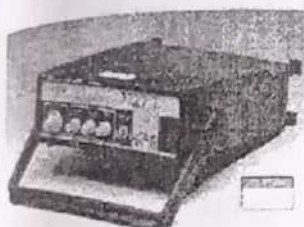
La caractéristique d'un générateur est la relation entre la tension aux bornes et le courant qui le traverse. L'étude de cette relation permet de déterminer la f.e.m. et la résistance interne.

$$U_{PN} = E - rI$$

1-3 Etude

- Puissance
- Puissance

ENERGIE ET PUISSANCE ELECTRIQUE DANS LES GENERATEURS ET LES RECEPTEURS



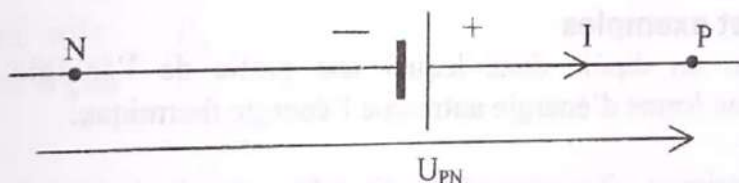
1) GENERATEUR

1-1 Définition

Un générateur est un appareil qui produit de l'énergie électrique. Tout générateur effectue la transformation d'une forme d'énergie en énergie électrique. Dans un générateur, le courant circule dans le sens des potentiels croissants.

$$U_{PN} = V_P - V_N > 0 \text{ ou } V_N < V_P$$

Le symbole d'un générateur de tension continue est :



Un générateur est caractérisé par sa force électromotrice (f.é.m) E et sa résistance interne r .

1-2 Loi d'Ohm aux bornes d'un générateur

La caractéristique intensité- tension d'un générateur est une droite de coefficient directeur négatif et ne passant pas par l'origine.

L'étude de cette caractéristique permet d'écrire la loi d'Ohm pour un générateur.

$$U_{PN} = E - rI$$

U_{PN} : tension aux bornes (V)

E : f. é. m en Volts (V)

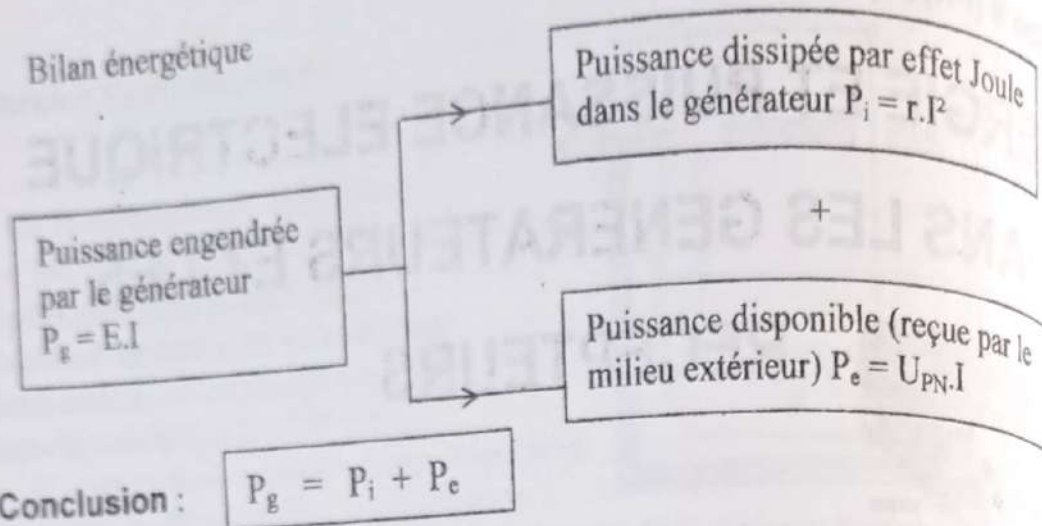
r : résistance interne (Ω)

I : intensité en ampère (A)

1-3 Étude énergétique d'un générateur

- Puissance engendrée (ou puissance totale fournie) par le générateur : $P_g = E \cdot I$
- Puissance thermique dissipée (ou puissance calorifique perdue) dans le générateur par effet Joule : $P_i = P_{th} = r \cdot I^2$
- Puissance disponible ou reçue par le circuit extérieur : $P_e = U_{PN} \cdot I$

Bilan énergétique



1-4 Rendement d'un générateur :

$$\eta_g = \frac{\text{Puissance disponible}}{\text{Puissance engendrée}} = \frac{P_e}{P_g}$$

1-5 Énergie électrique fournie par le générateur :

$$W = E.I.t$$

2) RECEPTEURS

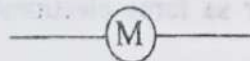
2-1 Définition et exemples

Un récepteur est un dipôle dans lequel une partie de l'énergie électrique est transformée en une forme d'énergie autre que l'énergie thermique.

Exemple 1 :

Les moteurs électriques : il y a transformation d'une partie de l'énergie électrique en énergie mécanique.

Symbole d'un moteur :



Exemple 2 :

Les électrolyseurs : transformation d'une partie de l'énergie électrique en énergie chimique.



Symbole d'un électrolyseur :

Dans un récepteur, le courant circule dans le sens des potentiels décroissants.

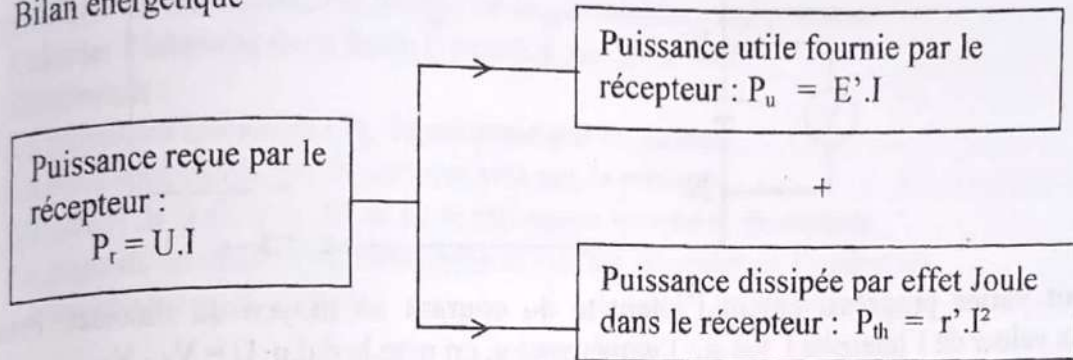
2-2 Loi d'Ohm aux bornes d'un récepteur

- La caractéristique intensité-tension d'un récepteur est une droite de coefficient directeur positif et ne passant pas par l'origine.
- Un récepteur est caractérisé par deux grandeurs : sa f. c. é. m E' (en volt) et sa résistance interne r . Ainsi la loi d'Ohm aux bornes d'un récepteur s'écrit :

$$U = E' + r.I$$

2-3 Etude énergétique d'un récepteur

- Puissance électrique reçue ou puissance totale consommée par le récepteur.
Si $U = V_A - V_B$ est la d.d.p aux bornes du récepteur et I l'intensité du courant qui le traverse, on : $P_{re\acute{c}ue} = P_r = U.I$
- Puissance utile fournie par le récepteur (ou puissance du récepteur) : $P_u = E'.I$
- Puissance thermique dissipée dans le récepteur : $P_{th} = r'.I^2$
- Bilan énergétique



Conclusion :

$$P_r = P_u + P_{th} \text{ soit } UI = E'I + r'I^2 \text{ d'où } U = E' + r'I$$

2-4 Loi d'Ohm pour un récepteur :

$$U = E' + r'I$$

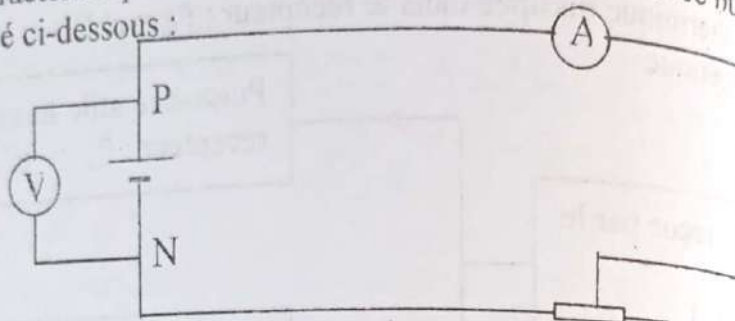
2-5 Rendement d'un récepteur :

$$r = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance reçue}} = \frac{P_u}{P_r}$$

EXERCICES

Exercice P₉-1

On désire tracer la caractéristique
le montage schématisé ci-dessous :

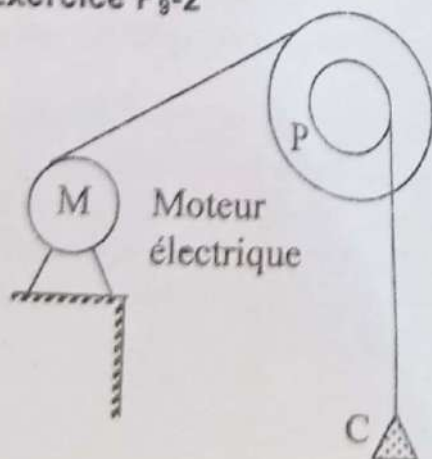


On fait varier progressivement l'intensité du courant au moyen du rhéostat. Pour chaque valeur de l'intensité I lue sur l'ampèremètre, on note la d.d.p $U = V_P - V_N$. Les résultats des mesures sont indiqués dans le tableau suivant :

I(A)	0	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1
U _{PN} (V)		8,9	8,3	8	7,4	6,8	6,2

- 1) Tracer la caractéristique intensité-tension de la pile.
Echelles : en abscisses : 1 cm pour 0,1 A ; en ordonnées : 1 cm pour 1 V
- 2) Déduire de la courbe obtenue :
 - a) la force électromotrice E de la pile.
 - b) la résistance interne r de la pile.
 - c) l'équation $U_{PN} = f(I)$.
 - d) l'intensité du courant de court-circuit.
- 3) On remplace le rhéostat par un conducteur ohmique de résistance fixe $R = 20 \text{ ohms}$.
 - a) A partir du bilan énergétique, déterminer l'expression de l'intensité I du courant électrique en fonction de E , r et R puis faire l'application numérique.
 - b) Calculer la puissance engendrée par le générateur et la puissance dissipée dans tout le circuit par effet Joule.

Exercice P₉-2



On prendra $g = 10 \text{ N/kg}$.

Le dispositif représenté ci-contre est un jeu d'enfant qui est utilisé pour soulever une charge C de masse $m = 200 \text{ g}$ d'une hauteur $h = 90 \text{ cm}$. La durée de l'opération est $t = 3,6 \text{ s}$. Sur le schéma, p est une poulie à deux gorges de rayons $R_1 = 15 \text{ mm}$ et $R_2 = 20 \text{ mm}$. Cette poulie est actionnée par un moteur électrique M de f.c.é.m E' et de résistance interne r' .

Le moteur
nulle, dé
moteur e

- 1) a) Calculer la dérivée de la fonction $f(x) = x^2 + 3x - 5$.
b) En déduire la tangente à la courbe de f au point $A(1; -1)$.
c) Calculer la dérivée de la fonction $g(x) = \frac{1}{x}$.
2) Déterminer la dérivée de la fonction $h(x) = \ln(x)$.
a) La dérivée de h est $h'(x) = \frac{1}{x}$.
b) La dérivée de h est $h'(x) = x$.
c) La dérivée de h est $h'(x) = x^2$.
d) La dérivée de h est $h'(x) = \frac{1}{x^2}$.
e) La dérivée de h est $h'(x) = \frac{1}{x^3}$.

Exercice

Pour détec-
tér l'électrolyse
fer, on réa-

- un gé
- un vo
- un an
- un élé
- un rh
- un int
- 1) Faire
- 2) On n
- l'élec
- les ré

I(mA)
U(V)

- a) Trace
Echelles

- b) Inter
- c) En fa
- du coura
- d'équatic
- l'électrol
- Déduire
- r' de l'éle

Le moteur lui-même est alimenté en courant par un générateur de résistance interne nulle, délivrant à ses bornes la tension $U = 4,2 \text{ V}$. L'intensité I du courant traversant le moteur est $I = 350 \text{ mA}$.

- 1) a) Calculer le travail W_1 effectué au cours de la montée par le poids de la charge C .
- b) En déduire le travail W_2 de la force $\vec{F}$ exercée par le moteur sur le câble, si on suppose que les frottements au niveau de la poulie sont négligeables.
- c) Calculer l'intensité de la force $\vec{F}$ exercée par le moteur.
- 2) Déterminer :
 - a) La puissance mécanique P_m développée par le moteur.
 - b) La puissance électrique P_e consommée par le moteur.
 - c) La valeur de la f.c.é.m E' et de la résistance interne r' du moteur.
 - d) La quantité de chaleur apparue dans le moteur au cours de l'opération.
 - e) Le rendement r_m du moteur.

Exercice P₉-3

Pour déterminer la force contre électromotrice E' et la résistance interne r' d'un électrolyseur polarisé contenant une solution de soude et dont les électrodes sont en fer, on réalise un montage en utilisant les éléments suivants :

- un générateur de tension continue ;
 - un voltmètre ;
 - un ampèremètre ;
 - un électrolyseur ;
 - un rhéostat monté en potentiomètre ;
 - un interrupteur.
- 1) Faire le schéma normalisé du montage.
 - 2) On mesure simultanément la différence de potentiel U entre les bornes de l'électrolyseur et l'intensité I du courant qui le traverse. Le tableau suivant donne les résultats des mesures :

$I(\text{mA})$	0	0	0	10	20	30	50	75	100	125	150	175
$U(\text{V})$	1,50	1,60	1,74	1,85	1,94	1,98	2,12	2,20	2,3	2,37	2,44	2,53

- a) Tracer la caractéristique intensité-tension de l'électrolyseur.
Echelles :
 - en abscisse : 1 cm pour 20 mA
 - en ordonnée : 4 cm pour 1 V.
- b) Interpréter l'allure de cette courbe.
- c) En faisant abstraction des points correspondant aux faibles valeurs de l'intensité I du courant, on peut assimiler la caractéristique intensité-tension à une droite affine d'équation $U = a + bI$. On dit qu'on a linéarisé la courbe et le fonctionnement de l'électrolyseur.
Déduire de la courbe linéarisée les valeurs de la f.c.é.m E' et de la résistance interne r' de l'électrolyseur.

Exercice P₉-4

Un circuit électrique est constitué des appareils suivants montés en série :

- un générateur de f.é.m $E = 110$ volts et de résistance négligeable ;
- un moteur M de f.c.é.m E' et de résistance interne $r' = 1$ ohm ;
- un conducteur ohmique de résistance $R = 10$ ohms ;
- un ampèremètre dont la résistance est négligeable.

On néglige la résistance des fils de jonction.

- 1) Faire le schéma normalisé du circuit électrique qui a été réalisé.
- 2) Dans une première expérience, on bloque le moteur.

Calculer :

- a) L'intensité I_1 du courant dans le circuit.
- b) La différence de potentiel U_1 aux bornes du moteur.

- 3) Dans une deuxième expérience, on laisse le moteur tourner. Ce dernier fournit la puissance mécanique. L'intensité dans le circuit prend la valeur $I_2 = 5$ A lorsque la vitesse de régime du moteur est atteinte.

Calculer :

- a) La différence de potentiel U_2 aux bornes du moteur.
- b) La force contre-électromotrice E' du moteur.
- c) Le rendement du moteur.

- 4) Comparer la puissance thermique dissipée dans le moteur quand ce dernier est bloqué à celle qui y est dissipée quand il tourne et conclure. A-t-on intérêt à empêcher un moteur de tourner ?

- 5) Un dispositif de réglage permet de fixer la puissance mécanique du moteur à la valeur $P_u = 150$ watts.

- a) Montrer qu'il existe deux régimes de fonctionnement du moteur. Un régime de fonctionnement est caractérisé par une valeur donnée de l'intensité du courant.

- b) Calculer :

- les intensités du courant ;
- les f.c.é.m du moteur ;
- les rendements de l'installation.

- c) Quel est le régime de fonctionnement le plus économique c'est-à-dire celui qui emprunte au total le moins d'énergie au générateur.

Exercice P₉-5

Un circuit électrique est constitué des éléments suivants montés en série :

- un générateur de f.é.m $E = 6$ V et de résistance interne $r = 2$ ohms ;
- un conducteur ohmique de résistance $R = 5$ ohms ;
- un électrolyseur de f.c.é.m $E' = 1,5$ V et de résistance interne $r' = 8$ ohms.

- 1) Faire le schéma normalisé du circuit électrique.

- 2) Calculer l'intensité du courant dans le circuit.

- 3) Calculer :

- a) la puissance électrique engendrée par le générateur.
- b) la puissance électrique reçue par l'électrolyseur.
- c) la puissance électrique utile transformée pour les réactions chimiques de l'électrolyseur.
- d) la puissance totale dissipée dans le circuit par effet Joule.

- 4) Définir et calculer :
- a) le rendement électrique ;
- b) le rendement thermique ;
- c) le rendement global.

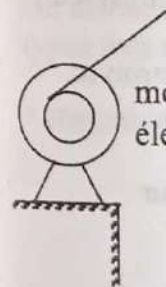
Exercice P₉-6

Un moteur électrique est alimenté par une tension de $U = 7$ m. Le débit de la pompe sont :

- 1) Calculer :
- a) la puissance électrique ;
- b) la puissance mécanique ;
- c) le rendement du moteur.

Déterminer :

- a) la f.c.é.m E' du moteur ;
- b) la quantité d'énergie transformée ;
- 3) A la suite de ces calculs, justifier cette action d'un courant électrique sur les enroulements d'un moteur.

Exercice P₉-7

L'intensité I du courant E' et U . Calculer :

- 1) Le travail électrique W_e et le travail mécanique W_m pour une charge + pour une charge - ;
- 2) Le travail électrique W_e et le travail mécanique W_m pour une charge + pour une charge - ;
- 3) La puissance électrique P_e et la puissance mécanique P_m ;
- 4) La puissance électrique P_e et la puissance mécanique P_m ;

- 4) Définir et calculer :
- le rendement r_g du générateur ;
 - le rendement r_e de l'électrolyseur ;
 - le rendement r_c du circuit.

Exercice P₉₋₆

Un moteur électrique branché sur une prise de courant qui maintient entre ses bornes une tension de 110 V, actionne une pompe qui élève l'eau d'un puits à une hauteur $h = 7$ m. Le débit de la pompe est de 60 L/min. On prendra $g = 10$ N/kg.

1) Calculer :

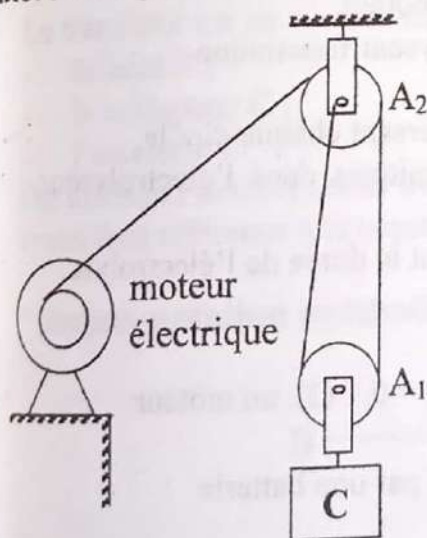
- la puissance utile de la pompe ;
- la puissance du moteur sachant que 10 % de l'énergie qu'il fournit effectivement à la pompe sont utilisés pour vaincre les frottements.

2) Le moteur étant traversé par un courant de 0,77 A.

Déterminer :

- la f.c.é.m et la résistance interne du moteur.
 - la quantité de chaleur dégagée dans le moteur par minute.
- 3) A la suite d'un arrêt accidentel de la pompe, le moteur se trouve dans l'impossibilité de tourner. Le moteur toujours branché à la prise de courant subit l'action d'un courant d'intensité exagérée.

Justifier cette dernière constatation et calculer la quantité de chaleur dégagée dans les enroulements du moteur par minute.

Exercice P₉₋₇

Le dispositif de la figure ci-contre est un système de levage composé d'un moteur électrique et d'un palan à deux poulies (une poulie mobile A_1 et une poulie fixe A_2).

La masse de chaque poulie est $m = 50$ g.

On prendra $g = 10$ N/kg. Le dispositif est utilisé pour soulever une charge C de masse $M = 250$ g d'une hauteur $h = 1,20$ m.

La durée de l'opération est $t = 5$ s.

Un générateur (non représenté sur le schéma) de résistance interne nulle maintient aux bornes du moteur une différence de potentiel $U = 4,2$ V.

15. L'intensité I du courant qui traverse le moteur est égale à 500 mA. Le moteur a une f.c.é.m E' et une résistance interne r' .

Calculer :

1) Le travail W_1 effectué au cours de la montée par le poids de l'ensemble "charge + poulie mobile".

2) Le travail W_2 effectué par la force motrice $\vec{F}$ exercée par le moteur à l'entrée du palan, en supposant que le rendement du palan est $r_p = 90$ %.

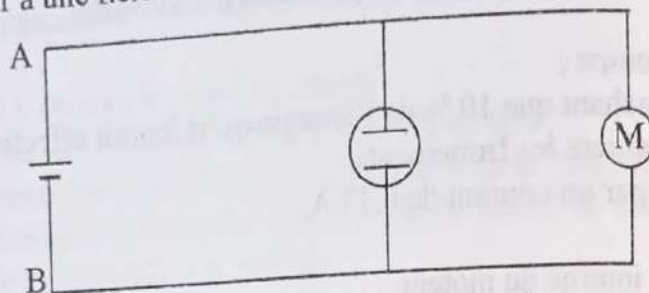
3) La puissance électrique P_e consommée par le moteur.

4) La puissance mécanique P_m développée par le moteur.

- 5) La valeur de la f.c.é.m E' et de la résistance interne r' du moteur.
- 6) Le rendement r_m du moteur.
- 7) Le rendement r_g global du dispositif.

Exercice P₉₋₈

On dispose d'un générateur de f.é.m $E = 6\text{ V}$ et de résistance interne $r = 0,1\text{ ohm}$. On branche en dérivation à ses bornes A et B un moteur M et un électrolyseur E. Le moteur a une f.c.é.m $E'_2 = 5\text{ V}$ et une résistance interne $r'_2 = 1\text{ ohm}$. L'électrolyseur a une f.c.é.m $E'_1 = 1\text{ V}$ et une résistance interne $r'_1 = 50\text{ ohms}$.



- 1) On suppose que l'électrolyseur et le moteur fonctionnent, et qu'ils sont parcourus par des courants d'intensités I_1 et I_2 .
 - a) Exprimer la tension U_{AB} aux bornes du générateur en fonction de E , E'_1 , E'_2 , r et r'_2 puis faire l'application numérique.
 - b) Calculer les intensités des courants traversant chaque dipôle.
 - c) Calculer :
 - La puissance électrique totale engendrée par le générateur.
 - La puissance électrique transformée en travail par le moteur.
- 2) On suppose que le moteur est bloqué et que l'électrolyseur fonctionne normalement. Calculer :
 - a) Les nouvelles valeurs des intensités des courants traversant chaque dipôle.
 - b) L'énergie électrique utilisée pour les réactions chimiques dans l'électrolyseur l'électrolyse ayant duré 5 min.
 - c) La quantité de chaleur dégagée dans le moteur pendant la durée de l'électrolyse.

Exercice P₉₋₉

On alimente en série une cuve à électrolyse ($e_1 = 3,0\text{ V}$, $r_1 = 0,1\text{ }\Omega$), un moteur électrique

($e_2 = 12\text{ V}$, $r_2 = 10\text{ }\Omega$) et une résistance chauffante de $15\text{ }\Omega$ par une batterie ($e_0 = 24\text{ V}$, $r_0 = 5,0\text{ }\Omega$).

1- L'intensité qui traverse le circuit est-elle :

- a) $0,9\text{ A}$; b) $0,3\text{ A}$; c) $0,25\text{ A}$; d) $0,1\text{ A}$?

Choisis la bonne réponse et montre ta démarche.

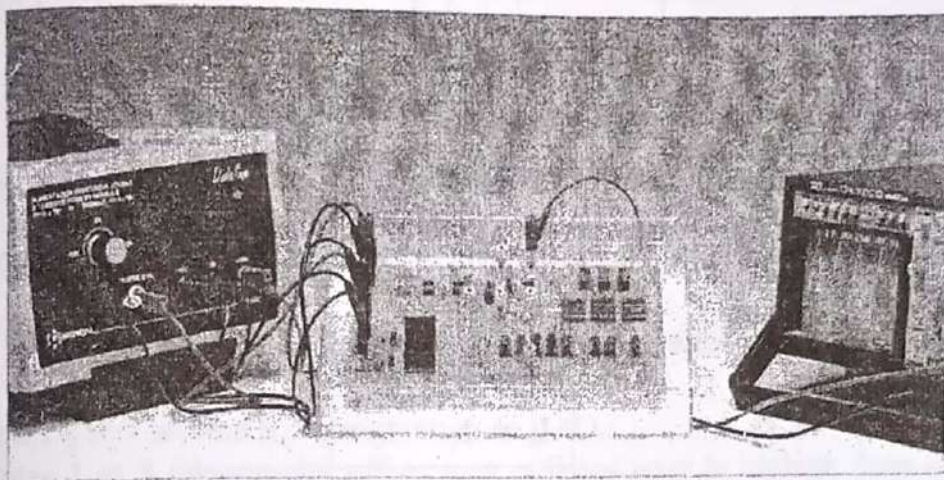
2- Calcule la puissance consommée à l'intérieur du générateur et la puissance électrique qu'il fournit au reste du circuit. Déduis-en son rendement (c'est le rapport de la puissance fournie au circuit sur la puissance chimique délivrée par les réactions au sein de la batterie).

3- Calcule le rendement de chacun des trois récepteurs.

4- Par le bilan des puissances, retrouve la loi de Pouillet.

Chapitre 10 (Physique)

BILAN ENERGETIQUE DANS UN CIRCUIT ELECTRONIQUE



1) LE TRANSISTOR

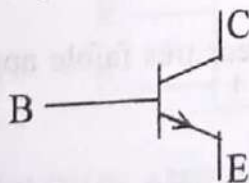
1-1 Description d'un transistor

Le transistor est un composant électronique qui possède trois bornes à savoir :

- la base B ;
- le collecteur C ;
- l'émetteur E.

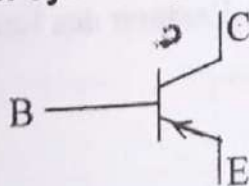
On distingue deux types de transistor : le transistor NPN et le transistor PNP. Ces deux types font référence à la constitution des différentes parties du transistor.

* Représentation symbolique d'un transistor NPN



La flèche indique que le courant circule de la base B vers l'émetteur E.

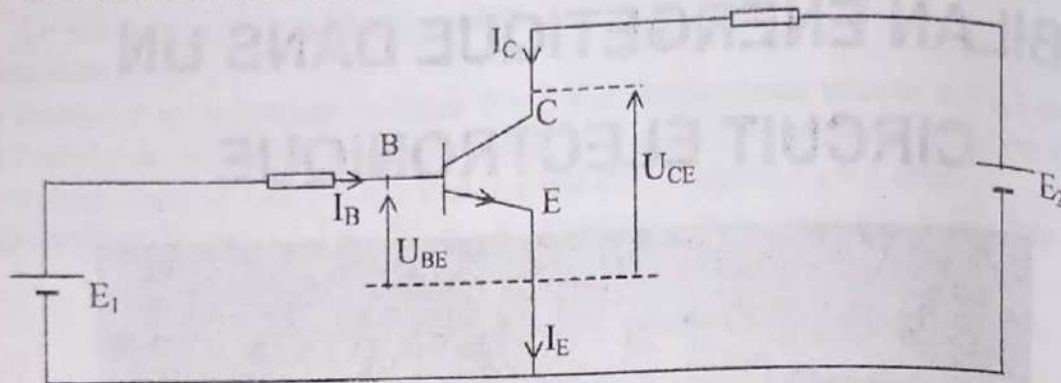
* Représentation symbolique d'un transistor PNP



La flèche indique que le courant circule de l'émetteur E vers la base B.

1-2 Fonctionnement d'un transistor

Nous nous intéresserons au transistor NPN qui est le plus utilisé.



Le transistor fonctionne lorsque les deux conditions suivantes sont satisfaites :

- la tension base-émetteur U_{BE} doit être positive et supérieure à une valeur donnée dépendant du transistor ;
- la tension collecteur-émetteur U_{CE} doit être positive.

Relation entre I_E , I_B et I_C :

$$I_E = I_B + I_C$$

1-3 Fonctionnement en régime linéaire et en régime saturé

* Lorsque l'intensité I_B du courant de base n'est pas trop grande, le courant collecteur I_C est proportionnel à l'intensité I_B : on dit que le transistor fonctionne en régime linéaire ou en amplification de courant.

On a : $I_C = \beta \cdot I_B$; β est le coefficient d'amplification.

* Lorsque l'intensité I_B du courant de base devient trop grande, le transistor se sature.

On constate que :

- le courant I_E demeure constant ;
- la relation $I_C = \beta \cdot I_B$ n'est plus vérifiée ; en effet le courant I_C est pratiquement constant et indépendant de I_B ;
- la valeur U_{CE} prend, en valeur absolue, une valeur très faible appelée tension de saturation du transistor.

1-4 Puissance dissipée dans le transistor

$$P_t = U_{BE} \cdot I_B + U_{CE} \cdot I_C$$

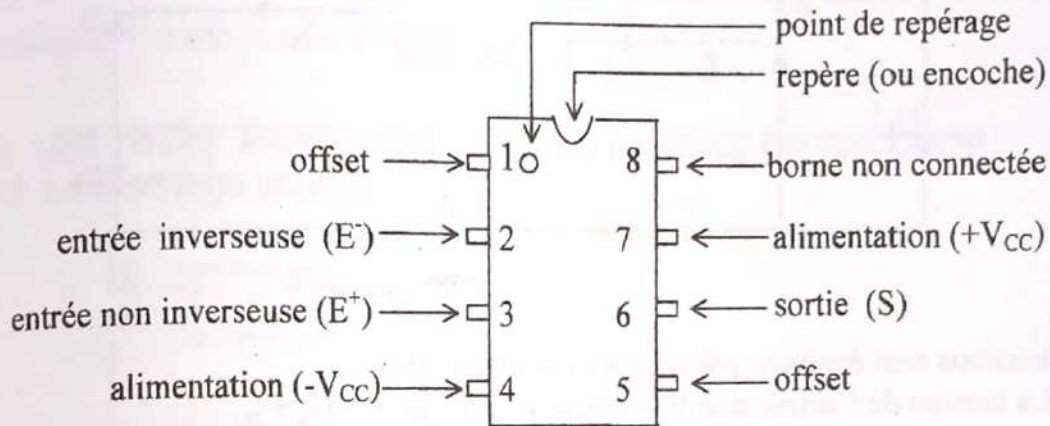
2) DESCRIPTION D'UN AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

Un amplificateur opérationnel (A.O ou ampli-op) est un circuit intégré linéaire (C.I.L) qui permet d'effectuer des opérations élémentaires et d'assurer des fonctions comme :

- amplificateur inverseur ;
- amplificateur non inverseur ;
- montage suiveur ;
- addition ;
- soustraction ;
- multiplication ;

- intégration ;
- dérivation ;
- ...

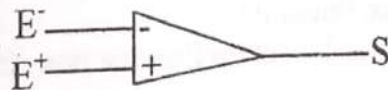
L'amplificateur opérationnel μA 741 est un composant qui possède 8 bornes de branchement. Un point de repérage permet de numéroté les bornes de l'amplificateur opérationnel.



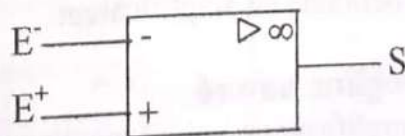
- Les bornes 4 et 7 servent à la polarisation de l'AO.
- Les bornes 1 et 5 dénommées **offset** sont utilisées pour le réglage dans certains cas.

3) REPRESENTATION SYMBOLIQUE

- La représentation symbolique d'un A.O donnée par la convention anglo-saxonne est un triangle qui pointe dans la direction de transmission du signal et qui comporte trois bornes : les bornes d'entrée E^+ et E^- et la borne de sortie S.

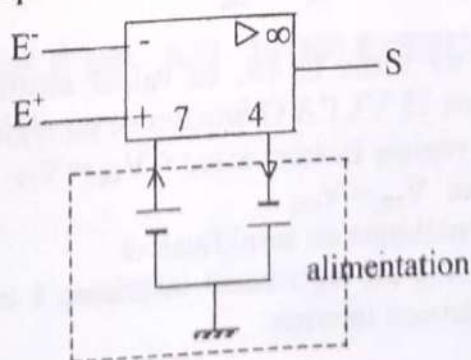


- La représentation symbolique française d'un A.O est un rectangle comportant 3 bornes : la borne de sortie S et les bornes d'entrée E^+ et E^- (les autres bornes ne sont pas marquées).



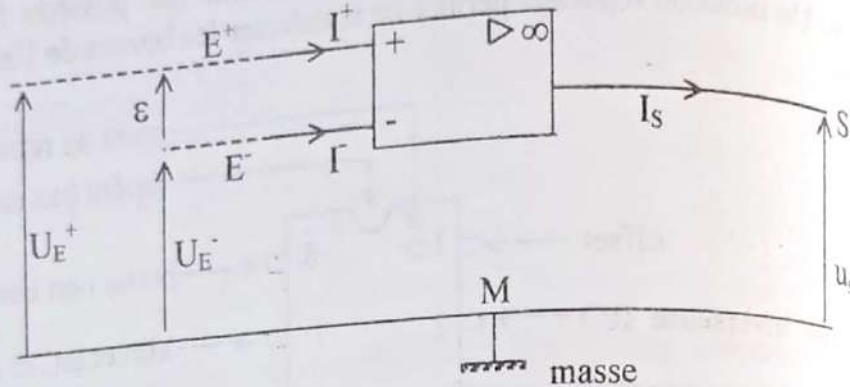
4) POLARISATION D'UN AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

La polarisation permet d'appliquer deux tensions $-V_{CC}$ et $+V_{CC}$ respectivement sur les bornes 4 et 7 de l'A.O.



5) FONCTIONNEMENT DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

5-1 Les intensités et les tensions



Les tensions sont évaluées par rapport à la masse M.

- La tension de l'entrée non inverseuse E^+ est : $U_{E^+} = U_{E^+M}$.
- La tension de l'entrée inverseuse E^- est : $U_{E^-} = U_{E^-M}$.
- La tension de sortie est notée : $u_s = U_{SM}$.
- La tension différentielle ε entre les bornes E^+ et E^- est :
 $\varepsilon = U_{E^+} - U_{E^-} = U_{E^+} - U_{E^-}$.
- Le courant I_s dénommé courant de sortie peut sortir de l'A.O ou y pénétrer par la borne de sortie S.

5-2 Fonctionnement d'un A.O en régime linéaire

Pour un A.O fonctionnant en régime linéaire :

- les tensions de l'entrée inverseuse U_{E^-} et de l'entrée non inverseuse U_{E^+} sont égales : $U_{E^+} = U_{E^-}$;
- les courants I^+ et I^- qui pénètrent par les bornes E^+ et E^- ont une intensité nulle : $I^+ = I^- = 0$.

Dans ces conditions, l'A.O fonctionne en amplificateur.

5-3 Fonctionnement en régime saturé

La tension de sortie u_s d'un amplificateur opérationnel ne peut pas dépasser, en valeur absolue, sa tension de polarisation. Lorsqu'elle atteint cette valeur, l'A.O est saturé.

L'A.O est dit saturé si $|u_s| = V_{sat} = V_{CC}$

N.B. : Si la tension de sortie u_s est, en valeur absolue, inférieure à la tension de saturation V_{sat} (environ 15 V), l'A.O fonctionne en régime linéaire.

L'A.O fonctionne en régime linéaire si $|u_s| < V_{sat} = V_{CC}$ ce qui équivaut à

$-V_{sat} < u_s < +V_{sat}$ avec $V_{sat} = V_{CC}$.

Dans ce cas, l'A.O fonctionne en amplificateur.

En réalité la tension V_{sat} est légèrement inférieure à la tension d'alimentation V_{CC} cause des chutes de tension internes.

5-4 G

Si u_e es

linéaire

N.B. :

tension

6) LE

6-1 Le

6-2 Le

6-3 Le

7) ETU

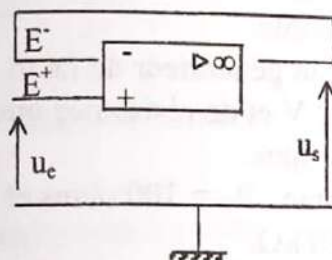
5-4 Gain d'un A.O fonctionnant en amplificateur

Si u_e est la tension d'entrée de l'A.O et u_s sa tension de sortie (en régime linéaire), le gain G de l'A.O est donné par l'expression : $G = \frac{u_s}{u_e}$

N.B. : Ne pas confondre tension d'entrée u_e et tension de l'entrée inverseuse U_{E-} ou tension de l'entrée non inverseuse U_{E+} .

6) LES TROIS MONTAGES SIMPLES ETUDIES EN SECONDE

6-1 Le montage suiveur

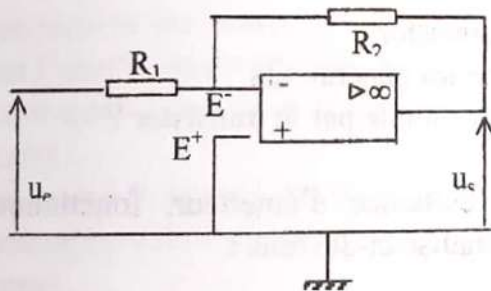


On démontre que :

$$u_s = u_e$$

$$G = \frac{u_s}{u_e} = 1$$

6-2 Le montage amplificateur inverseur

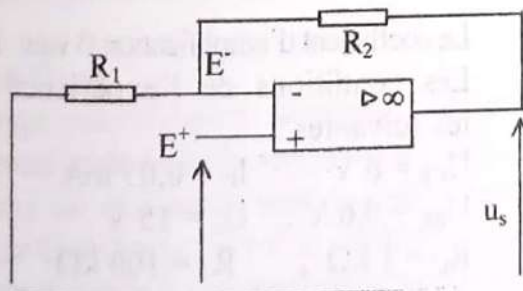


On démontre que :

$$u_s = - \frac{R_2}{R_1} . u_e$$

$$G = - \frac{R_2}{R_1} < 0$$

6-3 Le montage amplificateur non inverseur



On démontre que :

$$u_s = \frac{(R_1 + R_2) u_e}{R_1}$$

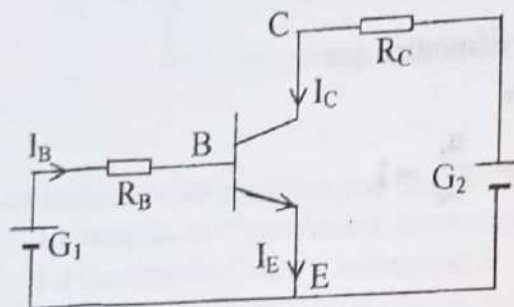
$$G = \frac{u_s}{u_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} > 1$$

7) ETUDE ENERGETIQUE D'UN A.O (VOIR EXERCICES)

EXERCICES

Exercice P₁₀₋₁

Dans le montage schématisé ci-dessous, le transistor fonctionne en amplificateur de courant. La tension U_{BE} vaut 0,6 V et le gain en courant est $\beta = 200$.



G_1 est un générateur de f.é.m $E_1 = 4,5$ V et de résistance interne négligeable.

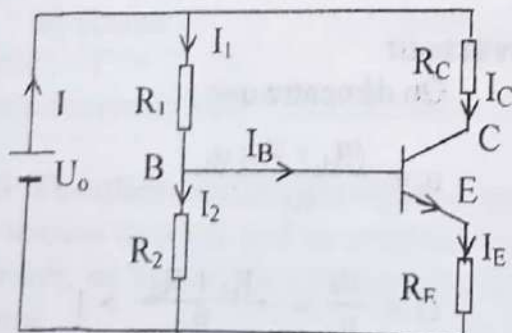
G_2 est un générateur de f.é.m $E_2 = 12$ V et de résistance interne $r = 10$ ohms.

On donne : $R_C = 100$ ohms et $R_B = 20$ k Ω .

- 1) a) Calculer les intensités des courants I_B , I_C et I_E .
- b) Déterminer la valeur de la tension U_{CE} .
- 2) a) Calculer la puissance P_i dissipée dans le transistor.
- b) Calculer la puissance totale P_g engendrée par les générateurs.
- c) Quelle est la quantité de chaleur dégagée par minute par le transistor ?

Exercice P₁₀₋₂

Un transistor N.P.N, polarisé par pont et résistance d'émetteur, fonctionne en amplificateur de courant selon le montage schématisé ci-dessous :



Le coefficient d'amplification β vaut 100.
Les conditions de l'expérience sont les suivantes :

$$U_{CE} = 6 \text{ V} ; \quad I_B = 0,03 \text{ mA}$$

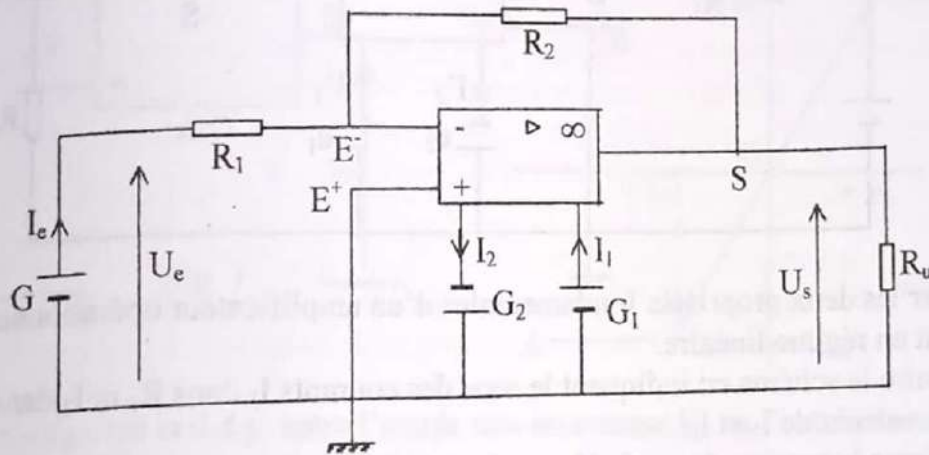
$$U_{BE} = 0,6 \text{ V} ; \quad U_0 = 15 \text{ V}$$

$$R_C = 1 \text{ k}\Omega ; \quad R_1 = 100 \text{ k}\Omega$$

- 1) Calculer :
 - a) Les intensités des courants I_C , I_E , I_1 , I_2 et I .
 - b) Les valeurs des résistances R_E et R_2 .
- 2) Faire le bilan énergétique du montage en calculant :
 - a) La puissance P_g fournie par le générateur.
 - b) La puissance P_{th} dissipée par effet Joule dans tous les conducteurs ohmiques.
 - c) La puissance P_i dissipée dans le transistor.
- 3) Comparer P_g à $P_{th} + P_i$ et conclure.
- 4) Sur la fiche technique du transistor utilisé on peut lire : $P_{max} = 20$ mW.
Les conditions de fonctionnement choisies sont-elles acceptables ?

Exercice P₁₀₋₃

On se propose de faire le bilan de puissance d'un circuit électronique. Le circuit étudié comporte essentiellement un amplificateur opérationnel (AO 741) monté en inverseur suivant le schéma ci-après :



Les valeurs des résistances sont : $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$; $R_u = 1000 \Omega$.
 La mesure des tensions aux bornes des générateurs G , G_1 , G_2 et aux bornes de la résistance R_u donne respectivement :
 $U_e = 0,7 \text{ V}$; $U_1 = 15,13 \text{ V}$; $U_2 = 15,10 \text{ V}$; $U_s = -7 \text{ V}$.
 Lorsqu'on mesure les intensités des courants délivrés par les générateurs G_1 et G_2 alimentant l'amplificateur opérationnel, on trouve $I_1 = 1,55 \text{ mA}$ et $I_2 = 8,2 \text{ mA}$.

- 1) Montrer que l'intensité du courant traversant la résistance R_1 est égale à $0,07 \text{ mA}$.
- 2) Calculer :
 - a) La puissance P_e fournie par le générateur G .
 - b) La puissance utile P_s reçue par la charge R_u à la sortie de l'amplificateur opérationnel.
 - c) La puissance P_a fournie par l'alimentation (G_1 , G_2).
 - d) Le rendement r de ce système électronique.

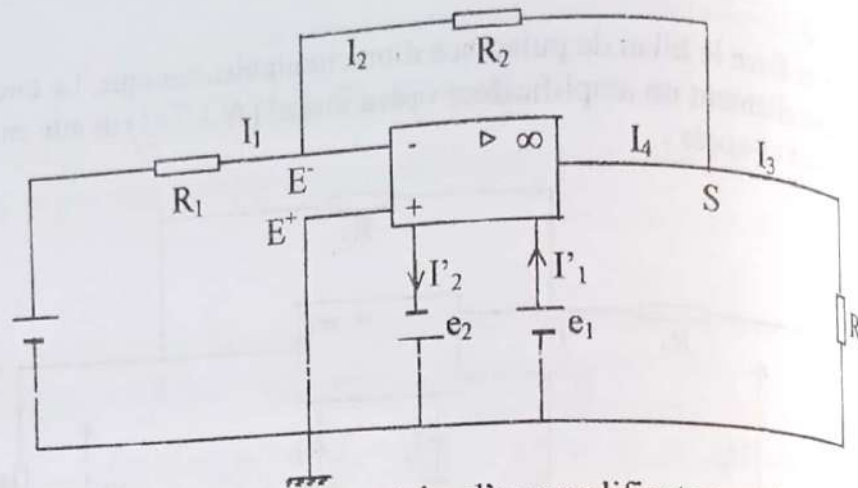
Exercice P₁₀₋₄

Le montage amplificateur inverseur schématisé ci-dessous utilise un amplificateur opérationnel parfait (A.O) fonctionnant en régime linéaire, alimenté par un générateur (e_1 , 0 , $-e_2$) de résistance interne nulle. La tension d'entrée U_e est fournie par un générateur G de f.é.m $E = 3 \text{ V}$ et de résistance interne négligeable. La tension d'entrée U_e est appliquée sur l'entrée E^- par l'intermédiaire d'une résistance $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$.

L'entrée E^+ est reliée à la masse.

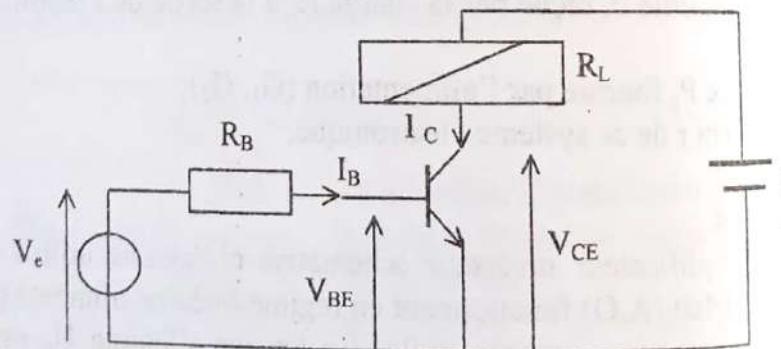
L'A.O. est bouclée par une résistance $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$.

La charge R_u est un conducteur ohmique de résistance $R_u = 1000 \text{ ohms}$.



- 1) Rappeler les deux propriétés fondamentales d'un amplificateur opérationnel idéal fonctionnant en régime linéaire.
- 2) Reproduire le schéma en indiquant le sens des courants I_1 dans R_1 et I_2 dans R_2 . Calculer les valeurs de I_1 et I_2 .
- 3) a) Exprimer la tension de sortie U_s aux bornes de la charge R_u en fonction de R_1 , R_2 et E et faire l'application numérique.
b) En déduire le sens et l'intensité du courant I_3 traversant la charge.
c) Le courant I_4 sort-il ou entre-t-il dans l'A.O ? Quelle est sa valeur ?
4) On a relevé les valeurs suivantes au niveau de l'alimentation :
 $e_1 = 15,1 \text{ V}$; $e_2 = 14,9 \text{ V}$; $I_1 = 2,5 \text{ mA}$; $I_2 = 8,2 \text{ mA}$
a) Calculer la puissance P_e fournie par le générateur de f.é.m. $E = 3 \text{ V}$.
b) Calculer la puissance P_s fournie à la charge R_u .
c) Quelle est la puissance P_a fournie par l'alimentation ?
d) En déduire le rendement du dispositif.

Exercice P₁₀₋₅



Le transistor de la figure ci-contre est utilisé pour actionner un relais de résistance R_L à partir d'une tension de commande V_e qui peut prendre deux valeurs : 0 et 5 V.

- On donne : $E = 24 \text{ V}$; $R_L = 600 \Omega$; $80 < \beta < 200$; $V_{CE \text{ sat}} = 0,4 \text{ V}$; $V_{BE} = 0,8 \text{ V}$.
- 1- Quel est l'état du transistor lorsque $V_e = 0 \text{ V}$? puis lorsque $V_e = 5 \text{ V}$?
 - 2- Etablir l'expression de I_C en fonction V_{CE}
 - 3- Calcule l'intensité du courant de saturation : $I_{C \text{ sat}}$.
 - 4- Calcule le courant I_B nécessaire à la situation du transistor.
 - 5- Calcule la résistance de base R_B .

Exercice
On considère
donnant

E^-
 E^+

$\varepsilon = V_E$
 v_s est la
L'alim
1) Int
2) Rej

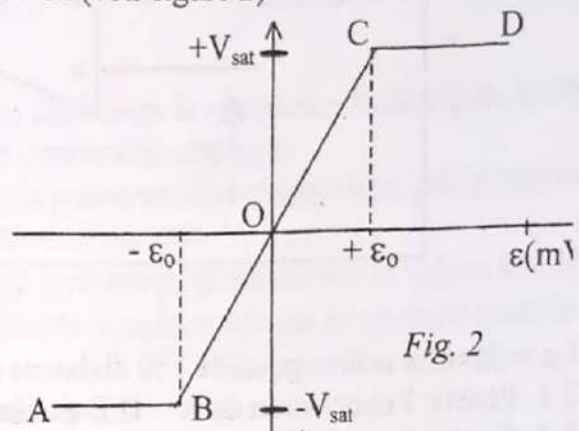
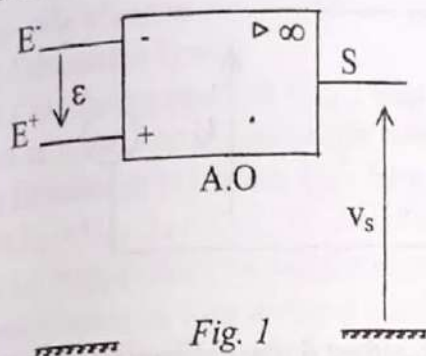
Exercice
Pour un
- les
 E^+
- La
au

Afin
l'élec
La pi
pH, s
ne pe
pratic
électr

1) D
2) C
r

Exercice P₁₀₋₆

On considère le montage d'un amplificateur opérationnel (voir figure 1) et la courbe donnant sa caractéristique de transfert en tension (voir figure 2)



$\epsilon = V_{E^+} - V_{E^-}$ est la d.d.p. entre l'entrée non inverseuse E^+ et l'entrée inverseuse E^- ;
 v_s est la tension de sortie.

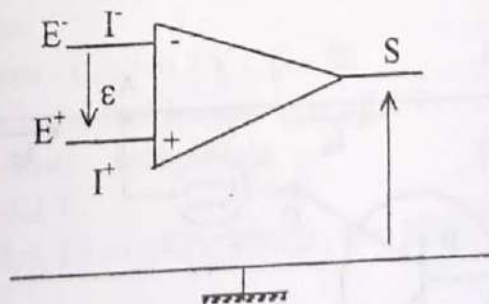
L'alimentation de l'A.O. n'est pas représentée.

- 1) Interpréter l'allure de la caractéristique en tension de l'amplificateur opérationnel.
- 2) Représenter cette caractéristique pour $\epsilon = 0$ (A.O. idéal).

Exercice P₁₀₋₇ (Non corrigé)

Pour un circuit intégré linéaire (C.I.L.), on admet que :

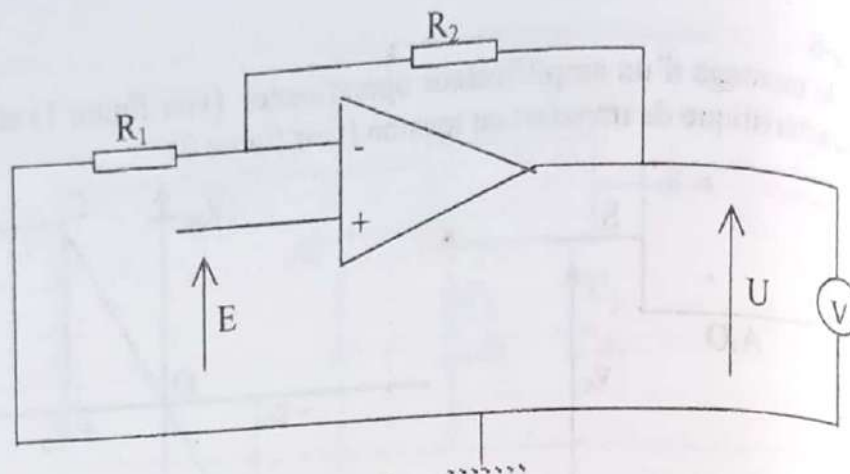
- les intensités i^+ et i^- des courants qui pénètrent dans l'amplificateur par les bornes E^+ et E^- sont négligeables devant les autres intensités du montage ($i^+ = i^- = 0$).
- La tension de différence ϵ entre les deux bornes E^+ et E^- est négligée devant les autres tensions du montage ($\epsilon = V_{E^+} - V_{E^-} = 0$).



Afin de déterminer le pH d'une solution, on utilise deux électrodes, l'une de mesure : l'électrode de verre, l'autre de référence : l'électrode au calomel saturé.

La pile ainsi constituée sera caractérisée par une f.é.m. E telle que $E = 0,407 - 0,058 \text{ pH}$, sa résistance interne est de l'ordre de $10^8 \Omega$ (100 M Ω). La mesure de cette f.é.m. ne peut être effectuée à l'aide d'un voltmètre ordinaire qui indiquerait une tension pratiquement nulle. Pour effectuer cette mesure, il faut utiliser un voltmètre électronique constitué ici à l'aide d'un C.I.L.

- 1) Déterminer la variation de f.é.m. ΔE lorsque le pH varie d'une unité.
- 2) Considérons le montage suivant : (le circuit de polarisation du C.I.L. n'est pas représenté)



Le voltmètre utilisé possède 150 divisions correspondant à une calibre égal à 1,5 V.

2.1. Etablir l'expression de $A \equiv U/E$ en fonction de R_1 et de R_2 .

2.2. On désire que 10 divisions correspondent à une variation de pH d'une unité. En déduire la relation entre R_1 et R_2 .

Application : si $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$ montrer que $R_1 = 6,5 \text{ k}\Omega$.

Par suite ces valeurs seront conservées.

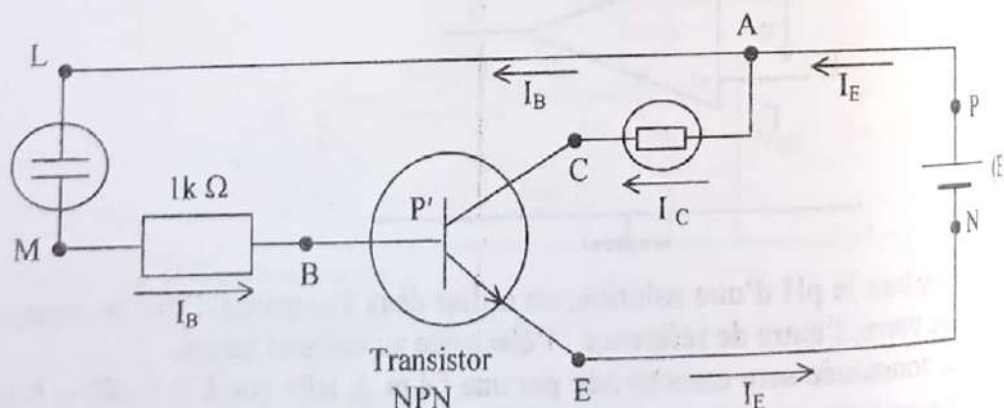
2.3. Dans ces conditions, attribuer aux valeurs de pH mesurables leur correspondance en tension mesurable sur le voltmètre. Remplir le tableau suivant avec les valeurs entières de pH mesurables.

pH	
U(V)	

Que constate-t-on ?

D'après Baccalauréat Technologique 1987

Exercice P₁₀₋₈ Etude d'un circuit électrique simple : échauffement du transistor



Considérons le montage électronique ci-dessus. Il utilise un transistor NPN au silicium, de bornes B, C et E. Rappelons que pour la résolution de cet exercice, aucune connaissance sur les transistors n'est nécessaire.

On donne :

- pour la pile : $E = 4,5 \text{ V}$; $r = 3,0 \Omega$;
- pour le transistor : $U_{BE} = 0,60 \text{ V}$; le facteur d'amplification en courant $\beta = \frac{I_C}{I_B} = 100$;
- résistance du résistor de protection MB : $1,0 \cdot 10^3 \Omega$.

1) Le cas, la

a) Calc est-elle

b) Déte

2) Calc qui se c

3) Déte est $P_e =$

4) La te

tempéra

puissan

Quelle

On mor

tempéra

et de so

$P_{dissipée} =$

Déterm

5) Le tr

200°C.

- Calcul

tempéra

Exerci

On don

montag

• Pour l

Le trans

• Pour l

de tensi

• Résist

1) On a

dans le

2) Mon

Calcule

3) Calc

consom

4) Calc

R_E .

1) Le courant d'intensité traversant la lampe à incandescence est $I_C = 90 \text{ mA}$. Dans ce cas, la lampe supporte la tension de $3,2 \text{ V}$.

a) Calcule la puissance électrique reçue par la lampe. Sa puissance normale est $0,30 \text{ W}$, est-elle allumée ?

b) Détermine I_B et I_E .

2) Calcule les tensions U_{PN} , U_{MB} et U_{LM} . Déduis-en la résistance X du dipôle $L M$, qui se comporte pratiquement comme un conducteur ohmique.

3) Détermine la tension U_{CE} . Montre que la puissance électrique reçue par le transistor est $P_e = U_{BE} \cdot I_B + U_{CE} \cdot I_C$. Fais l'application numérique.

4) La température du transistor, en régime permanent, se stabilise à la valeur θ_T , la température de l'air ambiant étant θ_A . Alors le transistor dissipe en chaleur toute la puissance électrique qu'il reçoit.

Quelle est alors la puissance calorifique dissipée ?

On montre que la puissance calorifique dissipée est proportionnelle à l'écart de température $(\theta_T - \theta_A)$, le coefficient de proportionnalité caractéristique du « transistor et de son boîtier » est la conductance thermique λ .

$$P_{\text{dissipée}} = \lambda (\theta_T - \theta_A).$$

Détermine l'écart $(\theta_T - \theta_A)$ sachant que pour ce transistor $\lambda = 7 \cdot 10^{-3} \text{ W.K}^{-1}$.

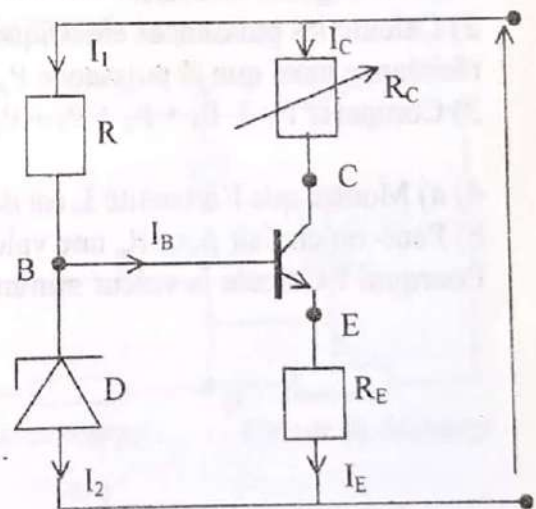
5) Le transistor au silicium est détérioré si la température du silicium dopé atteint 200°C . Pour avoir une bonne marge de sécurité, on admet que $\theta_{T\text{max}} = 100^\circ\text{C}$.

- Calcule la puissance électrique maximale que peut recevoir le transistor lorsque la température ambiante est 20°C .

Exercice P₁₀₋₉

On donne les caractéristiques du montage ci-contre :

- Pour le transistor : $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$; $\beta = 80$.
- Le transistor devient saturé lorsque $U_{CE} \leq 0,2 \text{ V}$.
- Pour la diode Zener : diode idéale de tension $U_Z = 6,2 \text{ V}$.
- Résistances : $R = 2 \text{ k}\Omega$; $R_E = 200 \Omega$; $U = 20 \text{ V}$.



1) On admet que le transistor fonctionne sans être saturé et que la diode est passante dans le sens indiqué. Calcule les valeurs des intensités I_E , I_1 et I_B .

2) Montre que l'intensité I_C a pour expression $I_C = \frac{\beta}{\beta + 1} \left(\frac{U_Z - U_{BE}}{R_E} \right)$. Calcule sa valeur.

3) Calcule l'intensité I_2 traversant la diode Zener et la puissance électrique consommée dans cette diode.

4) Calcule les puissances P_R et P_{R_E} respectivement dissipées dans les résistances R et R_E .

- 5- Montre que le transistor ne fonctionne en état non saturé que si la résistance R_C reste inférieure à une valeur limite. Calcule cette limite.
 6- On choisit $R_C = 200 \Omega$. Calcule la puissance électrique P_T consommée dans le transistor.

Exercice P₁₀-10

L'A.O. dans le montage ci-contre est parfait ; ses tensions de saturation sont $\pm V_{Sat} = \pm 13 \text{ V}$.

L'intensité maximale du courant de sortie I_S est de 25 mA. ($E, r = 0$)

On donne : $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$;

$R_2 = 6 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$.

On choisit $R_u = 10 \text{ k}\Omega$ et $E = 1,5 \text{ V}$.

1) La tension U_S aux bornes de la charge R_u est :

a) $U_S = -\frac{R_1}{R_2} E$; b) $U_S = -\frac{R_2}{R_3} E$; c) $U_S = \frac{R_1 + R_2}{R_3} E$; d) $U_S = -\frac{R_2}{R_1} E$.

Choisis la bonne réponse et montre ta démarche. Vérifie que l'A.O. fonctionne bien en régime linéaire.

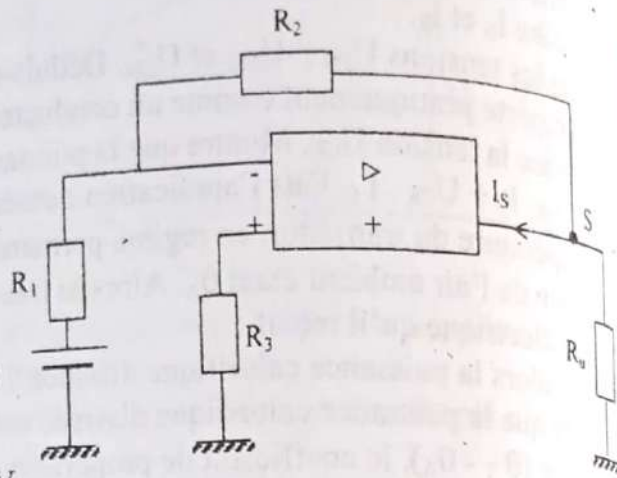
2) Calcule les puissances électriques P_1, P_2, P_3, P_u consommées dans chaque résistance ainsi que la puissance P_g fournie par le générateur.

3) Comparer P_g à $P_1 + P_2 + P_3 + P_u$ et interprète les résultats.

4) a) Montre que l'intensité I_S est de la forme $I_S = -U_S \left[\frac{1}{R_u} + \frac{1}{R_2} \right]$

b) Peut-on choisir pour R_u une valeur très faible ?

Pourquoi ? Calcule la valeur minimale pour la charge R_u .



Chapitre

1) DEF
Un cond
séparées
Chaque
L'isolar
Le sym

2) CH
2-1 R
• Ch
L'inter
on ferr
indiqu
couran
- Le
armat
égales
- O
la val

• I
Le co
L'an
que

Chapitre 11 (Physique)

LES CONDENSATEURS

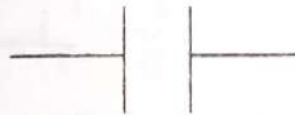
1) DEFINITION D'UN CONDENSATEUR

Un condensateur est un ensemble de deux conducteurs dont les surfaces en regard sont séparées par un isolant de faible épaisseur.

Chaque conducteur est appelé armature.

L'isolant, encore appelé diélectrique, peut être l'air, un liquide ou un solide.

Le symbole d'un condensateur est donné à la figure ci-dessous.



2) CHARGE ET DECHARGE D'UN CONDENSATEUR

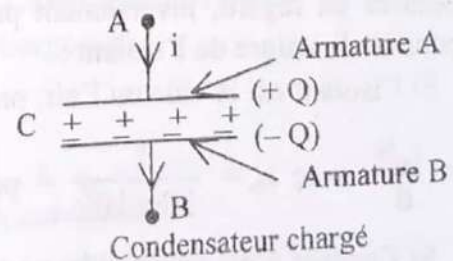
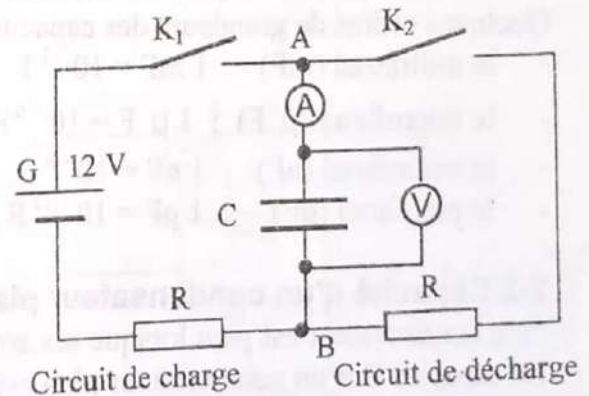
2-1 Résultat d'expérience

- Charge du condensateur :

L'interrupteur K_2 est ouvert, on ferme K_1 . L'ampèremètre indique le passage d'un bref courant i : Le condensateur est chargé.

- Les charges électriques portées par les armatures d'un condensateur chargé sont égales et opposées. $Q_A = Q$ et $Q_B = -Q$

- On appelle charge du condensateur la valeur absolue de l'une d'entre elles.



- Décharge du condensateur

Le condensateur étant chargé, on ouvre K_1 et on ferme K_2 .

L'ampèremètre indique un bref courant en sens inverse du courant de charge, alors que la tension préalablement mesurée s'annule : Le condensateur s'est déchargé.

2-2 Relation entre i et q pendant le régime transitoire

- L'intensité du courant qui arrive sur une armature est égale à la dérivée par rapport au temps de la charge q qu'elle porte. $i = \frac{dq}{dt}$
- L'intensité du courant qui quitte une armature est égale à la dérivée par rapport au temps de la charge qu'elle porte, changée de signe. $i = -\frac{dq}{dt}$

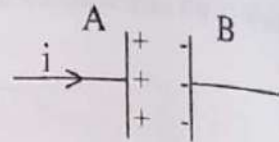
3) CAPACITE D'UN CONDENSATEUR

3-1 La capacité d'un condensateur

La capacité C d'un condensateur est sa possibilité d'emmagasiner une charge Q .

La charge portée par l'une des armatures A d'un condensateur est égale au produit de la capacité C de ce condensateur par la tension appliquée entre l'armature A et l'autre armature B.

$$Q_A = C \cdot U_{AB}$$



Q_A en coulombs (C) ; U_{AB} en volts (V) ; C en farads (F).

$$Q_A = C (V_A - V_B) = C U_{AB}$$

Dans le S.I, l'unité de capacité est le farad (F)

Quelques ordres de grandeurs des capacités :

- le millifarad (mF) : $1 \text{ mF} = 10^{-3} \text{ F}$
- le microfarad ($\mu \text{ F}$) : $1 \mu \text{ F} = 10^{-6} \text{ F}$
- le nanofarad (nF) : $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$
- le picofarad (pF) : $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$

3-2 Capacité d'un condensateur plan

*Un condensateur est plan lorsque ses armatures sont planes et parallèles.

La capacité C d'un condensateur plan est proportionnelle à la surface S commune aux armatures en regard, inversement proportionnelle à la distance d qui les sépare, et dépend de la nature de l'isolant :

- Si l'isolant est le vide ou l'air, on a :

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d} \text{ avec } \epsilon_0 = \frac{1}{39\pi \cdot 10^9} = \text{permittivité du vide.}$$

- Si l'isolant n'est pas le vide, on a :

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \text{ avec } \epsilon_r = \text{permittivité relative ou constante diélectrique de l'isolant.}$$

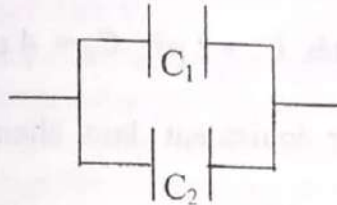
On écrit souvent $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ où ϵ est la permittivité absolue de l'isolant.

4) ASSOCIATION DE CONDENSATEURS

4-1 Association en parallèle

La capacité C du condensateur équivalent à l'association de plusieurs condensateurs en parallèle est égale à la somme des capacités de ces condensateurs.

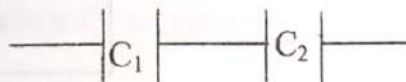
$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



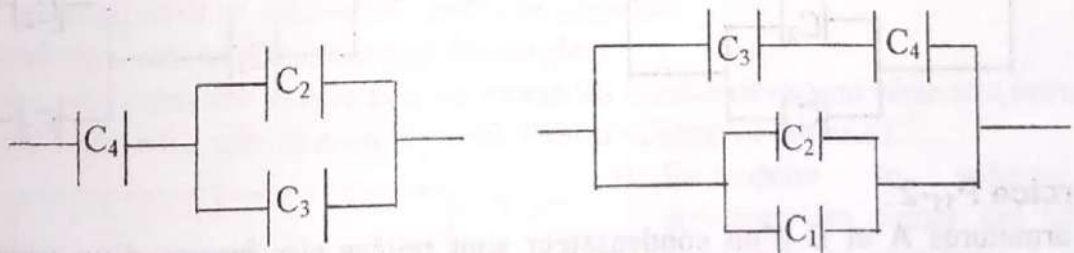
4-2 Association en série

L'inverse de la capacité C du condensateur équivalent à l'association de plusieurs condensateurs en série est égal à la somme des inverses des capacités des condensateurs.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$



4-3 Association mixte série-parallèle



5) ENERGIE EMMAGASINEE DANS UN CONDENSATEUR

L'énergie emmagasinée dans un condensateur chargé est :

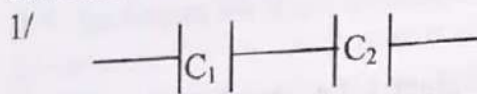
$$W = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Cette énergie est restituée lors de la décharge du condensateur.

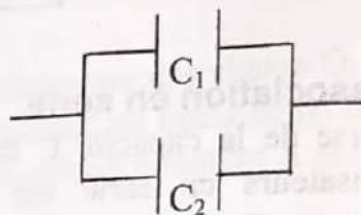
EXERCICES

Exercice P₁₁₋₁

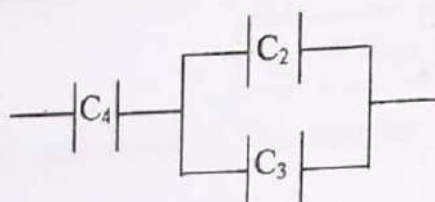
On dispose de 4 condensateurs de capacités $C_1 = 2 \mu\text{F}$, $C_2 = 4 \mu\text{F}$, $C_3 = 6 \mu\text{F}$ et $C_4 = 10 \mu\text{F}$.
Calculer la capacité C du condensateur équivalent dans chacune des associations suivantes :



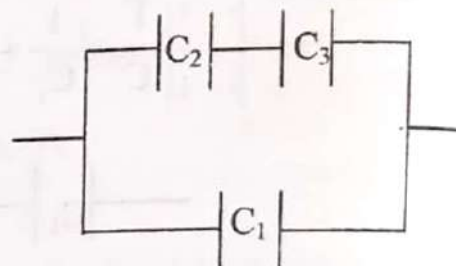
2/



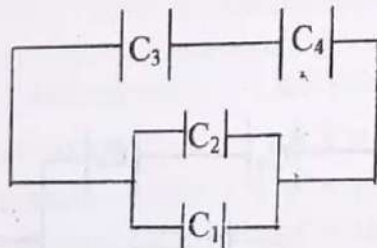
3/



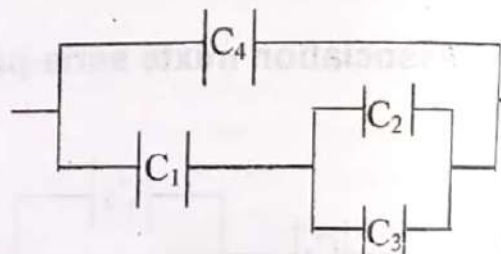
4/



5/



6/

**Exercice P₁₁₋₂**

Les armatures A et B d'un condensateur sont reliées aux bornes d'un générateur. L'armature A porte la charge électrique $q_A = -2,5 \cdot 10^{-4} \text{C}$. La capacité C du condensateur est égale à $2 \mu\text{F}$.

- 1) Quelle est la charge prise par l'armature B ?
- 2) Calculer la différence de potentiel $V_A - V_B$ entre les deux armatures.
- 3) Quelle est l'énergie emmagasinée dans le condensateur ?
- 4) On supprime le générateur et on relie par des fils de jonction les bornes A et B du condensateur ainsi chargé aux bornes C et D d'une résistance $R = 100 \Omega$; le condensateur se décharge.
 - a) Indiquer sur un schéma le sens de déplacement des électrons et le sens du courant électrique transitoire.
 - b) Calculer l'intensité du courant initial qui traverse le circuit.

Exercice

Les deux
épaisseur
relative

1) Calc

2) On c

de poten

a) Calc

b) Quel

c) Quel

3) Sacha

maximale

4) On su

condensat

Que devie

La charge

Exercice

On dispose

- d'un co

A et B ;

- d'un co

A' et B

- des fils

- d'un gé

Les conden

1) Dans un

générateur

A

b) Montrer q

Q cette charg

c) Exprimer

des capacités

d) Calculer

 $U_2 = V_A - V_B$

e) Calculer

2) Dans une

chargés,

l'indique

Exercice P₁₁₋₃

Les deux armatures A et B d'un condensateur sont séparées par un isolant sur une épaisseur $d = 0,4 \text{ cm}$. La surface d'une armature est $S = 3,14 \text{ cm}^2$. La permittivité relative de l'isolant est $\epsilon_r = 7,2$.

- 1) Calculer la capacité C du condensateur.
- 2) On charge le condensateur en appliquant entre les armatures A et B une différence de potentiel $V_A - V_B = 100 \text{ V}$.
 - a) Calculer le champ électrostatique entre les armatures du condensateur.
 - b) Quelle est la charge prise par le condensateur ?
 - c) Quelle est l'énergie électrostatique emmagasinée par le condensateur ?
- 3) Sachant que la rigidité diélectrique de l'isolant est 60 kV/m . Calculer la tension maximale que peut supporter ce condensateur.
- 4) On supprime l'isolant mais on maintient la d.d.p de 100 V aux bornes du condensateur.

Que devient la capacité C du condensateur ?

La charge du condensateur varie-t-elle ? Si oui, calculer sa nouvelle valeur.

Exercice P₁₁₋₄

On dispose :

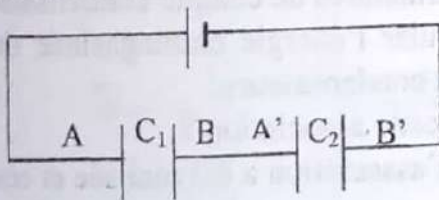
- d'un condensateur C_1 de capacité $C_1 = 4 \mu\text{F}$ et dont les armatures sont notées : A et B ;

- d'un condensateur C_2 de capacité $C_2 = 6 \mu\text{F}$ et dont les armatures sont notées : A' et B' ;

- des fils de connexion de résistance négligeable ;
- d'un générateur de résistance interne négligeable.

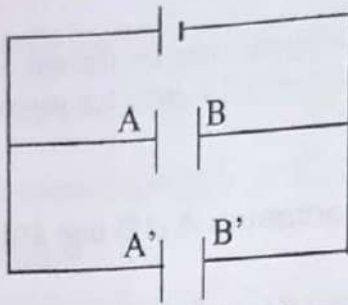
Les condensateurs sont initialement déchargés.

- 1) Dans une première expérience, on monte les condensateurs en série aux bornes du générateur sous une tension $U = 100 \text{ V}$ (voir schéma ci-dessous).



- a) Reproduire le schéma en indiquant les signes des charges prises par les armatures A, B, A' et B' des condensateurs.

- b) Montrer que les charges Q_1 et Q_2 des condensateurs C_1 et C_2 sont égales. On notera Q cette charge commune.
- c) Exprimer la charge Q prise par chaque condensateur en fonction de la tension U et des capacités C_1 et C_2 , puis faire l'application numérique.
- d) Calculer les tensions $U_1 = V_A - V_B$ aux bornes du condensateur C_1 et $U_2 = V_{A'} - V_{B'}$ aux bornes du condensateur C_2 à la fin de la charge.
- e) Calculer et comparer les énergies emmagasinées par les condensateurs.
- 2) Dans une deuxième expérience, les condensateurs C_1 et C_2 étant initialement chargés, on les monte en parallèle aux bornes du générateur précédent comme l'indique le schéma ci-dessous :



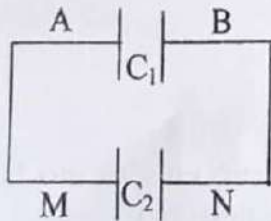
- c) Calculer la capacité C du condensateur équivalent.
d) Calculer et comparer les énergies emmagasinées par les condensateurs.

Exercice P₁₁₋₅

Un condensateur C_1 de capacité $2\mu\text{F}$ a été chargé sous une différence de potentiel $U = V_A - V_B = 100\text{ V}$. L'armature A porte une charge positive $Q_{0A} = Q_0$

- 1) Calculer :
 - a) La charge $Q_{0A} = Q_0$ portée par l'armature A et celle portée par l'armature B.
 - b) L'énergie électrique E_0 emmagasinée dans le condensateur.
- 2) On isole le condensateur C_1 de la source de tension.

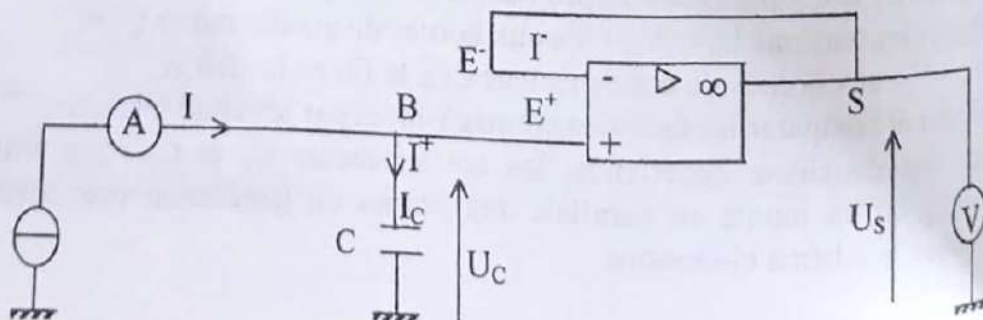
On relie les bornes A et B de ce condensateur chargé aux bornes M et N d'un autre condensateur C_2 complètement déchargé de capacité $3\mu\text{F}$. Il apparaît un courant transitoire très bref, puis un équilibre électrique s'installe. On évite toute perte de charge électrique au cours de l'association.



- a) Reproduire le schéma en indiquant le signe des charges prises par chaque armature des condensateurs.
 - b) Calculer la charge portée par chaque condensateur à l'équilibre.
 - c) Calculer la différence de potentiel entre les armatures de chaque condensateur.
 - d) Calculer l'énergie emmagasinée dans les deux condensateurs.
- e) Y-a-t-il conservation de l'énergie au cours de cette association ?
Sinon calculer la perte d'énergie au moment où l'association a été réalisée et conclure.

Exercice P₁₁₋₆

Le montage schématisé ci-dessous permet de suivre les variations de la tension aux bornes d'un condensateur en fonction du temps au cours de sa charge.



La tension aux bornes des condensateurs est $U = 100\text{ V}$.

- a) Reproduire le schéma en indiquant les signes des charges prises par les armatures A, B, A' et B' des condensateurs.
- b) Calculer la charge prise par chaque condensateur.

• V est un volt.

• Le condensateur est un composant électronique.

- 1) Expliquer l'opération.
- 2) Montrer que l'opération est correcte.
- 3) Le tableau de la durée.

$t(s)$	$U_C(V)$
--------	----------

- a) Tracer la courbe.
- b) Déduire de la courbe.

Exercice P₁₁₋₆

On charge un condensateur. On sépare ce condensateur initialement chargé.

- 1) Montrer que la charge est la même.
- 2) Que peut-on en déduire ?
- 3) Quelle est la charge du condensateur ?

* V est un voltmètre classique précédé d'un amplificateur opérationnel monté en suiveur.

* Le condensateur C est chargé par un courant d'intensité constante $I = 0,1 \text{ mA}$ délivré par un générateur de courant.

- 1) Expliquer pourquoi le courant I_C de charge reste constant au cours de l'opération.
- 2) Montrer que la tension U_s mesurée par le voltmètre à la sortie de l'amplificateur opérationnel est égale à la tension U_C aux bornes du condensateur.
- 3) Le tableau ci-dessous donne la tension U_C aux bornes du condensateur en fonction de la durée t de charge.

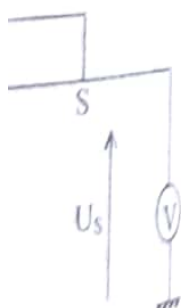
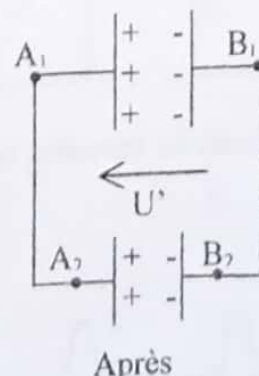
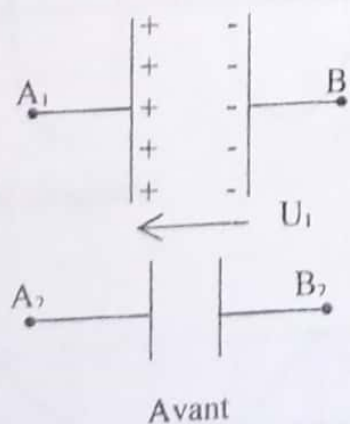
t(s)	5	10	15	20	25	30	35	40
$U_C(\text{V})$	0,25	0,49	0,75	1	1,25	1,50	1,75	2

- a) Tracer la courbe $U_C = f(t)$. Echelle : 1 cm pour 5s et 1 cm pour 0,5 V.
- b) Déduire de la courbe la capacité C du condensateur.

Exercice P₁₁₋₇

On charge un condensateur A_1B_1 , de capacité $C_1 = 3,0 \mu\text{F}$ sous la tension $U_1 = 60\text{V}$. On sépare ce condensateur du générateur, puis on le relie à un condensateur A_2B_2 , initialement déchargé, de capacité $C_2 = 2,0 \mu\text{F}$; ces opérations se faisant sans perte de charge.

- 1) Montrer qu'en fin de régime transitoire les deux condensateurs supportent la même tension U' .
- 2) Que peut-on dire de la charge de l'ensemble ($A_1 ; A_2$) ? de l'ensemble ($B_1 ; B_2$) ? En déduire U' .
- 3) Quelle est la variation de l'énergie électrique du système formé par les deux condensateurs A_2B_2 ? Conclure.



Exercice P₁₁₋₈

Un circuit comprend les éléments représentés sur la figure

G est un générateur de tension continue tel que : $U_{AB} = V_A - V_B = 6V$;

R est un conducteur ohmique de résistance $R = 5\Omega$;

C est un condensateur de capacité $C = 0,01 \mu F$.

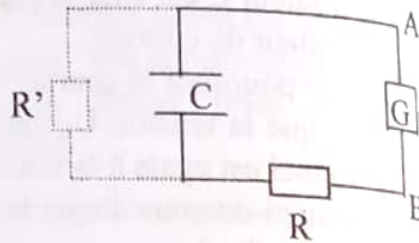
1) Trouver les valeurs à l'équilibre de :

- l'intensité I_0 du courant ;
- la charge Q_0 du condensateur ;
- la tension U_0 à ses bornes

2) On met un conducteur ohmique de résistance $R' = 10 \Omega$ aux bornes du condensateur.

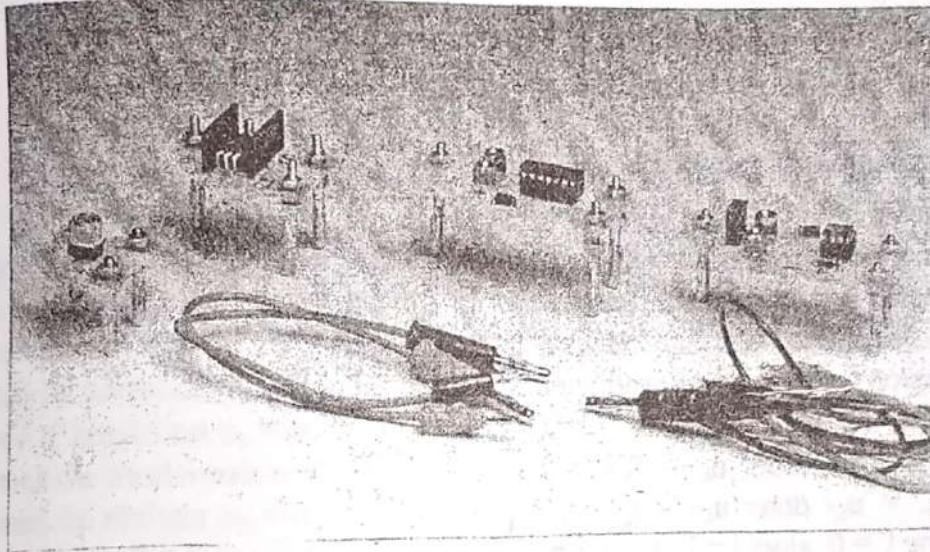
Trouver les valeurs à l'équilibre de :

- l'intensité I dans le circuit
- la charge Q du condensateur
- la tension U aux bornes du condensateur.

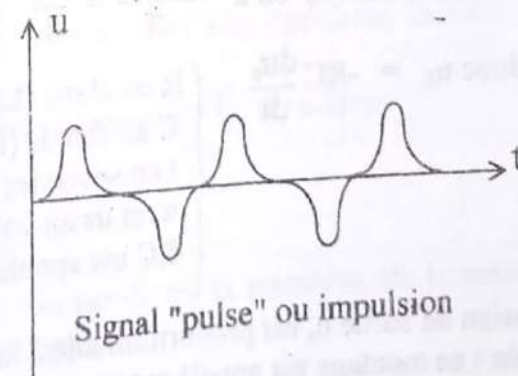
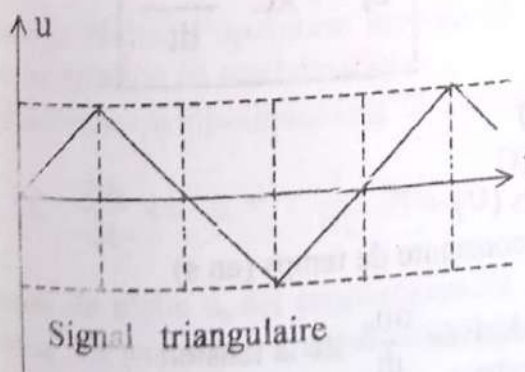
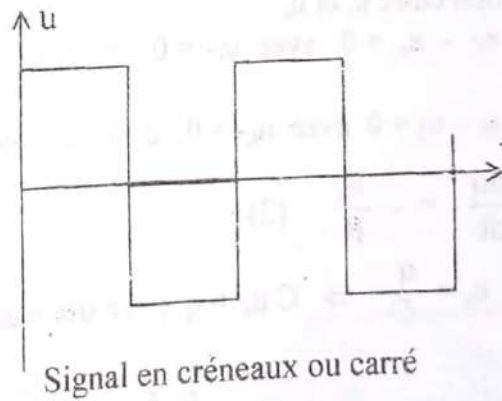
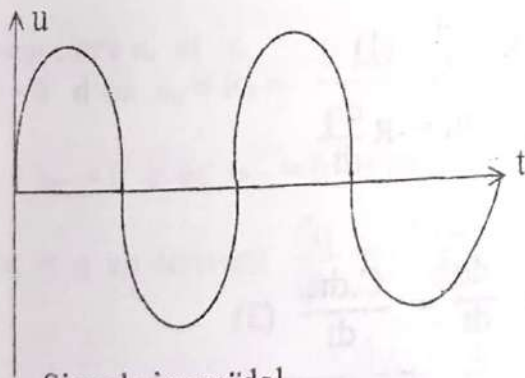


MONTAGES DERIVATEUR ET INTEGRATEUR.

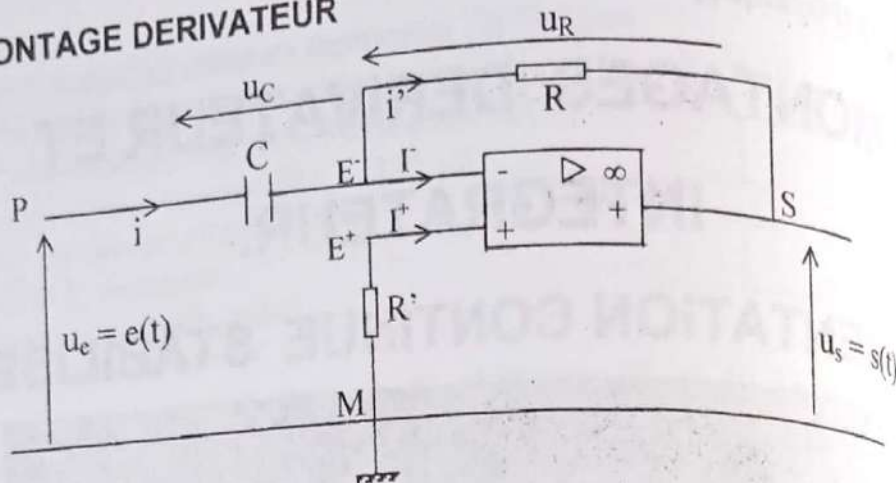
ALIMENTATION CONTINUE STABILISEE



1) LES SIGNAUX UTILES A RECONNAITRE AU PREMIER COUP D'ŒIL



2) LE MONTAGE DERIVATEUR



* Les intensités et les tensions

- La tension à l'entrée inverseuse est u_{E-}
- La tension à l'entrée non inverseuse est u_{E+}
- La tension d'entrée est $u_e = e(t)$
- La tension de sortie est $u_s = s(t)$
- La tension aux bornes du condensateur est $u_C = \frac{q}{C}$
- La tension aux bornes du conducteur ohmique est $u_R = Ri$
- Pour un A.O idéal, $I^- = 0$ et $I^+ = 0$
- Comme $I^- = 0$ alors $u_{E+} = R'I^+ = 0$
- Or $u_{E+} = u_{E-}$ donc $u_{E+} = u_{E-} = 0$
- Comme $I^- = 0$ alors $i = i'$ avec $i = \frac{dq}{dt}$

* Relation entre u_s et u_e

$$u_{E-} + u_C - u_e = 0 \text{ avec } u_{E-} = 0 \text{ d'où } u_e = u_C = \frac{q}{C} \quad (1)$$

$$u_{E-} - u_R - u_s = 0 \text{ avec } u_{E-} = 0 \text{ d'où } u_s = -u_R = -Ri = -R \frac{dq}{dt}$$

$$\text{soit } \frac{dq}{dt} = -\frac{u_s}{R} \quad (2)$$

$$(1) \Rightarrow u_e = \frac{q}{C} \Rightarrow C u_e = q ; \text{ en dérivant, } \frac{dq}{dt} = \frac{C \cdot du_e}{dt} \quad (3)$$

$$\text{En égalant (2) et (3) on a } \frac{C \cdot du_e}{dt} = \frac{-u_s}{R} \text{ soit}$$

$$u_s = -RC \frac{du_e}{dt}$$

$$\text{On a donc } u_s = -RC \frac{du_e}{dt} \quad \left\{ \begin{array}{l} R \text{ en ohms } (\Omega) \\ C \text{ en farads (F)} \\ t \text{ en secondes (s)} \\ u_e \text{ et } u_s \text{ en volts (V)} \\ RC \text{ est appelé constante de temps (en s)} \end{array} \right.$$

La tension de sortie u_s est proportionnelle à la dérivée $\frac{du_e}{dt}$ de la tension d'entrée : ce montage est appelé montage dérivateur.

Application
Le montage dérivateur
une tension tria
une tension en
LE MONTAGE

Les intensités et
La tension à l'
La tension à l'
La tension de
La tension d'
Aux bornes d
Aux bornes d
Pour un A.O
Comme $u_{E+} =$

Relation entre
 $u_{E-} - Ri = 0$ d'où

$$u_s + u_C + u_{E-} = 0$$

$$\text{soit } -Cu_s = q \text{ et}$$

en égalant (1) et

Ce montage réa

appelée intégrat

Nous la noteror

$$u_e = -RC \frac{du_s}{dt}$$

La tension de

l'entrée u_e . Ce

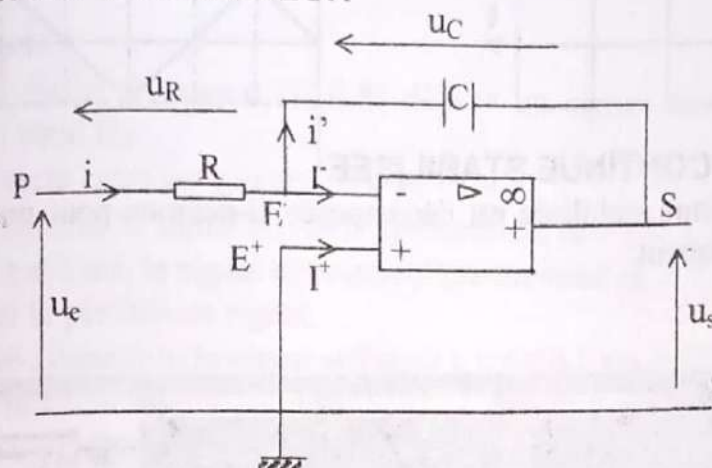
Application

Le montage dérivateur permet de transformer :

une tension triangulaire u_e en une tension en créneaux u_s ;

une tension en créneaux u_e en une tension "impulsion" u_s

2) LE MONTAGE INTEGRATEUR



Les intensités et les tensions

La tension à l'entrée inverseuse est u_{E-}

La tension à l'entrée non inverseuse est u_{E+}

La tension de sortie est $u_s = s(t)$

La tension d'entrée est $u_e = e(t)$

Aux bornes du condensateur $u_C = \frac{q}{C}$

Aux bornes du résistor $u_R = Ri$

Pour un A.O parfait $I^+ = I^- = 0$; on a donc $i = i' = \frac{dq}{dt}$

Comme $u_{E+} = 0$ (E^+ est à la masse) alors $u_{E-} = 0$

Relation entre u_s et u_e
 $u_e - Ri = 0$ d'où $u_e = Ri = \frac{R dq}{dt}$ soit $\frac{dq}{dt} = \frac{u_e}{R}$ (1)

$u_s + u_C + u_{E-} = 0$ avec $u_{E-} = 0$ d'où $u_s = -\frac{q}{C}$

soit $-Cu_s = q$ en dérivant $\frac{dq}{dt} = -C \frac{du_s}{dt}$ (2)

en égalant (1) et (2) on a : $-\frac{C du_s}{dt} = \frac{u_e}{R}$ d'où $u_s = -RC \frac{du_e}{dt}$ soit $\boxed{\frac{du_s}{dt} = -\frac{u_e}{RC}}$

Ce montage réalise l'opération inverse de la dérivation. Cette opération inverse est appelée intégration en mathématique.

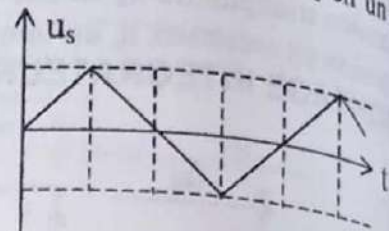
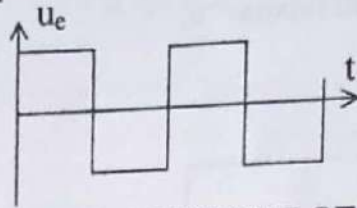
Nous la noterons symboliquement $\Im$ ou mathématiquement $\int_0^t$; on a alors :

$$u_s = -RC \frac{du_e}{dt} \Leftrightarrow u_s = -\frac{1}{RC} \Im(u_e) = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_e$$

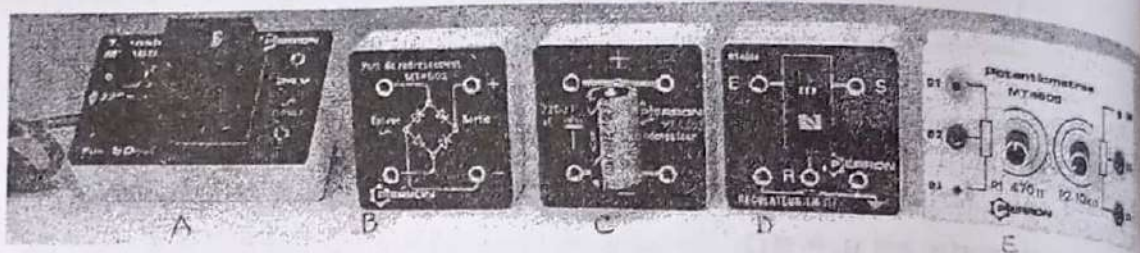
La tension de sortie u_s est proportionnelle à l'intégrale ou la primitive de la tension d'entrée u_e . Ce montage est appelé montage intégrateur.

Application

Le montage intégrateur permet de transformer un signal en crêteaux u_e en un signal triangulaire u_s .

**4) ALIMENTATION CONTINUE STABILISEE**

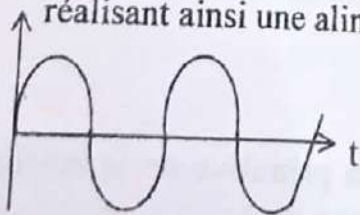
Une alimentation continue stabilisée est décomposée ci-dessous pour une meilleure étude de son fonctionnement.



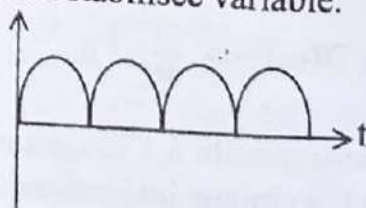
Les composants utilisés sont notés dans l'ordre : A, B, C, D et E

A : transformateur ; B : pont de diodes ; C : condensateur électrochimique ;
D : régulateur intégré de tension ; E : potentiomètre.

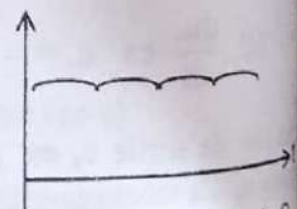
- Dans ce montage, le transformateur A permet de transformer la tension alternative du secteur en une autre tension alternative de même fréquence et de valeur plus faible.
- B est un pont de redressement à diodes. Il permet de redresser la tension alternative obtenue à la sortie du transformateur : on obtient à la sortie du pont une tension périodique de signe constant.
- Le condensateur de filtrage C permet le filtrage de la tension redressée : on obtient aux bornes du condensateur C une tension ondulée positive de valeur moyenne positive.
- Le régulateur intégré de tension R. I. T permet d'obtenir une tension parfaitement continue et stable à partir d'une tension ondulée. Il est souvent équipé d'un radiateur et disposé sur un support isolant.
- Le potentiomètre E permet de varier la tension de sortie à une valeur donnée, réalisant ainsi une alimentation stabilisée variable.



Signal à la sortie de A



Signal à la sortie de B



Signal à la sortie de C

Exercice P12
Un générateur
fréquence $N =$
Le signal $e(t)$ v
Pour $0 \leq t \leq$
Pour $0,5 \text{ ms} \leq t$
1) Déterminer
2) Déterminer
 $0,5 \text{ ms} \leq t \leq 1$
3) Tracer sur
Echelles :
4) Le signal
dérivateur

L'amplificateur
Ses tensions de
a) - Exprimer
- Justifier l
b) Déterminer
pour $0,5 \text{ ms} \leq t$
c) Représente
adoptant les m
d) Quelles son

Exercice P12
Un générateur
l'entrée d'un n

EXERCICES

Exercice P₁₂₋₁

Un générateur basse fréquence (G.B.F) délivre un signal $e(t)$ en dents de scie de fréquence $N = 1000$ Hz.

Le signal $e(t)$ varie entre les valeurs -3 V et $+3$ V.

Pour $0 \leq t \leq 0,5$ ms, le signal $e(t)$ croît linéairement de -3 V à 3 V.

Pour $0,5 \text{ ms} \leq t \leq 1$ ms, le signal $e(t)$ décroît linéairement de 3 V à -3 V.

1) Déterminer la période du signal.

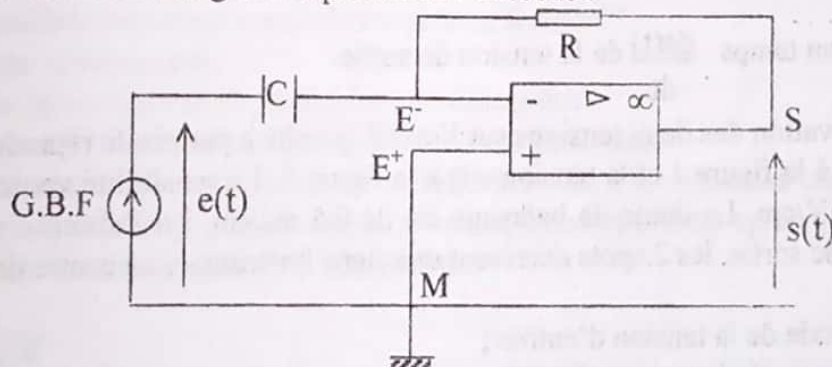
2) Déterminer l'équation du signal $e(t)$ pour $0 \leq t \leq 0,5$ ms puis pour $0,5 \text{ ms} \leq t \leq 1$ ms.

3) Tracer sur un graphique la courbe $e(t)$ pour $0 \leq t \leq 2,5$ ms.

Echelles : en abscisse : 2 cm pour 0,5 ms

en ordonnée : 1 cm pour 1 V

4) Le signal $e(t)$ est injecté à l'entrée d'un circuit électronique dénommé **circuit dérivateur** dont le montage est représenté ci-dessous :



L'amplificateur opérationnel (l'A.O) est parfait et fonctionne en régime linéaire.

Les tensions de saturation sont $V_{\text{sat}} = \pm 13$ V.

1) - Exprimer le signal de sortie $s(t)$ en fonction de R , C et de la dérivée $\frac{de(t)}{dt}$

- Justifier le nom de circuit dérivateur donné à ce montage.

2) Déterminer l'expression numérique du signal de sortie $s(t)$ pour $0 \leq t \leq 0,5$ ms puis pour $0,5 \text{ ms} \leq t \leq 1$ ms ; on donne $R = 1000 \Omega$ et $C = 0,2 \mu\text{F}$.

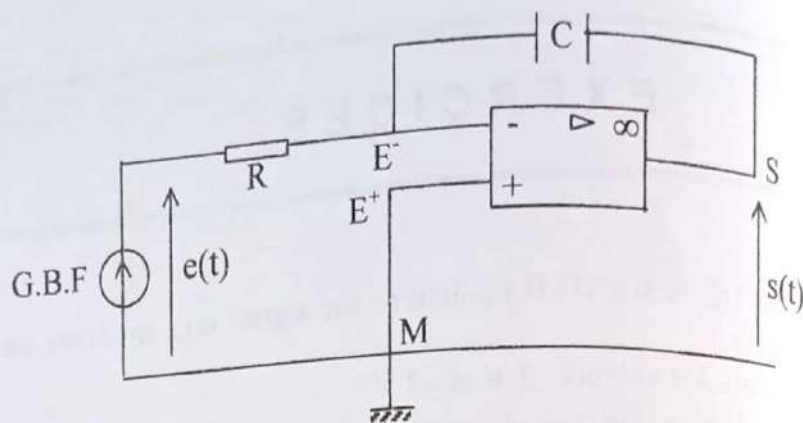
3) Représenter sur le graphique de la question 3) la courbe $s(t)$ pour $0 \leq t \leq 2,5$ ms en adoptant les mêmes échelles.

4) Quelles sont la période, la fréquence et la forme du signal de sortie ?

Exercice P₁₂₋₂

Un générateur basse fréquence délivrant une tension $e(t)$ en créneaux est branché à l'entrée d'un montage intégrateur schématisé ci-après :

Signal à la sortie de C



L'amplificateur opérationnel utilisé est parfait et fonctionne en régime linéaire. Les tensions de saturation sont $V_{sat} = \pm 13 \text{ V}$.

Un oscillographe bicourbe (non représenté sur le schéma) permet de visualiser séparément ou simultanément la tension d'entrée $e(t)$ sur la voie Y_A et la tension de sortie $s(t)$ sur la voie Y_B .

- 1) Reproduire le schéma du montage intégrateur et représenter le mode de branchement de l'oscillographe permettant de visualiser simultanément les tensions $e(t)$ et $s(t)$.
- 2) Exprimer la tension d'entrée $e(t)$ en fonction de R , C et de la dérivée par rapport au temps $\frac{ds(t)}{dt}$ de la tension de sortie.

3) L'observation des deux tensions sur l'oscillographe a permis de reproduire la tension $e(t)$ à la figure 1 et la tension $s(t)$ à la figure 2. La sensibilité verticale utilisée est de 10 mV/cm . La durée de balayage est de $0,5 \text{ ms/cm}$. En l'absence de tension d'entrée et de sortie, les 2 spots décrivent une ligne horizontale au centre de l'écran. Déterminer :

- a) l'amplitude de la tension d'entrée ;
- b) la fréquence de la tension d'entrée ;
- c) l'amplitude de la tension de sortie ;
- d) la fréquence de la tension de sortie.

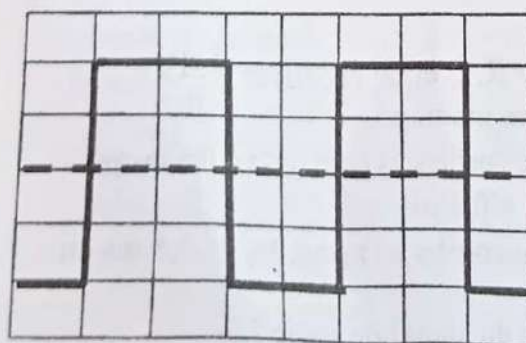


Fig. : 1

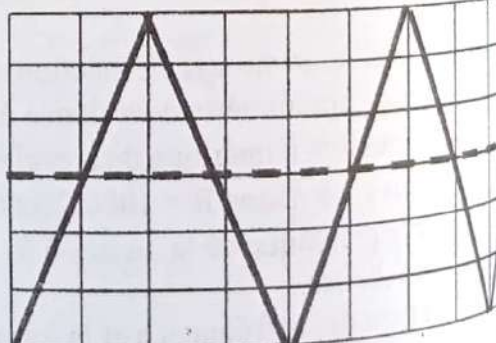
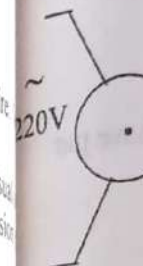


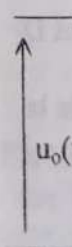
Fig. : 2

Exercice F
Le montage
poste télévis



- 1) Donner
- 2) Quels r
- 3) Quelle
- 4) Les aff
- Les cor
- 5) A la so
- 6) Le com
- 7) Dessin
- A, B, et C.
- brancheme

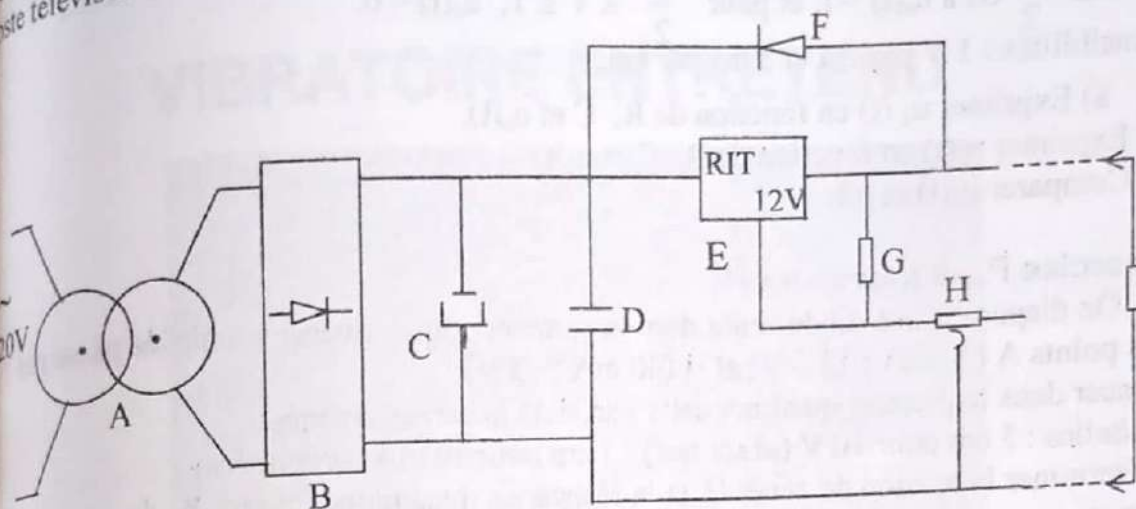
Exercice
Dans le n
considérés



- 1) Nomm
- global.

Exercice P₁₂₋₃

Le montage schématisé ci-dessous représente l'alimentation continue stabilisée d'un poste téléviseur.



Donner les noms des composants : A, B, C, D, E, F, G et H.

Quels rôles jouent dans ce montage les composants A, B, C, E et H ?

Quelle différence y-a-t-il entre les composants C et D ?

Les affirmations suivantes sont-elles vraies ou fausses ?

Les corriger si nécessaire.

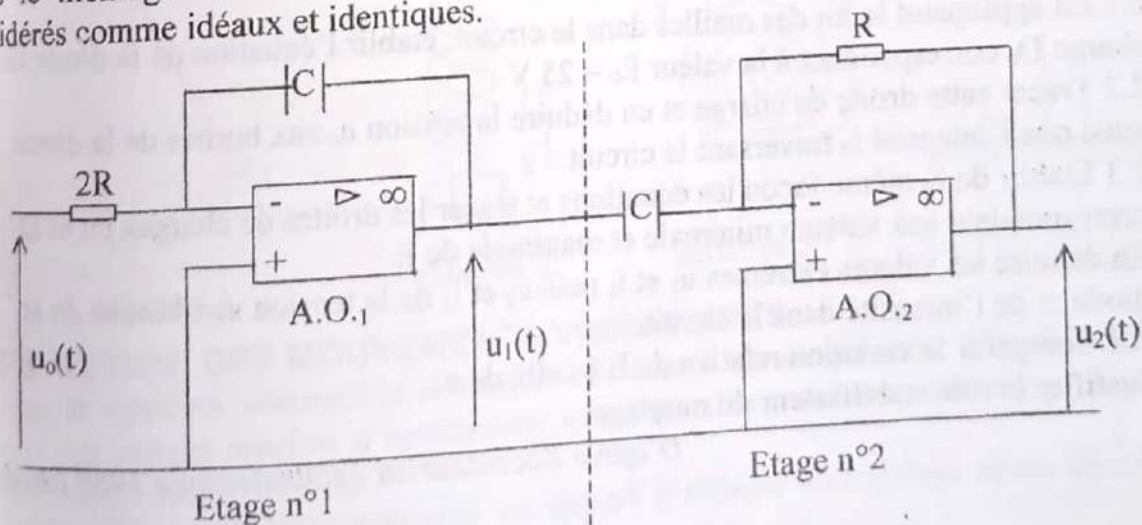
A la sortie du composant A, la tension est alternative.

Le composant F laisse passer le courant dans les deux sens.

Dessiner la courbe observée à l'oscilloscope branché à la sortie des composants A, B, et C. On supposera que les composants situés immédiatement après les points de branchement de l'oscilloscope sont débranchés.

Exercice P₁₂₋₄

Dans le montage ci-dessous, les amplificateurs opérationnels AO₁ et AO₂ sont considérés comme idéaux et identiques.



1) Nommer le montage de l'étage n°1, le montage de l'étage n°2 et le montage global.

2) Le signal de tension $u_0(t)$ est un signal carré d'amplitude $E = 2 \text{ V}$ et de fréquence $N = 125 \text{ Hz}$.

Donner l'allure de ce signal sur un écran d'oscilloscope sachant que pour $0 \leq t \leq \frac{T}{2}$ on a $u_0(t) = E$ et pour $\frac{T}{2} \leq t \leq T$, $u_0(t) = 0$.

Sensibilités : 1 V par cm et 2 ms par cm.

- 3) a) Exprimer $u_1(t)$ en fonction de R , C et $u_0(t)$.
b) Exprimer $u_2(t)$ en fonction de R , C et $u_1(t)$.
c) Comparer $u_2(t)$ et $u_0(t)$.

Exercice P₁₂₋₅ (Non corrigé)

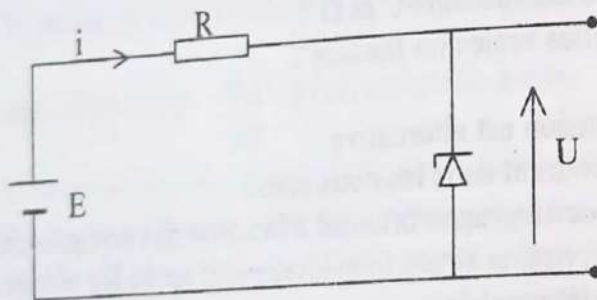
1) On dispose d'une diode zéner dont la caractéristique inverse simplifiée passe par les points A (20 mA ; 12,5 V) et B (40 mA ; 13 V).

Tracer dans le premier quadrant cette partie de la caractéristique

Echelles : 5 cm pour 10 V (abscisses) ; 5 cm pour 10 mA (ordonnées).

Déterminer la tension de zéner U_z et la résistance dynamique inverse R_d de cette diode zéner.

2) Cette diode zéner est utilisée dans le montage stabilisateur du schéma ci-dessous.



Le générateur, de résistance interne négligeable, fournit une tension E variant lentement autour d'une valeur moyenne $E_0 = 25 \text{ V}$ et avec des écarts $\Delta E = 5 \text{ V}$. La valeur de la résistance est $R = 625 \Omega$.

2.1 En appliquant la loi des mailles dans le circuit, établir l'équation de la droite de charge D_0 correspondant à la valeur $E_0 = 25 \text{ V}$.

2.2 Tracer cette droite de charge et en déduire la tension u_0 aux bornes de la diode ainsi que l'intensité i_0 traversant le circuit.

2.3 Etablir de la même façon les équations et tracer les droites de charges D_1 et D_2 correspondant aux valeurs minimale et maximale de E .

En déduire les valeurs extrêmes u_1 et i_1 puis u_2 et i_2 de la tension aux bornes de la diode et de l'intensité dans le circuit.

2.4 Comparer la variation relative de E à celle de u .

Justifier le rôle stabilisateur du montage.

D'après Baccalauréat Technologique 1988 En

1) DEFINITION

* Un mouvement des intervalles par la lettre T

* Un mouvement s'effectuant

* Exemples

- Le balancier

- Le pendule

- Le ressort

- Le pendule

2) ENTRETIEN

Loi que le

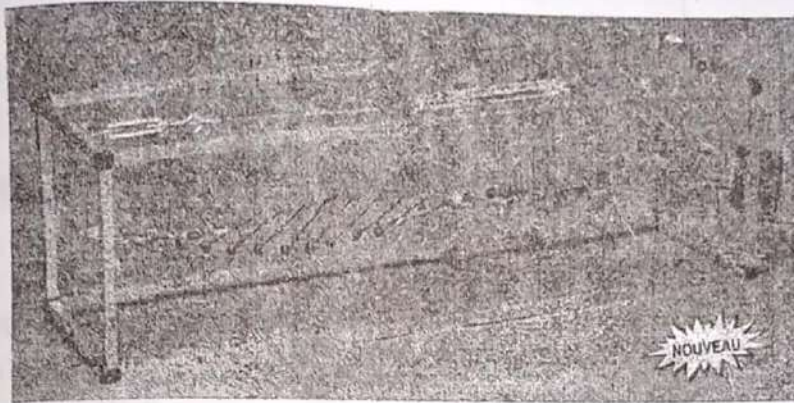
effectue un

amortissement

L'entretien

oscillation

PROPAGATION D'UN PHENOMENE VIBRATOIRE ENTRETENU



1) DEFINITION ET EXEMPLES

- Un mouvement périodique est un mouvement qui se répète identique à lui-même à des intervalles de temps successifs et égaux appelés période. La période est désignée par la lettre T et s'exprime en secondes.
- Un mouvement vibratoire ou oscillatoire est un mouvement périodique rapide s'effectuant de part et d'autre d'une position d'équilibre.
- Exemples de phénomènes vibratoires.
 - Le balancier d'une horloge (voir schéma 1)
 - Le pendule élastique (voir schéma 2)
 - Le ressort spiral d'une montre (voir schéma 3)
 - Le pendule de torsion (voir schéma 4).

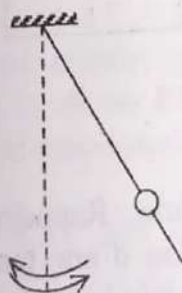


schéma 1

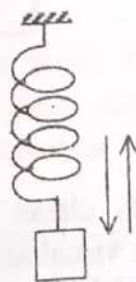


schéma 2



schéma 3

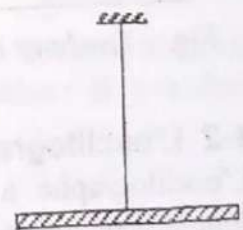


schéma 4

2) ENTRETIEN DES MOUVEMENTS VIBRATOIRES

Lorsque le système susceptible d'osciller est écarté de sa position d'équilibre, il effectue un certain nombre d'oscillations avant de s'immobiliser : on dit qu'il y a amortissement des oscillations.

L'entretien des oscillations nécessite un apport d'énergie au système après chaque oscillation pour compenser les pertes.

3) PERIODE ET FREQUENCE

- La période T d'un mouvement vibratoire est l'intervalle de temps constant au bout duquel le mouvement se reproduit de manière identique. C'est la durée d'une oscillation complète.

- La fréquence N d'un mouvement périodique est le nombre de période par seconde : c'est l'inverse de la période.

$$N = \frac{1}{T} \quad N \text{ en hertz (Hz)}$$

4) MOYENS D'ETUDE DES MOUVEMENTS VIBRATOIRES ENTRETENUS

4-1 Enregistrement graphique : le tambour enregistreur

Le dispositif est constitué d'un tambour, d'un pendule et d'une petite pointe. Le pendule a un mouvement oscillatoire. On fixe une petite pointe à l'extrémité du pendule (voir figure tambour enregistreur).

Le tambour est animé d'un mouvement circulaire uniforme. On enregistre le mouvement du pendule sur une feuille de papier enregistreur enroulée sur le tambour. Sur la feuille déroulée on observe une sinusoïde (voir figure ci-dessous) qui nous renseigne sur la période et l'amplitude du mouvement.

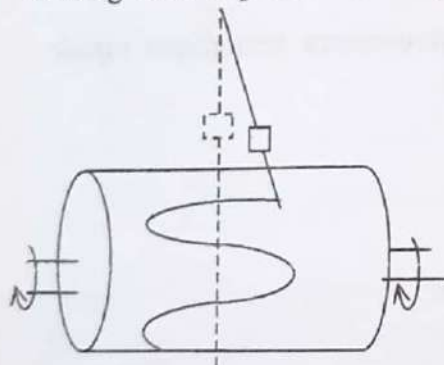
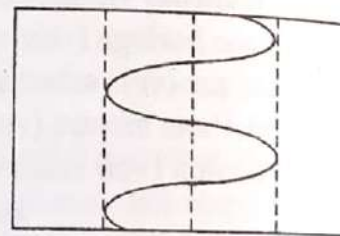


Fig. : Tambour enregistreur



4-2 L'oscillographe électronique

L'oscillographe a été étudié et utilisé en classe de Seconde. Rappelons tout simplement qu'un oscillographe permet de visualiser l'évolution d'une tension au cours du temps et d'en déterminer les caractéristiques (forme, période ou fréquence, tension crête à crête...).

4-3 La stroboscopie

4-3-1 Définition

Un stroboscope est un appareil qui émet des éclairs très brefs à intervalles de temps réguliers. On utilise fréquemment le stroboscope à disque et le stroboscope électronique.

4-3-2 Ex
Le phéno
uniforme,

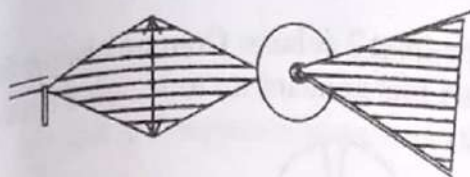
Dis

Le secteur
un tour en
Notons :
éclairs) et

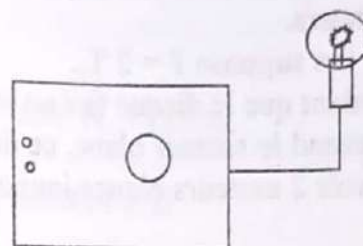
* Premièr
- On su
Entre deu
vu à cha
apparente
- On su
Entre deu
(pendant
immobilit

Pour $T_e =$

- Conséq
strobosco
minimal s
Un strobo
elle est
l'immobi



Stroboscope à disque



Stroboscope électronique

4-3-2 Expérience de stroboscopie

Le phénomène étudié est celui d'un disque D animé d'un mouvement de rotation uniforme, de période T (fréquence N) et portant un secteur blanc sur un fond noir.



Disque immobile



Le disque en mouvement rapide paraît gris foncé

Le secteur blanc n'est visible qu'à l'instant où l'éclair est émis. Le secteur blanc fait un tour en un temps T.

Notons : T_e la période des éclairs du stroboscope (intervalle de temps entre deux éclairs) et N_e la fréquence des éclairs du stroboscope (nombre d'éclairs par seconde).

*** Première observation : immobilité apparente du disque avec un secteur unique.**

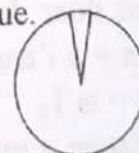
- On suppose $T_e = T$

Entre deux éclairs, le secteur blanc fait exactement un tour. Le secteur blanc est donc vu à chaque fois dans la même position ; il paraît immobile : c'est l'immobilité apparente.

- On suppose $T_e = kT$.

Entre deux éclairs (pendant la durée T_e), le secteur blanc fait k tours complets (pendant la durée kT). Il est alors éclairé dans la même position : il y a donc immobilité apparente du disque avec un secteur unique.

Pour $T_e = kT$ soit $\frac{1}{N_e} = \frac{k}{N}$ ou $N = kN_e$



- Conséquence : $N = kN_e \Rightarrow N_e = \frac{N}{k}$. La plus grande valeur de la fréquence N_e du stroboscope qui donne l'immobilité apparente à un aspect est obtenue lorsque k est minimal soit $k = 1$.

Un stroboscope étalonné permet de mesurer la fréquence d'un mouvement vibratoire : elle est égale à la fréquence des éclairs la plus élevée permettant d'obtenir l'immobilité apparente.

* Deuxième observation : immobilité apparente du disque avec plusieurs secteurs.

- On suppose $T = 2 T_e$.

Pendant que le disque fait un tour, le stroboscope émet 2 éclairs. Comme chaque éclair surprend le secteur blanc, ce dernier sera vu deux fois pendant un tour : on a l'illusion de voir 2 secteurs blancs immobiles équidistants.



- On suppose $T = 3 T_e$ ou $T_e = \frac{T}{3}$

Entre deux éclairs consécutifs, le disque fait un tiers de tour. A cause de la persistance des images rétinienne, l'œil voit trois secteurs immobiles pour un tour du disque.

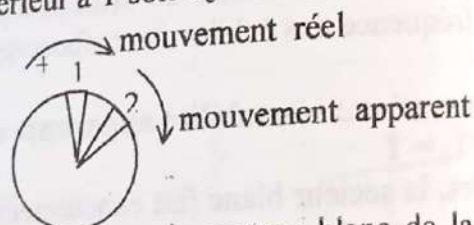


- Généralisation $T = k T_e$ ou $N_e = k N$

Le stroboscope émet k éclairs pendant que le secteur blanc fait un tour. Comme chaque éclair surprend le secteur blanc, ce dernier sera vu k fois pendant un tour : on tendance à voir k secteurs blancs apparemment immobiles et équidistants.

* Troisième observation : mouvement apparent ralenti

- On suppose T_e légèrement supérieur à T soit $T_e = T + \varepsilon$



D'un éclair à l'autre, on observe le passage du secteur blanc de la position 1 à la position 2. Le secteur blanc semble tourner lentement (au ralenti) dans le même sens que celui du mouvement réel à la fréquence apparente N_a .

Comme T_e est légèrement supérieur à T , alors entre deux éclairs, pendant la durée T_e , le disque fait un peu plus d'un tour soit un tour et une fraction de tour.

Le secteur blanc tourne donc de $2\pi + \alpha$ pendant la durée T_e . Si ω est la vitesse de rotation du disque et $2\pi + \alpha$ l'angle balayé alors on a :

$$2\pi + \alpha = \omega T_e \Rightarrow \alpha = \omega T_e - 2\pi \quad (1)$$

Pour un profane, le disque a tourné d'un angle α pendant la durée T_e . Si ω_a est la vitesse angulaire apparente de rotation du secteur blanc, alors :

$$\alpha = \omega_a T_e \quad (2)$$

En égalant (1) et (2) on a : $\alpha = -2\pi + \omega T_e = \omega_a T_e$.

or $\omega_a = \frac{2\pi}{T_a}$ (T_a = période apparente de rotation)

$$\text{et } \omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{d'où} \quad 2\pi = -2\pi \frac{T_e}{T_a} + 2\pi \frac{T_e}{T}$$

soit $1 = T_e$

$N_a = \frac{1}{T_a}$ est

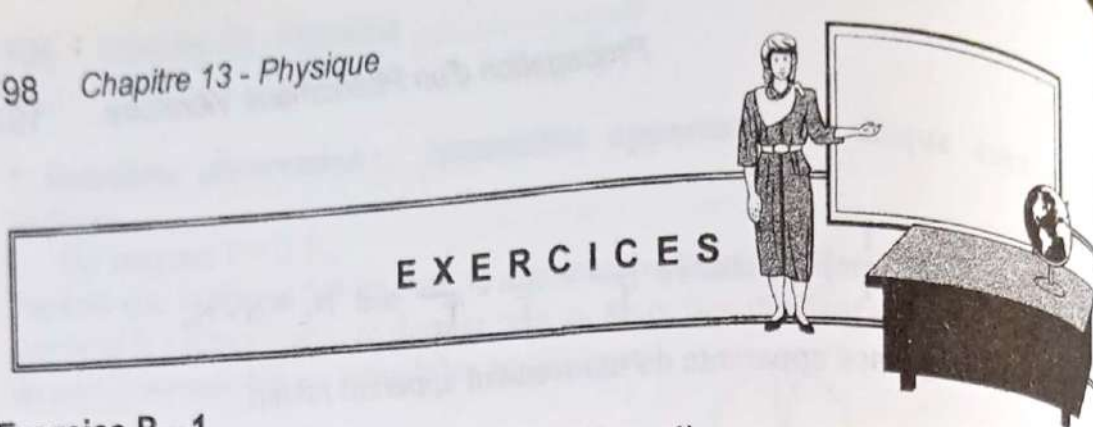
On suppose
On observe
mouvement

soit $1 = T_e \left(-\frac{1}{T_a} + \frac{1}{T} \right)$ ou encore $\frac{1}{T_a} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_e}$ soit $N_a = N - N_e$

$N_a = \frac{1}{T_a}$ est la fréquence apparente du mouvement apparent ralenti.

On suppose T_e légèrement inférieur à T ($T_e = T - \varepsilon$)

On observe un mouvement apparent ralenti dans le sens contraire de celui du mouvement réel à la fréquence apparente $N_a = N_e - N$.

**Exercice P₁₃₋₁**

Un stroboscope à disque est constitué d'un disque opaque percé de p trous régulièrement répartis sur une circonférence. Le disque tourne à raison de n tour par seconde. Il intercepte un faisceau lumineux et un bref éclair se produit chaque fois qu'un trou passe devant la source lumineuse.

- 1) Exprimer la fréquence N_e des éclairs en fonction de p et n .
- 2) Le disque troué qui produit les éclairs a $p = 10$ trous. Avec ce stroboscope on éclaire une lame vibrante. Sachant que la plus grande valeur de n pour laquelle la lame est immobilisée en apparence dans une position où elle est écartée au maximum de sa position d'équilibre est $n = 10$, calculer la fréquence du vibreur.
- 3) Quel est l'aspect de la lame quand n vaut successivement 5 ; 20 ; 9,9 trs/s.
- 4) On règle la vitesse de rotation à $n = 10$ et on utilise ce stroboscope pour éclairer le plateau d'un tourne-disque qui tourne à la vitesse de $33 + 1/3$ tours par minute. En combien de secteurs égaux faut-il diviser le plateau du tourne-disque pour qu'il paraisse immobile quand il est éclairé par le stroboscope.

Exercice P₁₃₋₂

Un disque D, entraîné par un moteur électrique, effectue autour de son axe $x'Ox$ un mouvement de rotation uniforme. Pour déterminer sa vitesse de rotation, on éclaire le disque D par un faisceau lumineux que démasquent successivement les 10 trous d'un disque D', régulièrement répartis sur une circonférence, qui tourne avec une vitesse réglable et connue à tout instant. On constate alors que la plus grande vitesse de D' pour laquelle un secteur noir dessiné sur D paraît unique et immobile, est 10 tours par seconde (on suppose que D' tourne dans le même sens que D).

- 1) Quelle est la vitesse de rotation du disque D (exprimée en radians par seconde) ?
- 2) Quel est l'aspect du disque D lorsque D' tourne à raison de 5, puis 20, puis 9,5 tr/s ?

Exercice P₁₃₋₃

Un disque blanc portant un secteur noir est fixé sur l'arbre d'un moteur dont on veut déterminer la vitesse angulaire de rotation.

Le moteur étant en rotation uniforme, on éclaire le disque avec une lumière stroboscopique. Le secteur noir semble immobile lorsque la fréquence des éclairs est $N_e = 60$ Hz.

- 1) Déterminer les valeurs possibles de la fréquence et de la vitesse angulaire de rotation du disque.
- 2) Lorsqu'on augmente progressivement la valeur de la fréquence des éclairs on observe à nouveau l'immobilité apparente pour $N_e = 120$ Hz, puis on ne l'observe plus. En déduire la valeur de la vitesse angulaire de rotation du disque.

3) Qu'
éclairs
Exerci

x ↑

O

x' ↓

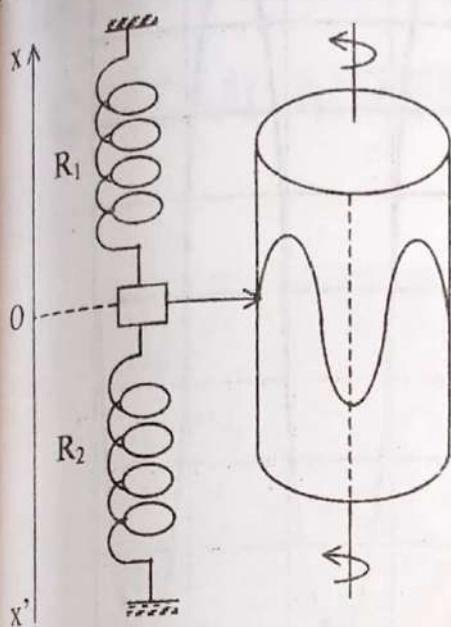
On fixe
feuille
vitesse
L'axe
Sur le
la long
a) Ca
mouve
b) En

Exerc
On br
un hau

En l'a
En pr
obser

3) Qu'observe-t-on sur le disque pour les valeurs suivantes de la fréquence des éclairs : $N_e = 240 \text{ Hz}$; $N_e = 360 \text{ Hz}$; $N_e = 118 \text{ Hz}$.

Exercice P₁₃₋₄



Un solide S de masse $m = 100 \text{ g}$ est placé entre deux ressorts R_1 et R_2 identiques. Les ressorts sont convenablement guidés pour que le mouvement du solide S soit de translation verticale. Lorsque le solide S est en équilibre, les deux ressorts sont tendus. Soit k la raideur de chaque ressort. Le solide S, écarté de sa position d'équilibre puis abandonné se met à osciller.

La période T d'oscillations du solide a pour expression

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}}$$

On fixe un stylet inscripteur sur le solide S et on enregistre son mouvement sur une feuille de papier enregistreur enroulé sur un cylindre de rayon $R = 10 \text{ cm}$ tournant à la vitesse constante de $n = 15$ tours par minute.

L'axe du cylindre est vertical (voir schéma).

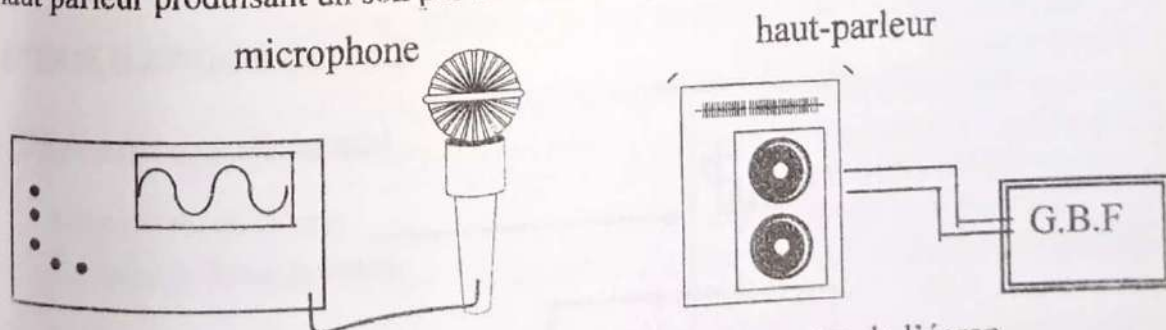
Sur le papier enregistreur déroulé, on constate que 25 oscillations sont représentées sur la longueur $L = 31,4 \text{ cm}$.

a) Calculer à partir des résultats de l'expérience, la période T et la fréquence N du mouvement enregistré.

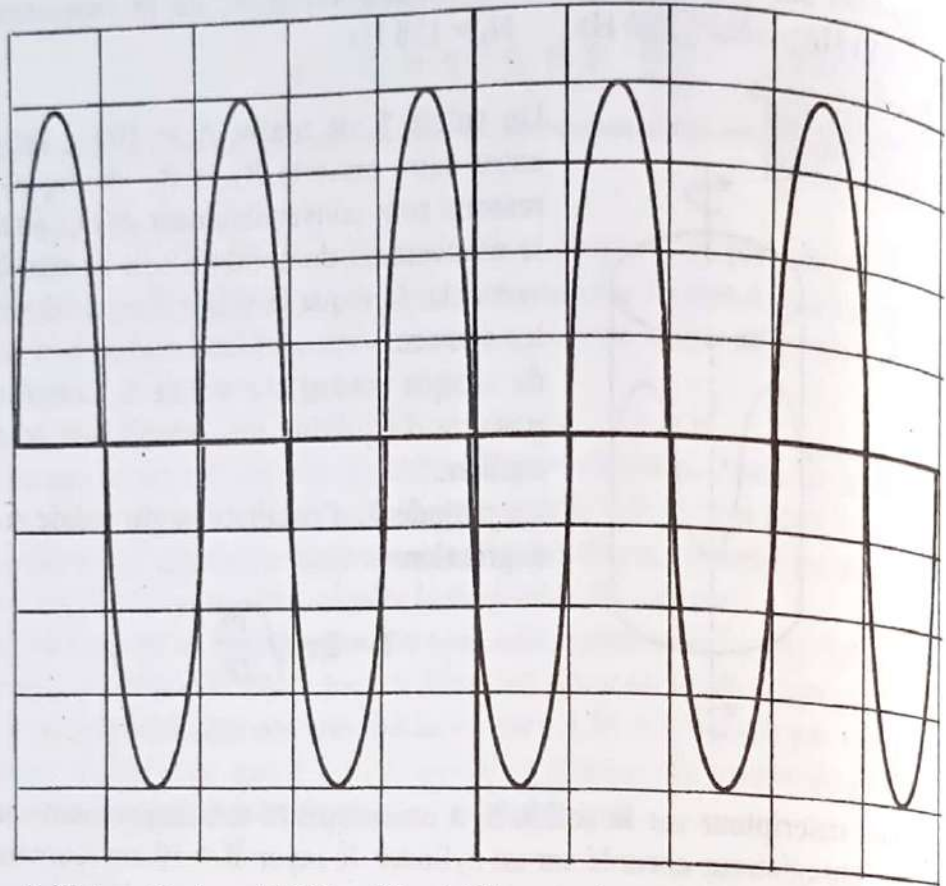
b) En déduire la constante de raideur des ressorts.

Exercice P₁₃₋₅ (Non corrigé)

On branche un microphone aux bornes d'un oscilloscope. On approche du microphone un haut parleur produisant un son pur de basse fréquence (voir schéma).



En l'absence de son, le spot décrit une ligne horizontale au centre de l'écran.
En présence du son pur produit par le haut parleur et capté par le microphone, on observe après les différents réglages la courbe reproduite ci-dessous :

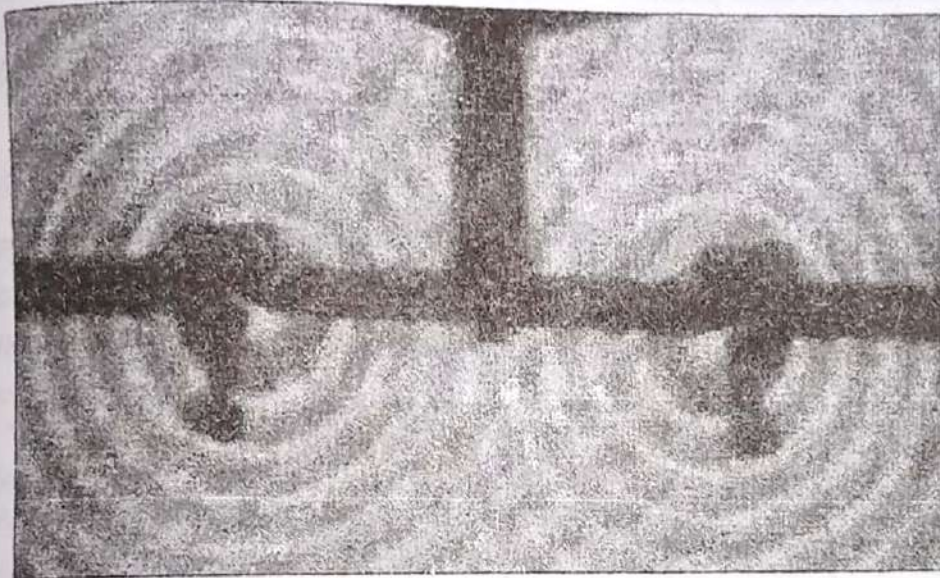


La sensibilité verticale est 1 V/cm (lire 1 V/carreau)

La durée de balayage ou sensibilité horizontale est 5 ms/cm (lire 5 cm/carreau).

- 1) Déterminer la période, la fréquence et l'amplitude du signal observé.
- 2) Quelle valeur de la base de temps (sensibilité horizontale) doit-on choisir pour observer le signal sur deux périodes ?

INTERFERENCES DE DEUX ONDES CIRCULAIRES A LA SURFACE DE L'EAU



1) NOTION D'INTERFERENCE

On appelle interférence, le phénomène résultant de la superposition de deux ondes de même **nature** se propageant dans le **même milieu**.

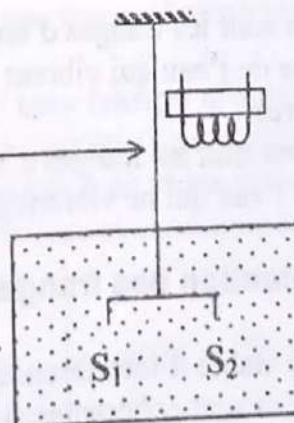
- Il y a interférence constructive lors de la superposition de deux ondes ayant des elongations de même sens.
- Il y a interférence destructive lors de la superposition de deux ondes ayant des elongations opposées (ou de sens contraire).

2) ETUDE EXPERIMENTALE

2-1 Dispositif expérimental

vibreux muni d'une
fourche à deux pointes

cuve à eau



2-2 Phénomène observé

- Le vibreur étant en marche, si la pointe S_1 seule frappe la surface de l'eau, on observe des rides circulaires concentriques qui se propagent à la surface de l'eau.



- Le vibreur étant en marche, si les pointes S_1 et S_2 frappent la surface de l'eau, on observe entre les deux pointes deux types de lignes (ou courbes) immobiles et nettes ayant l'allure (ou la forme) d'arcs d'hyperboles de foyers S_1 et S_2 , les unes, légèrement surélevées et claires alternant avec les autres légèrement plus basses et sombres.

Ces lignes sont appelées les **franges** ou les **lignes d'interférence**.

- L'ensemble des deux types de courbe constitue le système ou la figure d'interférence.
- La zone entre les deux sources où l'on observe le phénomène d'interférence est appelée **champ d'interférence**.

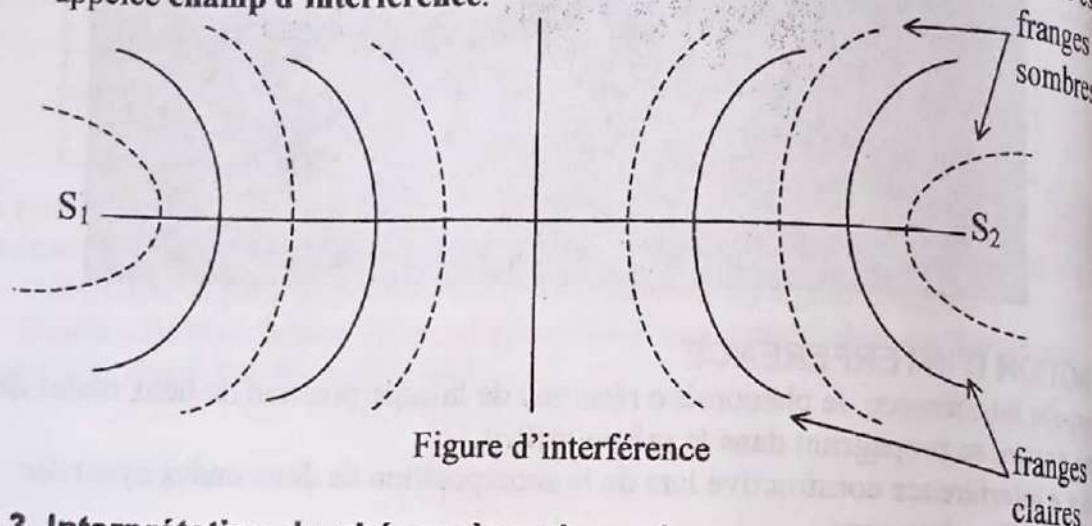


Figure d'interférence

2-3 Interprétation du phénomène observé :

- Le vibreur étant en marche, les pointes S_1 et S_2 constituent deux sources de vibrations sinusoïdales.
- La superposition des vibrations issues de S_1 et S_2 permet d'obtenir des franges d'interférence.
- Les franges claires sont les franges d'amplitude maximale. Elles correspondent à des points de la surface de l'eau qui vibrent avec la plus grande amplitude (autour de leur position d'équilibre).
- Les franges sombres sont les franges d'amplitude nulle. Elles correspondent à des points de la surface de l'eau qui ne vibrent pas. Ils restent constamment au repos.

2-4 Condition d'obtention des franges d'interférence : cohérence des sources

Pour obtenir une figure stable d'interférence, il faut que les sources des ondes soient cohérentes. Deux sources sont cohérentes si elles vibrent à la même fréquence avec un rapport d'amplitude constant au cours du temps.

3) DETERMINER L'INTERFÉRENCE

3-1 Différence

d_1

L'onde issue de

L'onde issue de

L'élongation de

L'application

mouvement ré

Définition

On appelle dif

Δ égale à S_2M

3-2 Position

Les franges de

et S_2 arrivent

Ces points vil

On démontre

une frange d'

parviennent à

On a donc

N.B. : A cha

3-3 Position

Les franges

ondes issues

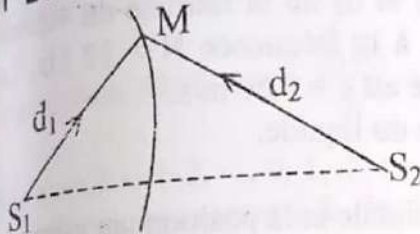
destructive.

Les points c

N.B. : Cha

3) DETERMINATION DE LA POSITION DES FRANGES D'INTERFERENCE

3-1 Différence de marche



C est la célérité de l'onde

Posons : $S_1M = d_1$

$S_2M = d_2$

S_1M et S_2M sont des rayons d'onde.

L'onde issue de S_1 arrive en M avec un retard $\theta_1 = \frac{d_1}{c}$

L'onde issue de S_2 arrive en M avec un retard $\theta_2 = \frac{d_2}{c}$

L'élongation de la vibration résultante en M est la somme algébrique des ondes issues de S_1 et S_2 .

L'application du principe de superposition nous permet de déterminer l'amplitude du mouvement résultant en M.

Définition

On appelle différence de marche entre les deux rayons d'onde S_1M et S_2M la différence Δ égale à $S_2M - S_1M$ ou $S_1M - S_2M$ soit $\Delta = d_2 - d_1$ ou $\Delta = d_1 - d_2$.

3-2 Position des points situés sur une frange d'amplitude maximale

Les franges d'amplitude maximale correspondent aux points où les ondes issues de S_1 et S_2 arrivent en phase : il y a donc interférence constructive.

Ces points vibrent avec une amplitude maximale autour de leur position d'équilibre.

On démontre, en mathématiques, qu'un point M du champ d'interférence est situé sur une frange d'amplitude maximale si la différence de marche entre les deux ondes qui parviennent en M est multiple de la longueur d'onde.

On a donc $\Delta = d_2 - d_1 = k\lambda$ avec $k \in \mathbb{Z}$

N.B. : A chaque valeur de k correspond une frange d'amplitude maximale.

3-3 Position des points situés sur une frange d'amplitude nulle

Les franges d'amplitude nulle (franges sombres) correspondent aux points où les ondes issues de S_1 et S_2 arrivent en opposition de phase pour y créer une interférence destructive. Ces points ne vibrent pas : ils restent constamment au repos.

Les points d'amplitude nulle sont tels que :

$$\Delta = d_2 - d_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \text{avec } k \in \mathbb{Z}$$

N.B. : Chaque valeur de k correspond une frange d'amplitude nulle.

4) EXERCICE RESOLU

Enoncé

A un vibreur, on relie une fourche présentant deux pointes dont les extrémités S_1 et S_2 plongent dans une cuve à ondes. Les deux pointes sont animées du même mouvement vibratoire entretenu. La distance des deux pointes S_1 et S_2 de la fourche du vibreur vaut $d = 11$ cm. Les deux pointes vibrent en phase à la fréquence $N = 12$ Hz. La célérité des ondes se propageant à la surface du liquide est $c = 0,50$ m/s.

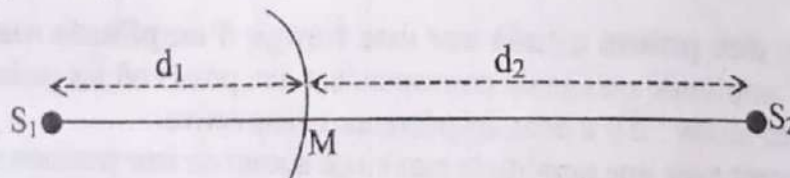
- 1) Calculer la longueur d'onde des ondes à la surface du liquide.
- 2) Montrer que le nombre de franges est limité.
- 3) Déterminer le nombre de franges d'amplitude maximale et la position par rapport à S_2 de ces franges sur le segment S_1S_2 .
- 4) Déterminer le nombre de franges d'amplitude nulle et la position par rapport à S_2 des points d'intersection de ces franges avec le segment S_1S_2 .
- 5) Quelle est la nature de la frange centrale ?
- 6) Faire une représentation grossière des franges d'amplitude maximale (en traits pleins) et des franges d'amplitude nulle (en traits pointillés).

Résolution

1) Longueur d'onde : $\lambda = CT = \frac{c}{N} = 4,17 \cdot 10^{-2}$ m.

2) Montrons que le nombre de franges est limité.

Les deux points S_1 et S_2 ne peuvent être le siège ni d'une frange d'amplitude maximale, ni d'une frange d'amplitude nulle. En considérant le point d'intersection d'une frange quelconque avec le segment S_1S_2 , on a :



Sur S_1S_2 , $0 < d_1 < S_1S_2$ d'où $-S_1S_2 < -d_1 < 0$ (1)

Sur S_1S_2 $0 < d_2 < S_1S_2$ (2)

En sommant (1) et (2) on a : $-S_1S_2 < d_2 - d_1 < S_1S_2$ (3)

- Pour les franges d'amplitude maximale $d_2 - d_1 = k\lambda$

donc $-S_1S_2 < k\lambda < S_1S_2$ d'où $-\frac{S_1S_2}{\lambda} < k < \frac{S_1S_2}{\lambda}$ (4)

Cette expression nous permet de dire que le nombre de valeur entières de k est limité, par conséquent le nombre de franges d'amplitude maximale est limité.

- Pour les franges d'amplitude nulle on a $d_2 - d_1 = (k + \frac{1}{2})\lambda$

donc $-S_1S_2 < (k + \frac{1}{2})\lambda < S_1S_2$ d'où $-\frac{S_1S_2}{\lambda} - \frac{1}{2} < k < \frac{S_1S_2}{\lambda} - \frac{1}{2}$ (5)

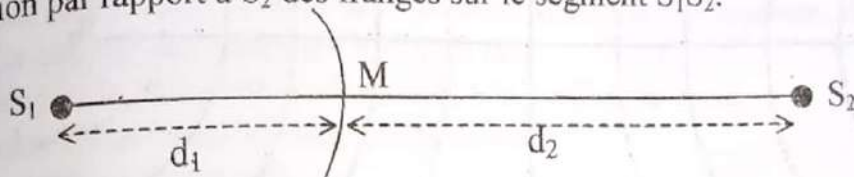
A chaque valeur de k correspond une frange d'amplitude nulle. Or le nombre de valeurs entières de k est limité ; par conséquent le nombre de franges d'amplitude nulle est limité.

3) Nombre de franges d'amplitude maximale

L'expression (4) donne - $\frac{S_1 S_2}{\lambda} < k < \frac{S_1 S_2}{\lambda}$ soit $-2,6 < k < 2,6$.

On a alors $k \in \{-2, -1, 0, 1, 2\}$ ce qui correspond à 5 franges d'amplitude maximale.

Position par rapport à S_2 des franges sur le segment $S_1 S_2$.



Le point M situé sur le segment $S_1 S_2$ est tel que : $d_2 + d_1 = S_1 S_2$ (6)

Le point M, appartenant à une frange d'amplitude maximale,

on a : $d_2 - d_1 = k\lambda$

En additionnant membre à membre (6) et (7)

$$\text{on a : } 2d_2 = S_1 S_2 + k\lambda \text{ soit } d_2 = \frac{S_1 S_2 + k\lambda}{2} = 20,8k + \frac{110}{2} \text{ (mm)}$$

Les valeurs de k étant déterminées, on a :

k	-2	-1	0	1	2
d_2 en mm	13,4	34,2	55	75,8	96,6

4) - Nombre de franges d'amplitude nulle.

L'expression (5) donne - $\frac{S_1 S_2}{\lambda} - \frac{1}{2} < k < \frac{S_1 S_2}{\lambda} - \frac{1}{2}$ soit $-3,1 < k < 2,1$.

Les valeurs de k sont : -3, -2, -1, 0, 1, 2 ; ce qui correspond à 6 franges d'amplitude nulle.

- Position par rapport à S_2 des franges sur le segment $S_1 S_2$.

Le point M situé sur le segment $S_1 S_2$ est tel que : $d_2 + d_1 = S_1 S_2$ (6)

Le point M appartenant à une frange d'amplitude maximale,

on a : $d_2 - d_1 = (k + \frac{1}{2})\lambda$

En sommant membre à membre (6) et (8), on obtient :

$$2d_2 = S_1 S_2 + (k + \frac{1}{2})\lambda \text{ soit } d_2 = \frac{S_1 S_2}{2} + (k + \frac{1}{2}) \frac{\lambda}{2} = 20,8k + 65,4 \text{ (mm)}$$

Les valeurs de k étant connues, on a :

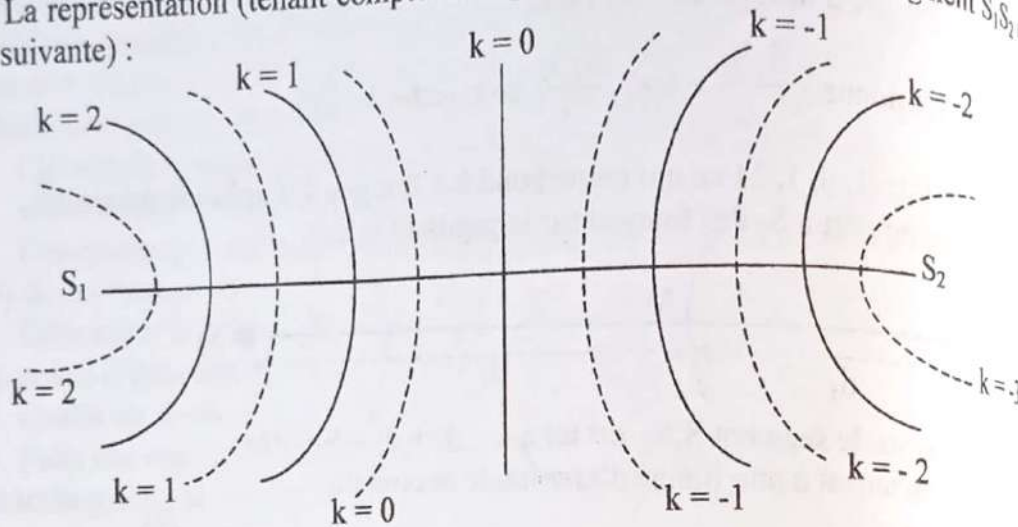
k	-3	-2	-1	0	1	2
d_2 en mm	3,0	23,8	44,6	65,4	86,2	107,0

5) Nature de la frange centrale

Pour la frange centrale $d_2 = d_1$ soit $\Delta = d_2 - d_1 = 0 = k\lambda$ avec $k = 0$.

La frange centrale est une frange d'amplitude maximale.

6) La représentation (tenant compte de la position des franges sur le segment S_1S_2 la suivante) :



Exercice

Un vibr
animées
en S_1 et
 S_1 et S_2
 2.10^{-3} m

1) a) E

b) Déter

- M_1 (d

- M_2 (d

- M_3 sit

c) Déter

le point

2) La j

abscisse

S_1S_2 .

a) Eta

segmen

Montre

b) Rép

constan

Exerci

On réal

indéper

vibrent

On don

1) Dé

maxim

2) Pré

3) De

Le

Détern

EXERCICES

Exercice P₁₄₋₁

Un vibreur est muni d'un double stylet dont les pointes P_1 et P_2 distantes de $3,8 \cdot 10^{-2}$ m, animées d'un mouvement sinusoïdal de fréquence $N = 50$ Hz frappent verticalement en S_1 et S_2 la surface d'une nappe d'eau initialement au repos.

S_1 et S_2 sont considérées comme deux sources synchrones, en phase, d'amplitude $a = 2 \cdot 10^{-3}$ m. La célérité des ondes est $V = 0,60$ m/s.

1) a) Expliquer le phénomène observable à la surface de l'eau.

b) Déterminer l'état vibratoire des points suivants :

- M_1 ($d_1 = 3$ cm ; $d_2 = 6$ cm)

- M_2 ($d_1 = 4$ cm ; $d_2 = 5,4$ cm)

- M_3 situé sur la médiatrice du segment S_1S_2 .

c) Déterminer la position du point d'intersection M' de la frange sur laquelle se trouve le point M_1 avec le segment S_1S_2 .

2) La position d'un point M quelconque sur le segment S_1S_2 est définie par son abscisse x , la droite S_1S_2 étant orientée de S_2 vers S_1 , l'origine O étant le milieu de S_1S_2 .

a) Etablir la relation entre la longueur d'onde λ et les abscisses des points du segment S_1S_2 pour lesquels l'amplitude de la vibration résultante est maximale. Montrer que ces points sont équidistants. Préciser leur nombre.

b) Répondre aux mêmes questions pour les points du segment S_1S_2 restant constamment immobiles.

Exercice P₁₄₋₂

On réalise des interférences à la surface d'un liquide à partir de deux sources S_1 et S_2 indépendantes, de même fréquence N et de même amplitude a . Les deux sources vibrent en phase.

On donne : $N = 60$ Hz ; $a = 2$ mm ; $c = 0,36$ m/s ; $S_1S_2 = 6$ cm.

1) Déterminer sur la droite des sources S_1S_2 le nombre de points en état de vibration maximale et calculer leur position par rapport à O , milieu de S_1S_2 .

2) Préciser l'état vibratoire des points suivants :

$$M_1 \begin{cases} d_1 = 12,5 \text{ cm} \\ d_2 = 15,2 \text{ cm} \end{cases}$$

$$M_3 \begin{cases} d_1 = 13,4 \text{ cm} \\ d_2 = 16,1 \text{ cm} \end{cases}$$

$$M_2 \begin{cases} d_1 = 7 \text{ cm} \\ d_2 = 3,4 \text{ cm} \end{cases}$$

$$M_4 \begin{cases} d_1 = 10,1 \text{ cm} \\ d_2 = 13,2 \text{ cm} \end{cases}$$

3) Deux des quatre points précédents appartiennent à la même frange d'interférence. Lesquels ?

Déterminer l'intersection de cette frange avec le segment S_1S_2 .

Exercice P₁₄₋₃

On considère les interférences des vibrations transversales sinusoïdales produites à la surface d'un bain de mercure par deux sources synchrones identiques S_1 et S_2 portées par un vibreur à deux pointes. Les deux pointes vibrent à la fréquence de 100 Hz, avec une amplitude $y_m = 2$ mm.

À la date $t = 0$ les pointes passent par la position d'équilibre en allant dans le sens positif des elongations. On s'intéresse aux interférences des deux ondes pour les points appartenant au segment S_1S_2 .

Soit O le milieu du segment S_1S_2 de longueur $2l = 3,8$ cm. Il sera pris comme origine des abscisses. Un point M est déterminé par son abscisse $x = \overline{OM}$. L'axe $x'x$ est orienté positivement vers S_1 .

- 1) Déterminer, sur le segment S_1S_2 , l'expression permettant de calculer les abscisses
 - Des points M en état de vibration maximale.
 - Des points M constamment immobiles.

- 2) On prend un point M sur la $n^{\text{ème}}$ frange comptée à partir du milieu O du segment S_1S_2 et on mesure ses distances à S_1 et S_2 :

on trouve $MS_2 - MS_1 = 12$ mm.

Procédant de même avec un point M' pris sur la $n + 3^{\text{ème}}$ frange de même nature et de même côté de O , on trouve $M'S_1 - M'S_2 = 36$ mm.

- a) Calculer la longueur d'onde et la vitesse de propagation du mouvement vibratoire à la surface du mercure.

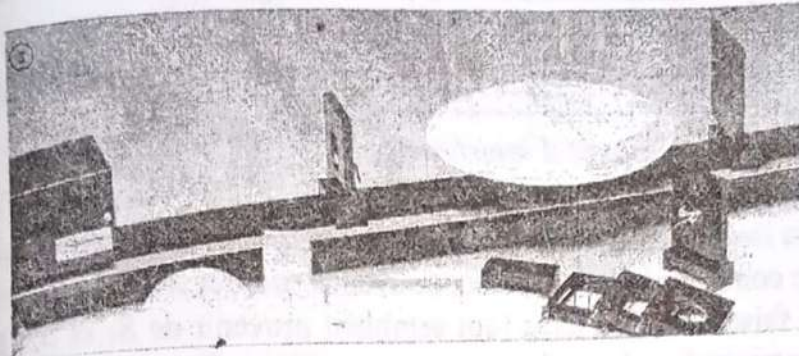
- b) Préciser la nature et le rang de la $n^{\text{ème}}$ frange envisagée.

- 3) Déterminer l'état vibratoire des deux points suivants situés entre S_1 et S_2 : A situé à 11 mm de S_1 et B situé à 17 mm de S_1 .

- 4) La distance $2l$ entre les deux sources est égale à 3,8 cm.

- Combien y-a-t-il de nœuds et de ventres sur le segment S_1S_2 .
- En déduire la position de ces nœuds et les représenter par des points sur le segment S_1S_2 à l'échelle de 1 cm pour 2 mm.

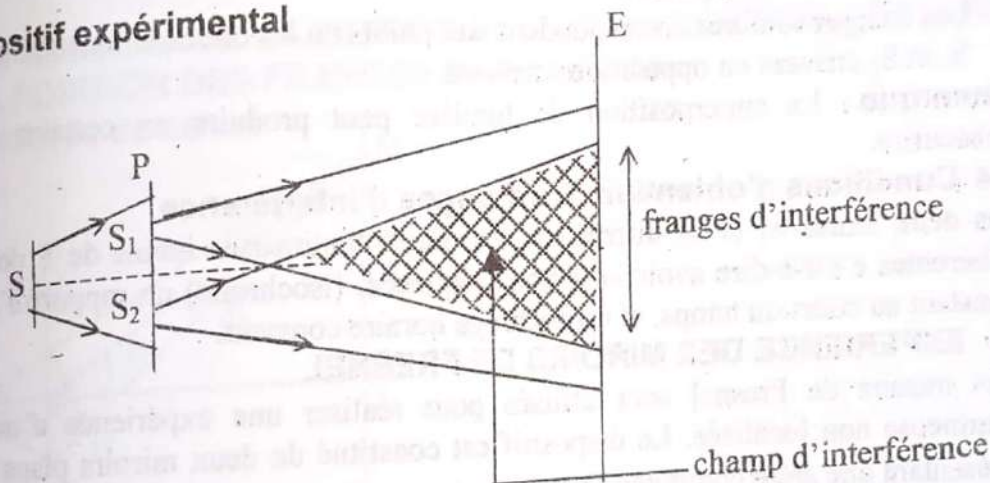
INTERFERENCES LUMINEUSES



EXPERIENCE DES FENTES D'YOUNG

Young, physicien anglais est le réalisateur de la 1^{ère} expérience d'interférence lumineuse au début du XIX^{ème} siècle.

1-1 Dispositif expérimental



E est l'écran d'observation.

P est un écran percé de deux fentes fines parallèles S_1 et S_2 .

S est la source de lumière.

La lumière issue de S est diffractée par S_1 et S_2 .

1-2 Observation en lumière monochromatique

On observe sur l'écran E une série de raies alternativement brillantes (claires) et sombres (obscur).

presque parallèles entre elles ;

parallèles aux fentes ;

équidistantes (à égale distance les unes des autres) ;

ayant pratiquement la même largeur ;

symétriques par rapport à la frange centrale brillante.

Ces raies sont appelées des franges d'interférence.

Ces franges sont observables quelle que soit la position de l'écran E dans le champ d'interférence (partie commune) : on dit que les franges sont **non localisées** :

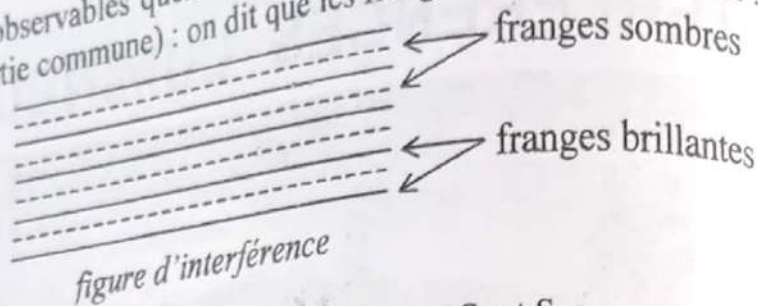


figure d'interférence

1-3 Interprétation

- La lumière issue de S est diffractée au passage par S_1 et S_2 .
- S_1 et S_2 se comportent comme deux nouvelles sources identiques de lumière.
- Les deux faisceaux diffractés (qui semblent provenir de S_1 et S_2) présentent une partie commune dans laquelle il y a superposition.
- La partie commune dans laquelle les ondes issues de S_1 et S_2 interfèrent est appelée champ d'interférence.
- Les franges brillantes correspondent aux points où les ondes lumineuses issues de S_1 et S_2 arrivent en phase.
- Les franges sombres correspondent aux points où les ondes lumineuses issues de S_1 et S_2 arrivent en opposition de phase.

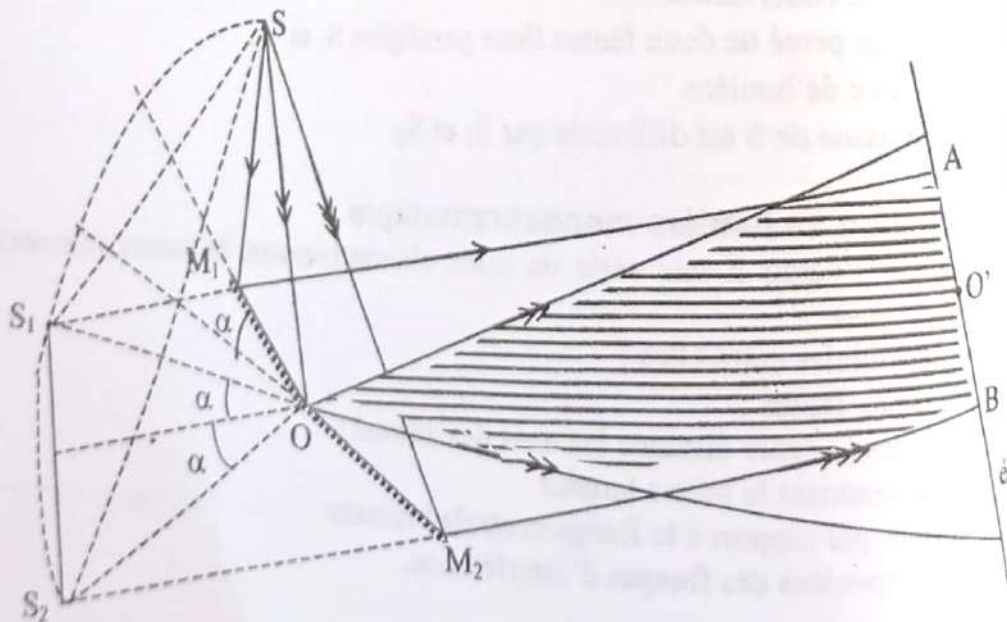
Remarque : La superposition de lumière peut produire en certains points l'obscurité.

1-4 Conditions d'obtention des franges d'interférence

Les deux fentes S_1 et S_2 diffractant les ondes lumineuses issues de S doivent être cohérentes c'est-à-dire avoir la même fréquence, (isochrone) un rapport d'amplitude constant au cours du temps, et un décalage horaire constant.

2) EXPERIENCE DES MIROIRS DE FRESNEL

Les miroirs de Fresnel sont utilisés pour réaliser une expérience d'interférence lumineuse non localisée. Le dispositif est constitué de deux miroirs plans M_1 et M_2 présentant une arête commune O et faisant entre eux un angle $(\pi - \alpha)$ avec α très petit. Les miroirs sont éclairés par une fente source S parallèle à l'arête O.

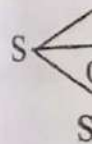


Les deux
constituan
faisceaux
faisceaux
Les rayon
partie com

Calcul de
Posons : C
On a : a =
Or α est tr

Calcul de
 $KO' = KC$
L'angle α
d'où D

3) EXPI
LA P
1^{ère} méti



Soit le co
L'angle
pratique
 $\Delta = d_2 -$

En consi

En cons

Or α fai

Les deux miroirs donnent de la source S deux images S_1 et S_2 synchrones. S_1 et S_2 constituant deux sources identiques et cohérentes vibrant en phase. Aux deux faisceaux incidents arrivant de la source S, les deux miroirs font correspondre deux faisceaux réfléchis présentant une partie commune appelée champ d'interférence. Les rayons lumineux réfléchis, qui semblent provenir de S_1 et S_2 interfèrent dans la partie commune.

Calcul de la distance $a = S_1S_2$

Posons : $OO' = d$; $KO' = D$; $S_1S_2 = a$; $SO = S_1O = S_2O = l$

On a : $a = S_1S_2 = 2S_1K$ avec $S_1K = S_1O \sin \alpha = l \sin \alpha$

Or α est très faible, donc $\sin \alpha \approx \alpha$ d'où $a = S_1S_2 = 2l\alpha$.

Calcul de la distance $D = KO'$

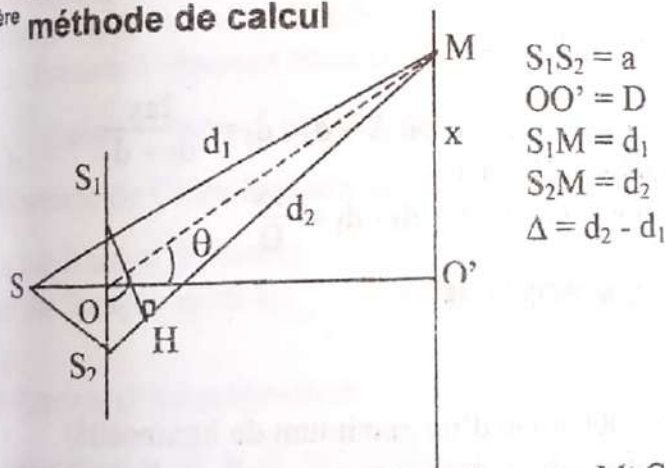
$KO' = KO + OO' = l \cos \alpha + d$

L'angle α très petit est tel que $\cos \alpha \approx 1$

d'où $D = KO' = l + d$.

3) EXPRESSION DE LA DIFFERENCE DE MARCHE EN FONCTION DE LA POSITION DES FRANGES SUR L'ECRAN

1^{ère} méthode de calcul



Soit le cercle de rayon $S_1M = d_1$ et de centre M. Ce cercle coupe S_2M en H.

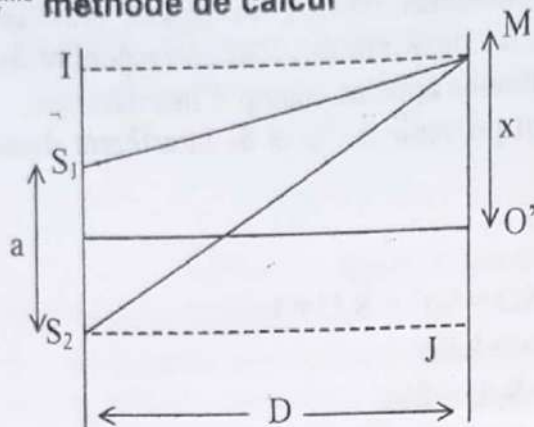
L'angle θ étant très faible, l'arc $\widehat{S_1H}$ est assimilé à une droite S_1H ; en H on a pratiquement un angle droit.

$\Delta = d_2 - d_1 = S_2M - S_1M = (S_2H + HM) - S_1M = S_2H$ car $HM = S_1M$.

En considérant le triangle $OO'M$ on a : $\tan \alpha = \frac{x}{D}$

En considérant le triangle S_1HS_2 on a : $\sin \alpha = \frac{S_2H}{S_1S_2} = \frac{\Delta}{a}$

Or α faible, donc $\sin \alpha \approx \alpha$ d'où : $\frac{\Delta}{a} = \frac{x}{D}$ soit $\Delta = d_2 - d_1 = \frac{ax}{D}$

2^{ème} méthode de calcul

$$O'M = x$$

$$S_1I = OI - OS_1 = O'M - OS_1$$

$$= x - \frac{a}{2}$$

$$S_2I = JM = JO' + O'M$$

$$= \frac{a}{2} + x$$

En considérant le triangle S_1MI rectangle en I , on a :

$$S_1M^2 = IM^2 + IS_1^2 = D^2 + \left(x - \frac{a}{2}\right)^2.$$

En considérant le triangle S_2MJ rectangle en J , on a :

$$S_2M^2 = S_2J^2 + JM^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2$$

$$S_2M^2 - S_1M^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 - D^2 - \left(x - \frac{a}{2}\right)^2 = 2ax$$

$$S_2M^2 - S_1M^2 = d_2^2 - d_1^2 = (d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = 2ax \quad \text{d'où } \Delta = d_2 - d_1 = \frac{2ax}{d_2 + d_1}$$

a et x étant des distances très faibles devant D , on a :

$$S_2M + S_1M = d_2 + d_1 \approx 2OO' = 2D. \text{ Il vient alors } \Delta = d_2 - d_1 = \frac{ax}{D}$$

4) ETAT D'INTERFERENCE EN UN POINT M

4-1 Les franges brillantes

Condition de vibration maximum (obtention d'un maximum de luminosité)

Les franges claires sont les points où les deux ondes issues de S_1 et S_2 arrivent en phase : l'amplitude est maximale ; $d_2 - d_1 = n\lambda$

Abscisses des milieux des franges brillantes

$$\Delta = d_2 - d_1 = n\lambda = \frac{ax_n}{D} \Rightarrow x_n = \frac{n\lambda D}{a}$$

Pour $n = 0$, $x = 0$ $\Delta = 0$: on a la frange centrale brillante.

Distance entre les milieux de deux franges brillantes consécutives

$$x_n - x_{n-1} = \frac{n\lambda D}{a} - (n-1) \frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda D}{a}$$

4-2 Les franges sombres

Condition d'obtention des franges sombres

Les franges sombres correspondent au point où les deux ondes issues de S_1 et S_2 arrivent en opposition de phase : l'amplitude est nulle.

$$d_2 - d_1 = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} = (n + \frac{1}{2}) \lambda$$

Abscisses des milieux des franges sombres

$$\Delta = d_2 - d_1 = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} = \frac{ax_n}{D} \Rightarrow x_n = (2n + 1) \frac{\lambda D}{2a} = (n + \frac{1}{2}) \frac{\lambda D}{a}$$

Distance entre les milieux de deux franges sombres consécutives

$$x_n - x_{n-1} = (n + \frac{1}{2}) \frac{\lambda D}{a} - (n - 1 + \frac{1}{2}) \frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda D}{a}$$

4-3 Calcul d'interfrange

De ce qui précède, il ressort que la distance entre les milieux de deux franges brillantes est la même que celle qui sépare deux franges obscures consécutives. Cette distance i séparant deux franges de même nature est appelée interfrange.

$$i = \frac{\lambda D}{a} \text{ (relation entre 3 grandeurs)}$$

En fonction de l'interfrange i on a :

Pour les franges brillantes

$$x_n = ni$$

Pour les franges sombres

$$x_n = (2n + 1) \frac{i}{2} = (n + \frac{1}{2}) i$$

4-4 Ordre d'interférence

Le rapport $p = \frac{\Delta}{\lambda} = \frac{x}{i}$ est appelé ordre d'interférence.

$\overline{i_1}$

sité)
arrivent en

EXERCICES

Exercice P₁₅₋₁

On réalise une expérience d'interférences lumineuses avec le dispositif des fentes d'Young. La lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$ émane d'une fente fine F tombe sur un écran E percé de deux fentes étroites F_1 et F_2 parallèles à F , équidistantes de F et séparées par une distance de $0,5 \text{ mm}$.

- 1) Faire un schéma du dispositif.
 - 2) Qu'observe-t-on sur un écran E' parallèle à E , et placé à une distance de 1 m ?
 - 3) Etablir la relation qui donne la différence de marche des vibrations lumineuses issues de F_1 et arrivant à un point M de l'écran.
 - 4) Quelle est la distance qui sépare les centres de deux franges obscures consécutives ? Comment appelle-t-on cette distance ?
 - 5) Calculer la distance qui sépare le milieu de la 3^{ème} frange brillante du milieu de la 15^{ème} frange brillante. Calculer la distance qui sépare le milieu de la frange centrale au milieu de la 11^{ème} frange obscure.
 - 6) On immerge le dispositif dans l'eau d'indice $4/3$. Que devient l'interfrange ?
 - 7) On sort le dispositif de l'eau et on place derrière F_2 une lame à faces parallèles d'épaisseur $0,05 \text{ mm}$ et d'indice $1,5$ pour la longueur d'onde considérée. Quelle est la nouvelle position de la frange centrale ?
 - 8) On enlève la lame. On déplace F de 1 mm parallèlement à F_1F_2 . De combien et dans quel sens se déplace la frange centrale ? La distance $d = FE = 20 \text{ cm}$.
 - 9) On ramène la fente F à sa position initiale et on l'éclaire par une lumière complexe constituée par deux radiations de longueurs d'onde $0,75 \mu\text{m}$ et $0,55 \mu\text{m}$. Décrire l'aspect du champ d'interférence. Déterminer la plus petite distance par rapport à O des milieux des franges brillantes correspondant aux deux radiations coïncident. Où est la position de la frange centrale sur E' ?
 - 10) On remplace la source précédente par une source de lumière blanche. Qu'observe-t-on sur l'écran E' ?
- On place la fente d'un spectroscope, parallèle à la frange centrale à 8 mm de celle-ci dans le plan de E' .
- Qu'observe-t-on dans le spectroscope ? Combien compte-t-on de cannelures sombres dans le spectre ? Calculer la fréquence de la radiation éteinte ayant la plus grande longueur d'onde.
- Limites du spectre visible ; $0,40 \mu\text{m}$ à $0,76 \mu\text{m}$.
- Célérité de la lumière $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Exercice P₁₅₋₂

Une source S de lumière monochromatique, de longueur d'onde λ éclaire deux fentes fines S_1 et S_2 parallèles et distantes l'une de l'autre de 1 mm . La source S est disposée

la médiatrice du segment $S_1 S_2$ et à la distance $d = 40$ cm du plan E des fentes S_1 et S_2 . Un écran E' est placé derrière E et à la distance $D = 2$ m de celui-ci. Soit I le milieu de $S_1 S_2$ et O le projeté orthogonal de I sur E' .

a) Qu'observe-t-on sur l'écran E' ?

La distance qui sépare le milieu de la frange brillante centrale (numérotée zéro) et le milieu de la 8^{ème} frange brillante est $l = 9,6$ mm. En déduire la longueur d'onde λ de la radiation utilisée.

On déplace la source S parallèlement à S_1 et S_2 vers le haut, du côté de S_1 , d'une distance de 2 mm.

De combien et dans quel sens se déplace la frange centrale ?

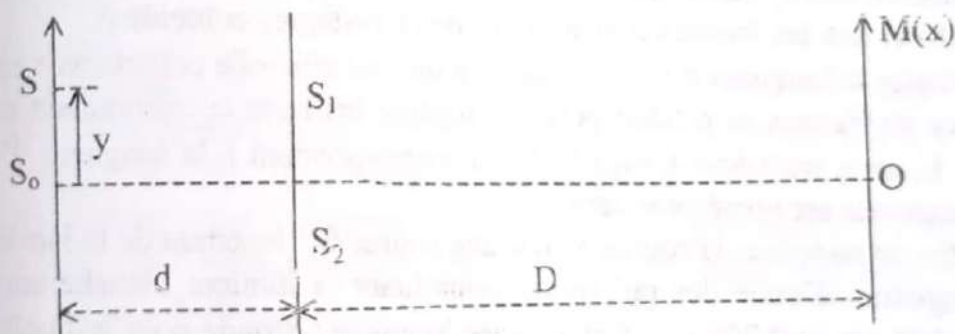
Tout en maintenant la source S dans la nouvelle position, on veut ramener la frange centrale dans sa position initiale. A cet effet, on place devant l'une des fentes une lame à faces parallèles, d'épaisseur e et d'indice n .

Devant quelle fente faut-il placer la lame ?

Calculer l'épaisseur de la lame sachant que $n = 1,5$.

Exercice P₁₅-3

Une source ponctuelle monochromatique S éclaire dans l'air deux fentes fines S_1 et S_2 parallèles, distantes l'une de l'autre de $a = 3$ mm. La source S est en S_0 sur la médiatrice au plan de S_1 et S_2 à égale distance de S_1 et S_2 . Sa distance au plan de S_1 et S_2 est $d = 0,5$ m. Un écran E parallèle au plan $S_1 S_2$ est situé à $D = 2$ m de ce plan.



1) Décrire le phénomène observé sur l'écran.

2) On mesure la largeur de N interfranges consécutifs sur E et on trouve $l = 4$ mm.

a) Etablir la relation existant entre les grandeurs a , D , N , l et λ . Calculer la longueur d'onde λ pour $N = 10$.

b) Quelle est la fréquence des vibrations lumineuses ? On rappelle que $C = 3 \cdot 10^8$ m/s = célérité de la lumière dans le vide.

c) Calculer la distance entre la 5^{ème} frange brillante en haut de la frange centrale et la 5^{ème} frange sombre en bas de la frange centrale.

3) L'ensemble du dispositif est plongé dans un liquide d'indice n_0 . On mesure 20 interfranges consécutifs et on trouve $l' = 6$ mm. Calculer l'indice n_0 du milieu.

4) Le dispositif précédent est de nouveau dans l'air. On déplace la source de S_0 à S de $y = 1$ mm parallèlement au plan des deux fentes S_1 et S_2 .

a) Etablir l'expression de la différence de marche Δ des deux ondes qui interfèrent en considérant les trajets depuis la source primaire S, soit

$\Delta = (SS_2 + S_2M) - (SS_1 + S_1M)$. L'expression de Δ sera exprimée en fonction de x, y, a, D et d en considérant x petit devant D et y petit devant d .

b) Déterminer les abscisses des milieux des franges brillantes pour cette nouvelle position de la source. Montrer que toutes les franges ont subi une translation dont on précisera le sens et la valeur.

5) On ramène la source à sa position initiale en S_0 . On place devant la fente S_1 une lame de verre L très mince à faces parallèles, d'épaisseur e et d'indice absolu $n = 1,5$. On observe un déplacement de la frange centrale de 9 mm du côté de la lame.

a) Déterminer le temps t_1 que mettent les vibrations lumineuses pour se propager de S_1 en un point M de l'écran d'abscisse x . La lumière tombe sur la lame sous une incidence très voisine de l'incidence normale ; on admettra que la distance parcourue par l'onde en traversant la lame est toujours sensiblement égale à l'épaisseur e de cette lame.

b) Déterminer la durée t_2 du trajet S_2M pour l'onde issue de S_2 .

c) Donner l'expression de la différence de marche Δ des deux ondes qui interfèrent au point M en fonction de x, n, e, a et D .

d) Sachant que la frange centrale est telle que $t_1 = t_2$, en déduire l'épaisseur e de la lame.

6) On enlève la lame et on remplace la source S_0 par une source S' qui émet simultanément deux lumières monochromatiques, l'une de longueur d'onde $\lambda_1 = 0,65 \mu\text{m}$, l'autre de longueur d'onde λ_2 inconnue. On observe sur l'écran la superposition des systèmes de franges qui correspondent à ces deux lumières.

a) Montrer que les franges centrales des deux systèmes coïncident.

b) Calculer la longueur d'onde λ_2 sachant qu'une nouvelle coïncidence entre les deux systèmes de franges se produit pour la onzième brillante correspondant à la longueur d'onde λ_1 et la treizième frange brillante correspondant à la longueur d'onde λ_2 . La frange centrale est numérotée zéro.

7) Enfin on remplace la source S' par une source S'' émettant de la lumière blanche. Les longueurs d'onde des radiations constituant la lumière blanche sont comprises entre $0,400 \mu\text{m}$ et $0,750 \mu\text{m}$. Calculer les longueurs d'onde pour lesquelles il y a une frange obscure d'interférence en un point de l'écran situé à 2,2 mm de la frange centrale.

Exercice P₁₅₋₄

On considère deux miroirs plan OM_1 et OM_2 accolés par un côté. Leurs surfaces réfléchissantes font entre elles un angle égal à $\pi - \alpha$, l'angle α étant de l'ordre de minutes.

On place au-dessus des plans de OM_1 et OM_2 une source lumineuse ponctuelle S de manière à éclairer leurs surfaces réfléchissantes.

Soient S_1 et S_2 , les images de S données respectivement par OM_1 et OM_2 . La dimension OM_2 est supposée assez grande pour que la direction S_2M_2 ne rencontre aucun des rayons réfléchis par OM_1 . De même la dimension OM_1 est telle que la direction S_1M_1 ne rencontre aucun des rayons réfléchis par OM_2 .

La distance entre l'arête commune O et la source S est $d = SO = 0,5 \text{ m}$.

1) S émet une lumière. Montrer à l'aide d'un schéma que les rayons réfléchis par OM_1 et OM_2 se croisent en un point M .

2) Soient S_1 et S_2 les images de S dans les miroirs. On désire observer la distance $D = 2$ mm. Où faut-il le placer ?

3) Déterminer l'ordre de la frange brillante qui suit la frange centrale.

a) Établir l'expression de la différence de marche Δ en fonction de x, d, α et λ .

b) Déterminer l'ordre de la frange brillante qui suit la frange centrale, déterminez la valeur de α .

3) On plonge l'appareil dans un liquide de longueur d'onde λ_2 . La frange brillante qui suit la frange centrale, déterminez la valeur de α .

4) Le dispositif émettant à la fois $\lambda_1 = 0,60 \mu\text{m}$ et $\lambda_2 = 0,66 \mu\text{m}$.

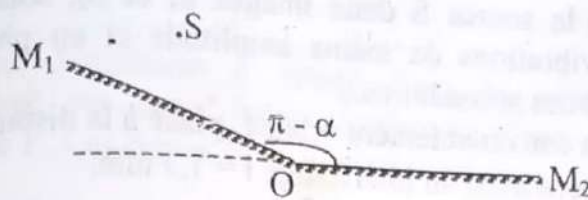
a) À quelle distance de la frange centrale se trouve la première frange brillante ?

b) Calculer l'ordre de la frange brillante qui suit la frange centrale.

Exercice P₁₅₋₅
Des vibrations lumineuses de même fréquence f et de même amplitude A sont émis par deux sources S_1 et S_2 séparées par une distance d .

1) Quelle est la condition pour que les deux sources soient cohérentes ?

2) Montrer que la différence de marche Δ en un point M de l'écran est donnée par $\Delta = d \sin \theta$, où θ est l'angle que fait la direction SM avec la direction SO .



1) S émet une radiation monochromatique.

a) - Montrer à l'aide d'un schéma très clair et net les chemins optiques suivis par la lumière.

Puis hachurer la zone dans laquelle on observe le système de franges.

b) Soient S_1 et S_2 les images de S données respectivement par M_1 et M_2 .

On désire observer le système de franges sur un écran (E) placé parallèlement à S_1S_2 , à la distance $D = 2,50$ m de l'arête commune O des deux miroirs :

Où faut-il le placer ?

- Déterminer la distance $S_1S_2 = a$ en fonction de α et d .

2) Dans tout ce qui suit, la frange centrale est numérotée 0 (zéro) et la 1^{ère} frange brillante qui suit immédiatement est numérotée 1.

a) Etablir l'expression donnant la valeur de l'interfrange i en fonction de λ , D , d et α .

b) Déterminer en fonction de α et de D l'expression de la largeur X de la partie de l'écran (E) où on observe les franges.

c) Ce champ étant borné par la 3^{ème} frange sombre de part et d'autre de la frange centrale, déterminer :

- la valeur de α ;

- la longueur d'onde λ de la radiation émise par S. On donne $X = 7,5$ mm.

3) On plonge ce dispositif dans un liquide d'indice $n = 1,5$. Déterminer le nombre de franges brillantes et sombres qu'on observe sur l'écran.

4) Le dispositif étant retiré du liquide, la source S est remplacée par une autre émettant à la fois deux radiations monochromatiques de longueur d'onde respectives $\lambda_1 = 0,60 \mu\text{m}$ et $\lambda_2 = 0,70 \mu\text{m}$.

a) A quelle distance de la frange centrale a lieu la $n^{\text{ème}}$ coïncidence des franges brillantes ? On conviendra que la 1^{ère} coïncidence s'effectue hors de la position de la frange centrale.

b) Calculer cette distance si $n = 6$.

Exercice P₁₅₋₅

Des vibrations issues de deux sources S_1 et S_2 ne peuvent interférer en donnant un système de franges stables que si elles sont cohérentes.

1) Quelle est la signification du terme "sources cohérentes" ?

La fente source S d'un laser émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde λ est placée à la distance $SI = l = 50$ cm de l'arête commune (Δ) de deux miroirs de Fresnel qui forment l'angle dièdre $\pi - \alpha$, $\alpha = 10^{-3}$ rad (cf. figure).

2) Montrer à l'aide d'un schéma que ce dispositif est un diviseur d'ondes c'est-à-dire

que M_1 et M_2 donnent de la source S deux images S_1 et S_2 , sources synchrones cohérentes, émettant des vibrations de même amplitude et en phase. Calculer la distance $a = S_1S_2$ de ces sources secondaires.

3) On observe sur un écran convenablement orienté, placé à la distance $D = 1,50$ m de l'arête (Δ), des interférences avec un interfrange $i = 1,3$ mm.

a) Calculer la longueur d'onde λ de la source laser.

b) Que devient l'interfrange si la même expérience est faite dans le benzène dont l'indice de réfraction par rapport à l'air est $n = 1,5$?

4) On fait tourner maintenant le miroir M_1 autour de l'arête commune, vers le haut d'un angle ε très petit (voir figure). Le système n'est pas dans le benzène.

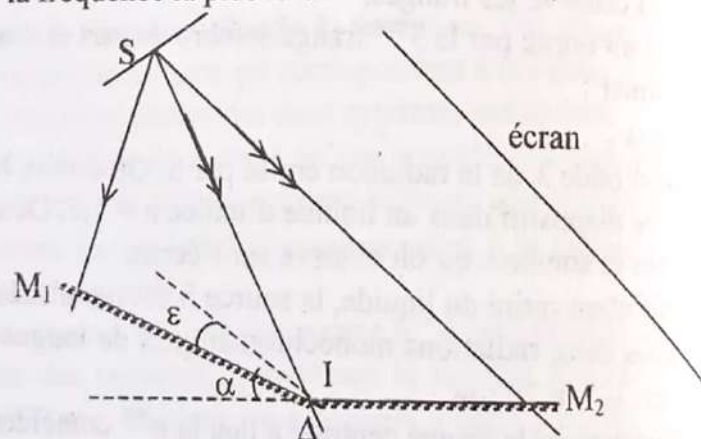
a) Qu'observe-t-on sur l'écran ?

b) La nouvelle valeur de l'interfrange étant de 1 mm, calculer l'angle ε en rad.

5) On remet le miroir M_1 dans sa position initiale. Le laser est remplacé par une source de lumière blanche contenant une infinité de radiations dont les longueurs d'onde λ sont telles que $0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,8 \mu\text{m}$.

a) Décrire l'aspect de l'écran d'observation.

b) La fente d'un spectroscopie est placée en un point M de l'écran situé à $x = 1,5$ cm de la frange centrale, de telle sorte qu'il soit éclairé par un "blanc d'ordre supérieur". Déterminer le nombre de radiations éteintes en ce point puis calculer la longueur d'onde de celle ayant la fréquence la plus faible.



Exercice P₁₅₋₆

On réalise une expérience d'interférence lumineuse avec une lumière de longueur d'onde $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$. La distance entre les deux sources cohérentes S_1 et S_2 est a . On observe les franges dans un plan (E) situé à une distance $D = 1$ m des sources.

1) On mesure la distance d entre la 4^e frange sombre d'un côté de la frange centrale et la 5^e frange brillante de l'autre côté de la frange centrale ; on trouve $d = 5,1$ mm. Calculer l'interfrange i et la distance a entre les deux sources.

2) On éclaire les sources S_1 et S_2 par une lumière blanche.

a) Décrire brièvement le phénomène observé sur l'écran.

b) Au point B situé à une distance $b = 3$ mm du centre O de la frange centrale, on place la fente d'un spectroscopie.

Quelles sont les longueurs d'onde des raies manquantes dans le spectre observé ?

N.B. : On rappelle les longueurs d'onde des radiations visibles sont comprises entre $0,4 \mu\text{m}$ et $0,8 \mu\text{m}$ ($0,4 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,8 \mu\text{m}$).

Exercice

Une

monoc

équidi

P.

Un dis

dispos

(Q est

1) Dé

2) On

Etablir

Calculer

3) $a/$

b) Pour

nu. Que

4) On

radiatio

Quel es

et OM_2

respect

Exercice

On réal

et S_2 di

d'onde

L'écran

milieu

1) On

l'écarte

2) On

monocl

a) Cal

longue

d'onde

b) A c

brillant

coincid

3) La

a) Dé

b) On

spectro

c) La

radiatio

Exercice P₁₅₋₇

Une fente fine lumineuse F située dans un plan P envoie de la lumière monochromatique sur deux fentes également fines F_1 et F_2 , parallèles à F et équidistantes de F . Les fentes F_1 et F_2 sont contenues dans un plan Q parallèle au plan P .

Un dispositif approprié permet de faire varier la distance a entre les fentes F_1 et F_2 . on dispose d'un écran E parallèle aux plans P et Q à une distance D du plan Q (Q est placé entre P et E).

- 1) Décrire le phénomène observé sur l'écran.
- 2) On mesure l'intervalle L séparant n franges brillantes consécutives.

Etablir l'expression de a en fonction de n , D , λ et L .

Calculer a pour : $\lambda = 0,589 \mu\text{m}$, $D = 1,2 \text{ m}$; $n = 6$; $L = 6,8 \text{ mm}$.

- 3) a) Que se passe-t-il si on augmente a ?
b) Pour un interfrange inférieur à $0,1 \text{ mm}$, le phénomène devient inobservable à l'œil nu. Quelle est la valeur maximum a_m de la distance a entre les fentes F_1 et F_2 .
- 4) On fixe : $a = 2 \text{ mm}$ et $D = 2,50 \text{ m}$. On éclaire F avec une lumière composée de 3 radiations de longueurs d'onde respectives $\lambda_1 = 0,4 \mu\text{m}$; $\lambda_2 = 0,48 \mu\text{m}$ et $\lambda_3 = 0,6 \mu\text{m}$. Quel est l'état lumineux des points M_1 et M_2 si $OM_1 = 3 \text{ mm}$ et $OM_2 = 4,5 \text{ mm}$? OM_1 et OM_2 représentent la distance du milieu de la frange centrale aux points M_1 et M_2 respectivement.

Exercice P₁₅₋₈

On réalise l'expérience des trous d'Young en utilisant un écran percé de deux trous S_1 et S_2 distants de a . Une source ponctuelle S de lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,500 \mu\text{m}$ éclaire les deux trous. La source S est équidistante de S_1 et de S_2 . L'écran d'observation E est disposé perpendiculairement à la droite SO' , O' étant le milieu de S_1S_2 . Sa distance au plan des deux trous est $D = 1 \text{ m}$.

- 1) On mesure la largeur de 20 interfranges et on trouve $L = 25 \text{ mm}$. Quelle est l'écartement $a = S_1S_2$ des deux trous ?
- 2) On remplace la source S par une source S' qui émet simultanément deux lumières monochromatiques de longueur d'onde $\lambda = 0,500 \mu\text{m}$ et λ' inconnue.
 - a) Calculer la longueur d'onde λ' sachant que la 3^e frange brillante de la radiation de longueur d'onde λ coïncide avec la 3^e frange sombre de la radiation de longueur d'onde λ' . La frange centrale O est numérotée zéro.
 - b) A quelle distance de la frange centrale a lieu la 1^{ère} coïncidence entre les franges brillantes des radiations de longueur d'onde λ et λ' . En déduire les positions des autres coïncidences.
- 3) La source S est maintenant remplacée par une source de lumière blanche S'' .
 - a) Décrire les phénomènes observés sur l'écran.
 - b) On place le plan de l'écran E , au niveau de la frange centrale la fente d'un spectroscopie. Quel est l'aspect du spectre observé ?
 - c) La fente du spectroscopie est à 9 mm de la frange centrale. Calculer le nombre de radiations manquantes.

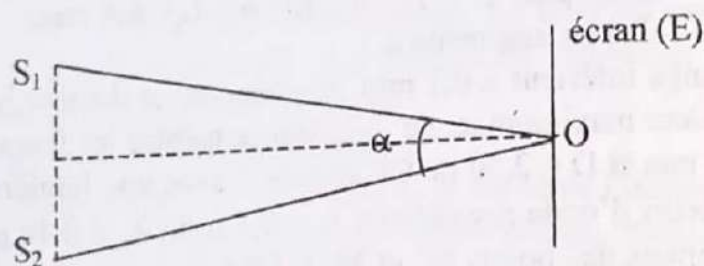
On donne : limites du visible 0,4 et 0,8 micromètres.

d) On donne à la source S'' le déplacement vertical $y = 0,5$ cm vers le haut. Calculer le déplacement z de la frange centrale.

La source S était à la distance $d = 20$ cm du plan des trous S_1 et S_2 .

Exercice P₁₅₋₉

On réalise un dispositif d'interférences donnant deux sources ponctuelles S_1 et S_2 et on observe les franges sur un écran (E) disposé perpendiculairement au trajet moyen de la lumière (voir schéma). Du centre O de l'écran (E), on voit la distance S_1S_2 sous l'angle $\alpha = 8 \cdot 10^{-4}$ rad.



1) On éclaire le dispositif avec une source S émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,64$ μm .

a) Calculer l'interfrange i du phénomène observé sur l'écran.

b) On place devant S_1 , parallèlement à l'écran (E), une lame à faces parallèles d'épaisseur $e = 0,016$ mm et d'indice de réfraction $n = 1,5$.

Dans quel sens et de combien se déplace le système de franges ?

2) On éclaire le dispositif avec une source S' émettant simultanément deux lumières monochromatiques de longueur d'onde $\lambda = 0,64$ μm et $\lambda' = 0,56$ μm .

a) Qu'observe-t-on sur l'écran ?

b) A quelle distance de la frange centrale se produit, sur l'écran (E), la première coïncidence entre les milieux des franges brillantes correspondant à chacune des deux radiations de longueurs d'onde λ et λ' .

3) On éclaire le dispositif avec une source S'' de lumière blanche.

a) Qu'observe-t-on sur l'écran (E) ?

b) Soit le point M de l'écran (E) situé à $x = 5$ mm de la frange centrale. Déterminer les longueurs d'onde des radiations qui présentent en ce point M :

- une frange brillante ;
- une frange sombre.

(On rappelle que les limites du spectre visible sont 0,4 μm et 0,8 μm).

Exercice P₁₅₋₁₀

Une source lumineuse S émet une radiation de longueur d'onde $\lambda = 0,59$ μm . Elle éclaire deux fentes F_1 et F_2 , parallèles, très fines, faites dans un plan P . Ces fentes sont distantes entre elles de a .

Sur un écran
franges d'inte
1) Etablir la
issues de F_1 et
2) La distanc
10^{ème} frange b
3) On éclaire
radiation de l
radiations λ et
de franges se
d'un même cô

calculer Sur un écran E parallèle à P et dont la distance à P est $D = 2,5$ m on observe des franges d'interférences.

1) Etablir la relation qui donne la différence de marche Δ des vibrations lumineuses issues de F_1 et F_2 , arrivant en un point M de l'écran E.

2) La distance qui sépare le milieu de la frange centrale (comptée O) au milieu de la 10^{ème} frange brillante est $l = 1,4$ cm. Calculer a .

3) On éclaire le dispositif précédent avec une deuxième source S' émettant une radiation de longueur d'onde λ' . On constate que les franges centrales pour les radiations λ et λ' sont superposées et que la première coïncidence entre les 2 systèmes de franges se produit pour la 6^{ème} frange sombre de λ et la 5^{ème} frange sombre de λ' d'un même côté de la frange centrale. Calculer λ' .

natique

mières

re
es deux

miner

am. Elle
ites sont

Corrigés des exercices de chimie et de physique

Corrigés des exercices de chimie et de physique

(C-1) CORRIGES DES EXERCICES SUR LA DETERMINATION DE LA FORMULE BRUTE

Solution C-1-1

1) Calculons la masse m_c de carbone dans le composé.

44 g de $\text{CO}_2 \leftrightarrow 12 \text{ g de carbone}$

$$1,76 \text{ g de } \text{CO}_2 \leftrightarrow m_c = \frac{12 \times 1,76}{44} = 0,48 \text{ g de carbone.}$$

Calculons la masse m_H d'hydrogène dans le composé.

18 g d'eau $\leftrightarrow 2 \text{ g d'hydrogène}$

$$0,9 \text{ g d'eau} \leftrightarrow m_H = \frac{2 \times 0,9}{18} = 0,1 \text{ g d'hydrogène}$$

$m = 0,58 \text{ g}$ est la masse du composé. On constate que $m = m_c + m_H$;
le composé ne contient donc que du carbone et de l'hydrogène.

2) Composition centésimale massique du composé.

0,58 g du composé $\leftrightarrow 0,48 \text{ g de carbone}$

$$100 \text{ g du composé} \leftrightarrow \% \text{ C} = \frac{0,48 \times 100}{0,58} = 82,76 \%$$

0,58 g du composé $\leftrightarrow 0,1 \text{ g d'hydrogène}$

$$100 \text{ g du composé} \leftrightarrow \% \text{ H} = \frac{0,1 \times 100}{0,58} = 17,24 \%$$

3) La formule brute du composé est de la forme C_xH_y ;

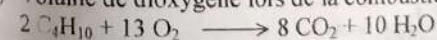
$$M(\text{C}_x\text{H}_y) = 29,0 \text{ g/mol} = 12x + y$$

$$\left. \begin{array}{l} 58 \text{ g} \leftrightarrow 12x \\ 0,58 \text{ g} \leftrightarrow 0,48 \end{array} \right\} \text{ d'où } 12x = \frac{0,48 \times 58}{0,58} \text{ soit } x = 4$$

$$\left. \begin{array}{l} 58 \text{ g} \leftrightarrow y \\ 0,58 \text{ g} \leftrightarrow 0,1 \end{array} \right\} \text{ d'où } y = \frac{0,1 \times 58}{0,58} = 10$$

La formule brute du composé est C_4H_{10}

4) Volume de dioxygène lors de la combustion complète.



Pour 2 x 58 g de C_4H_{10} il faut 13 x 22,4 L d'oxygène.

Pour 0,58 g de C_4H_{10} il faudra un volume V_{O_2}

$$V_{\text{O}_2} = \frac{0,58 \times 13 \times 22,4}{2 \times 58} = 1,456 \text{ L}$$

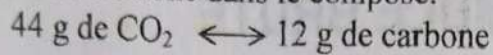
Solution C₁₋₂

1) La formule brute peut s'écrire $C_xH_yO_z$.

Calculons la masse molaire du composé. On sait que : $\rho = \frac{m}{V}$; pour une mole, $m = M$ et $v = V$ d'où $\rho = \frac{M}{V}$ soit $M = \rho V = 0,790 \times 58,2 = 45,9 \text{ g/mol}$

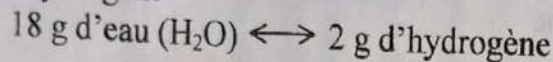
$$M(C_xH_yO_z) = 12x + y + 16z = 45,9 \text{ g/mol.}$$

2) Masse de carbone dans le composé.



$$4,4 \text{ g de CO}_2 \longleftrightarrow m_c = \frac{12 \times 4,4}{44} = 1,2 \text{ g}$$

Masse d'hydrogène

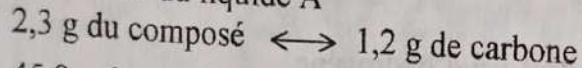


$$2,7 \text{ g d'eau} \longleftrightarrow m_H = \frac{2 \times 2,7}{18} = 0,3 \text{ g}$$

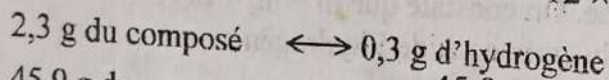
Masse d'oxygène

$$m_H + m_o + m_c = 2,3 \text{ d'où } m_o = 2,3 - m_H - m_c = 0,8 \text{ g}$$

3) Formule brute du liquide A



$$45,9 \text{ g du composé} \longleftrightarrow 12x \text{ d'où } x = \frac{1,2 \times 45,9}{12 \times 2,3} = 2$$

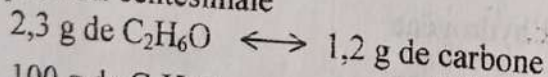


$$45,9 \text{ g du composé} \longleftrightarrow y = \frac{45,9 \times 0,3}{2,3} = 6$$

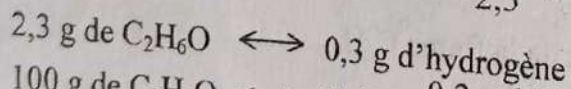
$$45,9 = 12x + y + 16z \text{ d'où } z = \frac{45,9 - 12x - y}{16} = 1$$

La formule brute est C_2H_6O

4) Composition centésimale



$$100 \text{ g de C}_2\text{H}_6\text{O} \longleftrightarrow \% C = \frac{1,2 \times 100}{2,3} = 52,17 \%$$

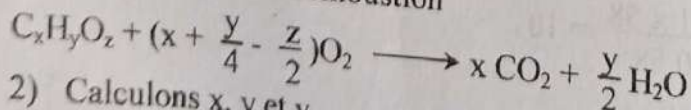


$$100 \text{ g de C}_2\text{H}_6\text{O} \longleftrightarrow \% H = \frac{0,3 \times 100}{2,3} = 13,04 \%$$

$$\% O = 100 \% - \% H - \% C = 34,79 \%$$

Solution C₁₋₃

1) L'équation de la combustion



2) Calculons x, y et z

$$\frac{1}{n} = \frac{x}{n_{CO_2}} \text{ d'où } x = \frac{n_{CO_2}}{n} = \frac{M \times 22,4}{0,018 \times 22400} = 4$$

$$\frac{1}{n} = \frac{x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}}{n_{O_2}} \text{ d'où } x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2} = \frac{M \times 30,8}{0,018 \times 22400} = 5,49$$

$$\text{Or } M = 12x + y + 16z = 29 \times d = 71,92.$$

On trouve $y = 8$ et $z = 1$

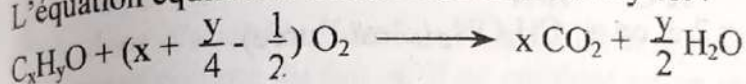
La formule brute est : C_4H_8O

3) La masse d'eau recueillie

$$\frac{1}{n} = \frac{y/2}{n_{H_2O}} \text{ soit } \frac{M}{0,018} = \frac{4 \times 18}{m} \text{ d'où } m = 0,018 \text{ g}$$

Solution C₁₋₄

1) L'équation équilibrée en fonction de x et de y est :



$$\text{On en déduit } n = x + \frac{y}{4} - \frac{1}{2}; \quad m = x; \quad p = \frac{y}{2}$$

2) La masse molaire du composé est : $M = 29d = 29 \times 2,48 = 72 \text{ g/mol.}$

$$3,6 \text{ g} \longleftrightarrow 4,48 \text{ L de } CO_2$$

$$72 \text{ g} \longleftrightarrow 22,4 \text{ L d'où } x = \frac{72 \times 4,48}{3,6 \times 22,7} = 4$$

$$M(C_xH_yO) = 72 = 12x + y + 16 \text{ d'où } y = 8$$

$$n = x + \frac{y}{4} - \frac{1}{2} = 5,5; \quad m = x = 4; \quad p = \frac{y}{2} = 4$$

3) La formule du composé est : C_4H_8O

4) $M = 72 \text{ g de } C_4H_8O \longleftrightarrow 12 \times 4 \text{ g de carbone} \longleftrightarrow 8 \text{ g d'hydrogène} \longleftrightarrow 16 \text{ g d'oxygène}$

$$100 \text{ g de } C_4H_8O \longleftrightarrow \% C \longleftrightarrow \% H \longleftrightarrow \% O$$

$$\text{d'où } \% C = \frac{100 \times 12 \times 4}{72} = 66,67 \%; \quad \% H = \frac{100 \times 8}{72} = 11,11 \%;$$

$$\% O = \frac{16 \times 100}{72} = 22,22 \%$$

$$5) \quad 72 \text{ g} \longleftrightarrow 22,4 \times 5,5$$

$$3,6 \text{ g} \longleftrightarrow V_{O_2} \text{ d'où } V_{O_2} = \frac{3,6 \times 22,4 \times 5,5}{72} = 6,16 \text{ L.}$$

Solution C₁₋₅

1) Composition centésimale du composé analysé

$$\text{Pour le carbone : } C + O_2 \longrightarrow CO_2 \text{ alors } m_C = \frac{12}{44} \times m_{CO_2}$$

$$\text{d'où } \% C = \frac{100 \times m_C}{m} = \frac{12 \times 100 \times 0,185}{44 \times 0,252} = 20,0 \%$$

$$\text{Pour l'hydrogène : } H_2 + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow H_2O \text{ alors } m_H = \frac{2}{18} m_{H_2O}$$

$$\text{d'où } \% H = \frac{100 \times m_H}{m} = \frac{100 \times 2 \times 0,151}{18 \times 0,252} = 6,7 \%$$

* Pour l'azote : nombre de mole d'acide initial : $n_1 = 2 \cdot 10^{-2} \times \frac{1}{2} = 10^{-2} \text{ mol}$;
 de mole d'acide restant : $n_2 = 7,7 \cdot 10^{-3} \times \frac{1}{2} = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ mole}$; nombre de mole

d'azote : $m_N = n \times M = 6,15 \cdot 10^{-3} \times 28 = 0,1722 \text{ g}$

d'où $\%N = \frac{100 \times m_N}{m} = \frac{100 \times 0,1722}{0,368} = 46,8 \%$

* Pour l'oxygène : $\%O = 100 - (\%C + \%H + \%N) = 26,5 \%$

2) La formule moléculaire s'écrit : $C_xH_yO_zN_t$

On pose $\frac{M}{100} = \frac{12x}{\%C} = \frac{y}{\%H} = \frac{16z}{\%O} = \frac{14t}{\%N}$

d'où $x = 1$; $y = 4$; $z = 1$; $t = 2$ et on a : CH_4ON_2 (c'est l'urée)

Solution C₁₋₆

1) Calculons x, y, z et t

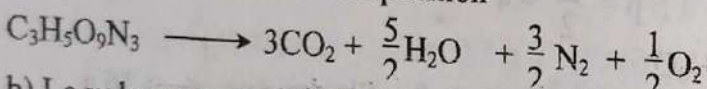
On pose : $\frac{M}{100} = \frac{12x}{\%C} + \frac{y}{\%H} + \frac{16z}{\%O} + \frac{14t}{\%N}$

On a : $100 = \%C + \%H + \%O + \%N$ or $\%O = 28,82 \times \%H$

On trouve : $\%H = 2,20 \%$ et $\%O = 63,4 \%$ d'où $x = 3$; $y = 5$; $z = 9$ et $t = 3$

La formule brute s'écrit : $C_3H_5O_9N_3$

2) a) Equation de la décomposition



b) Le volume gazeux total : $V = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}$

On a : $\frac{1}{n} = \frac{3}{n_{CO_2}} = \frac{3/2}{n_{N_2}} = \frac{1/2}{n_{O_2}}$

soit $\frac{M}{m} = \frac{3V_M}{V_{CO_2}} = \frac{3V_M}{2V_{N_2}} = \frac{V_M}{2V_{O_2}}$

d'où $V_{CO_2} = 3,17 \text{ L}$; $V_{N_2} = 1,58 \text{ L}$; $V_{O_2} = 0,53 \text{ L}$ et $V = 5,28 \text{ L}$

Solution C₁₋₇

1) * Masse du carbone m_C

44 g de $CO_2 \longleftrightarrow 12 \text{ g de carbone}$

2,38 g de $CO_2 \longleftrightarrow m_C$ d'où $m_C = \frac{12 \times 2,38}{44} = 0,649 \text{ g}$

* Masse d'hydrogène m_H

18 g d'eau $\longleftrightarrow 2 \text{ g d'hydrogène}$

1,10 g d'eau $\longleftrightarrow m_H$ d'où $m_H = \frac{1,10 \times 2}{18} = 0,122 \text{ g}$

* Masse d'azote m_N

0,7 g du composé $\longleftrightarrow 76 \text{ cm}^3$

1,40 g du composé $\longleftrightarrow V_N$ d'où $V_N = \frac{76 \times 1,40}{0,7} = 152 \text{ cm}^3$

22,4 L $\longleftrightarrow 1 \text{ mole d'azote } M = 2 \times 14 = 28 \text{ g}$

$152 \cdot 10^{-3} \text{ L} \longleftrightarrow m_N$ d'où $m_N = 0,190 \text{ g}$

* Masse d'oxygène

$$m_{\text{composé}} = m_H + m_N + m_C + m_O \text{ d'où } m_O = 0,439 \text{ g}$$

Composition centésimale du composé

$$\%C = \frac{m_C \times 100}{m_{\text{composé}}} = 46,36 \%$$

$$\%H = \frac{m_H \times 100}{m_{\text{composé}}} = 8,71 \%$$

$$\%N = \frac{m_N \times 100}{m_{\text{composé}}} = 13,57 \%$$

$$\%O = \frac{m_O \times 100}{m_{\text{composé}}} = 31,36 \%$$

Formule brute

Calculons d'abord la masse molaire M du composé.

En tenant compte du fait qu'il ne contient qu'un seul atome d'azote par molécule, on a :

$$M(N) = 14 \text{ g d'azote} \longleftrightarrow M(\text{masse molaire du composé})$$

$$0,190 \text{ g d'azote} \longleftrightarrow 1,40 \text{ g}$$

$$\text{On en tire : } M = \frac{1,40 \times 14}{0,190} = 103,15 \approx 103 \text{ g/mol.}$$

La formule générale du composé est : $C_xH_yO_zN$

Déterminons x, y, z (x, y, z sont des nombres entiers).

$$M = 12x + y + 16z + 14 = 103,15$$

$$1,40 \text{ g du composé} \longleftrightarrow 0,649 \text{ g de carbone}$$

$$103,15 \text{ g du composé} \longleftrightarrow 12x \text{ d'où } x = \frac{0,649 \times 103,15}{12 \times 1,40} \approx 4$$

$$* 1,40 \text{ g du composé} \longleftrightarrow 0,122 \text{ g d'hydrogène}$$

$$103,15 \text{ g du composé} \longleftrightarrow y \text{ d'où } y = \frac{103,15 \times 0,122}{1,40} \approx 9$$

$$* 1,40 \text{ g du composé} \longleftrightarrow 0,439 \text{ g d'oxygène}$$

$$103,15 \text{ g du composé} \longleftrightarrow 16z \text{ d'où } z = \frac{103,15 \times 0,439}{1,40 \times 16} \approx 2$$

La formule brute du composé est : $C_4H_9O_2N$.

Solution C₁-8

a) Masse molaire de l'acide acétylsalicylique

$$n = \frac{m}{M} \text{ d'où } M = \frac{m}{n} = \frac{0,5}{2,777 \cdot 10^{-3}} \approx 180 \text{ g/mol.}$$

b) La formule du composé est $C_xH_yO_4$

$$100 \text{ g du composé} \longleftrightarrow 60 \text{ g de carbone} \longleftrightarrow 4,5 \text{ g de dihydrogène}$$

$$180 \text{ g du composé} \longleftrightarrow 12x \text{ g de carbone} \longleftrightarrow y \text{ g de dihydrogène}$$

$$\text{d'où } x = \frac{180 \times 60}{12 \times 100} = 9 \quad y = \frac{180 \times 4,5}{100} = 8$$

La formule brute de l'acide acétylsalicylique est $C_9H_8O_4$.

2) Masse de carbone

$$100 \text{ g d'aspirine} \longleftrightarrow 60 \text{ g de carbone} \longleftrightarrow 35,5 \text{ g d'oxygène}$$

$$0,500 \text{ g d'aspirine} \longleftrightarrow m_C \longleftrightarrow m_O$$

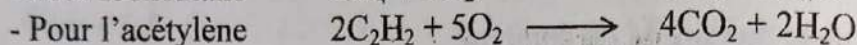
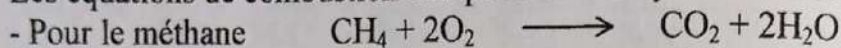
$$\text{d'où } m_C = \frac{60 \times 0,5}{100} = 0,3 \text{ g} \approx 300 \text{ mg}$$

$$m_O = \frac{35,5 \times 0,5}{100} = 0,1775 \text{ g} = 177,5 \text{ mg}$$

$$m_H = \frac{4,5 \times 0,5}{100} = 0,0225 \text{ g} = 22,5 \text{ mg}$$

Solution C₁-9

Les équations de combustion complète de ces hydrocarbures sont :



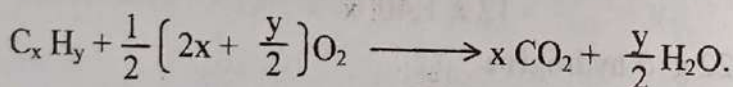
soient : V_1 le volume du méthane, V_2 le volume d'acétylène, V le volume total des deux hydrocarbures, V_3 le volume de dioxygène utilisé et V_4 le volume de dioxyde de carbone dégagé.

En tenant compte des coefficients stoechiométriques des équations de combustion pour une mole de chaque hydrocarbure, on a :

$$\left. \begin{array}{l} V_1 + V_2 = V \\ 2V_1 + \frac{5}{2}V_2 = V_3 \\ V_1 + 2V_2 = V_4 \end{array} \right\} \text{d'où } V_1 = 40 \text{ cm}^3 ; V_2 = 60 \text{ cm}^3 \text{ et } V_4 = 160 \text{ cm}^3$$

Solution C₁-10

1- La formule brute de l'hydrocarbure est : C_xH_y

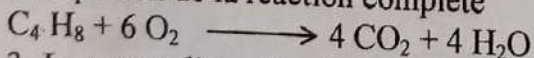


$$V_{\text{Hydro}} = 10 \text{ cm}^3 ; V_{\text{CO}_2} = 40 \text{ cm}^3 ; V_{\text{O}_2} = 60 \text{ cm}^3$$

$$\frac{1}{10} = \frac{x}{40} \text{ d'où } x = 4 ; \frac{1}{10} = \frac{\frac{1}{2} \left(2x + \frac{y}{2} \right)}{60} \text{ d'où } y = 8.$$

L'hydrocarbure a pour formule C_4H_8

2- Equation de la réaction complète



3- La masse d'eau formée

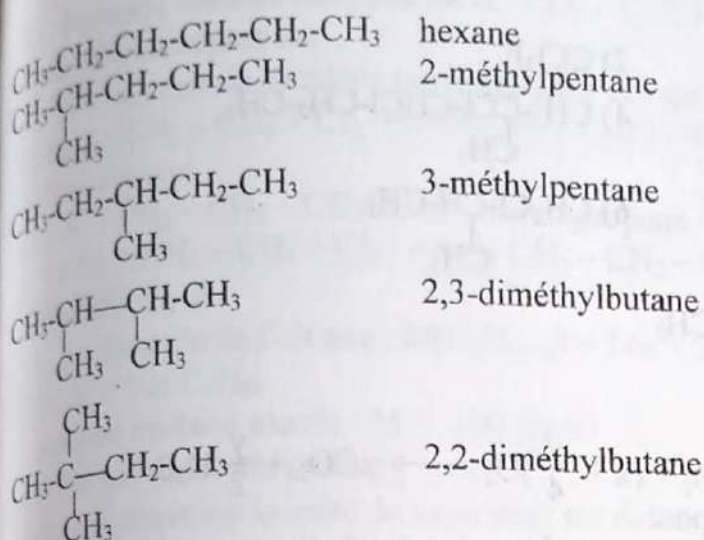
$$\frac{1}{10^{-2}} = \frac{4 \times 18}{m} \text{ d'où } m = 0,72 \text{ g.}$$

(C₂)

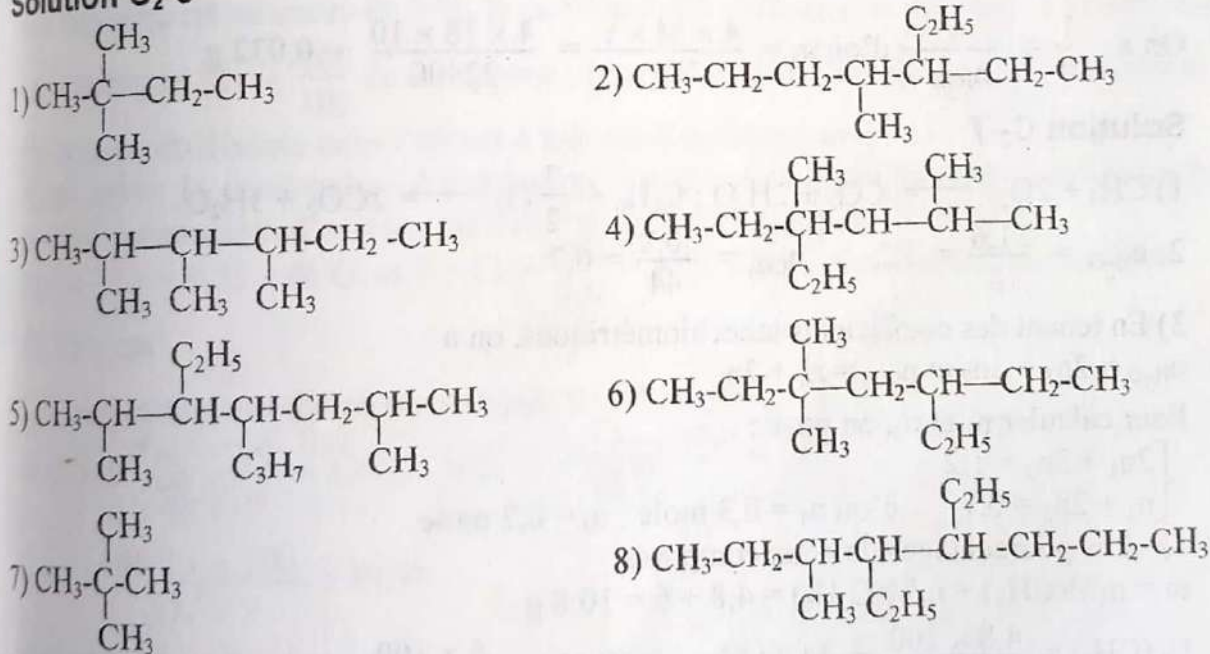
CORRIGES DES EXERCICES SUR LES ALCANES

Solution C₂-1

Les formules semi-développées et les noms sont :

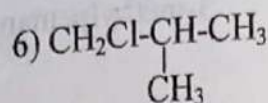
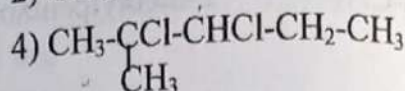
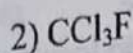
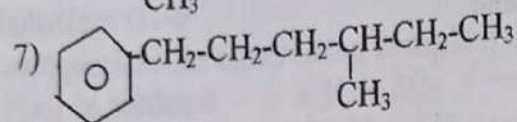
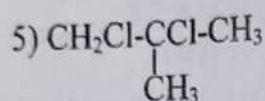
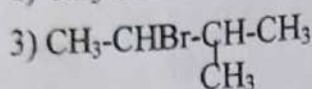
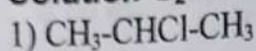
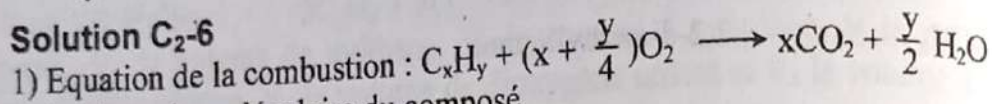
**Solution C₂-2**

- 1) pentane
- 2) méthylpropane ou 2-méthylpropane (l'indice 2 n'est pas nécessaire)
- 3) 2,2-diméthylpentane
- 4) 3,3,4-triméthylhexane
- 5) 6-éthyl-2,4,5-triméthyl-octane
- 6) 4-éthyl-2-méthylhexane
- 7) 4-éthyl-2,4-diméthylhexane
- 8) 3-éthyl-4-isopropyl-6-méthyl-octane
- 9) 5-éthyl-2,6-diméthyl-4-propyl-octane
- 10) 7,8-diéthyl-2,2,9-triméthyl-décane.

Solution C₂-3**Solution C₂-4**

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1) trichlorométhane | 4) 3,4-dibromo-3-éthyl-5-méthylheptane |
| 2) 1,2-dichloro-3-méthylbutane | 5) 2-bromo-3-chloro-4-méthylhexane |
| 3) 2,3-dichloro-2-méthylpentane | 6) 2-chloro-3-méthylpentane |

NES

Solution C₂-5**Solution C₂-6**

2) La formule moléculaire du composé

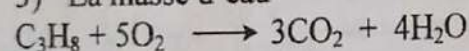
• Le volume de CO_2 obtenu : $V_{\text{CO}_2} = 30 \text{ cm}^3$ • Le volume du dioxygène ayant réagi : $V_{\text{O}_2} = 60 - 10 = 50 \text{ cm}^3$

Il y a proportionnalité entre les volumes indiqués par l'équation

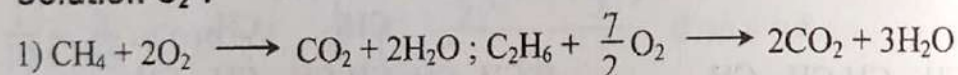
$$\frac{1}{10} = \frac{x + \frac{y}{4}}{50} = \frac{x}{30} \text{ d'où } x = 3 \text{ et } y = 8$$

La formule moléculaire C_3H_8 . C'est celle du propane.

3) La masse d'eau



$$\text{On a : } \frac{1}{n} = \frac{4}{n_{\text{H}_2\text{O}}} \text{ d'où } m = \frac{4 \times M \times v}{V_M} = \frac{4 \times 18 \times 10}{22400} = 0,032 \text{ g}$$

Solution C₂-7

2) $n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{21,6}{18} = 1,2$; $n_{\text{CO}_2} = \frac{30,8}{44} = 0,7$

3) En tenant des coefficients stoechiométriques, on a :

$n_{\text{H}_2\text{O}} = 2n_1 + 3n_2 \text{ et } n_{\text{CO}_2} = n_1 + 2n_2$

Pour calculer n_1 et n_2 , on pose :

$$\begin{cases} 2n_1 + 3n_2 = 1,2 \\ n_1 + 2n_2 = 0,7 \end{cases} \text{ d'où } n_1 = 0,3 \text{ mole ; } n_2 = 0,2 \text{ mole}$$

4) Les pourcentages de deux composés

$m = n_1 M(\text{CH}_4) + n_2 M(\text{C}_2\text{H}_6) = 4,8 + 6 = 10,8 \text{ g}$

$$\%(\text{CH}_4) = \frac{4,8 \times 100}{10,8} = 44,44 \% ; \quad \%(\text{C}_2\text{H}_6) = \frac{6 \times 100}{10,8} = 55,56 \%$$

Solution C₂-8

1) La formule moléculaire du corps A

$$\frac{12x}{\%C} = \frac{y}{\%H} = \frac{35,5}{\%Cl} \text{ soit } \frac{12x}{45,86} = \frac{y}{8,93} = \frac{35,5}{45,21} \text{ d'où } x = 3 ; y = 7 \text{ et } A : \text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}$$

2) Formule semi-développée de A : $\text{CH}_3 - \text{CHCl} - \text{CH}_3$

Nom : 2-chloropropane

3) On fait agir du dichlore sur le propane qui est l'alcane B



b) B : propane

c) - A' : $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{Cl}$: 1-chloropropane



Solution C₂-9

1) La formule de l'alcane : $M(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = 14n + 2 = 29 \times d$

d'où $n = 7$ et C_7H_{16}

La masse molaire exacte : $M = 100 \text{ g/mol}$

2) La puissance du moteur

La consommation horaire de ce moteur est de : $m = \rho \cdot V = 13 \times 0,72$; $m = 9360 \text{ g}$

L'énergie libérée par la combustion de 9360 g d'essence :

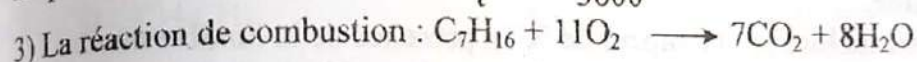
$$M \longrightarrow 4,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$m \longrightarrow E \quad \text{d'où } E = \frac{9360 \times 4,6 \cdot 10^6}{100} = 4,30 \cdot 10^8 \text{ J}$$

L'énergie mécanique recueillie en 1 heure sachant que le rendement est 20 % :

$$W = \frac{20}{100} \times E = 8,61 \cdot 10^7 \text{ J}$$

$$\text{La puissance du moteur est : } P = \frac{W}{t} = \frac{8,61 \cdot 10^7}{3600} = 23,9 \text{ kW}$$



soit v le volume de l'essence vaporisé

si l'oxygène est en excès de 5 %, le carburant doit mélanger au volume v de l'essence,

un volume de $11v \times \frac{105}{100}$ de dioxygène ; pour un volume de $4 \times 11v \times \frac{105}{100}$ de diazote.

(le volume du diazote dans l'air est 4 fois celui du dioxygène)

Ainsi après la combustion, l'évacuation des gaz, leur dessèchement ; on obtiendra

pour consommation d'essence de $v \text{ cm}^3$ un mélange formé de : $7v$ de CO_2 ;

$$11v \times \frac{5}{100} = 0,55 v \text{ de } \text{O}_2 \text{ et } 4 \times 11 \times \frac{105}{100} = 46,2 v \text{ de } \text{N}_2. \text{ Soit un volume total de}$$

$$53,75 v \text{ cm}^3$$

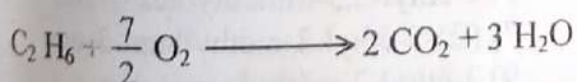
La composition centésimale massique en volume est

$$\% \text{CO}_2 = \frac{7v \times 100}{53,75 v} = 13,02 ; \% \text{O}_2 = \frac{0,55v \times 100}{53,75 v} = 1,02$$

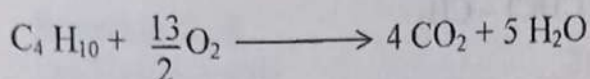
$$\% \text{N}_2 = \frac{46,2 v \times 100}{53,75 v} = 85,95$$

Solution C₂-10

1- Soit V_1 le volume d'éthane et V_2 celui du butane.



A : $\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}$



On pose $\begin{cases} V_1 + V_2 = 6 \\ 2V_1 + 4V_2 = 16 \end{cases}$ d'où $V_1 = 4\text{ cm}^3$; $V_2 = 2\text{ cm}^3$

2- La masse de dioxygène nécessaire :

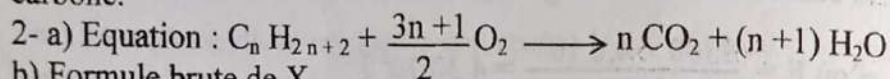
$$V_{\text{O}_2} = \frac{7}{2}V_1 + \frac{13}{2}V_2 = \frac{7}{2}(4) + \frac{13}{2}(2) = 27\text{ cm}^3 \text{ et } m_{\text{O}_2} = \frac{32 \times 27 \cdot 10^{-3}}{22,4} = 3,86 \cdot 10^{-1}$$

Solution C₂-11

1- a) Renseignements pour X :

X est un corps pur. Il est composé de carbone et d'hydrogène.

b) On aurait pu montrer que X est un composé organique en faisant sa combustion complète dans l'air. Les produits obtenus seraient de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone.

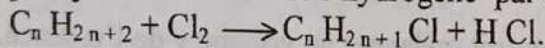


b) Formule brute de X.

$$\frac{14n+2}{1,8} = \frac{22,4n}{2,8} \text{ d'où } n = 5 \quad \text{X : C}_5\text{H}_{12}$$

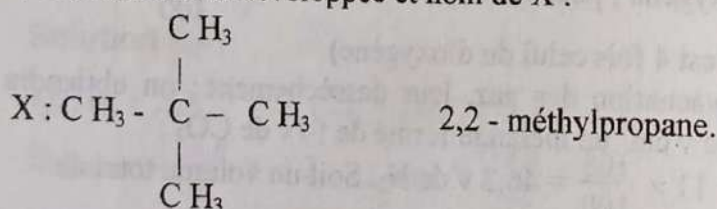
c) X comporte 5 atomes de C, donc sa formule semi-développée n'est pas unique. Il y a 3 isomères de chaîne.

3- La décoloration du dichlore par la vapeur de X en présence de la lumière montre qu'il y a substitution de l'hydrogène par le dichlore sur la molécule de X



Souvent, on obtient un mélange de produits de substitution.

4- Formule semi-développée et nom de X :



(C₃)

CORRIGES DES EXERCICES SUR LES DERIVES INSATURES : ALCENES ET ALCYNES

Solution C₃-1

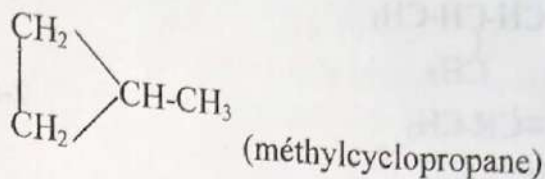
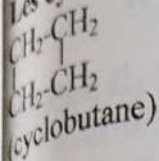
Les noms des composés organiques sont :

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1) prop-1-ène (ou plus simplement propène) | 3) pent-2-ène |
| 2) 2,4-diméthylhex-2-ène | 5) 4-éthyl-2,3-diméthylhex-3-ène |
| 4) (E)-2-méthylhex-3-ène | 7) (E)-5-éthyl-3-méthylhept-3-ène |
| 6) 2-chloro-3-méthylbut-1-ène | 9) 3-éthyl-2-méthylhex-2-ène |
| 8) (Z)-2-bromo-3-méthylpent-2-ène | |

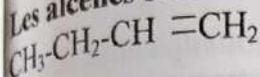
Solution C₃-2

Parmi les composés de formule C₄H₈ on a les cyclanes et les alcènes.

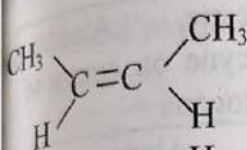
Les cyclanes sont :



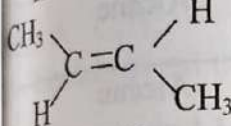
Les alcènes sont :



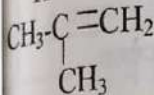
but-1-ène



(Z)-but-2-ène

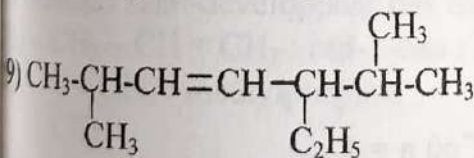
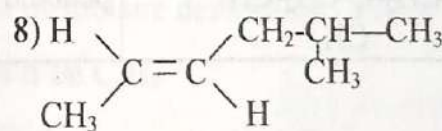
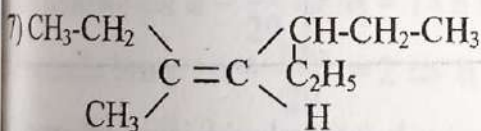
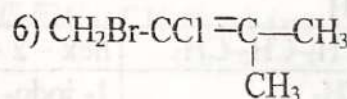
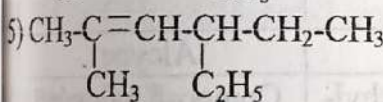
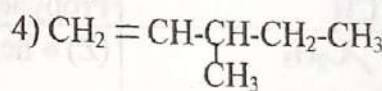
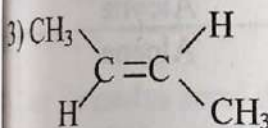
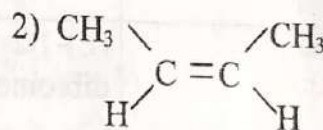
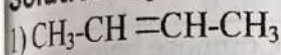


(E)-but-2-ène

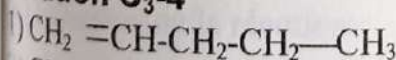


2-méthylpropène ou méthylpropène

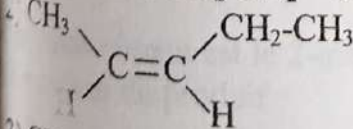
Solution C₃-3



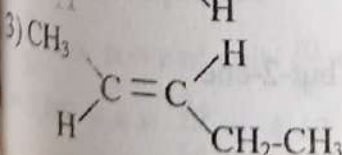
Solution C₃-4



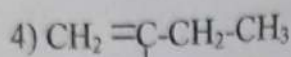
pent-1-ène



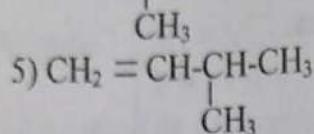
(Z)-pent-2-ène



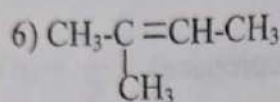
(E)-pent-2-ène



2-méthylbut-1-ène



3-méthylbut-1-ène



2-méthylbut-2-ène

Solution C₃-5

Formule brute	Formule semi-développée	Nom	Alcane, Alcyne ou composé halogéné
C_9H_{20}	$\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\underset{\text{C}_2\text{H}_5}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	3-éthyl-2-méthylhexane	Alcane
C_4H_8	$\text{CH}-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}_2$	2-méthylpropène	Alcène
C_6H_{12}	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$	(Z) - hex - 2-ène	Alcène
$\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_2$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Br} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{Br} \quad \text{H} \end{array}$	(E)-1,2-dibromoéthylène	Composé halogéné
C_3H_4	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{CH}$	Propyne	Alcyne
C_6H_{12}	$\begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \quad \text{C}_2\text{H}_5 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	(Z) - hex - 3-ène	Alcène
C_6H_{10}	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	hex - 2 - yne	Alcyne
$\text{C}_7\text{H}_{15}\text{I}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2\text{I}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	1- iodo- 3,3-diméthyl-pentane	Composé halogéné

Solution C₃-6

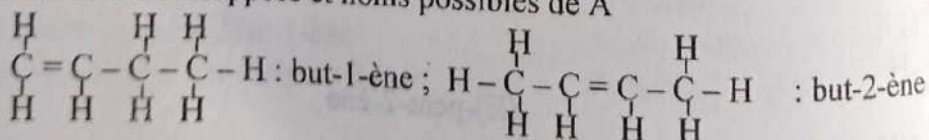
1) Le composé A est un alcène

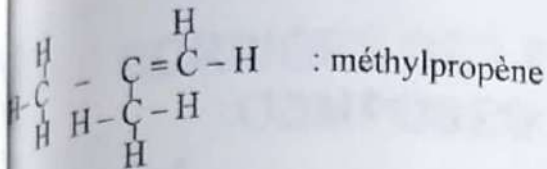
2) a) C est un dérivé halogéné de formule $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl}$

On pose : $\frac{M}{100} = \frac{35,5}{39,22}$ soit $\frac{14n + 36,5}{100} = \frac{35,5}{39,22}$ d'où $n = 4$

La formule brute de C : $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$ B est l'alcane de formule brute : C_4H_{10} A a pour formule (C_4H_8)

b) Formules développées et noms possibles de A




Solution C₃-7

Calcul de x et y



d'après cette équation : $\frac{1}{n_A} = \frac{x}{n_{\text{CO}_2}}$ d'où $x = \frac{n_{\text{CO}_2}}{n_A} = \frac{40}{10} = 4$

Le volume d'oxygène nécessaire : $V_{\text{O}_2} = 80 - 25 = 55 \text{ cm}^3$

$\frac{1}{n_A} = \frac{x + y/4}{n_{\text{O}_2}} \Rightarrow x + \frac{y}{4} = \frac{n_{\text{O}_2}}{n_A} = \frac{55}{10} = 5,5$ d'où $y = 6$

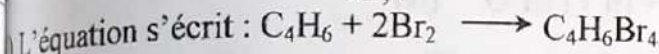
 Ainsi A : C_4H_6

- La densité est $d = \frac{M}{29} = \frac{54}{29} = 1,86$

- La masse de 1 L de A dans les C.N.T.P

$\rightarrow 22,4 \text{ L}$

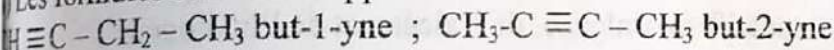
$\rightarrow 1 \text{ L}$ d'où $m = \frac{M}{22,4} = 2,41 \text{ g}$



$\frac{1}{n_A} = \frac{2}{n_{\text{Br}_2}} \Rightarrow n_{\text{Br}_2} = 2n_A$ soit $\frac{m}{M_{\text{Br}_2}} = 2 \frac{m_A}{M_A}$ d'où la masse de brome est :

$m = 2m_A \times \frac{M_{\text{Br}_2}}{M_A} = 2 \times 2,41 \times \frac{160}{54} = 14,28 \text{ g}$

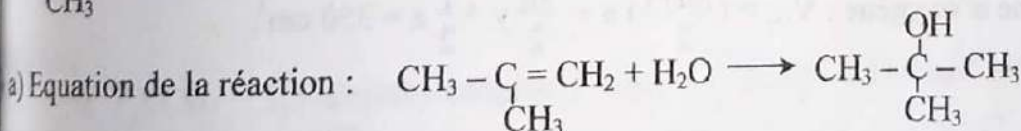
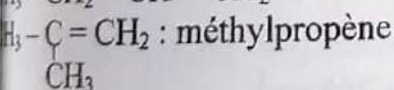
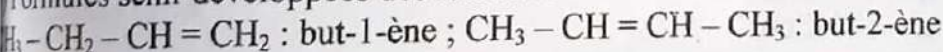
Les formules semi-développées


Solution C₃-8

La densité est $d = \frac{M}{29}$ or $M = 14n$ (masse molaire des alcènes) d'où $d = \frac{14n}{29}$

Formule brute : $d = \frac{14n}{29} = 2 \Rightarrow n = 4$ d'où C_4H_8

Formules semi-développées des isomères



Le produit obtenu est le 2-méthylpropan-2-ol

La masse du produit :

$\frac{n}{n'} \Rightarrow n = r n'$ soit $\frac{m}{M} = r \frac{m'}{M'}$ d'où $m = r m' \frac{M}{M'}$

$= 0,85 \times 4 \times \frac{74}{56} = 4,49 \text{ g}$

Solution C₃-91) La formule brute s'écrit : $C_xH_yCl_z$ On pose : $\frac{M}{100} = \frac{12x}{\%C} = \frac{y}{\%H} = \frac{35,5z}{\%Cl}$ d'où $x = 2$; $y = 3$; $z = 1$ Le monomère a pour formule brute : C_2H_3Cl

- La formule semi-développée : $CH_2 = CHCl$
- Son nom usuel : chloroéthylène
- Son nom officiel : chlorure de vinyle

2) Equation-bilan de polymérisation : $n(CH_2 = \underset{\text{Cl}}{\underset{|}{CH}}) \longrightarrow (CH_2 - \underset{\text{Cl}}{\underset{|}{CH}})_n$

Le polymère a pour nom le polychlorure de vinyle PVC.

3) La masse molaire du polymère : $M = n \times M_{\text{monomère}} = 125 \text{ kg mol}^{-1}$.

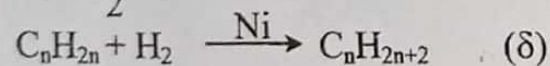
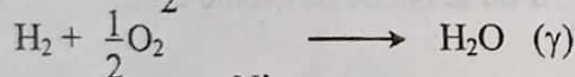
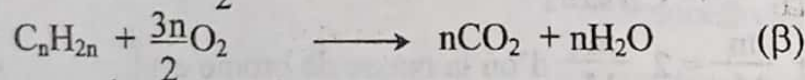
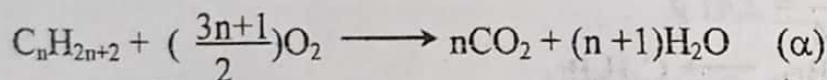
4) Les pourcentages en C, H, Cl dans le polymère sont les mêmes que pour le monomère

5) - Il ne faut pas dépasser la température de 80°C car il y aura décomposition du fibre

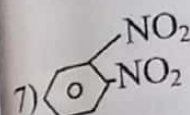
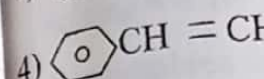
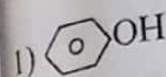
- Si on dépassait cette température, il y aura dégagement de chlorure d'hydrogène. Ce qui est très nocif pour l'homme.

Solution C₃-10

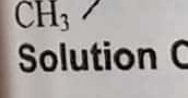
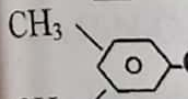
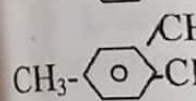
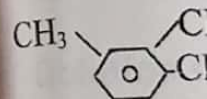
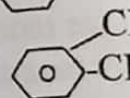
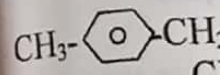
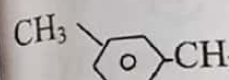
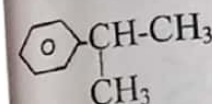
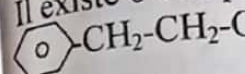
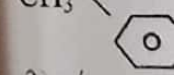
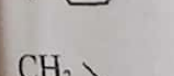
1) Ecrivons les équations des réactions

Soit x , y et z les volumes respectifs de l'alcane, de l'alcène et de l'hydrogèneDe (α) et (β) on a : $n(x+y) = 210$ De (δ) on a : $y = z$ et $x + y = x + z = 70$ On trouve à partir de ces équations : $n = \frac{210}{70} = 3$ L'alcane est le propane : C_3H_8 L'alcène est le propène : C_3H_6 On pose : $x + y + z = 100$ d'où $x = \% (C_3H_8) = 40 \%$ $\% (C_3H_6) = \% (H_2) = 30 \%$ 2) Le volume d'oxygène : $V_{O_2} = \left(\frac{3n+1}{2}\right)x + \frac{3n}{2}y + \frac{1}{2}z = 350 \text{ cm}^3$.(C₄)

CORR

Solution C₄-1**Solution C₄-2**

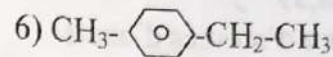
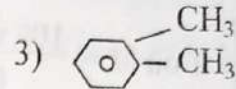
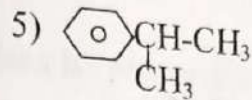
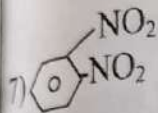
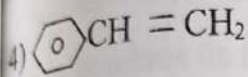
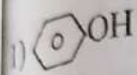
Il existe 8 comp

**Solution C**

(C4)

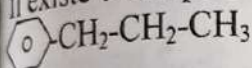
CORRIGES DES EXERCICES SUR LES COMPOSES AROMATIQUES

Solution C4-1

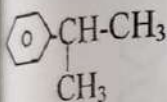


Solution C4-2

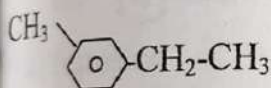
Il existe 8 composés aromatiques isomères.



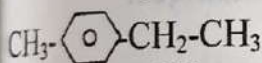
propylbenzène



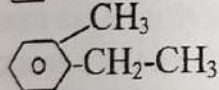
isopropylbenzène



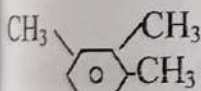
1-éthyl-3-méthylbenzène



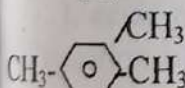
1-éthyl-4-méthylbenzène



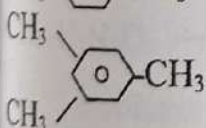
1-éthyl-2-méthylbenzène



1,2,3-triméthylbenzène

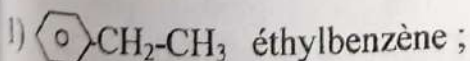


1,2,4-triméthylbenzène

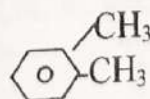


1,3,5-triméthylbenzène

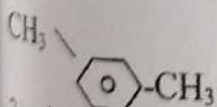
Solution C4-4



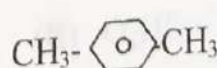
éthylbenzène ;



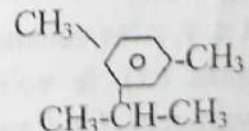
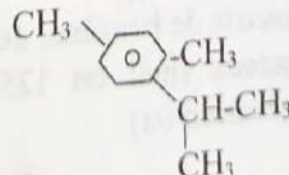
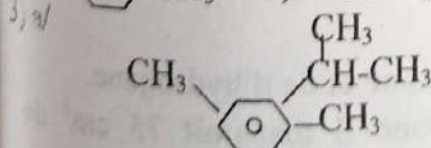
1,2-diméthylbenzène ;



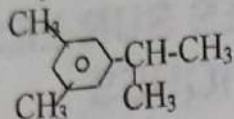
1,3-diméthylbenzène ;



1,4-diméthylbenzène



b) L'isomère le plus abondant est :



c) Le composé comporte 11 atomes de carbone

$$M \Leftrightarrow 11 \times 12 \quad \left. \begin{array}{l} 100 \Leftrightarrow 68,39 \end{array} \right\} \text{d'où } M = \frac{100 \times 11 \times 12}{68,39} = 193 \text{ g/mol}$$

- Nombre d'atomes d'azote

$$193 \Leftrightarrow n \cdot M(N) = 14 n \quad \left. \begin{array}{l} 100 \Leftrightarrow 7,25 \end{array} \right\} \text{d'où } n = \frac{193 \times 7,25}{100 \times 14} \approx 1$$

- nombre d'atomes d'oxygène

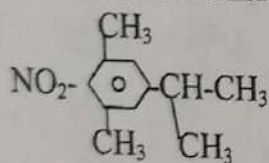
$$193 \Leftrightarrow n' \cdot M(O) = 16 n' \quad \left. \begin{array}{l} 100 \Leftrightarrow 16,58 \end{array} \right\} \text{d'où } n' = \frac{193 \times 16,58}{100 \times 16} \approx 2$$

- nombre d'atomes d'hydrogène

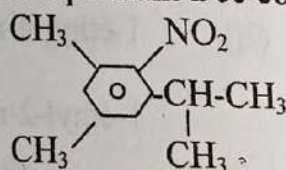
$$193 \Leftrightarrow n'' \cdot M(H) \quad \left. \begin{array}{l} 100 \Leftrightarrow 7,77 \end{array} \right\} \text{d'où } n'' = \frac{193 \times 7,77}{100} \approx 15$$

La formule brute est : $C_{11}H_{15}NO_2$

Il existe deux formules semi-développées répondant à ce composé aromatique.



et



Solution C₄-5

L'équation de la réaction s'écrit : $C_6H_6 + Br_2 \longrightarrow C_6H_5Br + HBr$

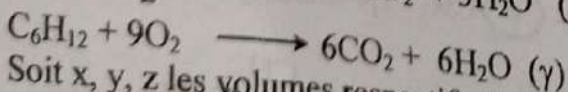
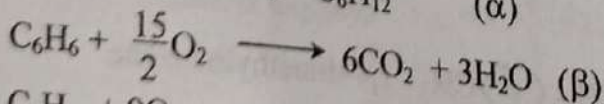
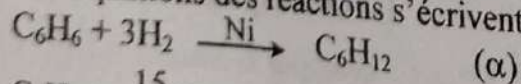
- La quantité de matière de monobromobenzène obtenu :

$$r = \frac{n}{n'} \Rightarrow n = r \times n' = 0,8 \times \frac{3}{78} = 0,0308 \text{ mole avec } M(C_6H_6) = 78$$

- La masse du produit : $m = n \times M(C_6H_5Br) = 4,83 \text{ g}$

Solution C₄-6

Les équations des réactions s'écrivent :



Soit x, y, z les volumes respectifs de benzène, de cyclohexane et de dihydrogène.

D'après (α), le volume gazeux final est 125 cm³. Donc il disparaît 75 cm³ de dihydrogène. Or d'après la réaction (α)

$$V_{C_6H_6} = x = \frac{75}{3} = 25 \text{ cm}^3$$

D'après les réa
On a x + y + z

Solution C₄-7

1) L'équation

Dans 0,46 g d

soit n_H = 4.10

Ces nombres

Donc x = 7 et

On trouve M

2) L'hydrogé

possède don

Solution C₄-8

1) A :

B :

2) Equation

Le nom est

La masse n

M = 1500 :

Solution C₄-9

1) L'acid

L'équation

2C₆H₃N₃C

2) Le vo

$$\frac{2}{n} = \frac{3}{n_N}$$

$$V_{CO_2}$$

D'après les réactions (β) et (γ) : $6(x + y) = 660$ d'où $y = V_{C_6H_{12}} = 85 \text{ cm}^3$
 On a $x + y + z = 200 \text{ cm}^3$ d'où $z = V_{H_2} = 90 \text{ cm}^3$

Solution C₄-7

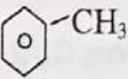
1) L'équation de la combustion : $C_xH_y + (x + \frac{y}{4})O_2 \longrightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O$

Dans 0,46 g de A on a : $m_C = 0,42 \text{ g}$ soit $n_C = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ et $m_H = 0,04 \text{ g}$
 soit $n_H = 4 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$

Ces nombres de moles sont dans les proportions 7 et 8.

Donc $x = 7$ et $y = 8$. En posant $n = \frac{0,46}{M} = \frac{3,5 \cdot 10^{-2}}{x} = \frac{4 \cdot 10^{-2}}{y}$

On trouve $M = 92 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. La formule brute est : C_7H_8

2) L'hydrogénation de A se fait avec trois molécules de dihydrogène. L'hydrocarbure possède donc trois insaturations. C'est le méthylbenzène ou le toluène 

Solution C₄-8

1) A :  : phénylétane

B :  : phényléthylène (le styrène)

2) Equation : $nCH_2 = \underset{\text{benzene ring}}{\text{CH}} \longrightarrow (CH_2 - \underset{\text{benzene ring}}{\text{CH}})_n$

Le nom est le polystyrène

La masse molaire moyenne du polymère

$$M = 1500 \times M_{(\text{monomère})} = 1500 \times 104 = 156 \text{ kg}$$

Solution C₄-9

1) L'acide picrique a pour formule brute : $C_6H_3N_3O_7$, de masse $M = 193 \text{ g/mol}$

L'équation-bilan de décomposition s'écrit :



2) Le volume de gaz dégagé : $V = V_{N_2} + V_{CO_2}$

$$\frac{2}{n} = \frac{3}{n_{N_2}} = \frac{11}{n_{CO_2}} \text{ soit } \frac{2M}{m} = \frac{3 \times V_M}{V_{N_2}} = \frac{11V_M}{V_{CO_2}} \text{ d'où } V_{N_2} = 0,174 \text{ L ;}$$

$$V_{CO_2} = 0,638 \text{ L et } V = 0,812 \text{ L}$$

hydrogène.
 it 75 cm^3 de

(C₅)

Solution C

Fami

- 6) éthoxypropane
- 7) méthoxyéthylène
- 8) éthoxyéthane
- 9) isopropoxybutane ou 1-éthyléthoxybutane
- 10) 3-éthyl-2-méthylpentan-3-ol

acide
carboxylique

- 4) butan-2-one ou plus simplement butanone
5) 2,2-diméthylpentan-3-one
6) 3-éthyl-4-méthylhexan-2-one

aldéhyde

- 5) méthanoate de méthyle
- 6) 2-méthylbutanoate d'éthyle
- 7) propanoate de 2-méthylpropyle
- 8) 2-phénylpropanoate d'isopropyle ou 2-phénylpropanoate de méthyléthyle

alcohol

- 6) $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\underset{\text{C}_2\text{H}_5}{\text{CH}}-\text{COOH}$
- 7) $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
- 8) $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
- 9) $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
- 10) $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{C}$

cétone

éther-oxy

ester

Solution

- a) A l'é

- b)
- $C_a =$

La forme

$$M(C_nH_{2n})$$

La form

- c)
- CH_2

CH

H-C

La pre

Solution C₅-5

Famille	Formule générale	Groupe fonctionnel	Formule brute	Exemple
acide carboxylique	R-COOH	-COOH	C _n H _{2n} O ₂	CH ₃ -CH ₂ -COOH
aldéhyde	R-C(=O)H	-C(=O)H	C _n H _{2n} O	CH ₃ -C(=O)H
alcool	R-OH	-OH	C _n H _{2n+2} O	CH ₃ -CH ₂ OH
cétone	R-C(=O)R'	-C(=O)-	C _n H _{2n} O	CH ₃ -C(=O)-CH ₃
éther-oxyde	R-O-R'	-O-	C _n H _{2n+2} O	CH ₃ -O-C ₂ H ₅
ester	R-C(=O)O-R'	-C(=O)O-	C _n H _{2n} O ₂	CH ₃ -C(=O)O-C ₂ H ₅

 Solution C₅-6

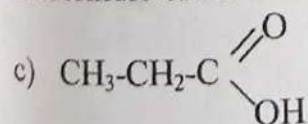
a) A l'équivalence $C_a V_a = C_b V_b$ d'où $C_a = \frac{C_b V_b}{V_a} = 0,1 \text{ mol/L}$.

b) $C_a = \frac{n}{V}$ or $n = \frac{m}{M}$ d'où $C_a = \frac{m}{MV}$ soit $M = \frac{m}{C_a V} = 74 \text{ g/mol}$.

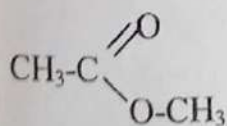
La formule brute de l'acide est C_nH_{2n}O₂ ; on a alors

$$M(C_n H_{2n} O_2) = 14n + 32 = 74 \text{ d'où } n = \frac{74 - 32}{14} = 3$$

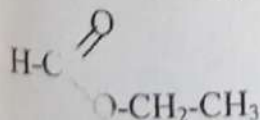
La formule brute cherchée est C₃H₆O₂



acide propanoïque



éthanoate de méthyle



méthanoate d'éthyle

La première formule correspond au composé A.

Solution C₅-7

1) La masse molaire de l'alcool : $\frac{M}{100} = \frac{16}{\%O}$ soit $\frac{M}{100} = \frac{16}{34,79}$ d'où $M \approx 46$

- La formule brute : $\frac{M}{100} = \frac{12x}{\%C} = \frac{y}{\%H}$ d'où $x = 2$; $y = 6$

On a : C₂H₆O
- CH₃-CH₂-OH : éthanol

2) a) Equation-bilan : CH₃-CH₂OH + 3O₂ → 2CO₂ + 3H₂O

b) Le volume d'air :

La masse d'alcool utilisé : $m = \rho_e \times d \times v = 1 \times 0,8 \times 10^3 = 800$ g

Le volume d'oxygène : $\frac{1}{n_{al}} = \frac{3}{n_{O_2}}$ soit $\frac{M}{m} = \frac{3V_M}{V_{O_2}}$ d'où $V_{O_2} = 1168,7$ L

Le volume d'air $V_{air} = 5 \times V_{O_2} = 5843,5$ L

c) La chaleur dégagée par la combustion

$Q = \frac{m}{M} \times W = \frac{800}{46} \times 1340 = 23304,35$ kJ

Solution C₅-8

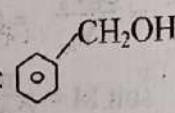
1) La masse molaire moléculaire : $M = \frac{mRT}{PV} = 108$ g/mol⁻¹ avec $R = 8,31$ U.S.I

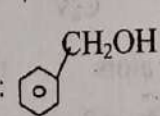
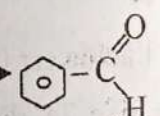
$C_xH_yO + (x + \frac{y}{2} - \frac{1}{2}) O_2 \rightarrow xCO_2 + \frac{y}{2} H_2O$

$\frac{1}{n_X} = \frac{x}{n_{CO_2}}$ soit $x = \frac{n_{CO_2}}{n_X} = \frac{M \times V_{CO_2}}{m \times V_M} = 7$

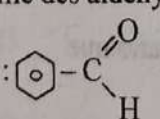
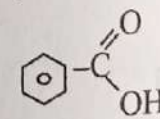
$M(C_xH_yO) = 12x + y + 16 = 108$ d'où $y = 8$

La formule brute X : C₇H₈O

2) La formule semi-développée :  phénylméthanol (ou alcool benz.)

3) Equation de la réaction :  + $\frac{1}{2} O_2 \rightarrow$  + H₂O

Le produit Y qui rosit le réactif de Schiff est le benzaldéhyde.
Il appartient à la famille des aldéhydes.

4) L'équation s'écrit :  + $\frac{1}{2} O_2 \rightarrow$ 

a) Z est l'acide benzoïque

Calcul de la masse de Z : $r = \frac{n_Z}{n_Y} \Rightarrow n_Z = r \times n_Y$ d'où

$m_Z = r \times M_Z \times \frac{m_Y}{M_Y} = 0,8 \times 122 \times \frac{15}{106} = 13,81$ g

b) Cette réaction est une réaction photochimique
Réaction de chloration du méthane.

Solution C₅-9

1) Dans une mo

2) La masse mo

$PV = \frac{m}{M} RT$ or

La formule génér

C₃H₆O₂

3) Les formules

CH₃-C(=O)-O-CH

H-C(=O)-O-CH₂-

Solution C₅-10

1) M_{amylose} = M

M_{amylpectine} = M

M_{amidon} = (0,2 ×

2) * Amylose :

* Amylopectin

* Maltose : C

3) Calcul de la

Dans 100 kg d'a

De l'équation (o

De l'équation (f

La masse de ma

- Calcul de la

De l'équation (y

4) L'équation

C₆H₁₂O₆ →

On a : $r = \frac{n_{etha}}{2n_{gl}}$

M_{éthanol} = r × M

- Le volume d'é

Solution C₅-9

1) Dans une molécule d'ester, il y a deux atomes d'oxygène.

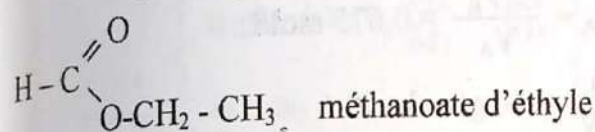
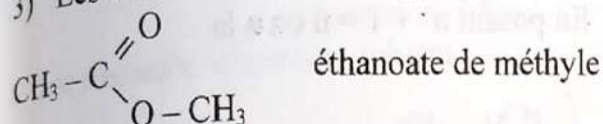
2) La masse molaire molaire :

$$PV = \frac{m}{M} RT \text{ or } m = \rho \times V \text{ d'où } M = \frac{\rho RT}{P} = \frac{1,7 \cdot 10^3 \times 8,31 \times 523}{10^5} \cdot M = 74 \text{ g.mol}^{-1}$$

La formule générale est $C_n H_{2n} O_2$ d'où $M = 14n + 32 = 74$ et $n = 3$



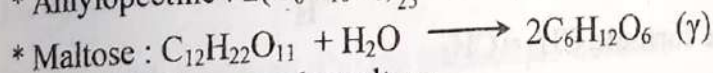
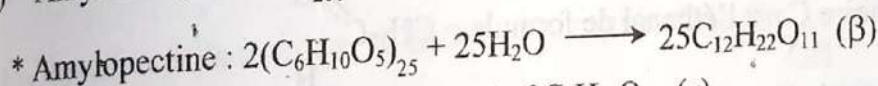
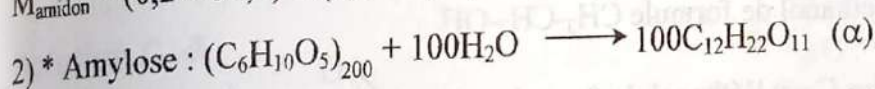
3) Les formules semi-développées

**Solution C₅-10**

$$1) M_{\text{amylose}} = M((C_6H_{10}O_5)_{200}) = 32,4 \text{ kg.mol}^{-1}$$

$$M_{\text{amylopectine}} = M((C_6H_{10}O_5)_{25}) = 4,05 \text{ kg.mol}^{-1}$$

$$M_{\text{amidon}} = (0,2 \times 32,4) + (0,8 \times 4,05) = 9,72 \text{ kg.mol}^{-1}$$



3) Calcul de la masse de maltose

Dans 100 kg d'amidon, il y a 20 kg d'amylose et 80 kg d'amylopectine.

$$\begin{array}{ccc} \text{De l'équation } (\alpha) : 32,4 \text{ kg} & \longrightarrow & 100 \times 0,342 \\ 20 & \longrightarrow & m_1 \end{array} \quad \text{d'où } m_1 = 21,11 \text{ kg}$$

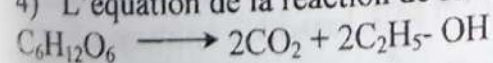
$$\begin{array}{ccc} \text{De l'équation } (\beta) : 2 \times 4,05 \text{ kg} & \longrightarrow & 25 \times 0,342 \\ 80 & \longrightarrow & m_2 \end{array} \quad \text{d'où } m_2 = 84,44 \text{ kg}$$

$$\text{La masse de maltose : } m = m_1 + m_2 = 105,6 \text{ kg}$$

- Calcul de la masse de glucose

$$\begin{array}{ccc} \text{De l'équation } (\gamma) : 0,342 \text{ kg} & \longrightarrow & 2 \times 0,18 \\ 105,6 & \longrightarrow & m \end{array} \quad \text{d'où } m = 111,16 \text{ kg}$$

4) L'équation de la réaction de fermentation :



$$\text{On a : } r = \frac{n_{\text{éthanol}}}{2n_{\text{glucose}}} \Rightarrow n_{\text{éthanol}} = r \times 2 \times n_{\text{glucose}}$$

$$M_{\text{éthanol}} = r \times M_{\text{éthanol}} \times \frac{m}{M} = 0,8 \times 46 \cdot 10^{-3} \times \frac{111,16}{0,18} = 45,45 \text{ kg}$$

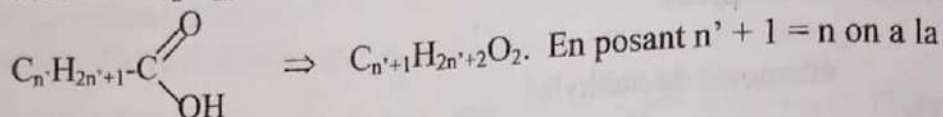
$$\text{- Le volume d'éthanol : } \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{m}{\rho_{\text{éd}}} = 56,8 \text{ L.}$$

(C₆)

CORRIGES DES EXERCICES SUR L'ETHANOL, ETHANAL ACIDE ETHANOÏQUE

Solution C₆-1

1) La formule générale d'un acide carboxylique est $\text{R}-\text{C} \begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$ avec $\text{R} = -\text{C}_n\text{H}_{2n'+1}$. On a alors :



formule brute $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$

2) A l'équivalence $\text{C}_A\text{V}_A = \text{C}_B\text{V}_B$ d'où $\text{C}_A = \frac{\text{C}_B\text{V}_B}{\text{V}_A} = 0,675 \text{ mol/L}$.

$$\text{C}_A = \frac{n}{V} \text{ avec } n = \frac{m}{M} \text{ d'où } M = \frac{m}{\text{C}_A V} = 60 \text{ g/mol.}$$

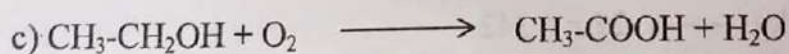
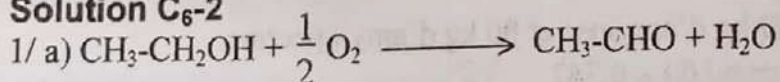
$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2) = 14n + 32 = 60 \text{ d'où } n = \frac{60 - 32}{14} = 2$$

La formule développée est $\text{H}-\underset{\text{H}}{\text{C}}-\overset{\text{H}}{\text{C}} \begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$: c'est l'acide éthanoïque.

3) L'alcool B est l'éthanol de formule $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$

Le corps intermédiaire C est l'éthanal de formule $\text{CH}_3-\overset{\text{H}}{\text{C}} \begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{H} \end{smallmatrix}$

4) Cet alcène est l'éthylène de formule $\text{CH}_2=\text{CH}_2$

Solution C₆-2

2) Masse d'éthanol oxydé : $m = \rho V = 22,98 \text{ g} \approx 23 \text{ g}$

$$\text{Nombre de moles d'éthanol oxydé : } n = \frac{m}{M} = 0,5 \text{ mol}$$

$$\text{Nombre de moles d'acide obtenu : } n' = \frac{m'}{M'} = 0,3 \text{ mol}$$

La réaction se fait mole à mole. Or $n' < n$ donc il reste d'éthanal dans le mélange. Soit n'' le nombre de moles d'éthanal non transformé en acide éthanoïque.

$$n = n' + n'' \text{ d'où } n'' = n - n' = 0,2 \text{ mol.}$$

Si m'' est la masse d'éthanal et M'' sa masse molaire, on a : $m'' = n''M'' = 0,2 \times 44 = 8,8 \text{ g}$.

Solution C₆-3

La réaction est totale et mole à mole ; le nombre n de moles d'acide obtenu est égal à la somme du nombre n_1 de moles d'éthanol et du nombre n_2 de moles d'éthanal donc :

$$n = n_1 + n_2 = \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}$$

$$n = C_a V \quad \text{or} \quad C_a V_a = C_b V_b \quad \text{d'où} \quad C_a = \frac{C_b V_b}{V_a}$$

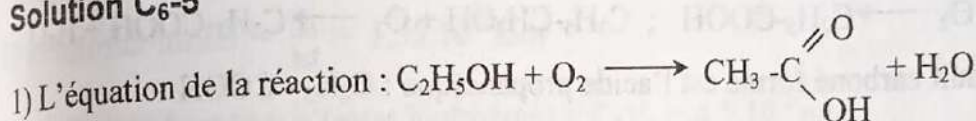
$$\text{donc } n = C_a V = \frac{C_b V_b}{V_a} \quad V = 0,3 \text{ mol}$$

Il faut résoudre le système suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} n = n_1 + n_2 = \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \\ m = m_1 + m_2 \end{array} \right\} \quad \text{d'où } m_1 = 4,6 \text{ g et } m_2 = 8,8 \text{ g.}$$

Solution C₆-4

- Le flacon n°1 contient l'acide éthanoïque
- Le flacon n°2 contient l'éthanal
- Le flacon n°3 contient l'éthanol

Solution C₆-5

2) La quantité minimum d'acide éthanoïque obtenu.

La masse d'alcool : $m_{\text{al}} = \rho \times V = 800 \times 9000 \cdot 10^{-6} = 7,2 \text{ kg}$

$$\frac{m_{\text{al}}}{M_{\text{al}}} = \frac{m_{\text{ac}}}{M_{\text{ac}}} \quad \text{d'où } m_{\text{ac}} = M_{\text{ac}} \times \frac{m_{\text{al}}}{M_{\text{al}}} = 60 \times \frac{7,2}{46} = 9,4 \text{ kg}$$

3) Calcul du rendement

Le nombre de mole obtenu en réalité : $n_{\text{ac}} = CV = 1,10 \times 100 = 110 \text{ mol}$

Le nombre de mole d'alcool : $n_{\text{al}} = \frac{7200}{46} = 156,52 \text{ mol}$

$$r = \frac{n_{\text{ac}}}{n_{\text{al}}} = 0,70 \quad \text{d'où } r = 70 \%$$

Solution C₆-6

1) La quantité d'éthanol dans l'échantillon dosé.

D'après l'équation-bilan : $\frac{5}{n_{\text{al}}} = \frac{4}{C \cdot V} \quad \text{d'où } n_{\text{al}} = \frac{5CV}{4}$

$$n_{\text{al}} = \frac{5 \times 0,4 \times 24 \cdot 10^{-3}}{4} = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol soit } m = 5,52 \cdot 10^{-1} \text{ g}$$

2) La proportion, en volume d'éthanol

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{d'où } V = \frac{m}{\rho} = \frac{5,52 \cdot 10^{-1}}{790} = 0,7 \text{ cm}^3 \text{ soit } 3,5 \%$$

le mélange
ïque.

Le carburant étudié est conforme à la législation. Car la législation limite la proportion d'éthanol à 5 % or on a ici 3,5 %.

Solution C₆-7

- La concentration de la solution en acide éthanoïque

A l'équivalence acido-basique : $C_a V_a = C_b V_b$ d'où $C_a = C_b \frac{V_b}{V_a} = \frac{10^{-1} \times 8,5}{10}$
 $C_a = 8,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

- La concentration de la solution en alcool

Le nombre de moles d'alcool restant après oxydation d'une partie :

$$n_r = n_i - C_a V_a = 10^{-3} - (8,5 \cdot 10^{-2} \times 10^{-2}) = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\text{D'où } C_{al} = \frac{n_r}{V_a} = \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

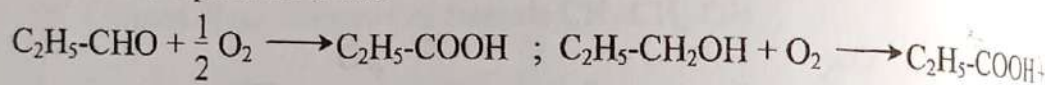
Solution C₆-8

1) a) $y = 2x + 2$; b) $\frac{M}{100} = \frac{16}{26,66}$ d'où $M = 60 \text{ g.mol}^{-1}$ et C_3H_8O

c) $CH_3 - CH_2 - CH_2 - OH$ propan-1-ol ; $CH_3 - CHOH - CH_3$ propan-2-ol

2) a) - L'alcool utilisé est le propan-1-ol

- Les équations-bilans



- Le produit carboné formé est l'acide propanoïque : $C_2H_5 - COOH$

b) - Calcul de m_1 et m_2

A l'équivalence acido-basique : $C_a V_a = C' V' \Rightarrow C_a = \frac{C' V'}{V_a}$

La quantité de matière dans 1 L : $n = C_a V = \frac{C' V'}{V_a} \cdot V$

La quantité de matière totale : $N_a = 10$. $n = 10 \times \frac{C' V'}{V_a} V = 0,3 \text{ mol}$

$$\text{On pose } \begin{cases} m_1 + m_2 = 17,6 \\ n_1 + n_2 = 0,3 \end{cases} \text{ soit } \begin{cases} m_1 + m_2 = 17,6 \\ \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} = 0,3 \end{cases}$$

avec $M_1 = 60 \text{ g.mol}^{-1}$ et $M_2 = 58 \text{ g.mol}^{-1}$

On trouve $m_1 = 6 \text{ g}$ et $m_2 = 11,6 \text{ g}$

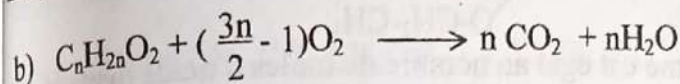
- Les pourcentages en quantité de matière

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = 0,1 \text{ mol} ; n_2 = \frac{m_2}{M_2} = 0,2 \text{ mol} \text{ d'où } \% (n_1) = 33,33 \text{ et } \% (n_2) = 66,67$$

CORRIGES DES EXERCICES SUR ESTERIFICATION - HYDROLYSE

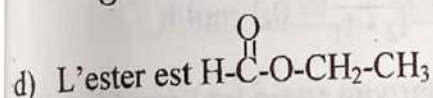
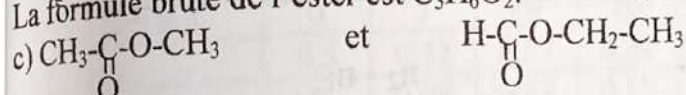
Solution C7-1

1) a) $R-COOR' \Rightarrow C_m H_{2m+1} - COO - C_{m'} H_{2m'+1} \Rightarrow C_{m+m'+1} H_{2m+2m'+2} O_2$
En posant $n = m + m' + 1$ on a la formule brute $C_n H_{2n} O_2$



$$\left. \begin{array}{l} 14n + 32 \longleftrightarrow 44n \\ 1,5 \longleftrightarrow 2,673 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{14n + 32}{1,5} = \frac{44n}{2,673} \text{ d'où } n = 3$$

La formule brute de l'ester est $C_3 H_6 O_2$.



2) a) $n_0(\text{ester initial}) = \frac{m}{M} = 1,35 \cdot 10^{-2} \text{ mol ;}$

$$n'(\text{acide formé}) = n'(\text{ester hydrolysé}) = C_b V_b = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n''(\text{ester restant}) = n_0 - n' = 9 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$m(\text{ester restant}) = n'' \cdot M = 0,666 \text{ g}$$

b) Pourcentage $1 = \frac{n'}{n_0} = 33,33 \%$

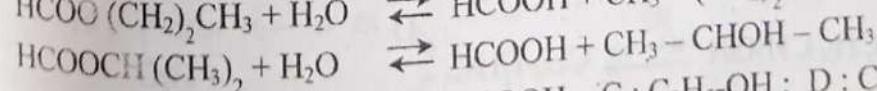
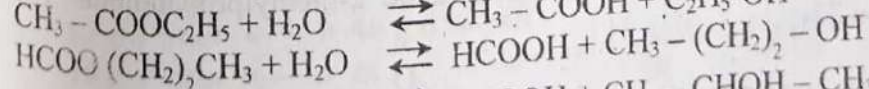
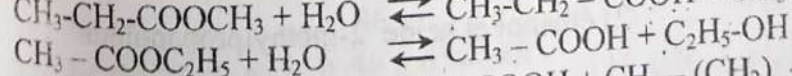
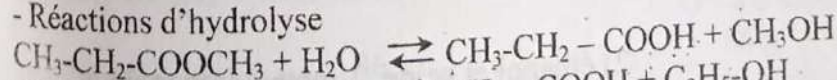
Solution C7-2

1) a) La formule générale des esters est $C_n H_{2n} O_2$ avec $M = 14n + 32$

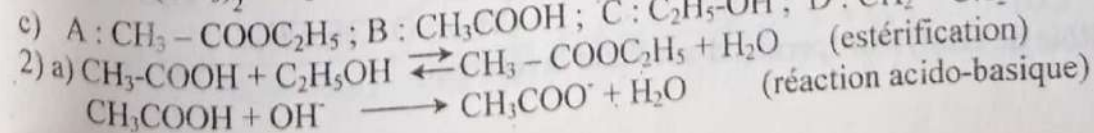
d'où $\frac{14n + 32}{100} = \frac{32}{36,36} \Rightarrow n = 4$ et $C_4 H_8 O_2$

b) Les formules semi-développées et les noms de cet ester
 $CH_3 - CH_2 - COOCH_3$ propanoate de méthyle ; $CH_3COOC_2H_5$ éthanoate d'éthyle
 $HCOO(CH_2)_2CH_3$ méthanoate de propyle ; $HCOOCH(CH_3)_2$ méthanoate d'isopropyle

- Réactions d'hydrolyse



c) A : $CH_3 - COOC_2H_5$; B : CH_3COOH ; C : C_2H_5OH ; D : $CH_2 = CH_2$



La composition du mélange initial

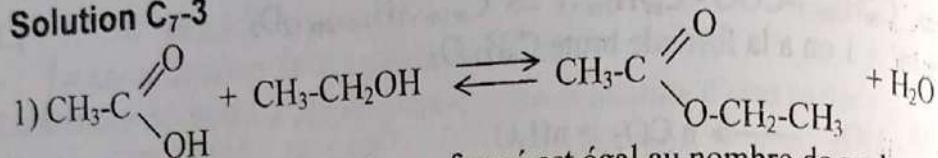
$$n_{\text{acide}} = \frac{6}{60} = 0,1 \text{ mol}; n_{\text{alcool}} = \frac{23}{46} = 0,5 \text{ mol}$$

b) Le nombre de moles d'ester formé à l'équilibre

A l'équilibre acido-basique : $n_a = C_b V_b = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

D'où $n_e = n_{\text{acide}} - n_a = 9,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$.

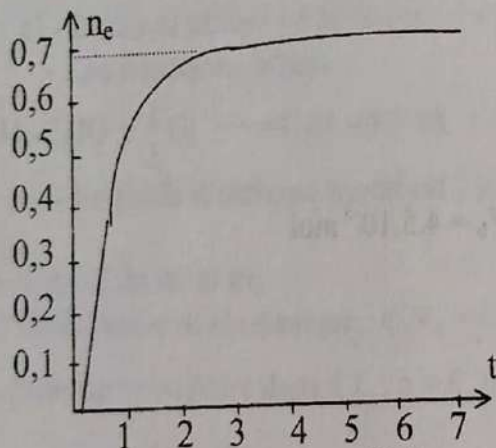
Solution C7-3



2/ a) Le nombre de moles d'ester formé est égal au nombre de moles d'acide
On a donc $n_e = 1 - n_a$ d'où le tableau $n_e = f(t)$

t en h	1	2	3	4	5	6	7
n_a en mol	0,57	0,42	0,37	0,34	0,335	0,33	0,33
n_e en mol	0,43	0,58	0,63	0,66	0,665	0,67	0,67

L'allure de la courbe est la suivante :



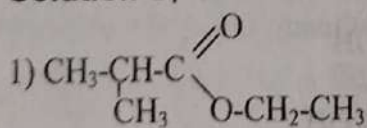
4) Pour 1 mole d'éthanol utilisé on a :

$$m_1 = M_1 = \rho_1 V_1 \text{ d'où } V_1 = \frac{M_1}{\rho_1} = \frac{46}{0,79} = 58,2 \text{ cm}^3$$

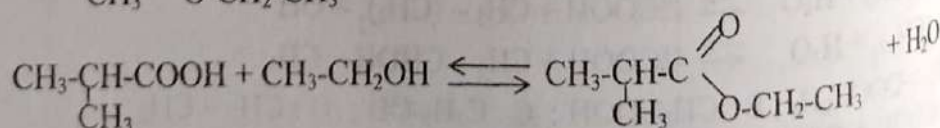
$$\text{Pour 1 mole d'acide utilisé, } m_2 = M_2 = \rho_2 V_2 \text{ d'où } V_2 = \frac{M_2}{\rho_2} = \frac{60}{1,80} = 33,3 \text{ cm}^3$$

Le volume réactionnel est $V = V_1 + V_2 = 91,5 \text{ cm}^3$.

Solution C7-4



2) éthanol et acide 2-méthylpropanoïque



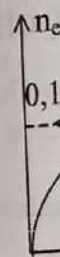
3) a) Rôle de catalyseur (permet d'accélérer la réaction).

$$b) v_m = \frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} = 0,1 \text{ mol/h}$$

3) a) Pour vite atteindre l'équilibre faut augmenter la température par chauffage et/ou utiliser un catalyseur.

b) Pour déplacer l'équilibre dans le sens de la formation de l'ester, il faut ajouter un excès d'un des réactifs ou éliminer l'eau au fur et à mesure de la formation.

3) A la date



4) Une él (sans modification) d'acide sur le mélange à

Solution

1) a) Il faut

b) $\text{CH}_3\text{-C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O-CH}_2\text{-CH}_3 \end{matrix}$

60 g
88 g d
10 g d

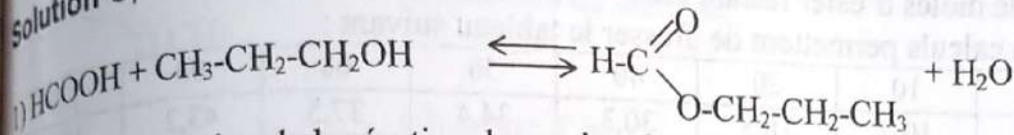
c) $l = 67$

$$n_{\text{ester}} = \frac{66 \times 0,15}{100} = 0,099 \text{ mol} = \frac{m_e}{M_e} \text{ d'où } m_e = 11,48 \text{ g}$$

$$n_{\text{alcoool}} = 0,15 - 0,099 = 0,051 = \frac{m_a}{M_a} \text{ d'où } m_a = 0,051 \times 46 = 2,346 \text{ g}$$

$$n_{\text{ester formé}} = \frac{66 \times 0,15}{100} = 0,135 \text{ d'où } m_e = n \cdot M_e = 15,66 \text{ g}$$

Solution C7-5



2) D'après l'équation de la réaction, le nombre de moles d'ester formé est égal au nombre de moles d'alcool disparu (ou acide disparu).

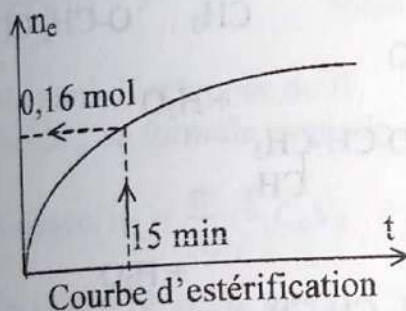
$$n_e = 0,5 - n_a$$

t en min	0	5	10	20	30	40	50	60
n_a	0,5	0,42	0,37	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
n_e	0	0,08	0,13	0,18	0,21	0,23	0,24	0,25

3) A la date $t = 15 \text{ min}$ on trouve graphiquement $n_e = 16 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ environ.

La composition du mélange est donc :

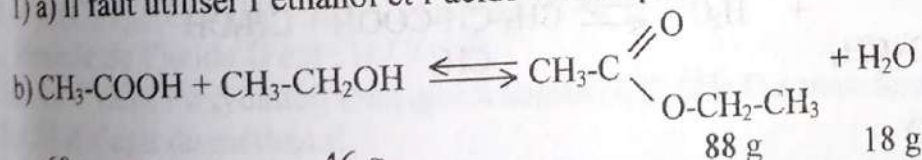
- ester : 0,16 mol
- eau : 0,16 mol
- acide : $0,5 - 0,16 = 0,34 \text{ mol}$
- alcool : $0,5 - 0,16 = 0,34 \text{ mol}$



4) Une élévation de la température permet d'atteindre plus vite l'état d'équilibre (sans modification de la composition du mélange) ; une addition de quelques gouttes d'acide sulfurique permet d'accélérer la réaction sans modifier la composition du mélange à l'équilibre.

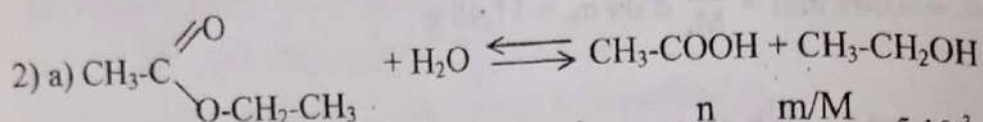
Solution C7-6

1) a) Il faut utiliser l'éthanol et l'acide éthanoïque



$$\begin{array}{l} 60 \text{ g} \quad \quad \quad 46 \text{ g} \\ 88 \text{ g d'ester} \longleftrightarrow 46 \text{ g d'alcool} \\ 10 \text{ g d'ester} \longleftrightarrow m \quad \quad \text{d'où } m = \frac{10 \times 46}{88} = 5,23 \text{ g} \end{array}$$

$$c) l = 67\% = \frac{n(\text{ester})}{n_0(\text{alcool})} = \frac{m_e/M_e}{m_a/M_a} \text{ d'où } m_a = \frac{m_e \cdot M_a}{l \cdot M_e} = 7,80 \text{ g}$$



Nombres de moles d'ester dans chaque tube $n_o = \frac{n}{10} = \frac{m/M}{10} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.

La réaction d'hydrolyse est une réaction lente, limitée et athermique.

b) - Le nombre de moles d'acide formé est égal au nombre de moles d'ions OH^- apportés par la soude pour la neutralisation : $n_a = n_{\text{OH}^-} = C_b V_b$

- Le nombre de moles d'ester restant est : $n_e = n_o - n_a = n_o - C_b V_b$

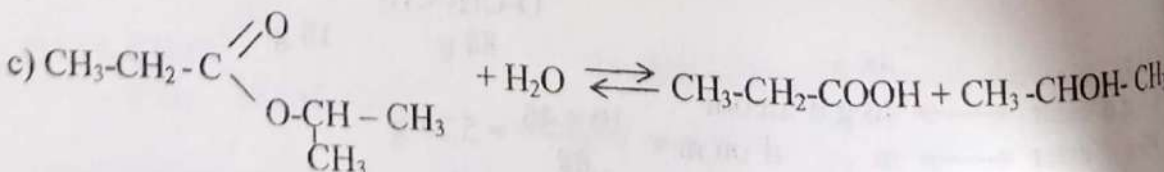
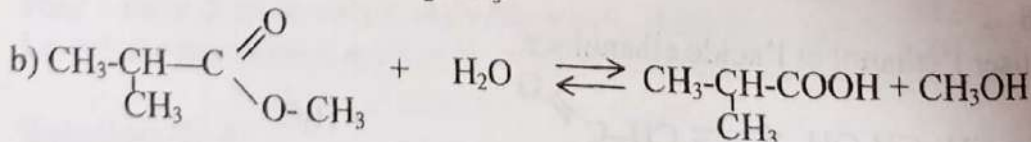
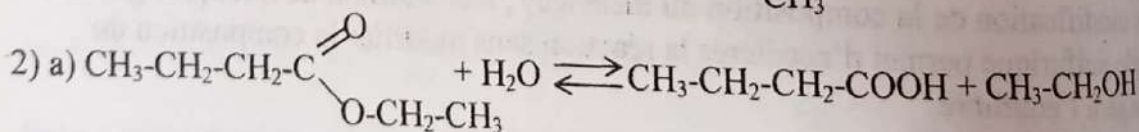
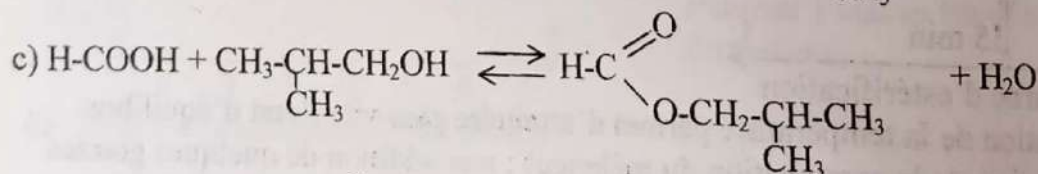
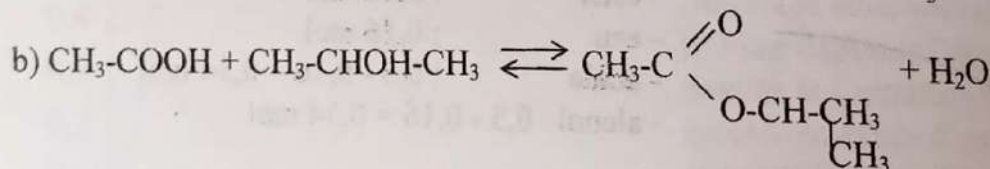
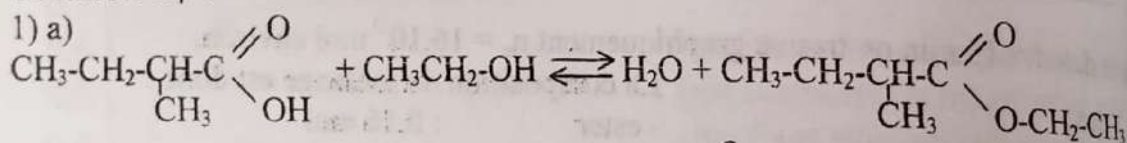
Les différents calculs permettent de dresser le tableau suivant :

t(min)	0	10	20	40	50	60	90	120
$V_b(\text{cm}^3)$	0	10,3	18,5	30,3	34,4	37,5	43,2	46,8
$n_a(\text{mol})$	0	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,85 \cdot 10^{-3}$	$3,03 \cdot 10^{-3}$	$3,44 \cdot 10^{-3}$	$3,75 \cdot 10^{-3}$	$4,32 \cdot 10^{-3}$	$4,68 \cdot 10^{-3}$
$n_e(\text{mol})$	0,005	$3,97 \cdot 10^{-3}$	$3,15 \cdot 10^{-3}$	$1,97 \cdot 10^{-3}$	$1,56 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$0,68 \cdot 10^{-3}$	$0,32 \cdot 10^{-3}$

c) Tracer les courbes $n_e = f(t)$ et $n_a = f(t)$

d) Pour $n'_e = \frac{n_o}{2} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ on a graphiquement $t = 30 \text{ min}$

Solution C7-7



3) a) Formule brute du composé A

Le composé a pour formule $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$

La masse molaire du composé est : $M = 29 d = 87,87 \approx 88 \text{ g/mol}$

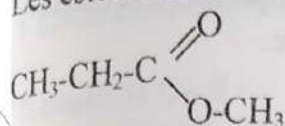
$$\begin{aligned}
 100 \text{ g de A} &\longleftrightarrow 54,5 \text{ g de carbone} \\
 88 \text{ g de A} &\longleftrightarrow 12 x \text{ de carbone d'où } x = \frac{88 \times 54,5}{12 \times 100} \approx 4 \\
 100 \text{ g de A} &\longleftrightarrow 9,1 \text{ g de dihydrogène} \\
 88 \text{ g de A} &\longleftrightarrow y \text{ d'où } y = \frac{88 \times 9,1}{100} \approx 8
 \end{aligned}$$

$$M = 88 = 12x + y + 16z \text{ d'où } z = 2$$

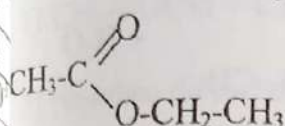
La formule brute du composé A est : $C_4H_8O_2$

b) Cette formule brute correspond à celle des acides et des esters.

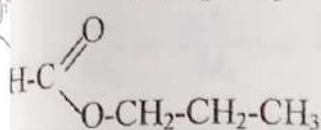
Les esters sont :



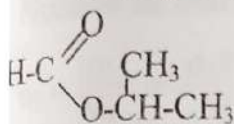
propanoate de méthyle



éthanoate d'éthyle



méthanoate de propyle

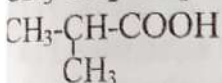


méthanoate de 1-méthyléthyle (ou d'isopropyle)

Les acides sont :



acide butanoïque



acide 2-méthylpropanoïque

c) Formule semi-développée de B

B est un acide ; sa formule générale est : $C_nH_{2n+1}-COOH$

$$\text{A l'équivalence, } n_B = \frac{m}{M_B} = C_b V_b \text{ d'où } M_B = \frac{m}{C_b V_b} = 74 \text{ g}$$

$$M_B = 14n + 46 = 74 \text{ d'où } n = 2$$

La formule semi-développée de B est : CH_3-CH_2-COOH

d) * Formule semi-développée de l'acide D obtenu lors de l'oxydation ménagée de l'alcool C.

$$\text{A l'équivalence } n_D = \frac{m'}{M_D} = C_b V_b \text{ d'où } M_D = \frac{m'}{C_b V_b} = \frac{4,6}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5} = 46 \text{ g/mol}$$

$$M_C = M(C_nH_{2n+1}COOH) = 46 = 14n + 46 \text{ d'où } n = 0$$

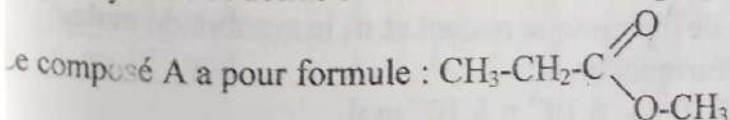
La formule de l'acide D est : $H-COOH$

L'alcool C dont l'oxydation ménagée a conduit à l'acide D a pour formule :

CH_3OH il s'agit du méthanol.

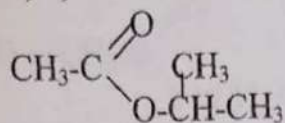
* Formule semi-développée de A.

L'hydrolyse de A donne le méthanol et l'acide propanoïque.



Solution C7-8

1) a) L'affirmation est fausse. La formule de l'éthanoate de 1-méthyléthyle est :

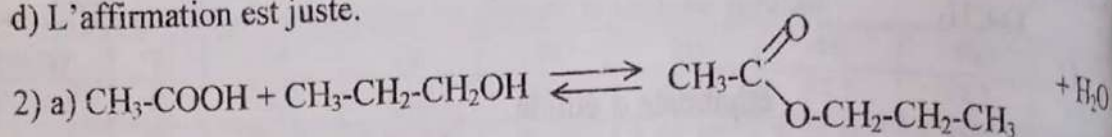


On devrait dire : pour préparer l'éthanoate de 1-méthyléthyle, il faut faire réagir de l'acide éthanoïque sur le propan-2-ol.

b) L'affirmation est juste.

c) L'affirmation est fausse. On devrait dire : une élévation de la température accélère simultanément la réaction d'estérification et la réaction d'hydrolyse.

d) L'affirmation est juste.



Cette réaction est appelée estérification.

Cette réaction est lente, athermique et limitée.

Le mélange chauffé a été acidifié pour accélérer la réaction.

b) Nombre de moles d'alcool : $M_1(\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}) = 60 \text{ g/mol}$

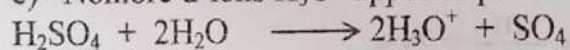
$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{\rho_1 V_1}{M_1} = \frac{799 \times 11,3 \cdot 10^{-3}}{60} = 0,15 \text{ mol}$$

- Nombre de moles d'acide éthanoïque : $M_2(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60 \text{ g/mol}$

$$n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{\rho_2 V_2}{M_2} = \frac{1050 \times 8,6 \cdot 10^{-3}}{60} = 0,15 \text{ mol.}$$

- Le mélange est équimolaire car $n_1 = n_2$

c)* Nombre d'ions H_3O^+ apportés par l'acide sulfurique.



L'équation-bilan précédent montre que chaque mole d'acide sulfurique libère deux moles d'ions H_3O^+ d'où :

$$n_{\text{H}_3\text{O}^+} = n_3 = 2 \cdot C_a V_a = 2 \times 2,5 \times 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

* Nombre de moles d'acide éthanoïque restant dans le mélange.

Dans le mélange il y a de l'acide éthanoïque et de l'acide sulfurique.

Calculons le nombre n_0 d'acide (éthanoïque et sulfurique) contenu dans le prélèvement de 8,2 mL.

$$\text{A l'équivalence, } n_0 = n_{\text{OH}^-} = C_b V_b = 21,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Le volume total du mélange est : $V = 11,3 + 8,6 + 1 = 20,9 \text{ mL}$

Soit n le nombre de moles d'acide (éthanoïque et sulfurique) restant dans le mélange initial. On a :

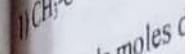
$$\begin{array}{l} 8,2 \text{ mL} \longleftrightarrow 21,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \\ 20,9 \text{ mL} \longleftrightarrow n \text{ d'où } n = \frac{21,6 \cdot 10^{-3} \times 20,9}{8,2} = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.} \end{array}$$

Si n_a est le nombre de moles d'acide éthanoïque restant et n_3 le nombre de moles d'ions H_3O^+ libéré par l'acide sulfurique, on a :

$$n = n_a + n_3 \text{ d'où } n_a = n - n_3 = 5,5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

Nombre de moles n_e d'acide éthanoïque :
 $n_e = n_2 - n_3 = 0,15 - 5 \cdot 10^{-3}$
Pourcentage d'acide éthanoïque :
 $\frac{n_e}{n_2} = \frac{0,1}{0,15} = 0,66$

La réaction est limitée par l'acide éthanoïque et l'acide sulfurique.

Solution C7-9

2) Nombre de moles de

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{\rho_1 V_1}{M_1}$$

Nombre de moles de

$$n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{\rho_2 V_2}{M_2}$$

Le mélange est équimolaire

3) L'acide sulfurique

4) Le mélange contient de soude utilisé pour

sulfurique alors le volume dans le mélange est

Le nombre de moles $n_4 = n_{\text{OH}^-} = C_b V_b =$

Calculons le nombre de moles

départ.

$$V = V_1 + V_2 = 75 \text{ mL}$$

$$V' = 7,5 \text{ mL} \longleftrightarrow$$

Le nombre de moles d'acide éthanoïque

Les résultats sont

t (min)
$V_0 (\text{cm}^3)$
n_e en 10^{-2} mol
n_e en 10^{-2} mol

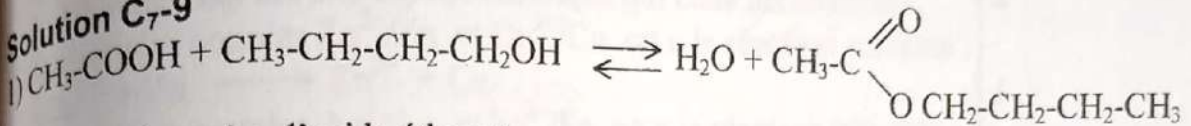
Nombre de moles n_e d'ester formé
 $n_e = n_2 - n_a = 0,15 - 5 \cdot 10^{-2} = 0,1 \text{ mol}$

d) Pourcentage d'acide estérifié :

$$\tau = \frac{n_e}{n_2} = \frac{0,1}{0,15} = 0,667 \text{ soit } 66,7 \% \text{ environ.}$$

La réaction est limitée parce que l'ester formé réagit sur l'eau formée pour redonner l'acide éthanoïque et le propan-1-ol.

Solution C7-9



2) Nombre de moles d'acide éthanoïque

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{\rho_1 V_1}{M_1} = \frac{1035 \times 29 \cdot 10^{-3}}{60} = 0,5 \text{ mol}$$

Nombre de moles de butan-1-ol

$$n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{\rho_2 V_2}{M_2} = \frac{805 \times 46 \cdot 10^{-3}}{74} = 0,5 \text{ mol}$$

Le mélange est équimolaire car $n_1 = n_2$.

3) L'acide sulfurique joue le rôle de catalyseur. Il permet d'accélérer la réaction.

4) Le mélange contient l'acide éthanoïque et l'acide sulfurique. Si V_b est le volume de soude utilisé pour doser le mélange et v le volume utilisé pour doser l'acide sulfurique alors le volume de soude ayant servi à doser l'acide éthanoïque contenu dans le mélange est $V'_b = V_b - v$.

Le nombre de moles d'acide éthanoïque restant est :

$$n_a = n_{\text{OH}^-} = C_b V'_b = C_b (V_b - v)$$

Calculons le nombre de moles d'acide éthanoïque n_o contenu dans chaque tube au départ.

$$V = V_1 + V_2 = 75 \text{ mL} \longleftrightarrow 0,5 \text{ mol d'acide éthanoïque}$$

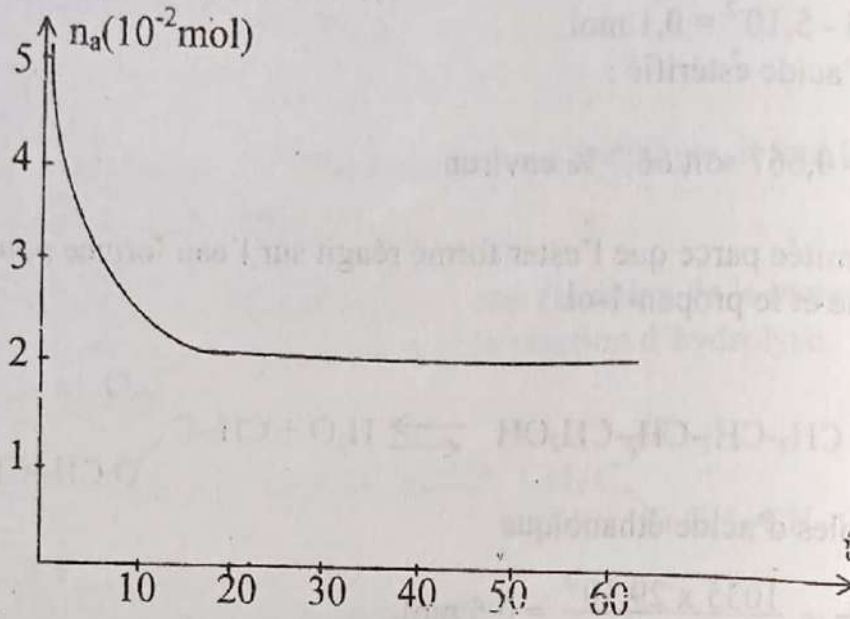
$$V' = 7,5 \text{ mL} \longleftrightarrow n_o = \frac{0,5 \times 7,5}{75} = 0,05 \text{ mol d'acide éthanoïque.}$$

Le nombre de moles d'ester formé dans chaque tube (n_e) est égal au nombre de moles d'acide éthanoïque disparu soit : $n_e = n_o - n_a = n_o - C_b (V_b - v)$

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

$t(\text{min})$	2	5	8	12	16	20	25	30	40	50
$V_b(\text{cm}^3)$	22	17,5	15	13,1	12,2	11,6	11,1	10,9	10,6	10,5
$n_a \text{ en } 10^{-2} \text{ mol}$	4	3,1	2,6	2,22	2,04	1,92	1,82	1,78	1,72	1,7
$n_e \text{ en } 10^{-2} \text{ mol}$	1	1,9	2,4	2,78	2,96	3,08	3,18	3,22	3,28	3,3

5) Courbe de disparition de l'acide.



6) Vitesse moyenne entre les instants t_1 et t_2 .

$$v = - \frac{n(t_2) - n(t_1)}{t_2 - t_1} = - \frac{1,92 \cdot 10^{-2} - 2,6 \cdot 10^{-2}}{20 - 8} = 5,66 \cdot 10^{-4} \text{ mol/min}$$

7) Pourcentage d'acide estérifié lorsque l'équilibre réactionnel est atteint

$$r = \frac{n'_a(\text{acide disparu})}{n_a(\text{acide au départ})} = \frac{n_e}{n_a} = \frac{3,3 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-2}} = 0,66 = 66 \%$$

La réaction est limitée parce que l'ester formé réagit sur l'eau formée pour redonner l'acide et l'alcool.

(C₈)L'O₂

Solutio

1) - Ur

- Ur

- Ur

- Ur

2) - Et

Cu⁺

- Et

2A

3) Les

ne corr

Indicat

réducte

réaction

Soluti

1) Equ

2) La

3) a) M

 n_{Ag^+}

b) Ma

1 m

 n_{Ca}

On a :

 $m_{Cu} =$

Solu

1) Ec

2) A

La q

d'où

3) L

(C8)

CORRIGES DES EXERCICES SUR L'OXYDOREDUCTION EN SOLUTION AQUEUSE

Solution C8-1

- Une oxydation est une réaction au cours de laquelle des électrons sont cédés.
 - Une réduction est une réaction au cours de laquelle des électrons sont captés.
 - Un oxydant est une espèce chimique qui capte les électrons.
 - Un réducteur est une espèce chimique qui cède les électrons.
- Entre les couples Zn^{2+}/Zn et Cu^{2+}/Cu on a la réaction suivante :

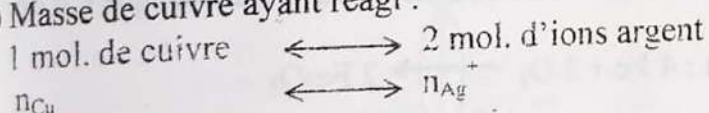
$$\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$$
 - Entre les couples Ag^+/Ag et Fe^{2+}/Fe on a la réaction suivante :

$$2\text{Ag}^+ + \text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{Ag}$$
- Les équations a) et c) sont des équations d'oxydoréduction. Les équations b) et d) ne correspondent pas à des réactions d'oxydoréduction.

Indication : pour la compréhension des réponses : il suffit de comparer les pouvoirs réducteurs ou oxydants des couples rédox mis en jeu et d'écrire les équations des réactions naturelles d'oxydoréduction en tenant compte de la règle du gamma.

Solution C8-2

- Equation de la réaction : $2\text{Ag}^+ + \text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{Ag}$
- La couleur bleue prise par la solution est due à la présence des ions cuivre.
- Masse d'argent déposée sur le cuivre :
 $n_{\text{Ag}^+} = \text{CV} ; m_{\text{Ag}^+} = M \cdot n_{\text{Ag}^+} = \text{MCV} = 108 \times 1 \times 0,2 = 21,6 \text{ g}$
 - Masse de cuivre ayant réagi :



On a alors $n_{\text{Cu}} = \frac{n_{\text{Ag}^+}}{2} = \frac{\text{CV}}{2}$

$m_{\text{Cu}} = M_{\text{Cu}} \cdot n_{\text{Cu}} = 64 \times \frac{1 \times 0,2}{2} = 6,4 \text{ g}$

Solution C8-3

- Equation-bilan de la réaction : $\text{Zn} + 2\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

2) Avant la réaction : $n_{\text{H}_3\text{O}^+} = 0,1 \times 10^{-2} = 10^{-3} \text{ mol}$

Après la réaction : $n_{\text{H}_3\text{O}^+} = 10^{-2} \times 10^{-1} = 10^{-3} \text{ mol}$

La quantité de matière d'acide ayant réagi : $n = 10^{-2} - 10^{-3} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

d'où la masse de zinc : $m = \frac{n \times M}{2} = \frac{9 \cdot 10^{-3} \times 65,4}{2} = 2,94 \cdot 10^{-1} \text{ g}$

3) La concentration des ions zinc : $[\text{Zn}^{2+}] = \frac{n}{2 \cdot V} = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{2 \times 0,1} = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

Solution C₈-4

1) La masse d'acide commercial
 Dans 1 L de solution, on a : $m = CV \times M = 1 \times 1 \times 98 = 98$ g d'acide pur d'où la masse d'acide commercial est 100 g car le pourcentage massique est 98 %

2) Equation-bilan de la réaction : $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_4^{2-}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{2CV}{V} = 2 \text{ mol.L}^{-1}$$

3) a) Equation-bilan : $\text{Ni} + 2\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{Ni}^{2+} + \text{H}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Si tout le nickel est oxydé on a : $n_{\text{Ni}} = n_{\text{H}_2}$ soit $\frac{m}{M} = \frac{v}{V_M}$ d'où

$$V = V_M \times \frac{m}{M} = 22,4 \times \frac{1,8}{58,7} = 0,69 \text{ L}$$

b) Les ions présents en solution : H_3O^+ ; OH^- ; Ni^{2+}

Après la réaction, il reste en solution $n_{\text{H}_3\text{O}^+} = 2 - \frac{2m}{M} = 1,94 \text{ mol}$

$$\text{soit } [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,94 \text{ mol.L}^{-1} \text{ et } [\text{OH}^-] = \frac{K_e}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = 5,16 \cdot 10^{-15} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{Ni}] = \frac{m}{MV} = 3,07 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

Solution C₈-5

1) - En (a), les clous en fer exposés à l'air humide pendant plusieurs semaines se recouvrent d'une couche rougeâtre poreuse appelée rouille constituée essentiellement d'oxyde de fer III Fe_2O_3 .

- En (b), les clous en fer immergés pendant plusieurs heures dans une solution aqueuse de sulfate de cuivre se recouvrent d'une couche de cuivre métallique Cu de couleur rouge.

2) L'équation de la réaction (a) est : $4 \text{Fe} + 3 \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{Fe}_2\text{O}_3$

3) Analyse de l'expérience (b).

a) Le précipité vert foncé obtenu est appelé hydroxyde de fer II.

b) L'ion mis en évidence est l'ion fer II Fe^{2+} .

c) Equation de la réaction : $\text{Fe}^{2+} + 2 \text{OH}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \downarrow$

d) L'équation de la réaction entre les clous en fer et la solution de sulfate de cuivre s'écrit : $\text{Fe} + \text{Cu}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}$.

Solution C₈-6

1) $\text{Al} \longrightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$

$3\text{H}_3\text{O}^+ + 3\text{e}^- \longrightarrow \frac{3}{2}\text{H}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

Bilan : $\text{Al} + 3\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{Al}^{3+} + \frac{3}{2}\text{H}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

$\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

$2\text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Bilan : $\text{Fe} + 2\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

2) Calcul de m_{Fe} et m_{Al}

$$m_{Fe} + m_{Al} = 10$$

$$\frac{m_{Fe}}{56} = \frac{m_{Al}}{27} \text{ d'où } m_{Fe} = 6,75 \text{ g } m_{Al} = 3,25 \text{ g}$$

3) Le volume de dihydrogène dégagé : $V_{H_2} = \left(\frac{3}{2} n_{Al} + n_{Fe} \right) = 6,74 \text{ L}$

La quantité minimale d'acide utilisé : $n_{H_3O^+} = 3n_{Al} + 2n_{Fe} = 6,022 \cdot 10^{-1} \text{ mol}$

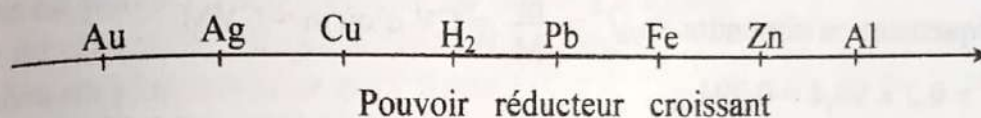
La concentration de l'acide $C = [H_3O^+] = \frac{n_{H_3O^+}}{V} = 2,4 \text{ mol.L}^{-1}$

Solution C8-7

1) a) La réaction qui se produit : $3Ag + Au^{3+} \longrightarrow 3Ag^+ + Au$

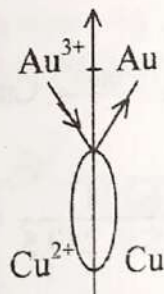
On dira alors que l'or est moins réducteur que l'argent.

b) Il est donc le moins réducteur de tous les métaux usuels



c) A cause de sa place dans la classification ci-dessus, il n'est pas oxydé par l'atmosphère terrestre (ou d'autres ions métalliques). Par conséquent on le trouve dans la nature à l'état natif.

2) L'or étant moins réducteur que le cuivre, les ions Au^{3+} oxydent le cuivre (voir la règle du Gamma ci-contre) selon l'équation : $2Au^{3+} + 3Cu \longrightarrow 3Cu^{2+} + 2Au$



3) Calcul de $[Cu^{2+}]$: $[Cu^{2+}] = \frac{3}{2} [Au^{3+}] = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

La masse de cuivre disparue : $m = n_{Cu^{2+}} \times M = 1,5 \cdot 10^{-2} \times 0,15 \times 63,5 = 0,143 \text{ g}$

Solution C8-8

1) La concentration de cette solution : $C = [CuSO_4] = \frac{m}{MV} = \frac{3,19}{150,5 \times 0,5} = 0,04$

$C = 4 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

2) Les ions Cu^{2+} oxydent le fer. On observe un dépôt rose de cuivre métal. La couleur bleue de la solution due à l'ion Cu^{2+} , disparaît progressivement.

L'équation-bilan de la réaction : $Cu^{2+} + Fe \longrightarrow Fe^{2+} + Cu$

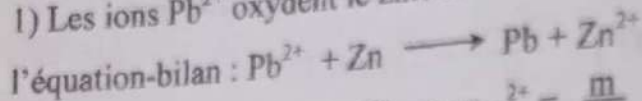
La masse du dépôt obtenu : $C = \frac{m_{Cu}}{MV}$ d'où $m_{Cu} = CMV = 4 \cdot 10^{-2} \times 0,5 \times 63,5 = 1,27 \text{ g}$

3) L'équation : $Fe^{2+} + 2OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2 \downarrow$

Le précipité vert est l'hydroxyde de fer II caractéristique de la présence des ions Fe^{2+} .
 Calcul de sa masse : $m = n_{\text{Fe}^{2+}} \times M = C \cdot V \times M(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 4 \cdot 10^{-2} \times 0,5 \times 90 = 1,8 \text{ g}$

Solution C₈-9

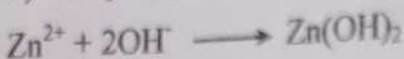
1) Les ions Pb^{2+} oxydent le zinc métal. On observe un dépôt de plomb métal, selon



l'équation-bilan : $n_{\text{Pb}^{2+}} = \frac{m}{M} = CV$ d'où $m = MCV$

$$m = 5 \cdot 10^{-2} \times 0,2 \times 207 = 2,07 \text{ g}$$

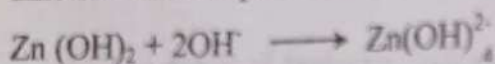
3) - Le précipité apparu est l'hydroxyde de zinc selon l'équation



- Théoriquement on obtiendra : $n_{\text{Zn}^{2+}} = \frac{m}{M} = CV$ d'où $m = CVM$

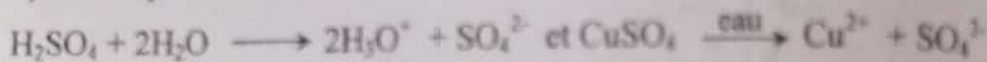
$$m = 5 \cdot 10^{-2} \times 0,2 \times 99,4 = 0,994 \text{ g}$$

4) Si la solution d'hydroxyde de sodium est versée en grande quantité, l'hydroxyde de zinc se redissout par formation de l'ion $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ soluble, selon l'équation :



Solution C₈-10

1) Les équations de dissolution :



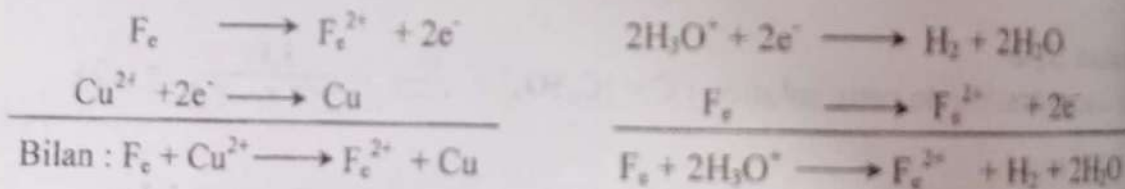
Calcul des concentrations

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 2C = 0,2 \text{ mol.L}^{-1}; [\text{Cu}^{2+}] = \frac{m}{MV} = \frac{6,238}{0,25 \times 249,5} = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = C + \frac{m}{MV} = 0,2 \text{ mol.L}^{-1}$$

2) a) Les ions Cu^{2+} et H_3O^+ vont oxyder le fer. On observe un dépôt de cuivre métal et un dégagement de dihydrogène.

b) Les équations -bilan des réactions

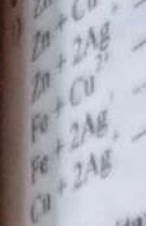


c) Calcul de $[\text{Fe}^{2+}]$: $[\text{Fe}^{2+}] = [\text{Cu}^{2+}] + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{2} = 0,2 \text{ mol.L}^{-1}$

d) - La masse de cuivre déposé : $[\text{Cu}^{2+}] = \frac{m}{MV}$ d'où $m = [\text{Cu}^{2+}] \times MV = 1,59 \text{ g}$

- Le volume de dihydrogène dégagé : $V_{\text{H}_2} = C \cdot V \times V_M = 0,1 \times 0,25 \times 22,4 = 0,56 \text{ L}$

Solution C₈-11



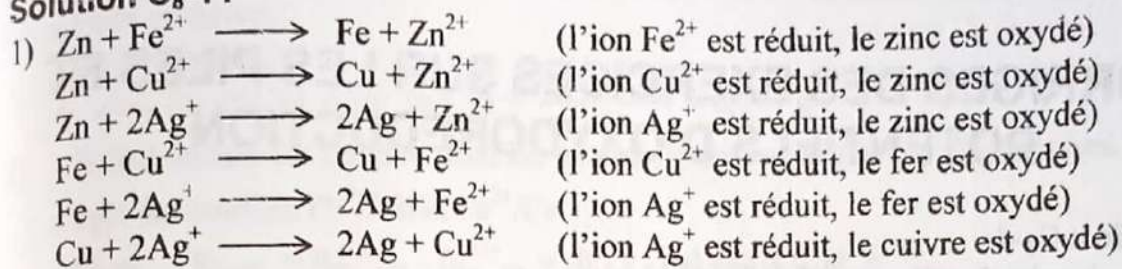
2) a) Interprétation

Le zinc réduit les ions Fe^{2+}
 Le fer réduit les ions Cu^{2+}
 Le cuivre réduit les ions Ag^+
 L'argent ne réduit pas le zinc
 Le zinc est plus réducteur que le fer
 Le fer est plus réducteur que le cuivre
 Le cuivre est plus réducteur que l'argent
 Le classement des métaux est : $\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Ag}$

c) Les cations métalliques sont : $\text{Fe}^{2+}, \text{Cu}^{2+}, \text{Ag}^+$
 Le classement des cations est : $\text{Ag}^+ > \text{Cu}^{2+} > \text{Fe}^{2+}$

Solution C₈-12

1) a) La première réaction est la réduction du dioxyde de carbone (ou encore combustion) : $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C} + \text{H}_2\text{O}$
 b) Dans une réaction chimique, un corps est réduit si son état d'oxydation diminue. C'est le cas du carbone dans la réaction précédente.
 2) a) L'équation-bilan est : $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{C} + \text{H}_2\text{O}$
 Les corps obtenus sont : le carbone et l'eau.
 c) La transformation chimique est la réduction du dioxyde de carbone.
 La transformation physique est la condensation de la vapeur d'eau.
 d) Le produit obtenu est le carbone.

Solution C₈-11

2) a/ Interprétation

Le zinc réduit les ions Fe^{2+} , Cu^{2+} , et Ag^+

Le fer réduit les ions Cu^{2+} et Ag^+ mais non l'ion zinc Zn^{2+}

Le cuivre réduit les ions Ag^+ mais non les ions Fe^{2+} et Zn^{2+}

L'argent ne réduit aucun des ions Cu^{2+} , Fe^{2+} et Zn^{2+}

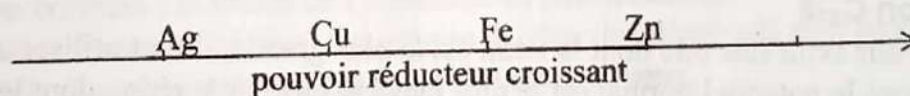
Le zinc est plus réducteur que le fer, le cuivre et l'argent.

Le fer est plus réducteur que le cuivre et l'argent.

Le cuivre est plus réducteur que l'argent.

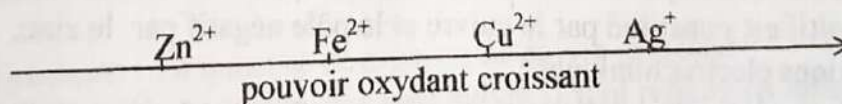
L'argent est le moins réducteur.

b) Le classement des métaux par pouvoirs réducteurs croissants est :



c) Les cations métalliques sont : Ag^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+}

Le classement des cations métallique est le suivant :

Solution C₈-12

1) a) La première équation-bilan correspond à une réaction d'oxydation du carbone (ou encore combustion du carbone).

b) Dans une réaction chimique au cours de laquelle il y a transfert d'oxygène, on dit qu'un corps est réduit lorsqu'il perd des atomes d'oxygène présents dans sa molécule : c'est le cas du corps de formule CO_2 qui est réduit par le carbone C.

2) a) L'équation-bilan équilibrée s'écrit : $3 \text{CO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \longrightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$

b) Les corps réagissants sont le monoxyde de carbone CO et l'oxyde de fer III Fe_2O_3 . Les corps obtenus sont le fer et le dioxyde de carbone.

c) La transformation (a) correspond à une réaction d'oxydation vive (ou combustion) du monoxyde de carbone.

La transformation (b) correspond à une réaction de réduction de l'oxyde de fer III Fe_2O_3 .

(C₉)

CORRIGES DES EXERCICES SUR LES PILES ET POTENTIELS D'OXYDOREDUCTION

Solution C₉-1

1) Recherche du pôle positif de la pile

$$E_{\text{Cu}}^{\circ} - E_{\text{Zn}}^{\circ} = E_{\text{Cu}}^{\circ} - E_{\text{Pb}}^{\circ} + E_{\text{Pb}}^{\circ} - E_{\text{Zn}}^{\circ} = E_1 + E_2 = 1,1 \text{ V}$$

Le pôle positif de la pile est donc l'électrode en cuivre.

2) Force électromotrice de la pile

$$E = E_{\text{Cu}}^{\circ} - E_{\text{Zn}}^{\circ} = 1,1 \text{ V}$$

3) Calcul du potentiel normal du couple Pb²⁺/Pb

$$E_1 = E_{\text{Cu}}^{\circ} - E_{\text{Pb}}^{\circ} \text{ d'où } E_{\text{Pb}}^{\circ} = E_{\text{Cu}}^{\circ} - E_1 = -0,13 \text{ V}$$

Calcul du potentiel normal du couple Zn²⁺/Zn

$$E_2 = E_{\text{Pb}}^{\circ} - E_{\text{Zn}}^{\circ} \text{ d'où } E_{\text{Zn}}^{\circ} = E_{\text{Pb}}^{\circ} - E_2 = -0,76 \text{ V}$$

Solution C₉-2

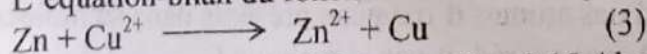
1) a) Pour avoir une pile dont la f.é.m est la plus grande, il faut utiliser un couple rédox dont le potentiel normal est le plus élevé et un couple rédox dont le potentiel normal est le plus faible. Dans la liste donnée, on doit choisir les couples Cu²⁺/Cu et Zn²⁺/Zn.- La f.é.m de la pile A est : $E_A = E_1^{\circ} - E_3^{\circ} = 1,1 \text{ V}$ - Schématisation de la pile : $\text{Zn} \mid \text{Zn}^{2+} \parallel \text{Cu}^{2+} \mid \text{Cu}$

Le pôle positif est constitué par le cuivre et le pôle négatif par le zinc.

- Rédactions électrochimiques :

• Au pôle positif, (électrode en cuivre) il y a réduction des ions cuivre II Cu²⁺ en métal cuivre. $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu} \quad (1)$ • Au pôle négatif, (électrode en zinc) il y a oxydation du zinc en ions zinc Zn²⁺ : $\text{Zn}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Zn} \quad (2)$

• L'équation-bilan du fonctionnement de la pile est :

b) Quantité d'électricité débitée : $q = It = 0,15 \text{ Ah} = 540 \text{ C}$

- Variation de masse de l'électrode en zinc

L'équation (2) montre qu'il y a ionisation du métal zinc : il y a donc diminution de la masse de l'électrode en zinc.

Les équations (1), (2) et (3) montrent que l'oxydation d'une mole de zinc et la réduction d'une mole d'ions cuivre Cu²⁺ permettent le passage dans le circuit de 2 moles d'électrons, soit une quantité d'électricité.

$$Q = 2.N.e = 2 \times 96500 = 193000 \text{ C}$$



$$\text{m}(\text{Zn}) \longleftrightarrow q \text{ d'où } m(\text{Zn}) = \frac{q.M(\text{Zn})}{Q} = 0,183 \text{ g}$$

La masse de l'électrode en zinc subit une variation (une diminution) de 0,183 g.

- Variation de la masse de l'électrode en cuivre.

Solution C₉-3

1) Proposition correcte. Les potentiels normaux de réduction des ions sont : Cu²⁺ + 2e⁻ → Cu et Zn²⁺ + 2e⁻ → Zn. Il y a dépôt de cuivre.2) Proposition correcte. Justification : A l'électrode en zinc, les ions Zn²⁺ d'où la diminution de la masse de zinc augmente.3) Proposition correcte. Justification : A l'électrode en cuivre, les ions Cu²⁺ d'où l'augmentation de la masse de cuivre.4) Proposition correcte. Justification : A l'électrode en zinc, les ions Zn²⁺ d'où la diminution de la masse de zinc.5) Proposition correcte. Justification : D'après l'équation (2), libérant des ions Zn²⁺.6) Proposition correcte. Justification : il y a réduction des ions Cu²⁺ + 2e⁻ → Cu.

7) Proposition correcte. Justification : Le zinc est l'agent réducteur et le cuivre est l'agent oxydant.

8) Proposition correcte. Justification : L'électrode en zinc subit une diminution de la masse.

9) Proposition correcte. Justification : L'électrode en cuivre subit une augmentation de la masse.

10) Proposition correcte. Justification : L'électrode en zinc subit une diminution de la masse.

11) Proposition correcte. Justification : L'électrode en cuivre subit une augmentation de la masse.

12) Proposition correcte. Justification : L'électrode en zinc subit une diminution de la masse.

13) Proposition correcte. Justification : L'électrode en cuivre subit une augmentation de la masse.

14) Proposition correcte. Justification : L'électrode en zinc subit une diminution de la masse.

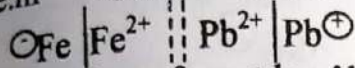
L'équation (1) $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$ montre qu'il y a dépôt de cuivre sur l'électrode en cuivre.

$$Q \longleftrightarrow M(\text{Cu})$$

$$q \longleftrightarrow m(\text{Cu}) \text{ d'où } m(\text{Cu}) = \frac{q \cdot M(\text{Cu})}{Q} = 0,177 \text{ g}$$

2) - Il faut utiliser les couples dont les potentiels normaux sont les plus proches. Il s'agit des couples Pb^{2+}/Pb et Fe^{2+}/Fe .

$$-f.é.m \quad E_{\text{Fe/Pb}} = E_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}} - E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} = -0,13 - (-0,44) = 0,31 \text{ V}$$



L'électrode en fer est le pôle négatif.

L'électrode en plomb est le pôle positif.

Solution C₉-3

1) Proposition correcte : la masse de l'électrode en cuivre **augmente**. Justification : Les potentiels normaux et la règle du gamma laissent prévoir à l'électrode en cuivre, une réduction des ions cuivre Cu^{2+} en métal cuivre selon la demi-équation électronique suivante : $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$

Il y a dépôt de cuivre sur l'électrode de cuivre qui voit sa masse augmenter.

2) Proposition correcte : la masse de l'électrode en zinc **diminue**.

Justification : A l'électrode en zinc, des atomes de zinc de l'électrode sont oxydés en ions Zn^{2+} d'où la diminution de la masse de l'électrode en zinc.

3) Proposition correcte : la concentration en ions zinc de la solution de sulfate de zinc **augmente**.

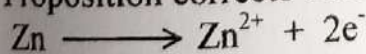
Justification : A l'électrode en zinc, des atomes de zinc sont oxydés en ions zinc Zn^{2+} d'où l'augmentation de la concentration en ions zinc Zn^{2+} de la solution de sulfate de zinc.

4) Proposition correcte : La quantité de cristaux de cuivre **diminue** ;

Justification : A l'électrode en cuivre, des ions cuivre II sont réduits en métal cuivre.

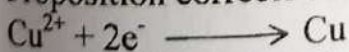
Au fur et à mesure que les ions Cu^{2+} sont réduits, les cristaux de sulfate de cuivre CuSO_4 se dissolvent, libérant autant d'ions Cu^{2+} que d'ions SO_4^{2-} d'où la diminution de la quantité de cristaux de cuivre.

5) Proposition correcte : A l'électrode en zinc on a la réaction suivante :



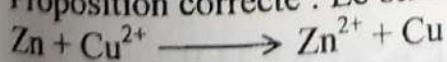
Justification : D'après les potentiels normaux, les atomes de zinc sont oxydés en ions zinc Zn^{2+} , libérant des électrons.

6) Proposition correcte : A l'électrode en cuivre, on a la réaction suivante :



Justification : il y a réduction à l'électrode en cuivre.

7) Proposition correcte : Le bilan du fonctionnement de la pile est :



Justification : Les potentiels normaux et la règle du gamma laissant prévoir une réaction d'oxydoréduction spontanée susceptible de se produire entre le métal zinc (réducteur) et les ions Cu^{2+} (oxydant).

8) Proposition correcte : Les électrons circulent dans le circuit extérieur de l'électrode de zinc à l'électrode en cuivre.

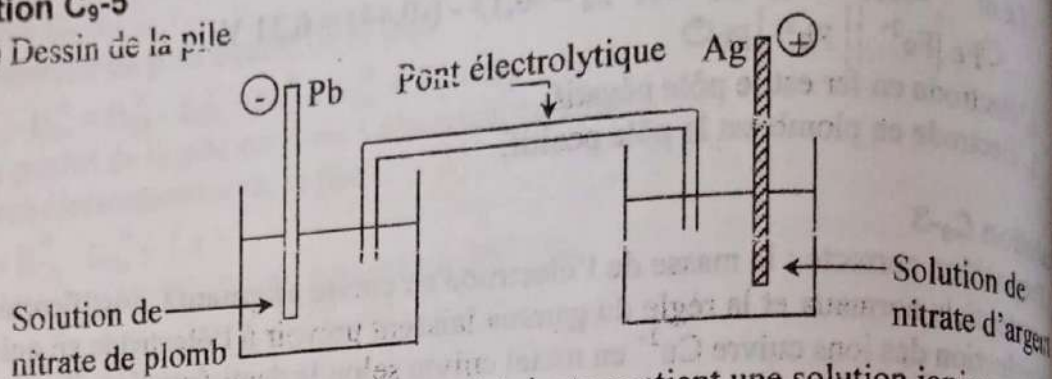
Justification : Les électrons sortent de l'électrode de zinc où ils sont libérés et arrivent sur l'électrode de cuivre où ils sont consommés.

9) Proposition correcte : La force électromotrice de la pile est 1,1 V.

Justification : $E_{\text{Zn/Cu}} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^{\circ} - E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^{\circ} = 0,34 - (-0,76) = 1,1 \text{ V}$.

Solution C₉-5

1) a) Dessin de la pile



b) Le pont électrolytique entre les deux récipients contient une solution ionique telle que du nitrate de potassium. On n'utilise pas le chlorure de potassium, car les ions Cl^- réagiraient avec les ions Ag^+ pour donner AgCl qui précipiterait.

2) a) Au pôle (+) : $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$; Au pôle (-) : $\text{Pb} \longrightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$

D'où l'équation globale : $2\text{Ag}^+ + \text{Pb} \longrightarrow 2\text{Ag} + \text{Pb}^{2+}$

b) La f.é.m de la pile : $E = E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^{\circ} - E_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}}^{\circ} = 0,8 - (-0,13) = 0,93 \text{ V}$

3) a) Le métal consommé est le plomb ; car au pôle (-), le plomb est oxydé à l'état de Pb^{2+} .
Calculons la masse disparue.

Pour la quantité d'électricité transportée $Q = It$, la quantité d'électrons mise en jeu est :

$$n_e = \frac{Q}{N \times e} = \frac{It}{N \times e} = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

Au pôle (-), la quantité de plomb passé à l'état d'ions est $\frac{n_e}{2}$.

D'où la perte de masse à l'électrode de plomb est :

$$m_{\text{Pb}} = \frac{n_e}{2} \times M(\text{Pb}) = 1,16 \text{ g}$$

b) Au pôle (+), la pile consomme n_e d'ions Ag^+ . D'où la concentration minimale de la solution est : $\frac{n_e}{V} = \frac{1,12 \cdot 10^{-2}}{0,25} = 0,045 \text{ mol.L}^{-1}$.

Solution C₉-6

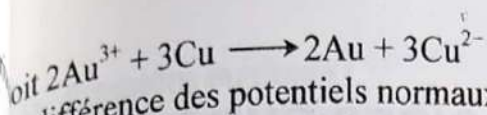
1) a) D'après le tableau on a $E_{\text{Au}^{3+}/\text{Au}}^{\circ} = 1,50 \text{ V}$ et $E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^{\circ} = 0,34 \text{ V}$.

D'après la règle du gamma, il y a donc oxydation du cuivre par les ions Au^{3+} et réduction de ces derniers par le cuivre.

b) Demi-équation de réduction : $\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{Au}$ (1)

Demi-équation d'oxydation : $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ (2)

En faisant (1) $\times 2 +$ (2) $\times 3$ on obtient l'équation – bilan de la réaction :



La différence des potentiels normaux vaut $1,50 - 0,34 = 1,16 \text{ V}$

Cette valeur est très supérieure à $0,3 \text{ V}$ par conséquent la réaction est totale et effectuée jusqu'à disparition de l'un des réactifs.

- Calculons la masse d'or déposé

La quantité de matière d'ions Au^{3+} dans la solution : $n_0 = CV = 10^{-3} \text{ mol}$

La quantité de matière d'atomes Cu au départ :

$$n_0 = \frac{m}{M(\text{Cu})} = 7,87 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Pour consommer n_0 , il faut $n(\text{Au}^{3+}) = \frac{2}{3} n_0 = 5,25 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ soit $5,25 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ d'or d'où $m = n(\text{Au}) \times M(\text{Au}) = 0,1 \text{ g}$

Calculons la concentration de chacun des ions en solution.

Bilan : Cl^- ; Cu^{2+} ; Au^{3+}

La quantité de matière d'ions Au^{3+} restants après réaction

$$n_r = n_0 - n(\text{Au}^{3+}) = 10^{-3} - 5,25 \cdot 10^{-4} = 4,75 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\text{d'où } [\text{Au}^{3+}] = \frac{n_r}{V} = 4,75 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{Cl}^-] = 3C = 3 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \quad (\text{car } \text{AuCl}_3 \longrightarrow \text{Au}^{3+} + 3\text{Cl}^-)$$

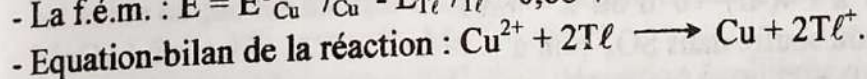
$$[\text{Cu}^{2+}] = \frac{n_0}{V} = 7,87 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

Solution C₉-7

$$1) E = E^\circ_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} - E^\circ_{\text{Tl}^+/\text{Tl}} \text{ d'où } E^\circ_{\text{Tl}^+/\text{Tl}} = -0,34 \text{ V}$$

2) - La polarité de la pile : pôle + : Cu et pôle - : Tl

$$\text{- La f.é.m. : } E = E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} - E^\circ_{\text{Tl}^+/\text{Tl}} = 0,68 \text{ V}$$



C₁₀)

CORRIGES DES EXERCICES SUR LA GENERALISATION DE L'OXYDOREDUCTION : - NOMBRE D'OXYDATION - DOSAGES PAR REACTION D'OXYDOREDUCTION

Solution C₁₀-1

1) Les couples rédox mis en jeu sont : $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ et $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$.

2) Réduction de l'ion permanganate : $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \longrightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ (1)

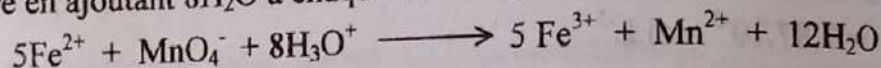
Oxydation de l'ion fer II : $\text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$ (2)

Equation-bilan de la réaction d'oxydoréduction.

L'équation d'oxydoréduction représentant le bilan s'obtient en multipliant l'équation (2) par 5 et en l'ajoutant à l'équation (1) membre à membre ; ce qui

donne : $5\text{Fe}^{2+} + \text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ \longrightarrow 5\text{Fe}^{3+} + \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ (3)

Ou encore en ajoutant $8\text{H}_2\text{O}$ à chaque membre, on a :



Solution C₁₀-2

1) * Soit x le n.o. du soufre dans SO_2 ; on a :

$$\Sigma \text{n.o.} = x + 2(-\text{II}) = 0 \text{ d'où } x = +\text{IV}$$

* Soit x le n.o. du soufre dans H_2SO_4 ; on a :

$$\Sigma \text{n.o.} = 2(+\text{I}) + x + 4(-\text{II}) = 0 \text{ d'où } x = +\text{VI}$$

* Soit x le n.o. du soufre dans SO_4^{2-} , on a :

$$\Sigma \text{n.o.} = x + 4(-\text{II}) = -2 \text{ d'où } x = +\text{VI}$$

* Si x est le n.o. du soufre dans HSO_3^- , on a :

$$\Sigma \text{n.o.} = +\text{I} + x + 3(-\text{II}) = -1 \text{ d'où } x = \text{IV}$$

* Pour le soufre S, n.o. = x = 0

* Si x est le n.o. du soufre dans $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$, on a :

$$\Sigma \text{n.o.} = 2x + 8(-\text{II}) = -2 \text{ d'où } x = \text{VII}$$

* Si x est le n.o. du soufre dans H_2S , on a :

$$\Sigma \text{n.o.} = 2(+\text{I}) + x = 0 \text{ d'où } x = -\text{II}$$

2) L'espèce la plus oxydante correspond au nombre d'oxydation le plus élevé de l'élément soufre : il s'agit de l'espèce $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$.

L'espèce la plus réductrice correspond au nombre d'oxydation le moins élevé de l'élément soufre : il s'agit de l'espèce H_2S .

Solution C₁₀-3

Il existe des méthodes ou des combinaisons de méthodes pour écrire et équilibrer les demi-équations électroniques d'oxydoréduction.

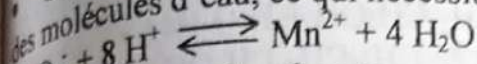
Nous appliquerons deux méthodes avec le couple $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$.

Première méthode :

1) Conservation des atomes :

a) On écrit la conservation de l'élément manganèse : $\text{MnO}_4^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}$

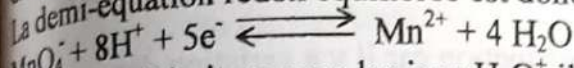
b) On écrit la conservation de l'élément oxygène (les atomes d'oxygène donneront des molécules d'eau, ce qui nécessite la présence d'ions H^+ dans le premier membre) :



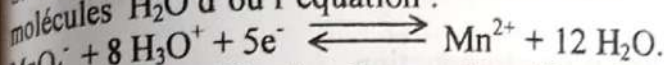
c) Conservation des charges.

On a 7 charges + au 1^{er} membre (8 + et 1 -) et 2 charges + second membre. Il faut donc ajouter 5 charges - dans le 1^{er} membre soit 5e^- pour assurer l'égalité des charges dans les deux membres.

La demi-équation rédox équilibrée est donc :



Si l'on veut l'écriture avec les ions H_3O^+ il suffit d'ajouter à chaque membre 8 molécules H_2O d'où l'équation :



2^e méthode : utilisation des nombres d'oxydation.

a) On recherche les nombres d'oxydation des éléments mis en jeu :

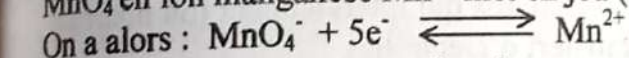
• le n.o. de l'élément manganèse dans l'ion permanganate est :

$$\Sigma \text{n.o.} = x + 4(-\text{II}) = -1 \text{ d'où } x = +\text{VII}$$

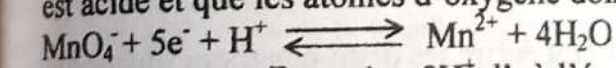
• le n.o. de l'élément manganèse dans l'ion Mn^{2+} est +II

Il y a diminution du nombre d'oxydation. La réduction de l'ion permanganate

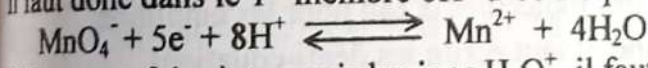
MnO_4^- en ion manganèse Mn^{2+} met en jeu $(+\text{VII}) - (+\text{II}) = 5$ électrons.



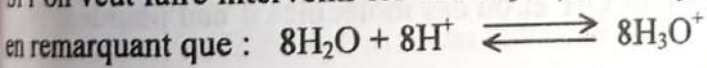
On écrit ensuite la conservation des atomes en tenant compte du fait que le milieu est acide et que les atomes d'oxygène donneront de l'eau :



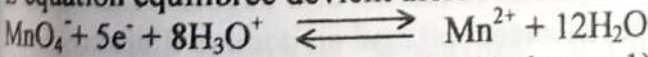
Il faut donc dans le 1^{er} membre 8H^+ d'où l'équation équilibrée :



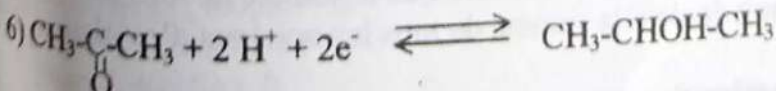
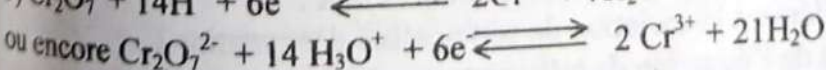
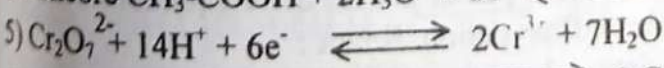
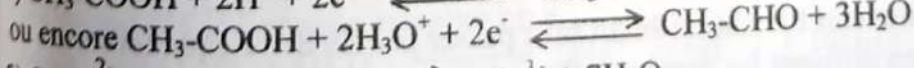
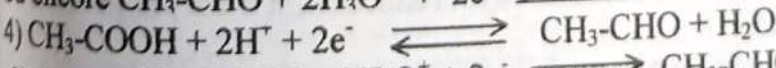
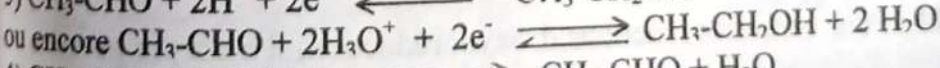
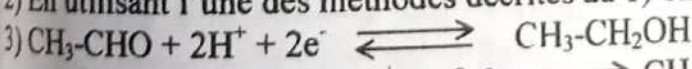
Si l'on veut faire intervenir les ions H_3O^+ , il faut ajouter $8 \text{H}_2\text{O}$ dans chaque membre

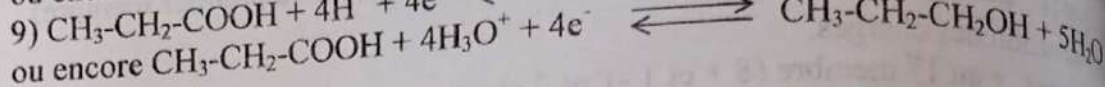
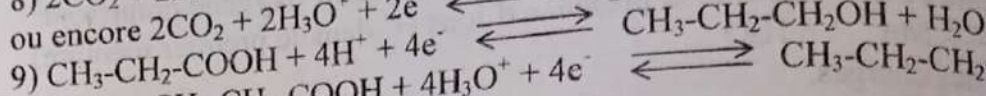
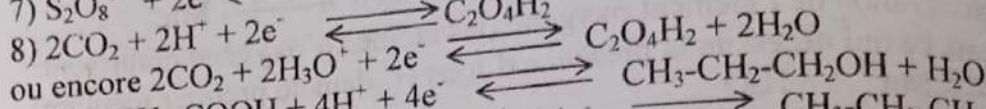
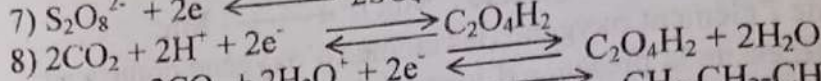
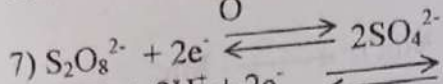
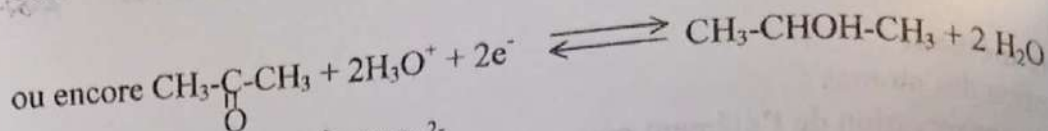


L'équation équilibrée devient alors :



2) En utilisant l'une des méthodes décrites au 1) on a : $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$





Solution C₁₀-4 (solution abrégée)

Utiliser les nombres d'oxydation.

- L'équation (1) correspond à une réaction d'oxydoréduction : le carbone est le réducteur et l'oxygène, l'oxydant.
- L'équation (2) est une équation d'oxydoréduction car il y a variation des nombres d'oxydation du fer et de l'aluminium. L'aluminium (Al) est le réducteur ; l'oxyde de fer Fe_2O_3 est l'oxydant.
- L'équation (3) n'est pas une équation d'oxydoréduction.
- La réaction traduite par l'équation (4) est une réaction d'oxydoréduction. Le réducteur est le composé H_2S . L'oxydant est le dichlore Cl_2 .
- L'équation (5) n'est pas une équation d'oxydoréduction.

Solution C₁₀-5

* Méthode

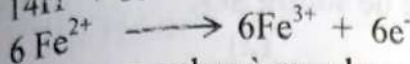
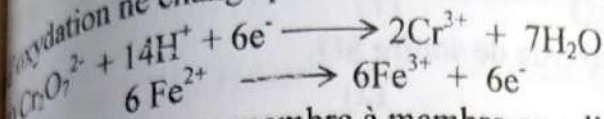
- Il faut d'abord identifier les deux couples rédox qui interviennent (on pourra utiliser les nombres d'oxydation ou les transfert d'électrons).
- Ecrire et équilibrer les demi-équations électroniques correspondantes (oxydation et réduction).
 - Si la réaction a lieu en milieu acide, il faut écrire les demi-équations électroniques en y faisant figurer les ions H^+ ou H_3O^+ des molécules d'eau pour les équilibrer.
 - Si la réaction a lieu en milieu basique, il faut écrire les demi-équations électroniques en y faisant figurer les ions OH^- et/ou des molécules d'eau pour les équilibrer.
- Combiner les demi-équations électroniques de réduction et d'oxydation de façon que le nombre d'électrons cédés par le réducteur soit égal au nombre d'électrons gagnés par l'oxydant.

* **Autre méthode** : Pour certaines réactions d'oxydoréduction, il n'est pas possible de parler de transfert d'électrons.

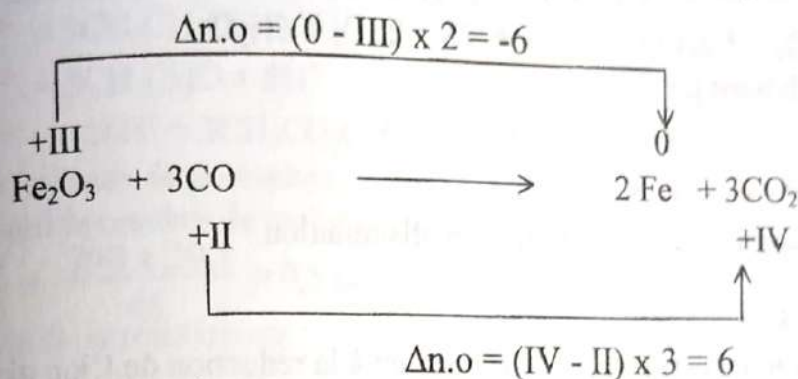
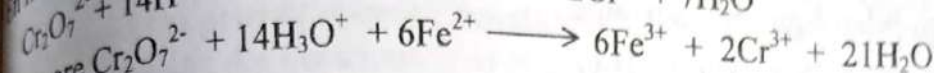
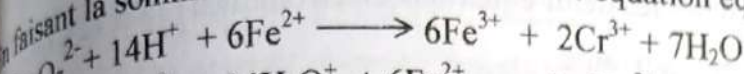
On peut obtenir facilement l'équation-bilan sans passer par les demi-équations électroniques mais en utilisant les nombres d'oxydation. Il faut :

- calculer par atome d'élément la variation de son nombre d'oxydation ;
- choisir les coefficients de l'équation de telle sorte que la somme de tous les nombres d'oxydation gagnés soit égale à la somme de tous les nombres d'oxydation perdus ;
- appliquer la loi de conservation des atomes aux éléments dont le nombre

oxydation ne change pas.



En faisant la somme membre à membre on a l'équation équilibrée suivante :

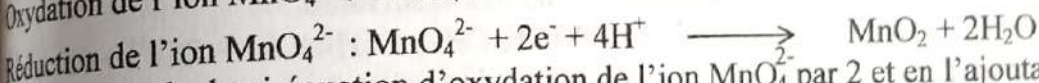
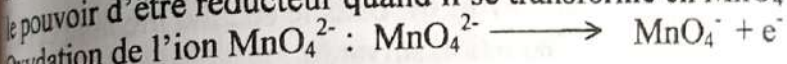


3) Dans MnO_4^- , n.o.(Mn) = 6

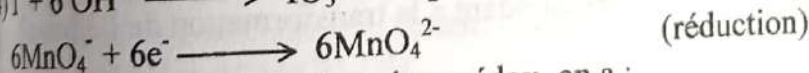
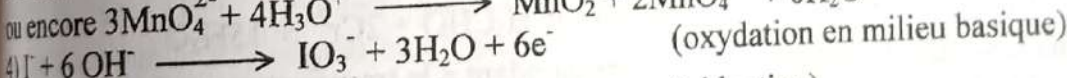
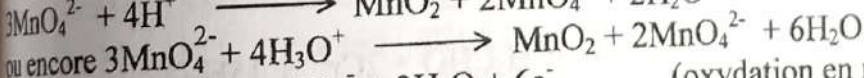
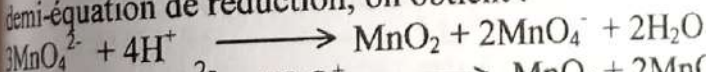
Dans MnO_2 , n.o.(Mn) = 4

Dans MnO_4^{2-} , n.o.(Mn) = 7

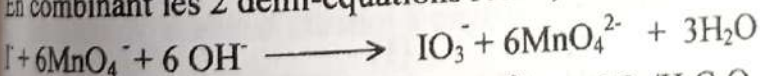
L'ion MnO_4^{2-} a à la fois le pouvoir d'être oxydant quand il se transforme en MnO_2 et le pouvoir d'être réducteur quand il se transforme en MnO_4^- .



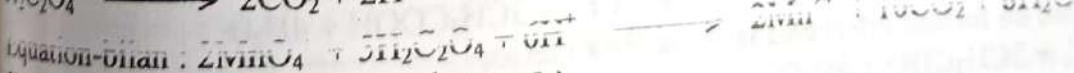
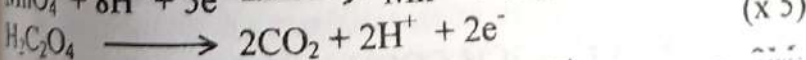
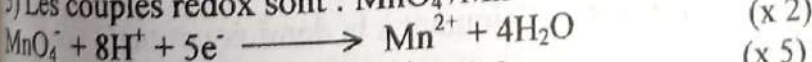
En multipliant la demi-équation d'oxydation de l'ion MnO_4^{2-} par 2 et en l'ajoutant à la demi-équation de réduction, on obtient :



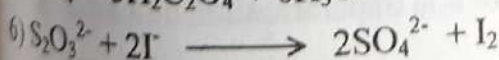
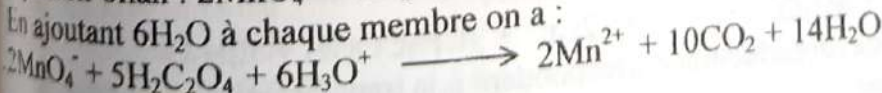
En combinant les 2 demi-équations rédox, on a :



5) Les couples rédox sont : $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ et $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$



En ajoutant $6\text{H}_2\text{O}$ à chaque membre on a :



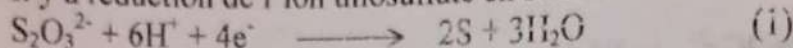
7) Dans $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, n.o.(S) = II

Dans SO_2 , n.o.(S) = IV

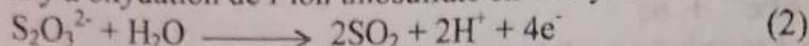
Dans S, n.o.(S) = 0

Sans cette équation, l'ion thiosulfate en milieu acide est à la fois oxydant et réducteur. Les couples rédox mis en jeu sont $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}/\text{S}$ et $\text{SO}_2/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$.

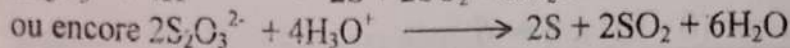
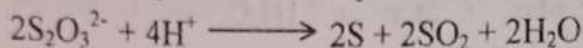
Il y a réduction de l'ion thiosulfate en soufre :



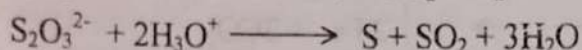
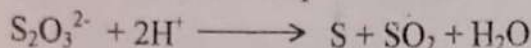
Il y a oxydation de l'ion thiosulfate en dioxyde de soufre SO_2



En additionnant membre à membre les demi-équations électroniques (1) et (2), on obtient l'équation-bilan équilibrée suivante :



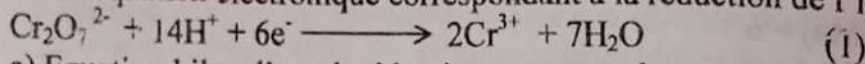
ou encore en divisant par 2



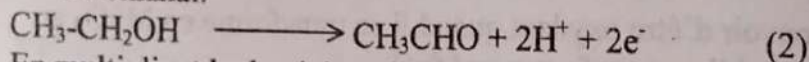
N.B. : Une réaction de ce type est appelée dismutation.

Solution C₁₀₋₆

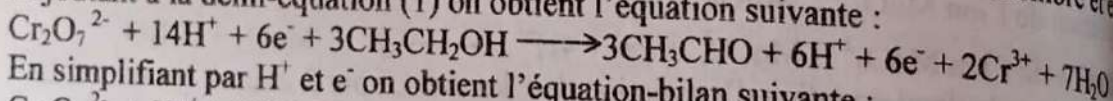
1) Demi-équation électronique correspondant à la réduction de l'ion dichromate :



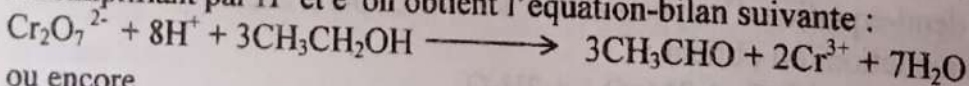
2) a) Equation-bilan d'oxydoréduction correspondant à la transformation de l'éthanol en éthanal.



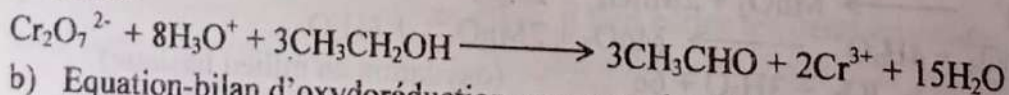
En multipliant la demi-équation (2) par 3 (pour avoir 6e^- dans le second membre et en l'ajoutant à la demi-équation (1) on obtient l'équation suivante :



En simplifiant par H^+ et e^- on obtient l'équation-bilan suivante :

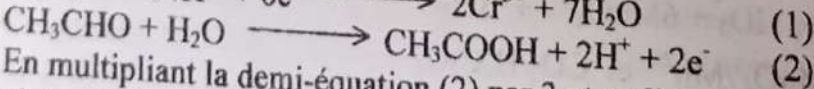
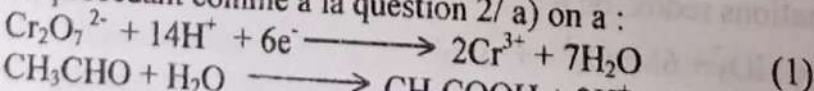


ou encore

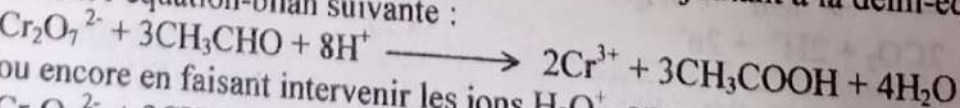


b) Equation-bilan d'oxydoréduction correspondant à la transformation de l'éthanol en acide éthanóïque.

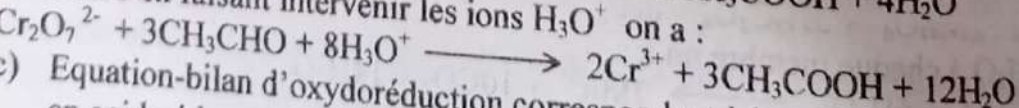
En procédant comme à la question 2/ a) on a :



En multipliant la demi-équation (2) par 3 et en l'ajoutant à la demi-équation (1) on obtient l'équation-bilan suivante :

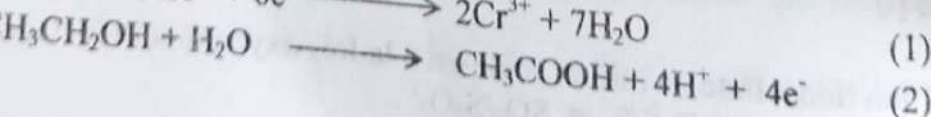
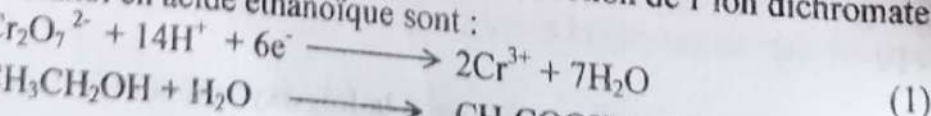


ou encore en faisant intervenir les ions H_3O^+ on a :



c) Equation-bilan d'oxydoréduction correspondant à la transformation de l'éthanol en acide éthanóïque.

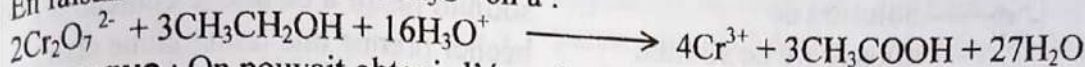
Les demi-équations électroniques de réduction de l'ion dichromate et d'oxydation de l'éthanol en acide éthanóïque sont :



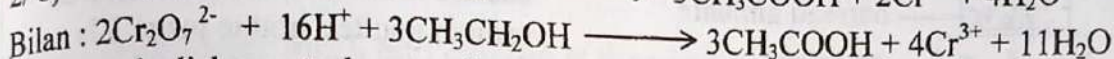
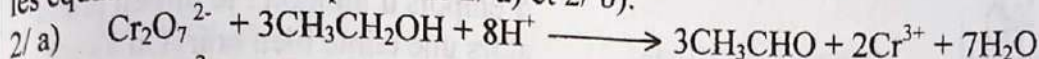
En multipliant la demi-équation (1) par 2 et la demi-équation (2) par 3 pour avoir le même nombre d'électrons cédés et captés et en additionnant les demi-équations ainsi obtenues, on a :



En faisant intervenir les ions H_3O^+ on a :



Remarque : On pouvait obtenir l'équation-bilan de la question 2/ c) en additionnant les équations-bilan des questions 2/ a) et 2/ b).

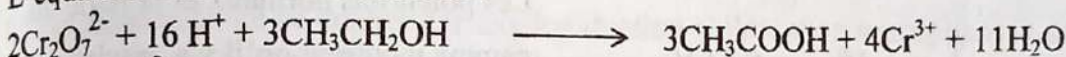


3) Masse de dichromate de potassium

Calculons d'abord le nombre de moles d'éthanol à oxyder

$$n = \frac{m}{M} = \frac{\rho V}{M} = \frac{790 \times 29,1}{46} = 0,5 \text{ mol}$$

L'équation-bilan de la réaction est :



L'ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ provient du dichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Le nombre de moles de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ est égal au nombre de moles de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.

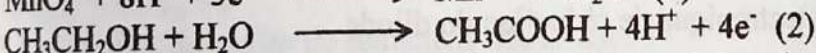
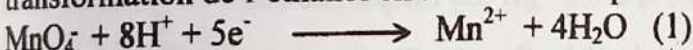
Pour 3 mol. d'éthanol il faut 2 moles de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Pour n mol. d'éthanol il faudra n' moles de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. On a alors :

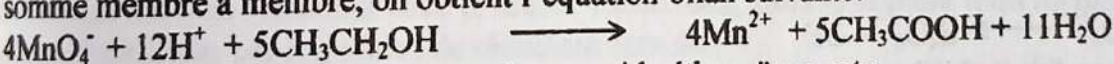
$$n' = \frac{2 \cdot n}{3} \text{ d'où } m' = n' \cdot M' = \frac{2 \cdot n \cdot M'}{3} = 98 \text{ g avec } M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 294 \text{ g/mol}$$

4) Volume de permanganate de potassium à utiliser.

On détermine d'abord l'équation-bilan d'oxydoréduction correspondant à la transformation de l'éthanol en acide éthanóïque.



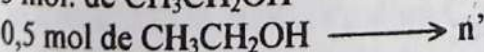
En multipliant la demi-équation (1) par 4 et la demi-équation (2) par 5 et en faisant la somme membre à membre, on obtient l'équation-bilan suivante.



Le nombre de moles d'éthanol à oxyder en acide éthanóïque est :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{\rho V}{M} = 0,5 \text{ mol}$$

En tenant compte des coefficients stoechiométriques de l'équation-bilan d'oxydoréduction on a :

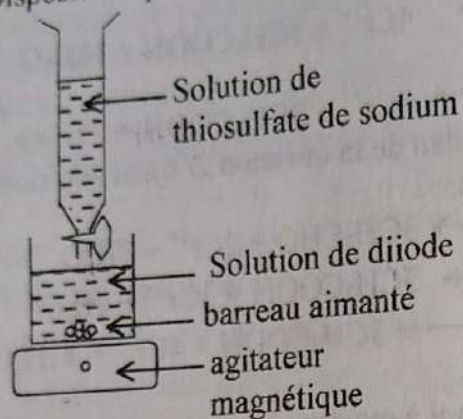


$$\text{On en tire : } n' = \frac{0,5 \times 4}{5} = 0,4 \text{ mol.}$$

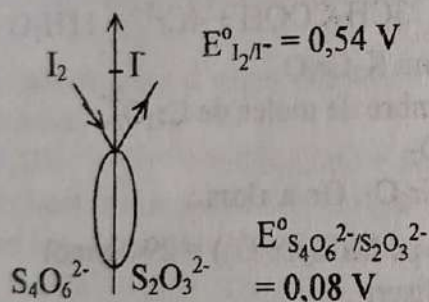
$$C_o = \frac{n'}{V_o} \text{ d'où } V_o = \frac{n'}{C_o} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ L}$$

Solution C₁₀₋₇

1) Dispositif expérimental



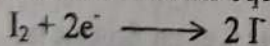
2) Nature de la réaction



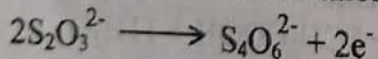
L'élément oxydant est le diiode I_2 et l'élément réducteur, l'ion thiosulfate $S_2O_3^{2-}$.

3) Equation-bilan de la réaction

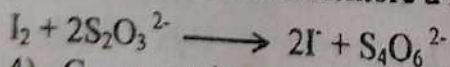
On écrit la demi-équation électronique de réduction du diiode



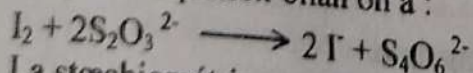
et d'oxydation de l'ion thiosulfate



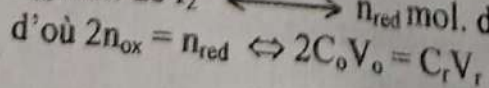
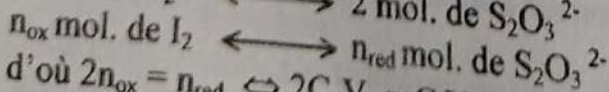
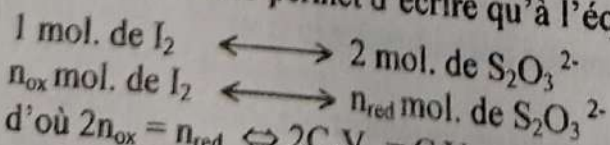
puis on fait l'addition membre à membre :

4) Concentration molaire C_o de la solution de diiode. Soient $n_{ox} = C_o V_o$ le nombre de moles d'oxydant utilisé et $n_{red} = C_r V_r$ le nombre de moles de réducteur.

D'après l'équation-bilan on a :



La stœchiométrie permet d'écrire qu'à l'équivalence :



$$\text{On en tire } C_o = \frac{C_r V_r}{2 V_o} = \frac{0,2 \times 15}{2 \times 20} = 0,075 \text{ mol.L}^{-1}$$

Protocole expérimental :

On verse doucement par petites portions la solution de thiosulfate de sodium jusqu'à ce que le contenu du bécher prenne une teinte jaune. On ajoute alors quelques gouttes d'empois d'amidon : le milieu prend alors une teinte bleu noir. On ajoute ensuite la solution de thiosulfate de sodium goutte à goutte jusqu'à la décoloration. On a ainsi atteint l'équivalence et on note le volume versé.

Les potentiels normaux et la règle de gamma montrent qu'il y a oxydation de l'ion thiosulfate $S_2O_3^{2-}$ en ion tétrathionate $S_4O_6^{2-}$ par le diiode et réduction du diiode par l'ion $S_2O_3^{2-}$. Il s'agit donc d'une réaction d'oxydoréduction.

Solution C

1) Le potentiel couple



L'ion permanganate MnO_4^- est l'oxydant. La demi-équation de réduction est : $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$. La demi-équation d'oxydation de l'ion fer(II) est : $Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+} + e^-$.

L'équation-bilan de la réaction est : $MnO_4^- + 8H^+ + 5Fe^{2+} \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O + 5Fe^{3+}$.

ou encore : $MnO_4^- + 5Fe^{2+} + 8H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + 5Fe^{3+} + 4H_2O$.

2) Relation

* Le nombre

noxydant = n

Si n_o est le

total de m

n_{e^-} captés =

* Le nom

réducteur =

Si chaque

d'électro

n_{e^-} cédés =

* A l'équ

nombre c

n_{e^-} cédés =

Pour la

On a dor

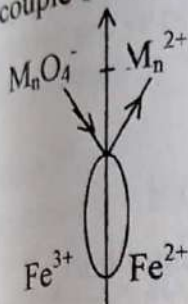
3) Mas

$C_r = \frac{n}{V}$

avec M

Solution C₁₀-8

1) Le potentiel normal du couple $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ est supérieur au potentiel normal du couple $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$.



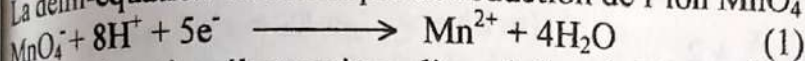
$$E_1^\circ = 1,51 \text{ V}$$

$$E_2^\circ = 0,77 \text{ V}$$

Il y a donc, d'après la règle du gamma, oxydation de l'ion Fe^{2+} par l'ion permanganate MnO_4^- et réduction de l'ion permanganate par l'ion fer II.

L'ion permanganate MnO_4^- est l'oxydant et l'ion Fe^{2+} le réducteur.

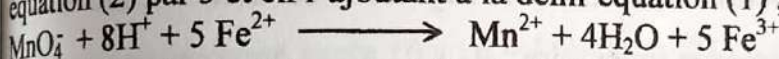
La demi-équation électronique de réduction de l'ion MnO_4^- est :



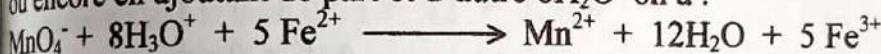
La demi-équation électronique d'oxydation de l'ion Fe^{2+} est :



L'équation-bilan de ce dosage par oxydoréduction s'obtient en multipliant la demi-équation (2) par 5 et en l'ajoutant à la demi-équation (1) ; ce qui donne :



ou encore en ajoutant de part et d'autre $8\text{H}_2\text{O}$ on a :



2) Relation fondamentale des dosages rédox

* Le nombre de moles d'oxydant versé à l'équivalence est :

$$n_{\text{oxydant}} = n_{\text{ox}} = C_o V_o$$

Si n_o est le nombre de moles d'électrons captés par chaque mole d'oxydant, le nombre total de moles d'électrons captés par n_{ox} moles d'oxydant sera de :

$$n_{\text{e}^- \text{ captés}} = n_o \cdot C_o \cdot V_o$$

* Le nombre de moles de réducteur utilisé est :

$$n_{\text{réducteur}} = n_{\text{red}} = C_r \cdot V_r$$

Si chaque mole de réducteur cède n_r moles d'électrons, alors le nombre total de moles d'électrons cédés par n_{red} moles de réducteur sera de :

$$n_{\text{e}^- \text{ cédés}} = n_r \cdot C_r \cdot V_r$$

* A l'équivalence, le nombre de moles d'électrons cédés par le réducteur est égal au nombre de moles d'électrons captés par l'oxydant. On a alors :

$$n_{\text{e}^- \text{ cédés}} = n_{\text{e}^- \text{ captés}} \text{ soit } n_r \cdot C_r \cdot V_r = n_o \cdot C_o \cdot V_o$$

Pour le dosage par équivalence $n_r = 1$ et $n_o = 5$

$$\text{On a donc : } C_r \cdot V_r = 5 C_o \cdot V_o \text{ d'où } C_r = \frac{5 C_o V_o}{V_r} = 0,75 \text{ mol.L}^{-1}$$

3) Masse m de sulfate de fer II cristallisé

$$C_r = \frac{n}{V} = \frac{m}{MV} \text{ d'où } m = C_r \cdot M \cdot V = 20,85 \text{ g}$$

avec $M(\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}) = 278 \text{ g/mol}$.

(P₁)

SOLUTIONS DES EXERCICES DE CINEMATIQUE

Solution P₁-11) Expression du vecteur position $\vec{OM}$

$$\vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} = (2t - 2)\vec{i} + (t + 1)\vec{j}$$

2) A $t_0 = 0$ s on a : $M_0(x_0 = -2 ; y_0 = 1)$ 3) L'équation de la trajectoire est obtenue en éliminant le temps t entre les coordonnées cartésiennes.

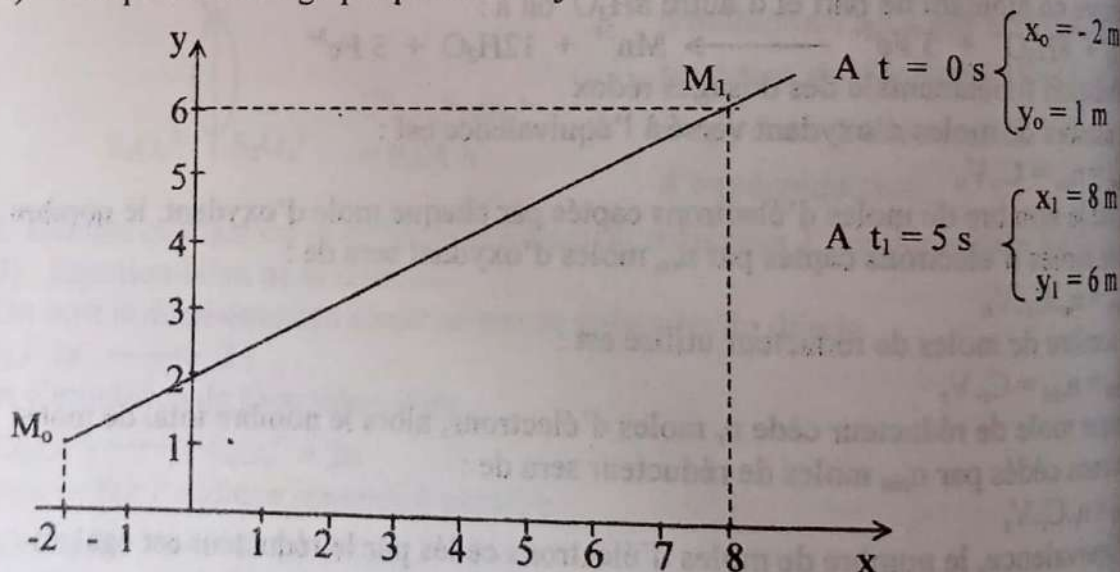
$$x = 2t - 2 \Rightarrow t = \frac{x+2}{2} = \frac{x}{2} + 1$$

$$y = t + 1 = \left(\frac{x}{2} + 1\right) + 1 = \frac{x}{2} + 2$$

$$\text{La relation entre } x \text{ et } y \text{ est : } y = \frac{x}{2} + 2$$

On remarque que y est une fonction affine de x : la trajectoire est donc une droite.

4) a/ Représentation graphique de la trajectoire



b) Distance parcourue par le mobile. La trajectoire étant une droite, on a :

$$d^2 = M_0M_1^2 = (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 \text{ d'où } d = M_0M_1 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}$$

$$d = M_0M_1 = \sqrt{(8 - (-2))^2 + (6 - 1)^2} = 11,18 \text{ m}$$

$$\text{c) Vitesse moyenne : } V_m = \frac{d}{t_1 - t_0} = \frac{11,18}{5 - 0} = 2,24 \text{ m.s}^{-1}$$

$$5) \text{ Pour } x' = 6 \text{ m, on a : } y = \frac{x'}{2} + 2 = \frac{6}{2} + 2 = 5 \text{ m ; or } y' = 4 \text{ m} \neq 5 \text{ m.}$$

Les coordonnées du point M' ne vérifient pas l'équation de la trajectoire.
Le mobile ne peut donc pas passer par le point M' .

CINEMATIQUE

Pour $x'' = 14$ m, on a : $y'' = \frac{x''}{2} + 2 = \frac{14}{2} + 2 = 9$ m

Les coordonnées du point M'' vérifient l'équation de la trajectoire. Le mobile peut donc passer par le point M'' .

Date du passage : $y = 9 = t + 1$ d'où $t = 9 - 1 = 8$ s.

Solution P₁₋₂

1) Equation $y = f(x)$ de la trajectoire.

$$x = t^2 - 2 \Rightarrow t^2 = x + 2$$

$$y = 2t^2 - 2 = 2(x + 2) - 2 = 2x + 2 ; \text{ l'équation est } y = 2x + 2$$

L'équation $y = f(x) = 2x + 2$ est celle d'une droite affine : la trajectoire est donc rectiligne.

2) Au début du mouvement, à $t_0 = 0$ s, on a : $M_0(x_0 = -2 \text{ m}, y_0 = -2 \text{ m})$.

A $t = 5$ s, on a : $M(x = 23 \text{ m}, y = 48 \text{ m})$.

3) La trajectoire étant une droite, la distance d entre les points $M_0(x_0, y_0)$

et $M(x, y)$ est donnée par l'expression : $d = M_0M = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$

$$d = \sqrt{(t^2 - 2 - (-2))^2 + (2t^2 - 2 - (-2))^2} \quad \text{d'où } d = M_0M = t^2 \times \sqrt{5}$$

Distance parcourue après 10 s : $d = 10^2 \sqrt{5} = 223,6$ m

4) Pour $x = t^2 - 2 = 0$ on a : $t = \sqrt{2} = 1,41$ s

L'ordonnée est : $y = 2$ m.

Solution P₁₋₃

1) a/ Vitesse de rotation de la roue

$$v = R\omega \quad \text{d'où } \omega = \frac{v}{R} = 41,67 \text{ rad.s}^{-1}$$

$$\omega = 2\pi N \quad \text{d'où } N = \frac{\omega}{2\pi} = 6,63 \text{ tr/s} = 398 \text{ tr/min}$$

b) Vitesse d'un point quelconque de la chaîne.

$$v' = r_2\omega = r_2 \cdot \frac{v}{R} = 3,125 \text{ m/s} \approx 3,12 \text{ m/s}$$

c) Vitesse de rotation du pignon entraîneur.

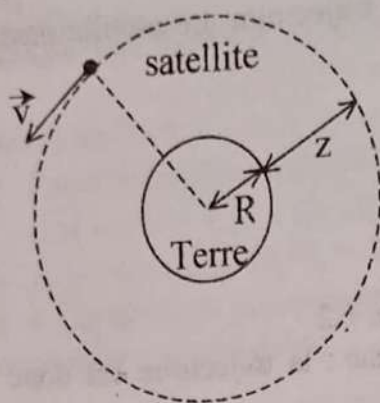
La vitesse circonférentielle du pignon entraîneur est la même que celle de la chaîne.

On a donc :

$$v' = r_1\omega' \quad \text{d'où } \omega' = \frac{v'}{r_1} = 2\pi N' \quad \text{soit } N' = \frac{v'}{2\pi r_1} = 19,9 \text{ tr/s} = 1194 \text{ tr/min.}$$

2) Vitesse de la mobylette

$$\begin{array}{lcl} 1194 \text{ tr/min} & \longleftrightarrow & 45 \text{ km/h} \\ 1500 \text{ tr/min} & \longleftrightarrow & V \quad \text{d'où } V = \frac{45 \times 1500}{1194} = 56,5 \text{ km/h} \end{array}$$

Solution P₁-4

1) Expression de la vitesse angulaire ω et de la période T du satellite.

$$\omega = \frac{v}{R+z} = \frac{R}{R+z} \sqrt{\frac{g_0}{R+z}} = R \sqrt{\frac{g_0}{(R+z)^3}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{R} \sqrt{\frac{(R+z)^3}{g_0}}$$

A.N. : $\omega = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s}$; $T = 5547,4 \text{ s}$
 $v = 7664 \text{ m/s}$

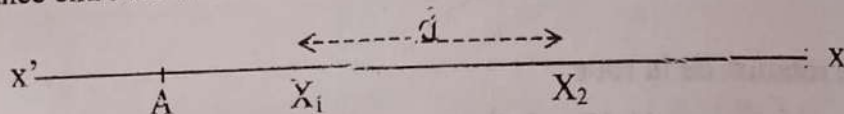
2) Calcul de l'altitude z_0

$$T_0 = \frac{2\pi}{R} \sqrt{\frac{(R+z_0)^3}{g_0}} \Rightarrow T_0^2 = \frac{4\pi^2(R+z_0)^3}{R^2 g_0} \Rightarrow (R+z_0)^3 = \frac{T_0^2 R^2 g_0}{4\pi^2}$$

$$\Rightarrow R+z_0 = \sqrt[3]{\frac{T_0^2 R^2 g_0}{4\pi^2}} \rightarrow z_0 = \sqrt[3]{\frac{T_0^2 R^2 g_0}{4\pi^2}} - R = 3,58 \cdot 10^7 \text{ m} = 3,58 \cdot 10^4 \text{ km}$$

Solution P₁-5

1) Distance entre les deux voitures à la date $t = 4 \text{ min}$



Soient X_1 et X_2 les abscisses respectives des véhicules V_1 et V_2 par rapport à l'origine A, 4 min après le départ de la voiture V_1 .

$$X_1(4 \text{ min}) = 20 \times 4 \times 60 = 4800 \text{ m}$$

$$X_2(4 \text{ min}) = -20 \times 4 \times 60 + 12400 = 7600 \text{ m}$$

La distance entre les deux voitures est :

$$d = X_2 - X_1 = 2800 \text{ m}$$

2) Date du croisement des deux voitures.

Au croisement, $x_1 = x_2$ soit $20t = -20t + 12400$

$$d'où t = \frac{12400}{40} = 310 \text{ s} = 5 \text{ min } 10 \text{ s.}$$

Les deux voitures se croiseront à 8 h 5 min 10 s

Lieu du croisement des deux voitures

$$A \quad t = 310 \text{ s}$$

$$x_1 = 20 \times 310 = 6200 \text{ m}$$

ou encore

$$x_2 = -20 \times 310 + 12400 = 6200 \text{ m}$$

Les deux voitures se croisent à 6,2 km du point A.

Solution P₁-6

1) La relation s'écrit : $\theta = \omega t + \theta_0$. Or à $t_1 = 1 \text{ s}$ on a $\theta = \frac{\pi}{6}$

$$\text{On pose } \frac{\pi}{6} = 2 + \theta_0 \text{ d'où } \theta_0 = \frac{\pi - 12}{6} \text{ et } \theta = 2t + \frac{\pi - 12}{6}$$

2) La vitesse linéaire V : On a $\omega = \frac{v}{R}$ d'où $V = \omega R = 4 \text{ m.s}^{-1}$

3) Le temps mis pour effectuer 1 tour

$$1t = 2\pi = 2t + \frac{\pi - 12}{6} \text{ d'où } t = \frac{11\pi}{12} + 1 = 3,88 \text{ s}$$

Solution P₁₋₇

1) Le nombre de tours à effectuer : $n = \frac{h}{2\pi r} = 19,1 \text{ tours}$

2) La fréquence de rotation : $\omega = 2\pi N$ d'où $N = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{3 \times 2\pi}{8 \times 2\pi} = 0,375 \text{ Hz}$

La vitesse d'ascension du seau : $\omega = \frac{V}{r}$ d'où $V = \omega r = 0,23 \text{ m.s}^{-1}$

La vitesse de l'extrémité de la manivelle : $\omega = \frac{V}{R}$ d'où $V = \omega R$

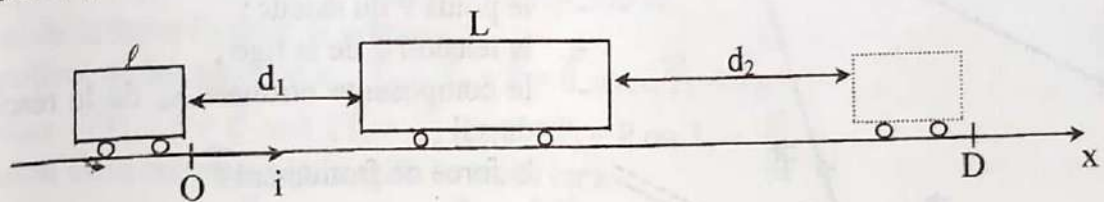
$$V = \frac{6\pi}{8} \times 0,4 = 0,94 \text{ m.s}^{-1}$$

3) Le temps de descente

$$\theta = \omega t \text{ or } \theta = 2\pi.n \text{ et } \omega = 2\pi N \text{ d'où } t = \frac{n}{N} = 38,2 \text{ s.}$$

Solution P₁₋₈

1)



• Au début du dépassement, l'équation horaire des deux véhicules
 $x_A = 25t$ et $x_C = 20t + d_1$

• A la fin du dépassement : $x_A = D = d_1 + L + x_C + d_2 + l$ soit

$$x_A = 25t = 2d_1 + d_2 + L + l + 20t \text{ d'où } t = 17 \text{ s}$$

2) La distance parcourue sur la route par la voiture

$$x_A = 25t = 25 \times 17 = 425 \text{ m.}$$

(P₂)

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR TRAVAIL ET PUISSANCE

Solution P₂₋₁

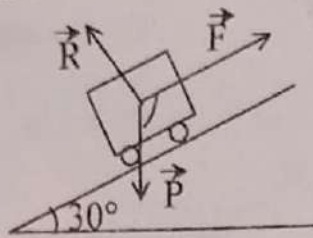
1^{er} cas : $W(\vec{P}) = 0 \text{ J}$ car $\vec{P}$ est perpendiculaire au déplacement.

$$W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{d} = 300 \times 50 = 15000 \text{ J}$$

2^{ème} cas :

$W(\vec{P}) = 0 \text{ J}$; le poids $\vec{P}$ est perpendiculaire au déplacement.

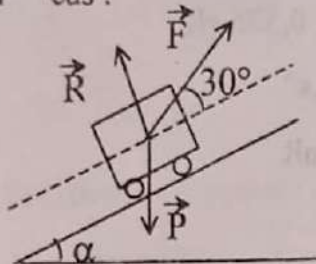
$$W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{d} = F.d.\cos 30^\circ = 12990,4 \text{ J}$$

3^{ème} cas :

$$W(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{d} = P \cdot d \cdot \cos(\vec{P}, \vec{d}) \text{ avec } (\vec{P}, \vec{d}) = 90^\circ + 30^\circ = 120^\circ$$

$$W(\vec{P}) = P \cdot d \cdot \cos 120^\circ = -6250 \text{ J}$$

$$W(\vec{F}) = F \cdot d = 300 \times 50 = 15000 \text{ J}$$

4^{ème} cas :

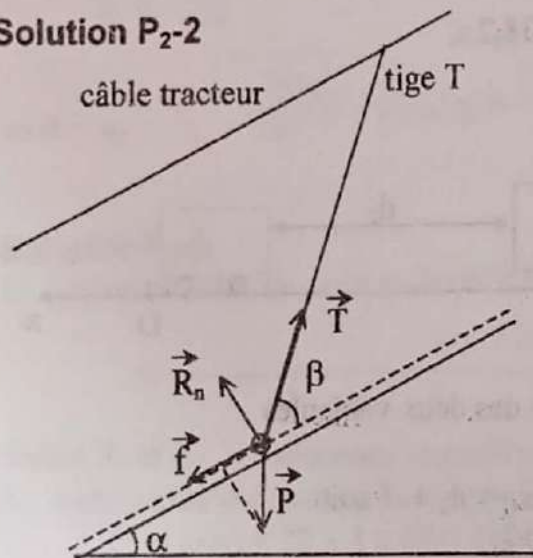
$$W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{d} = F \cdot d \cdot \cos 30^\circ = 12990,4 \text{ J}$$

$$W(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{d} = P \cdot d \cdot \cos(\vec{P}, \vec{d})$$

$$(\vec{P}, \vec{d}) = 90^\circ + \alpha ; \cos(90^\circ + \alpha) = -\sin \alpha$$

$$W(\vec{P}) = -P \cdot d \sin \alpha \text{ or } \sin \alpha = \text{pente} = \frac{1}{2}$$

$$\text{On a : } W(\vec{P}) = -P \cdot \text{pente} \cdot d = -6250 \text{ J}$$

Solution P₂-2

1) Les forces appliquées au skieur sont :

- le poids $\vec{P}$ du skieur ;
- la tension $\vec{T}$ de la tige ;
- la composante normale $\vec{R}_n$ de la réaction du sol ;
- la force de frottement $\vec{f}$

2) Travail des forces appliquées au skieur

$$W(\vec{P}) = -mg \cdot l \cdot \sin \alpha = -P \cdot l \cdot \sin \alpha = -547232,23 \text{ J}$$

$$W(\vec{R}_n) = 0 \text{ car } \vec{R}_n \text{ est perpendiculaire au déplacement}$$

$$W(\vec{f}) = -f \cdot l = -40 \times 2000 = -80\,000 \text{ J}$$

$$W(\vec{T}) ; \text{ nous ne connaissons pas la valeur de la tension } T.$$

La vitesse étant constante, nous pouvons appliquer le principe de l'inertie (programme de Seconde) au cours de ce mouvement ; on a alors :

$$W(\vec{P}) + W(\vec{R}_n) + W(\vec{f}) + W(\vec{T}) = 0 \text{ d'où } W(\vec{T}) = 627232,23 \text{ J}$$

3) Intensité de la tension exercée par la tige.

$$W(\vec{T}) = \vec{T} \cdot \vec{AB} = T \cdot l \cdot \cos \beta \text{ d'où } T = \frac{W(\vec{T})}{l \cdot \cos \beta} = 362,13 \text{ N}$$

$$4) \text{ Puissance de cette tension : } P = \vec{T} \cdot \vec{v} = T \cdot v \cdot \cos \beta = 7840,4 \text{ W.}$$

Solution P₂-3

Système 1

Calcul de la force F_1 po

La poulie permet de cha

donc $F_1 = T' = T$. OrCalcul de la force F_2 po

A l'équilibre de la caisse

On a alors : $2\vec{T}_1 + \vec{P} = \vec{0}$

La tension étant constan

 $T_1 = T_2 = F_2$. Or $T_1 =$

Le travail effectué pa

le principe de la conser

Avec le système 1 on

Avec le système 2 on

Puissance de la forc

Pour le système 1 on a

Pour le système 2 on a

2) -Le système 1 a l

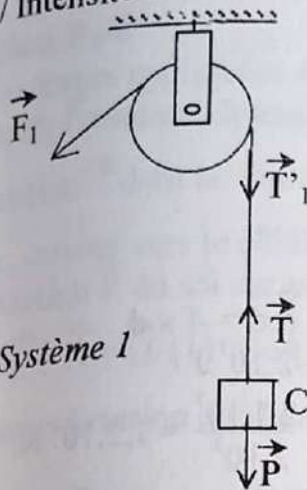
fiabilité (5 m) et l'inco

(F₁ = 500 N).

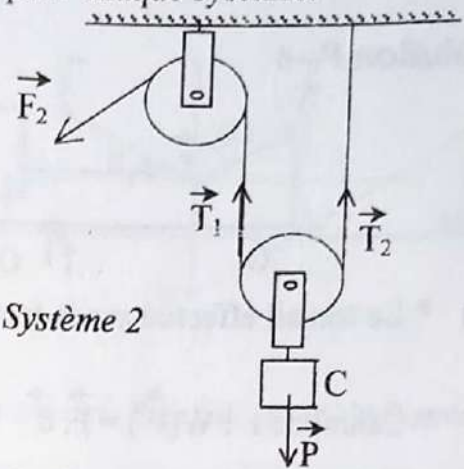
-Le système 2 a l

Solution P₂-3

1) a/ Intensité de la force exercée par le manœuvre pour chaque système.



Système 1



Système 2

- Calcul de la force F_1 pour le système 1La poulie permet de changer la direction d'une force sans modifier son intensité. On a donc $F_1 = T' = T$. Or $T = P$ d'où $F_1 = P = 500 \text{ N}$.- Calcul de la force F_2 pour le système 2A l'équilibre de la caisse on a : $\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{P} = \vec{0}$ avec $\vec{T}_1 = \vec{T}_2$.On a alors : $2\vec{T}_1 + \vec{P} = \vec{0}$ soit $2\vec{T}_1 = -\vec{P}$ d'où $2T_1 = P$ ou $T_1 = \frac{P}{2}$.

La tension étant constante le long de la corde on a :

 $T_1 = T_2 = F_2$. Or $T_1 = \frac{P}{2}$ donc $F_2 = \frac{P}{2} = \frac{500}{2} = 250 \text{ N}$.

b) Le travail effectué par le manœuvre est égal au travail de levage de la caisse d'après le principe de la conservation du travail car les frottements sont négligeables.

- Avec le système 1 on a : $W_1(\vec{F}_1) = -W(\vec{P}) = P \cdot h = 500 \times 5 = 2500 \text{ J}$ - Avec le système 2 on a : $W_2(\vec{F}_2) = -W(\vec{P}) = Ph = 500 \times 5 = 2500 \text{ J}$

c) Calcul de la longueur de corde tirée

- Avec le système 1 on a : $W_1(\vec{F}_1) = F_1 l_1$ d'où $l_1 = \frac{W_1(\vec{F}_1)}{F_1} = \frac{2500}{500} = 5 \text{ m}$ - Avec le système 2 on a : $W_2(\vec{F}_2) = F_2 l_1$ d'où $l_1 = \frac{W_2(\vec{F}_2)}{F_2} = \frac{2500}{250} = 10 \text{ m}$

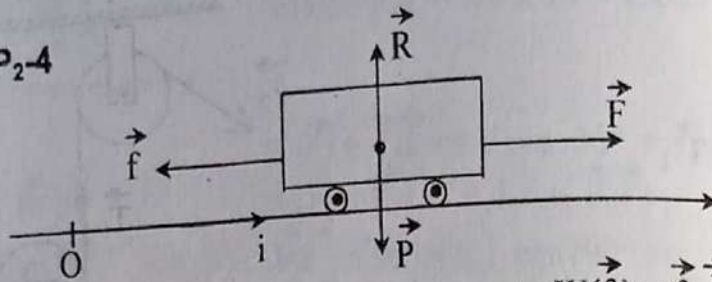
(programme) d) Puissance de la force dans chaque cas.

Pour le système 1 on a : $F_1 = \frac{W_1}{t_1} = \frac{2500}{20} = 125 \text{ W}$ Pour le système 2 on a : $F_2 = \frac{W_2}{t_2} = \frac{2500}{40} = 62,5 \text{ W}$ 2) - Le système 1 a l'avantage de faire tirer au manœuvre une longueur de corde plus faible (5 m) et l'inconvénient de faire déployer au manœuvre une grande force ($F_1 = 500 \text{ N}$).

- Le système 2 a l'avantage de faire déployer au manœuvre une force deux fois

plus faible ($F_2 = 250 \text{ N}$) et l'inconvénient de faire tirer au manœuvre une plus longue longueur de corde (10 m).
- Le système 2 est celui qui conviendrait le mieux à cet enfant.

Solution P₂-4



1) * Le travail effectué par la force de trottement : $W(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{d} = -f \times d = -2.10^7 \text{ J}$

* Calcul de F : $W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{d} = F \times d = W$ d'où $F = \frac{W}{d} = \frac{2.4.10^7}{2.10^3} = 1.2.10^4 \text{ N}$

2) Calcul des puissances des forces s'exerçant sur le wagon

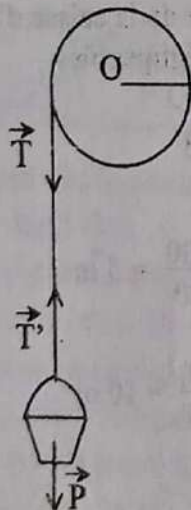
$P(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{v} = -3.10^5 \text{ W}$; $P(\vec{R}) = 0$; $P(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{v} = -2.10^4 \times 10 \times \frac{1}{100} \times 30 = -6.10^4 \text{ W}$

$P(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{v} = F \cdot v = 3.6.10^5 \text{ W}$

$P(\vec{f}) + P(\vec{R}) + P(\vec{P}) + P(\vec{F}) = 0$

Cette somme étant nulle, le système est pseudo-isolé.

Solution P₂-5



1) Profondeur h du puits. Pour un tour de manivelle, la longueur de corde tirée est égale à la circonférence du cylindre treuil soit $l_1 = 2 \pi R$.

Pour 14 tours, la profondeur h du puits sera :

$h = 14 \times l_1 = 14 \times 2 \pi R$;

$h = 14 \times 2 \times \frac{22}{7} \times 0,2 = 17,6 \text{ m}$

2) Force à appliquer à l'extrémité de la manivelle. $F.OA = T.R$ or $T = T' = F$ dans

$F.OA = P.R$ d'où $F = \frac{P.R}{OA} = \frac{15 \times 10 \times 0,2}{0,6} = 50 \text{ N}$.

3) Travail effectué par le poids du seau d'eau.

$W = -P.h = -15 \times 10 \times 17,6 = -2640 \text{ J}$

4) Rendement de l'installation : $r = \frac{|W|}{W'} = \frac{2640}{2775} = 0,95$ soit 95 %

5) Puissance de l'ouvrier : $P = \frac{W'}{t} = \frac{2775}{60} = 46,25 \text{ W}$

Solution P₂-6

1) Les forces appliquées au skieur sont :

- Le poids $\vec{P}$ vertical descendant

- La tension $\vec{T}$ dont la direction est la

perche, orienté vers le point d'attache du câble.

- La réaction $\vec{R}$ du sol sur le skieur

or $\vec{P} + \vec{T} + \vec{R} = \vec{0}$ (1) d'où $\vec{R} = -(\vec{P} + \vec{T})$

$\vec{R}$ a même direction que la résultante $\vec{P} + \vec{T}$ et de sens opposé. Elle fait un angle θ avec le sol.

(1) sur $(O; \vec{i})$: $T \sin 60^\circ - R \cos \theta = 0$

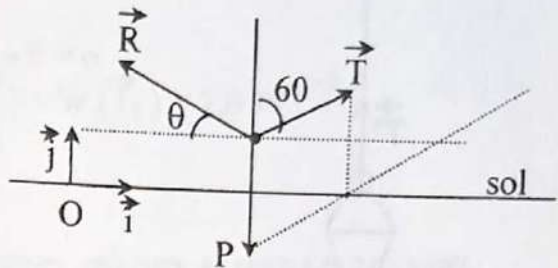
(1) sur $(O; \vec{j})$: $T \cos \theta + R \sin \theta - P = 0$ d'où $\theta = 82,41^\circ$

2) Les intensités des forces : $P = mg = 700 \text{ N}$; $T = 100 \text{ N}$; $R = 655,74 \text{ N}$

3) Les travaux effectués : $W(\vec{P}) = OJ$; $W(\vec{T}) = \vec{T} \cdot \vec{L} = 34,64 \text{ kJ}$

$W(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \vec{L} = -RL \cos \theta = -34,64 \text{ kJ}$

4) La puissance de la force de traction : $P(\vec{T}) = \vec{T} \cdot \vec{v} = 240,56 \text{ W}$.



Solution P₂-7

1) Calcul du moment de $\vec{P}$ par rapport à l'axe horizontal passant par O

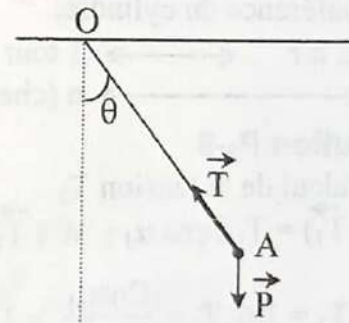
$M_O(\vec{P}) = P \times OA \times \sin \theta = 0,1 \times 10 \times 1 \times \sin \theta = \sin \theta$

2) Le travail du poids $\vec{P}$

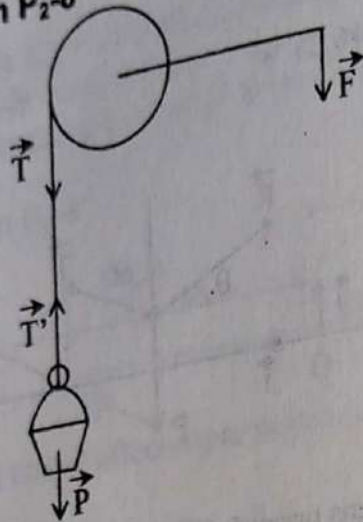
$W(\vec{P}) = P \times OA (1 - \cos \theta) = 0,5 \text{ J}$

3) Au cours de déplacement, la vitesse est maximale quand le fil est vertical. La puissance à cet instant est nulle, car le poids est perpendiculaire à la vitesse.

4) La puissance moyenne : $P_m = \frac{W}{t} = 2 \text{ W}$.



Solution P₂-8



- 1) A l'équilibre $F.l = T.r$ d'où $F = T$
- 2) a/ Calcul de F lorsque le seau est dans l'eau. Dans ce cas la tension T de la corde est égale au poids apparent ;

$$T = T_1 = F - F_a = 200 - 100 = 100 \text{ N}$$

$$\text{On a alors } F = F_1 = \frac{100 \times 0,1}{0,5} = 20 \text{ N}$$

- b) Calcul de F lorsque le seau est hors de l'eau. Dans ce cas la tension T de la corde est égale au poids réel : $T = T_2 = P = 200 \text{ N}$

$$\text{On a alors : } F = F_2 = \frac{200 \times 0,1}{0,5} = 40 \text{ N}$$

- 3) a/ Travail total accompli pour sortir le seau du puits ; $W = W_1(\vec{F}_1) + W_2(\vec{F}_2)$
D'après la conservation du travail, on a :

$$W_1(\vec{F}_1) = W(\vec{T}_1) = T_1.d_1 \text{ avec } d_1 = \frac{d}{2} = 10 \text{ m}$$

$$\text{d'où } W_1(\vec{F}_1) = W(\vec{T}_1) = 100 \times 10 = 1000 \text{ J}$$

$$W_2(\vec{F}_2) = W(\vec{T}_2) = T_2.d_2 = 200 \times 10 = 2000 \text{ J}$$

$$\text{Le travail total accompli est } W = 1000 + 2000 = 3000 \text{ J}$$

- b) Nombre n de tours à effectuer :

Lorsque la manivelle fait un tour, la longueur de corde enroulée est égale à la circonférence du cylindre.

$$C = 2\pi r \quad \longleftrightarrow \quad 1 \text{ tour}$$

$$d \quad \longleftrightarrow \quad n \text{ (cherché) d'où } n = \frac{d}{2\pi r} = \frac{20}{2 \times 3,14 \times 0,1} = 31,8$$

Solution P₂-9

- 1- Calcul de la tension T_2

$$W(\vec{T}_1) = T_1 d \cos \alpha_1 ; W(\vec{T}_2) = T_2 d \cos \alpha_2 = 1,6 W(\vec{T}_1)$$

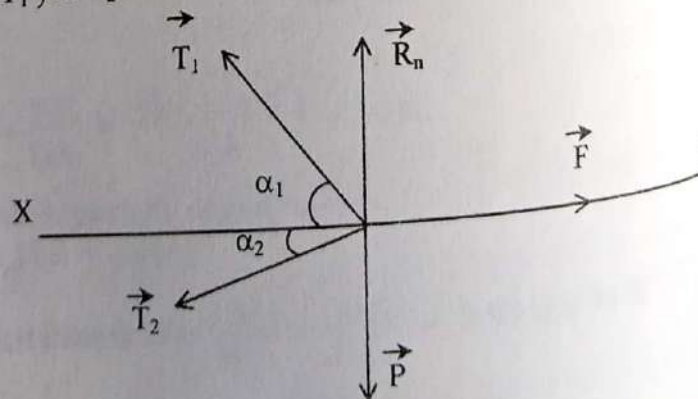
$$\text{soit } T_2 = 1,6 \cdot T_1 \times \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2} = 1,6 \cdot 10^5 \times \frac{\cos 30^\circ}{\cos 20^\circ} = 1,47 \cdot 10^5 \text{ N.}$$

- 2- Montrons que $W(\vec{T}) = W(\vec{T}_1) + W(\vec{T}_2)$

$$W(\vec{T}) = W(\vec{T}_1 + \vec{T}_2) = (\vec{T}_1 + \vec{T}_2) \cdot \vec{AB} = \vec{T}_1 \cdot \vec{AB} + \vec{T}_2 \cdot \vec{AB} = T_1 d \cos \alpha_1 + T_2 d \cos \alpha_2$$

$$\text{or } T_1 d \cos \alpha_1 = W(\vec{T}_1) \text{ et } T_2 d \cos \alpha_2 = W(\vec{T}_2) \text{ d'où } W(\vec{T}) = W(\vec{T}_1) + W(\vec{T}_2)$$

- 3- Calcul de $W(\vec{F})$.



à vitesse constante on a : $\sum \vec{f} = \vec{0}$

soit $\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{F} + \vec{P} + \vec{R}_n = \vec{0}$

en projection sur $x'x$ on a : $T_1 \cos \alpha_1 + T_2 \cos \alpha_2 - F = 0$

où $F = T_1 \cos \alpha_1 + T_2 \cos \alpha_2$ soit $W(\vec{F}) = W(\vec{T}_1) + W(\vec{T}_2) = 2,6 W(\vec{T}_1)$

P₃)

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR L'ENERGIE CINETIQUE

Solution P₃-1

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1500 \cdot \left(\frac{108000}{3600} \right)^2 = 675\,000 \text{ J}$$

Solution P₃-2

1) Expression de J_Δ en fonction de m_B et l

$$J_\Delta = J_\Delta(B) + J_\Delta(C) + J_\Delta(S)$$

$$J_\Delta(B) = \frac{1}{12} m_B l^2 ; J_\Delta(C) = \frac{1}{2} m_C \left(\frac{l}{4} \right)^2 + m_C \left(\frac{l}{4} + \frac{l}{2} \right)^2 = \frac{19}{4} m_B l^2$$

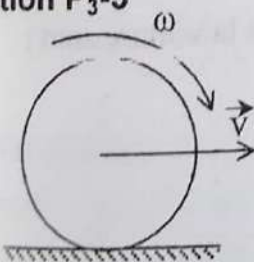
$$J_\Delta(S) = \frac{2}{5} m_S \left(\frac{l}{8} \right)^2 + m_S \left(\frac{l}{8} + \frac{l}{2} \right)^2 = \frac{127}{40} m_B l^2$$

$$J_\Delta = \frac{961}{120} m_B l^2 = 6,92 \cdot 10^{-1} \text{ kg m}^2$$

2) L'énergie cinétique du système

$$E_c = \frac{1}{2} J_\Delta \omega^2 \text{ or } \omega = \frac{v}{\frac{l}{2} + \frac{l}{4}} = \frac{4v}{3l} \text{ d'où } E_c = \frac{8}{9} J_\Delta \frac{v^2}{l^2} = 4,27 \cdot 10^{-1} \text{ J}$$

Solution P₃-3



Energie cinétique de translation : $E_{ct} = \frac{1}{2} m v^2$
Energie cinétique de rotation :

$$E_{cr} = \frac{1}{2} J \omega^2 \text{ avec } J = \frac{2}{5} m R^2 \text{ et } \omega = \frac{v}{R}$$

$$\text{d'où } E_{cr} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} m R^2 \cdot \frac{v^2}{R^2} = \frac{1}{5} m v^2$$

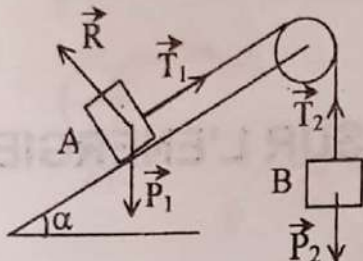
$$\text{On a le rapport } r = \frac{E_{ct}}{E_{cr}} = \frac{5}{2} \text{ d'où } E_{ct} = \frac{5}{2} E_{cr}$$

2) Energie cinétique totale de la boule

$$E_c = E_{c1} + E_{c2} = E_{c1} + \frac{2}{5} E_{c1} = E_{c1} \left(1 + \frac{2}{5}\right) = \frac{7}{5} E_{c1}$$

$$E_c = \frac{7}{5} \times \frac{1}{2} m v^2 = \frac{7}{5} \times \frac{1}{2} \times 1,5 \times 2^2 = 4,2 \text{ J}$$

Solution P₃-4



1) a) Travail effectué par le système A + B

$$W = W_{P_2} + W_{P_1} + W_{T_2} + W_{T_1} + W_R$$

$$W_{T_1} + W_{T_2} = 0 \text{ et } W_R = 0$$

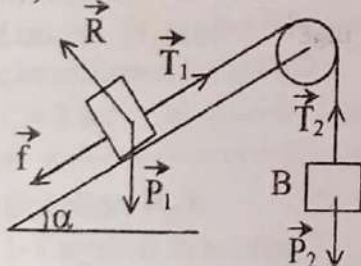
$$\text{d'où } W = W_{P_2} + W_{P_1}$$

$$W = m_2 g h - m_1 g h \sin \alpha = 39,2 \text{ N}$$

b) $\Delta E_c = \Sigma W$ d'où $E_c - E_{c0} = W$ or $E_{c0} = 0$ car le système est abandonné sans vitesse initiale. On a : $E_c = W$; $\frac{1}{2} m_1 V^2 + \frac{1}{2} m_2 V^2 = \frac{V^2}{2} (m_1 + m_2) = W$ d'où

$$V = \sqrt{\frac{2W}{m_1 + m_2}} = 4,54 \text{ m.s}^{-1}$$

2) Calcul de l'intensité de la force de frottement



On utilise le théorème de l'énergie cinétique.

$$E_c - E_{c0} = W(P_2) + W(P_1) + W(f) + W(T_2) + W(R)$$

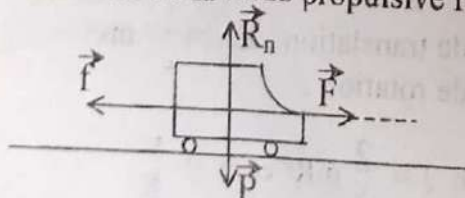
$$W(T_1) + W(T_2) = 0 ; W(R) = 0$$

$$\text{On a : } E_c - 0 = m_2 g h - m_1 g h \sin \alpha - f \cdot h \text{ or } E_c = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_1^2$$

$$\text{d'où } f = \frac{g h (m_2 - m_1 \sin \alpha) - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_1^2}{h} = 6,32 \text{ N}$$

Solution P₃-5

1) Intensité de la force propulsive F.



Les forces appliquées à la voiture sont : f, F, P, R_n

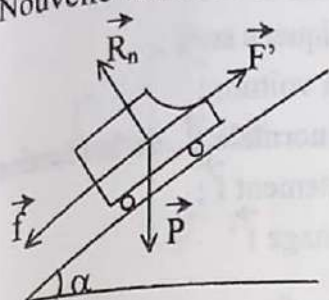
En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, on a :

$$E_c - E_{c0} = W(P) + W(F) + W(f) + W(R_n)$$

$$\frac{1}{2} m v^2 - 0 = 0 + F \cdot d - f \cdot d + 0$$

$$d'où F = \frac{mv^2 + 2 f \cdot d}{2 d} = \frac{3000 \times (20)^2 + 2 \times 3000 \times 1000}{2 \times 1000} = 900 \text{ N}$$

2) Nouvelle valeur de la force propulsive $\vec{F}'$



D'après le théorème de l'énergie cinétique
 $\Delta E_c = \Sigma W = W(\vec{P}) + W(\vec{R}_n) + W(\vec{F}') + W(\vec{f})$
 $\Delta E_c = -mgsin\alpha \cdot d + 0 + F' \cdot d - f \cdot d$

$$sin\alpha = \frac{3}{100} \text{ et } \Delta E_c = 0 \text{ car } v = \text{cte}$$

On a alors : $-mgsin\alpha \cdot d + F' \cdot d - f \cdot d = 0$ d'où $F' = mgsin\alpha + f = 1200 \text{ N}$

3) Distance d' parcourue avant l'arrêt. D'après le théorème de l'énergie cinétique on a :

$$E_{cf} = E_{ci} = W(\vec{P}) + W(\vec{R}_n) + W(\vec{f})$$

$$0 - \frac{1}{2}mv^2 = -mgd'sin\alpha + 0 - f \cdot d' \text{ d'où } d' = \frac{mv^2}{2(mgsin\alpha + f)} = 500 \text{ m}$$

Solution P3-6

1) Moment d'inertie du volant assimilable à une circonférence pesante.

$$J = MR^2 = 500 \times 0,3^2 = 45 \text{ kg.m}^2$$

2) Energie cinétique du volant

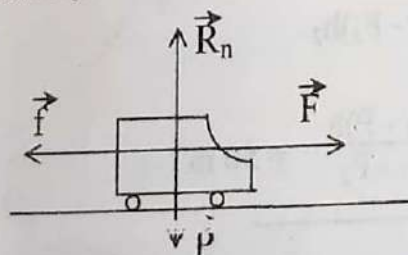
$$E_c = \frac{1}{2} J \omega^2 \text{ avec } \omega = 2 \pi N_1 \text{ et } N_1 = \frac{300}{60} = 5 \text{ tr/s}$$

$$E_c = \frac{1}{2} \times 45 \times (5)^2 \times 4 \pi^2 = 22184,1 \text{ J}$$

3) Puissance moyenne fournie par le volant

$$P = \frac{W}{t} = \frac{\Delta E_c}{t} = \frac{J\omega_2^2/2 - J\omega_1^2/2}{t} = 2J \frac{\pi^2(N_2^2 - N_1^2)}{t} = 1109,2 \text{ W}$$

Solution P3-7



1) a) Les forces appliquées sont :

- le poids $\vec{P}$ de la voiture ;
- la composante normale $\vec{R}_n$ de la réaction du sol ;
- la force de frottement $\vec{f}$;
- la force de propulsion $\vec{F}$ créée par le moteur

b) On applique le théorème de l'énergie cinétique à la voiture

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = W_{\vec{F}} + W_{\vec{P}} + W_{\vec{R}_n} + W_{\vec{f}}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 - 0 = F \cdot d + 0 + 0 - f \cdot d \text{ d'où } F = \frac{mv^2/2 + f \cdot d}{d} = 600 \text{ N}$$

2) a) La vitesse est constante. D'après le principe de l'inertie (voir seconde)

$$\text{on a : } \vec{f} + \vec{P} + \vec{R}_n + \vec{F} = \vec{0} \text{ d'où } W_{\vec{f}} + W_{\vec{P}} + W_{\vec{R}_n} + W_{\vec{F}} = 0$$

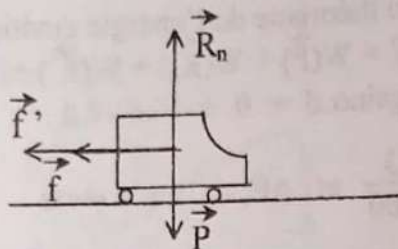
soit $-f \cdot d' + 0 + 0 + F' \cdot d' = 0 \Rightarrow F' = f = 500 \text{ N}$

N.B. : On peut appliquer aussi le théorème de l'énergie cinétique :

$\Delta E_c = \Sigma W = 0$ car la vitesse est constante.

b) Puissance $P = F' \cdot v = 10000 \text{ W} = 10 \text{ kW}$

3)



Les forces appliquées sont :

- le poids $\vec{P}$ de la voiture ;
- la composante normale $\vec{R}_n$ de la réaction ;
- la force de frottement $\vec{f}$;
- la force de freinage $\vec{f}'$;

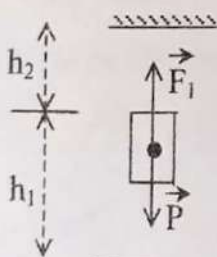
En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à la voiture :

$$\frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m V_i^2 = W_{\vec{P}} + W_{\vec{R}_n} + W_{\vec{f}} + W_{\vec{f}'} \quad (v_f = 0 \text{ à l'arrêt})$$

$$0 - \frac{1}{2} m V_i^2 = 0 + 0 - f \cdot d'' - f' \cdot d'' \quad \text{d'où } f' = \frac{m V_i^2 / 2 - f \cdot d''}{d''} = 3500 \text{ N}$$

Solution P₃-8

1) Travail du poids : $W_{\vec{P}} = -P \cdot h = 1500000 \text{ J} = 1500 \text{ kJ}$



2) On applique le théorème de l'énergie cinétique à chaque phase.

1^{ère} phase : $\frac{1}{2} m v^2 - 0 = F_1 \cdot h_1 - P \cdot h_1 = (F_1 - P) h_1 \quad (a)$

2^{ème} phase : $0 - \frac{1}{2} m v^2 = F_2 \cdot h_2 - P h_2 \quad \text{d'où } \frac{1}{2} m v^2 = -(F_2 - P) h_2 \quad (b)$

(a) et (b) $\Rightarrow (F_1 - P) h_1 = -(F_2 - P) h_2$

2^{ème} méthode : on applique le théorème de l'énergie cinétique entre A et B

$$\frac{1}{2} m V_B^2 - \frac{1}{2} m V_A^2 = W(\vec{P}) + W(\vec{F}_1) + W(\vec{F}_2)$$

$$0 - 0 = -P h + F_1 h_1 + F_2 h_2$$

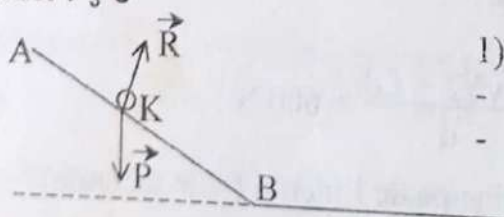
$$0 = -P(h_1 + h_2) + F_1 h_1 + F_2 h_2 \quad \text{d'où } (F_1 - P) h_1 = (P - F_2) h_2$$

3) $(F_1 - P) h_1 = -(F_2 - P) h_2$ avec $h = h_1 + h_2$

$$\text{d'où } h_1 = \frac{(P - F_2) h}{F_1 - F_2} = 100 \text{ m et } h_2 = h - h_1 = \frac{(F_1 - P) h}{F_1 - F_2} = 50 \text{ m}$$

4) $\frac{1}{2} m v^2 = (F_1 - P) h_1$ voir (a) d'où $v = \sqrt{\frac{2}{m} (F_1 - P) h_1} = 10 \text{ m.s}^{-1}$

Solution P₃-9



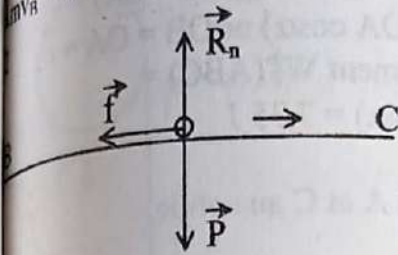
1) a) Les forces appliquées sont :

- le poids $\vec{P}$ du solide ;
- la réaction $\vec{R}$ du plan incliné.

D'après le théorème de l'énergie cinétique on a :

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_K^2 = W_P + W_R$$

$$mv_B^2 - 0 = mgH + 0 \text{ d'où } H = \frac{v_B^2}{2g} = 1,84 \text{ m}$$



- 2) a) Les forces appliquées au solide sont :
- le poids $\vec{P}$ du solide ;
 - la composante normale $\vec{R}_n$ de la réaction du sol ;
 - la force de frottement $\vec{f}$.

B. : la réaction du sol est $\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{f}$

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre B et C, on a :

$$mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 = W_P + W_{R_n} + W_f = 0 + 0 - f.L \text{ d'où } f = \frac{m(v_B^2 - v_0^2)}{2L} = 0,8 \text{ N}$$

On applique le théorème de l'énergie cinétique entre A et C

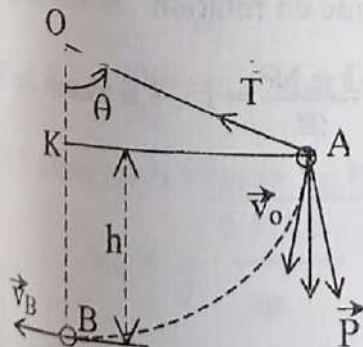
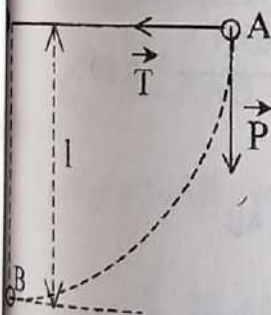
$$mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = W_P + W_{R_n} + W_f$$

$$0 = mgH' + 0 - f.BC \text{ avec } H' = KB \sin \alpha \text{ et } BC = L$$

(a)

$$= mgKB \sin \alpha - f.BC \text{ d'où } KB = \frac{f.BC}{mg \sin \alpha} = 0,82 \text{ m.}$$

Solution P₃-10



- 1) a) Les forces appliquées sont la tension $\vec{T}$ du fil et le poids $\vec{P}$ de la bille. $W_P = mgh$ avec $h = l$ d'où $W_P = mgl = 1,2 \text{ J}$; $W_T = 0$

- b) On applique le théorème de l'énergie cinétique

$$mv_B^2 - 0 = W_P + W_T \text{ d'où } v_B = \sqrt{2gl}$$

$$v_B = 3,46 \text{ m.s}^{-1}$$

$$2) \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = W_P + W_T \text{ avec}$$

$$W_T = 0$$

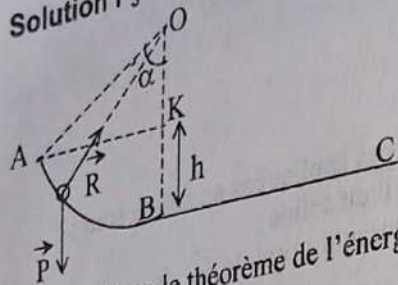
$$W_P = mgh = mg(OB - OK) =$$

$$mg(OB - OA \cos \theta) \text{ or } OA = OB = l$$

$$\text{d'où } W_P = mgl(1 - \cos \theta)$$

$$\text{on a alors } \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = mgl(1 - \cos \theta) \text{ d'où } v_B = \sqrt{v_0^2 + 2gl(1 - \cos \theta)} = 3,16 \text{ m.s}^{-1}$$

Solution P₃-11

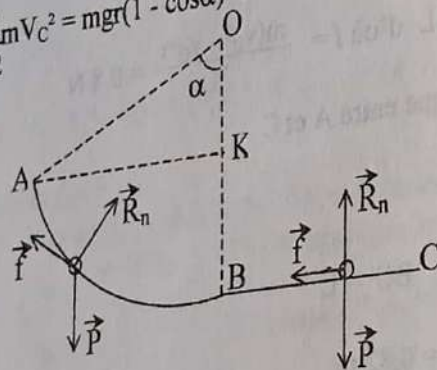


1) a) $W_{\vec{P}}(ABC) = W_{\vec{P}}(\widehat{AB}) + W_{\vec{P}}(\widehat{BC})$
 $W_{\vec{P}}(\widehat{BC}) = 0$ car $\vec{P} \perp \widehat{BC}$
 $W_{\vec{P}}(\widehat{AB}) = mgh = mg(OB - OK) =$
 $mg(OB - OA \cos \alpha)$ or $OB = OA = R$,
 on a finalement $W_{\vec{P}}(ABC) =$
 $mgr(1 - \cos \alpha) = 7,35 \text{ J}$

b) On applique le théorème de l'énergie cinétique entre A et C au solide.

$$\frac{1}{2} m V_C^2 - \frac{1}{2} m V_A^2 = W_{\vec{P}} + W_{\vec{R}} \text{ avec } W_{\vec{R}} = 0 \text{ et } V_A = 0$$

$$\frac{1}{2} m V_C^2 = mgr(1 - \cos \alpha) \text{ d'où } V_C = \sqrt{2gr(1 - \cos \alpha)} = 5,42 \text{ m.s}^{-1}$$



2) a) voir schéma

b) $W_{\vec{f}}(ABC) = W_{\vec{f}}(\widehat{AB}) + W_{\vec{f}}(\widehat{BC})$
 $= -f \cdot AB - f \cdot BC$

or $\widehat{AB} = r \cdot \alpha$ et $BC = L$ d'où
 $W_{\vec{f}}(ABC) = -f \cdot r \alpha - fL = -f(r\alpha + L)$

c) En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre A et C

$$\frac{1}{2} m V_C^2 - \frac{1}{2} m V_A^2 = W_{\vec{P}} + W_{\vec{R}_n} + W_{\vec{f}} \text{ avec } W_{\vec{R}_n} = 0 \text{ et } V_A = 0$$

$$\frac{1}{2} m V_C^2 = mgr(1 - \cos \alpha) - f(r\alpha + L) \text{ d'où } f = \frac{2mgr(1 - \cos \alpha) - m V_C^2}{2(r\alpha + L)} = 0,89 \text{ N}$$

Solution P₃-12

1) Moment d'inertie $J = \frac{1}{2} m r^2$ avec $M = \rho V = \rho \pi r^2 e \approx 0,98 \text{ kg}$

on a : $J = \frac{1}{2} \rho \pi r^4 e = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^2$

2) On applique le théorème de l'énergie cinétique au disque en rotation

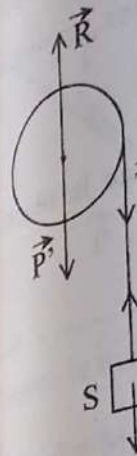
$$\frac{1}{2} J \omega^2 - 0 = \mathcal{M} \alpha \text{ avec } \alpha = 2 \pi n \text{ et } \omega = 2 \pi N \text{ d'où } n = \frac{J \pi N^2}{\mathcal{M}} = 1538,6 \text{ tours}$$

3) a) voir schéma

b) Voir cours

c) $\frac{1}{2} m v^2 - 0 = W(\vec{T}) + W(\vec{P})$ d'où $W(\vec{T}) = \frac{1}{2} m v^2 - mgl$

d) $\frac{1}{2} J \omega^2 - 0 = W(\vec{T}') + W(\vec{P}') + W(\vec{R})$ avec $\omega = \frac{v}{r}$



Solution P₃-13

1) Calcul de
 En appli
 $E_{C_D} - E_{C_0}$
 $E_{C_D} - 0 =$

$$\frac{1}{2} m V_D^2 =$$

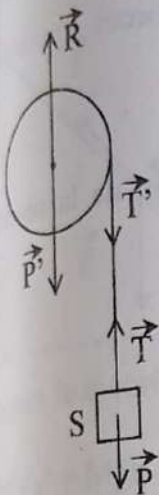
V_D existe s

d'où $F_{\min} =$

2) Valeur c

V

$$-W_{\vec{P}}(BC) = -OK) = 3 = OA = r;$$



$$W(\vec{P}') = 0 \text{ et } W(\vec{R}) = 0 \text{ d'où } W(\vec{T}') = \frac{1}{2} J \frac{v^2}{r^2}$$

$$e) \vec{T} = -\vec{T}' \text{ (voir schéma) d'où } W(\vec{T}) = -W(\vec{T}')$$

$$\text{On a alors } \frac{1}{2} mv^2 - mgl = -\frac{Jv^2}{2r^2}$$

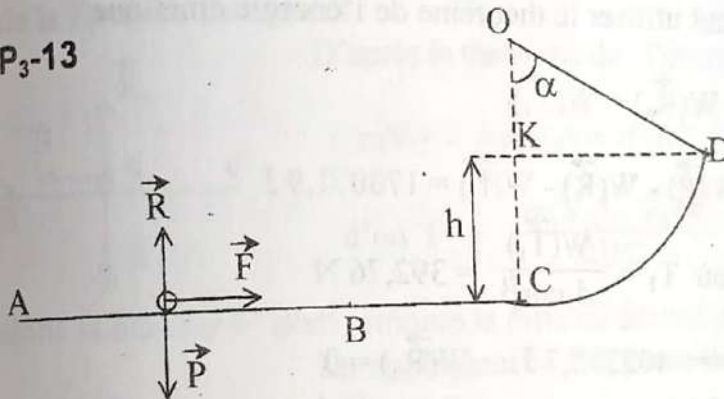
$$\text{d'où } v = \sqrt{\frac{2mgl}{m + \frac{J}{r^2}}} = 2,22 \text{ m/s.}$$

$$+ W_{\vec{F}}(BC)$$

f.BC

$$= L \text{ d'où } f(r\alpha + L)$$

Solution P3-13



1) Calcul de l'intensité minimale de la force $\vec{F}$.

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre A et D, on a :

$$E_{CD} - E_{CA} = W(\vec{F}) + W(\vec{P}) + W(\vec{R})$$

$$E_{CD} - 0 = F \cdot AB - P \cdot h + 0 \text{ avec } h = OC - OK = r - r \cos \alpha$$

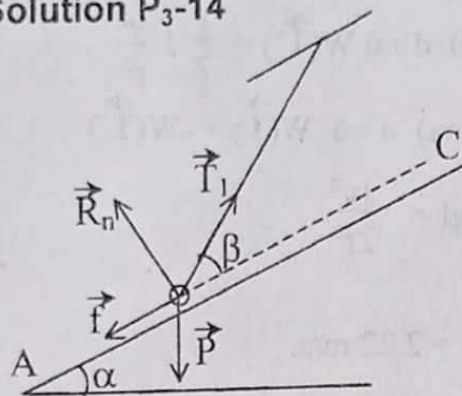
$$\frac{1}{2} m v_D^2 = F \cdot AB - mgr(1 - \cos \alpha) \text{ d'où } v_D = \sqrt{\frac{2 F \cdot AB}{m} - 2gr(1 - \cos \alpha)}$$

$$v_D \text{ existe si } \frac{2 F \cdot AB}{m} - 2gr(1 - \cos \alpha) \geq 0 \text{ soit } F \geq \frac{mgr}{AB} (1 - \cos \alpha)$$

$$\text{d'où } F_{\min} = \frac{mgr}{AB} (1 - \cos \alpha) = 2,5 \text{ N}$$

2) Valeur de la vitesse v_D lorsque $F = 150 \text{ N}$

$$v_D = \sqrt{\frac{2 F \cdot AB}{m} - 2gr(1 - \cos \alpha)} = 24,29 \text{ m/s.}$$

Solution P₃-14

- 1) a/ Voir schéma. Les forces appliquées sont :
- le poids $\vec{P}$ du skieur ;
 - la tension $\vec{T}$ de la tige ;
 - la composante normale $\vec{R}_n$ de la réaction du sol ;
 - la force de frottement $\vec{f}$.

b) Travail des forces pour la 1^{ère} phase.

$$W(\vec{P}) = -mgd_1 \sin \alpha = -134071,9 \text{ J}$$

$$W(\vec{f}) = -fd_1 = -20000 \text{ J} \quad W(\vec{R}_n) = 0 \text{ J}$$

Pour calculer $W(\vec{T}_1)$ il faut utiliser le théorème de l'énergie cinétique

$$\frac{1}{2}mv^2 = W(\vec{P}) + W(\vec{f}) + W(\vec{R}_n) + W(\vec{T}_1)$$

$$\text{d'où } W(\vec{T}_1) = \frac{1}{2}mv^2 - W(\vec{P}) - W(\vec{R}_n) - W(\vec{f}) = 170071,9 \text{ J}$$

$$W(\vec{T}_1) = T_1 d_1 \cos \beta \quad \text{d'où } T_1 = \frac{W(\vec{T}_1)}{d_1 \cos \beta} = 392,76 \text{ N}$$

$$2/ \text{ a) } W(\vec{P}) = -mgd_2 \sin \alpha = -402215,7 \text{ J} \quad W(\vec{R}_n) = 0$$

$$W(\vec{f}) = -fd_2 = -60000 \text{ J}$$

Pour calculer $W(\vec{T}_2)$ il faut appliquer le théorème de l'énergie cinétique où le principe de l'inertie puisque $v = \text{cte}$ au cours de la deuxième phase.

$$W(\vec{P}) + W(\vec{T}_2) + W(\vec{R}_n) + W(\vec{f}) = 0 \quad \text{d'où } W(\vec{T}_2) = 462215,7 \text{ J}$$

$$W(\vec{T}_2) = T_2 d_2 \cos \beta \quad \text{d'où } T_2 = \frac{W(\vec{T}_2)}{d_2 \cos \beta} = 355,8 \text{ N}$$

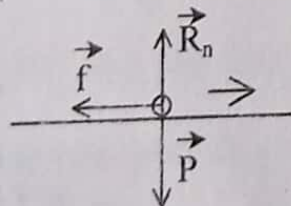
$$\text{b) } P(\vec{P}) = -mgv \sin \alpha = -5362,8 \text{ W}$$

$$P(\vec{f}) = -fv = -800 \text{ W} \quad P(\vec{T}_2) = T_2 v \cos \beta = 6162,6 \text{ W}$$

$$P(\vec{R}) = 0 \text{ W}$$

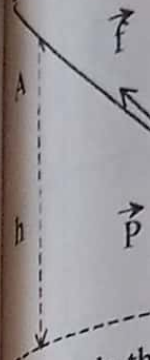
3) Distance parcourue jusqu'à l'arrêt

$$\Delta E_C = \Sigma W$$



$$0 - \frac{1}{2}mV_B^2 = W(\vec{P}) + W(\vec{R}_n) + W(\vec{f}) = 0 + 0 - f \cdot d_3$$

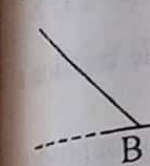
$$\text{d'où } d_3 = \frac{mV_B^2}{2f} = 400 \text{ m}$$

Solution P₃

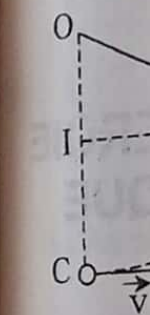
D'après le th

$$\frac{1}{2}mV_B^2 = N$$

2) Valeur de



3) a/ Calcul



b) Calcul d

$$OD^2 = OI^2$$

Solution

1) Calcul locomotive

Appliquon cinétique à

$$\Delta E_C = \Sigma W$$

$$\Delta E_C = E_{Cf}$$

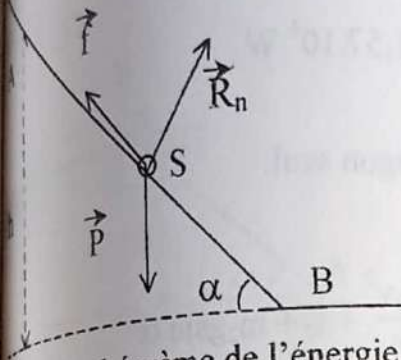
(en suppo

$$\Sigma W(\vec{f}) =$$

Solution P₃-15

forces appliquées

n de la réaction



1) Hauteur h

Le système considéré est le solide S.

Les forces appliquées sont :

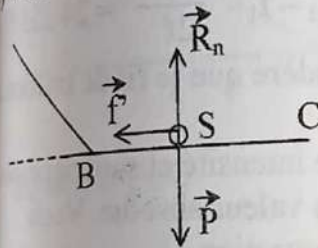
- le poids $\vec{P}$;
- la force de frottement $\vec{f}$;
- la composante normale de la réaction $\vec{R}_n$

D'après le théorème de l'énergie cinétique, on a :

$$\frac{1}{2}MV_B^2 = Mgh - f \cdot PB = Mgh - \frac{f \cdot h}{\sin \alpha} \quad \text{d'où } h = \frac{MV_B^2 \sin \alpha}{2(Mg \sin \alpha - f)} = 1,02 \text{ m}$$

2) Valeur de la force de frottement

D'après le théorème de l'énergie cinétique, on a :



$$\frac{1}{2}mV_C^2 - \frac{1}{2}mV_B^2 = -f \cdot BC \quad (W_P = 0 \text{ et } W_{R_n} = 0)$$

$$\text{d'où } f = \frac{m(V_B^2 - V_C^2)}{2BC} = 0,29 \text{ N}$$

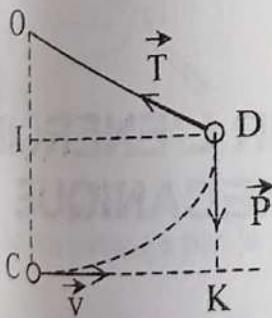
3) a) Calculons la hauteur h' dont remonte la bille au dessus du plan BC

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à la bille, on a :

$$\Delta E_C = \Sigma W = W(\vec{P}) + W(\vec{T})$$

$$0 - \frac{1}{2}mv^2 = -mgh' + 0 \text{ avec } h' = IC$$

$$\text{d'où } h' = \frac{v^2}{2g} = 0,72 \text{ m}$$



b) Calcul de la distance entre C et le point de chute K

$$OD^2 = OI^2 + ID^2 = (l - h)^2 + ID^2 \quad \text{d'où } ID = CK = \sqrt{l^2 - (l - h)^2} = 0,96 \text{ m}$$

 Solution P₃-16

1) Calcul de la force F exercée par la locomotive.

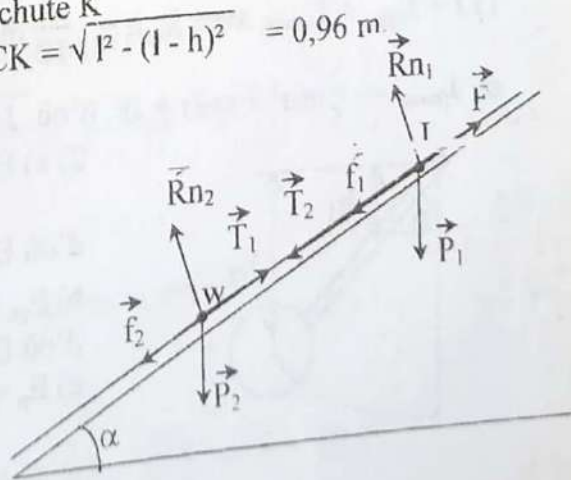
Appliquons le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble du train.

$$\Delta E_C = \Sigma W(\vec{f}) \quad (1)$$

$$\Delta E_C = E_{Cf} - E_{Ci} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$$

(en supposant que le système part du repos).

$$\Sigma W(\vec{f}) = W(\vec{P}_1) + W(\vec{P}_2) + W(\vec{F}) + W(\vec{f}_1) + W(\vec{f}_2) + W(\vec{R}_n)$$



$$\Sigma W(\vec{f}) = F \times l - (f_1 + f_2) \ell - (m_1 + m_2) g l \sin \alpha$$

$$(1) \Rightarrow F = \frac{(m_1 + m_2)v^2}{2\ell} + f_1 + f_2 + (m_1 + m_2) g \sin \alpha = 105105 \text{ N}$$

$$2) \text{ La puissance du moteur : } P(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{v} = F \times v = 1,57 \cdot 10^6 \text{ W}$$

3) Calcul de T_1

On applique le théorème de l'énergie cinétique au wagon seul.

$$\Delta E_C = \frac{1}{2} m_2 v^2 = W(\vec{P}_2) + W(\vec{f}_2) + W(\vec{T}_1) + W(\vec{R}_{m_2})$$

$$= -m_2 g l \sin \alpha - f_2 \ell + T_1 \ell \text{ d'où } T_1 = \frac{m_2 v^2}{2\ell} + f_2 + m_2 g \sin \alpha$$

$$= 24255 \text{ N}$$

4) Calcul de T_2

On applique le théorème ci-dessus à la locomotive seule.

$$\Delta E_C = \frac{1}{2} m_1 v^2 = F \times \ell - m_1 g l \sin \alpha - T_2 \ell - f_1 \ell \text{ d'où } T_2 = F - f_1 - \frac{m_1 v^2}{2\ell} = 24255 \text{ N}$$

On remarque que $T_1 = T_2$. Ceci est évident quand on considère que le fil de traction a une masse négligeable.

5) Les deux tensions $\vec{T}_1$ et $\vec{T}_2$ ont même direction, même intensité et sont opposées. Par conséquent leurs travaux sont opposés et égaux en valeur absolue. Voilà pourquoi on n'a pas pris en compte leurs travaux à la question 1).

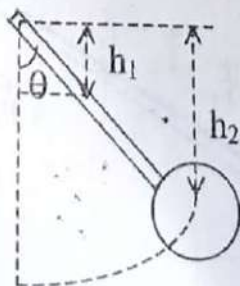
(P₄)

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR L'ÉNERGIE POTENTIELLE ET L'ÉNERGIE MÉCANIQUE

Solution P₄-1

$$1) J = J_{(\text{tige})} + J_{(\text{boule})} \text{ avec } J_{(\text{tige})} = \frac{1}{12} m l^2 + m \left(\frac{l}{2} \right)^2 = \frac{1}{3} m l^2$$

$$\text{et } J_{(\text{boule})} = \frac{2}{5} m_1 r^2 + m_1 (r + l)^2 \text{ d'où } J = \frac{1}{3} m l^2 + \frac{2}{5} m_1 r^2 + m_1 (r + l)^2 = 0,294 \text{ kg.m}^2$$



$$2) a) E_{pt} = m g z \text{ avec } z = -h_1 = -\frac{l}{2} \cos \theta$$

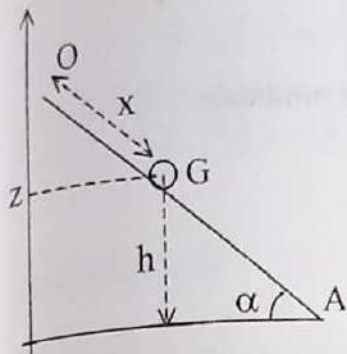
$$\text{d'où } E_p = -m g \frac{l}{2} \cos \theta = -1,04 \text{ J}$$

$$b) E_{pb} = m_1 g z \text{ avec } z = -h_2 = -(l + r) \cos \theta$$

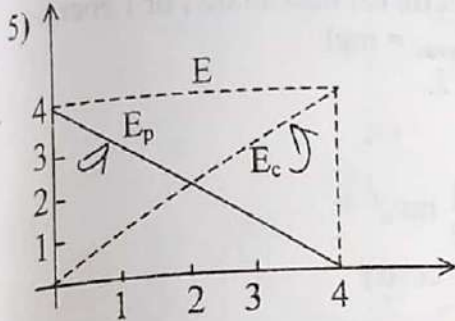
$$\text{d'où } E_{pb} = -m_1 g (l + r) \cos \theta = -3,32 \text{ J}$$

$$c) E_p = E_{pt} + E_{pb} = -4,36 \text{ J}$$

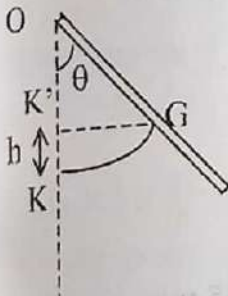
Solution P4-2



- 1) $E_p = mgz$ avec $z = h = GA \sin \alpha$
 $= (OA - x) \sin \alpha$ d'où $E_p = mg(OA - x) \sin \alpha$
- 2) $E_o = E_{c_o} + E_{p_o}$; au début du mouvement
 $x = 0$,
 $E_{c_o} = 0$, $E_{p_o} = mgOA \sin \alpha$
d'où $E_o = mgOA \sin \alpha = 4 \text{ J}$.
- 3) $E_p = mg(OA - x) \sin \alpha = 1,5 \text{ J}$
- 4) $\Delta E_p = E_{p_o} - E_p = 4 - 1,5 = 2,5 \text{ J}$



Solution P4-3



$$1) J = \frac{1}{12} ml^2 + m\left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{1}{3} ml^2 = \frac{0,4}{3} = 0,133 \text{ kg.m}^2$$

$$a) E_o = E_{c_o} + E_{p_o} = \frac{1}{2} J \omega_o^2 + mgz$$

$$\text{avec } z = h = OK - OK' = \frac{l}{2} (1 - \cos \theta_o) \text{ d'où}$$

$$E_o = \frac{1}{2} J \omega_o^2 + mg \frac{l}{2} (1 - \cos \theta_o) = 1,334 \text{ J}$$

b) Au passage par la position d'équilibre on a :

$$E_1 = E_p + E_c \text{ avec } E_p = 0 \text{ d'où } E_1 = E_c = \frac{1}{2} J \omega^2$$

En utilisant la conservation de l'énergie mécanique on a :

$$E_1 = E_c \text{ d'où } \frac{1}{2} J \omega^2 = E_o \text{ soit } \omega = \sqrt{\frac{2E_o}{J}} \text{ et } v = l \omega$$

$$v = l \sqrt{\frac{2E_o}{J}} = 4,47 \text{ m.s}^{-1}$$

c) Si θ est l'angle dont s'écarte la règle au maximum, on a :

$$E_2 = \frac{1}{2} J \omega^2 + mg \frac{l}{2} (1 - \cos \theta) \text{ avec } \omega = 0$$

$$E_2 = E_o \Rightarrow mg \frac{l}{2} (1 - \cos \theta) = E_o \text{ d'où } \cos \theta = 1 - \frac{2E_o}{mgl} \Rightarrow \theta = 70,5^\circ$$

$$2) a) E'_0 = E'_{c0} + E'_{p0} = \frac{1}{2} J \omega_0'^2 + mg \frac{l}{2} (1 - \cos \theta_0) = 6,93 \text{ J}$$

b) L'énergie mécanique au cours du mouvement est constante.

c) L'énergie cinétique est maximale si l'énergie potentielle est minimale.

$$E = E_c; E_{c\max} \text{ pour } E_p = 0 \text{ J d'où } E = E_{c\max}$$

D'après la conservation de l'énergie mécanique on a :

$$E'_0 = E \text{ d'où } E_{c\max} = E'_0 = 6,93 \text{ J}$$

$$E_{c\max} = \frac{1}{2} J \omega_{\max}^2 \text{ d'où } \omega_{\max} = \sqrt{\frac{2E_{c\max}}{J}} = 10,19 \text{ rad.s}^{-1}$$

d) L'énergie cinétique est minimale si l'énergie potentielle est maximale ; or l'énergie potentielle est maximale au sommet de la trajectoire $E_{p\max} = mgl$

$$E = E_{c\min} + E_{p\max} = E'_0 \text{ d'où } E_{c\min} = E'_0 - E_{p\max} = 2,93 \text{ J.}$$

Solution P4-4

$$1) - E_0 = E_{c0} + E_{p0} \text{ avec } E_{p0} = 0 \text{ J d'où } E_0 = E_{c0} = \frac{1}{2} m v_0^2$$

$$\text{A un instant quelconque } E = E_c + E_p = \frac{1}{2} m v^2 + mgl(1 - \cos \alpha)$$

$$\text{Pour } \alpha = \alpha_0, v = 0 \text{ d'où } E = mgl(1 - \cos \alpha_0)$$

- En utilisant la conservation de l'énergie mécanique on a :

$$E_0 = E \Rightarrow \frac{1}{2} m v_0^2 = mgl(1 - \cos \alpha_0) \text{ d'où } v_0 = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha_0)} = 5,46 \text{ m/s.}$$

2) La bille décrit un cercle complet si elle arrive au sommet S.

$$\text{Or au sommet } E' = E_c + E_p = \frac{1}{2} m v^2 + 2 mgl$$

En utilisant la conservation de l'énergie mécanique on a :

$$E_0 = E' \text{ d'où } \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v^2 + 2 mgl \text{ soit } v = \sqrt{v_0^2 - 4 gl.}$$

La vitesse v existe au sommet si $v_0^2 - 4gl > 0$ soit $v_0 > \sqrt{4 gl.}$

$v_0 > 5,65 \text{ m/s}$. Les vitesses de lancement doivent être supérieures à $5,65 \text{ m/s}$.

3) Oui, avec $v_0 = 7 \text{ m/s}$ la bille atteint le sommet S.

$$v_s = \sqrt{v_0^2 - 4gl} = 4,12 \text{ m/s}$$

$$\text{Pour } \widehat{AOC} = \alpha = 45^\circ, E = \frac{1}{2} m v^2 + mgl(1 - \cos \alpha)$$

$$\text{or } E = E_0 \text{ d'où } \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v^2 + mgl(1 - \cos \alpha);$$

$$\text{on en tire } v = \sqrt{v_0^2 - 2gl(1 - \cos \alpha)} = 6,65 \text{ m/s}$$

Solution P4-5

$$1) J = \frac{1}{12} m l^2 + m \left(\frac{l}{2} \right)^2 = \frac{1}{3} m l^2 = 0,048 \text{ kg.m}^2$$

$$2) a) E_p = mg \frac{l}{2} (1 - \cos \theta); E_0 = E_{p0} = mg \frac{l}{2} (1 - \cos \theta_0) = 0,6 \text{ J.}$$

$$b) \theta = 0; \omega_{\max} = \sqrt{\frac{2E_0}{J}} = 5 \text{ rad/s.}$$

$$3) a) E_0 = \frac{1}{2} J \omega_0^2$$

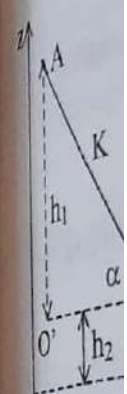
$$b) E_{\max} = mgl$$

$$\text{mouvement de}$$

$$c) E_{\max} = E_0$$

$$E_{\max} = 2,4 \text{ J.}$$

Solution P4-6



$$4) \Delta E = E'_B - E_B$$

Solution P4

$$a) E = E_c + E_p$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{v^2}{v_0^2}$$

b) Voir graph

$$c) E = E_c + E_p$$

Solution P

1) L'énergie

car la paroi

2) La bille

énergie mé

Dans ce ca

mouvement

en A et B.

$$E_{\max} = mgl$$

3) a) E =

minimale.

- La vitesse

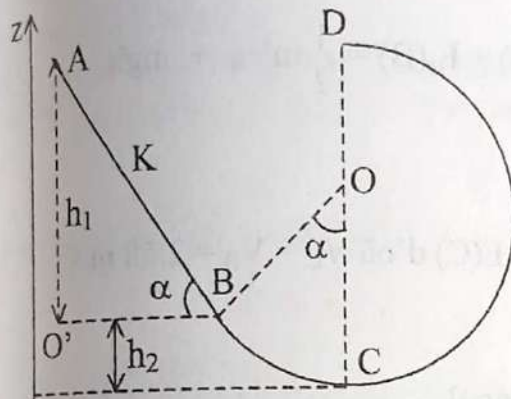
$$3) a) E_0 = \frac{1}{2} J \omega_0^2 + mg \frac{1}{2} (1 - \cos \theta_0) = 6 \text{ J}$$

b) $E_{p\max} = mg \frac{1}{2} (1 - \cos \pi) = 2,4 \text{ J}$; comme $E_0 > E_{p\max}$ alors $E_c \neq 0$; on a un mouvement de rotation ou mouvement révolutif autour de l'axe Δ .

$$c) E_{c\max} = E_0 - E_{p\min} = 6 \text{ J} \text{ avec } E_{p\min} = 0; E_{c\min} = E_0 - E_{p\max} = 3,6 \text{ J} \text{ avec } E_{p\max} = 2,4 \text{ J}.$$

Solution P4-6

l'énergie



$$1) E_{pA} = mg(h_1 + h_2) \text{ avec } h_1 = l \sin \alpha \text{ et } h_2 = r(1 - \cos \alpha).$$

$$E_{pA} = mg [l \sin \alpha + r(1 - \cos \alpha)] = 1,93 \text{ J}$$

$$E_{pB} = mgh_2 = mgr(1 - \cos \alpha) = 0,2 \text{ J}; E_{pC} = 0 \text{ J}$$

$$E_{pD} = mgCD = 2mgr = 0,8 \text{ J}.$$

$$2) E_0 = 1,93 \text{ J}$$

3) Utiliser la conservation de l'énergie mécanique: $E_0 = E_c + E_p$

$$V = \sqrt{\frac{2}{m} (E_0 - E_p)} \quad V_B = 4,16 \text{ m.s}^{-1};$$

$$V_C = 4,39 \text{ m.s}^{-1}; V_D = 3,36 \text{ m.s}^{-1}$$

$$4) \Delta E = E'_B - E_A = -1,30 \text{ J}; \Delta E = W(f) = -f.l \text{ d'où } f = 1,30 \text{ N}$$

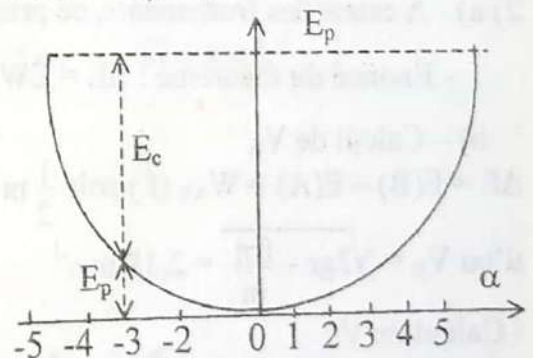
Solution P4-7

$$a) E = E_c + E_p = \frac{1}{2} J \omega^2 + \frac{mgl}{2} (1 - \cos \alpha)$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2} \text{ d'où } E = \frac{1}{2} (J \omega^2 + mg \frac{1}{2} \alpha^2);$$

b) Voir graphe ci-contre

$$c) E = E_c + E_p \text{ d'où } E_c = E - E_p = 4,8 \cdot 10^{-2} \text{ J}.$$



Solution P4-8

1) L'énergie mécanique total se conserve, car la paroi est parfaitement lisse.

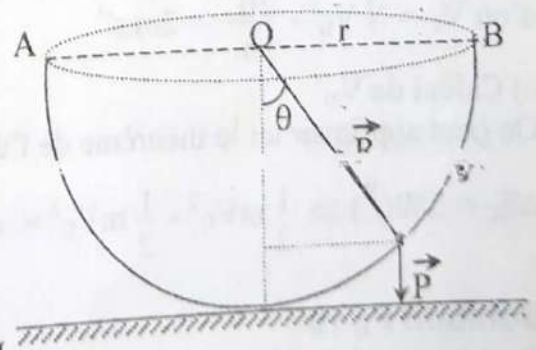
2) La bille reste piégée dans le bol si son énergie mécanique $E \leq E_{\max}$.

Dans ce cas au cours de son mouvement, la bille arrive alternativement en A et B.

$$E_{\max} = mgr = 5 \cdot 10^{-2} \times 9,8 \times 6 \cdot 10^{-2} = 2,94 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

3) a) $E = E_c + E_p$. Si l'énergie cinétique est maximale, alors l'énergie potentielle est minimale. On a $E_p = 0$ au sol. Alors l'énergie cinétique est maximale au sol.

- La vitesse linéaire maximale de S.



$$E = 0,80 E_{\max} = \frac{1}{2} m V_{\max}^2 \text{ d'où } V_{\max} = \sqrt{2 \times 0,80 \times E_{\max}} = 0,97 \text{ m.s}^{-1}$$

b) La hauteur maximale de remontée

$$E = 0,80 E_{\max} = mgh_{\max} \text{ d'où } h_{\max} = 0,80 r = 4,8 \text{ cm}$$

c) - L'altitude : $h = r(1 - \cos\theta) = 2,14 \text{ cm}$

$$\text{- La vitesse de S : } E = 0,80 mgr = mgh + \frac{1}{2} mV^2 \text{ d'où}$$

$$v = \sqrt{2g[0,8r - r(1 - \cos\theta)]} = 0,72 \text{ m.s}^{-1}$$

Solution P₄-9

1) a) - Calcul de V_B

$$E(A) = E_C(A) + E_p(A) = mg(r + h) ; E(B) = E_C(B) + E_p(B) = \frac{1}{2} mV_B^2 + mgh$$

$$E(A) = E(B) \text{ d'où } V_B = \sqrt{2gr} = 2,50 \text{ m.s}^{-1}$$

- Calcul de V_C

$$E(C) = E_C(C) + E_p(C) = \frac{1}{2} mV_C^2 + mgh ; E(B) = E(C) \text{ d'où } V_C = V_B = 2,50 \text{ m.s}^{-1}$$

b) Expression de V_I

$$E(I) = E_C(I) + E_p(I) = \frac{1}{2} mV_I^2 + mg[h + r(1 - \sin\alpha)]$$

$$E(I) = E(A) \text{ d'où } V_I = \sqrt{2gr \sin\alpha} = 2,10 \text{ m.s}^{-1}$$

2) a) - A cause des frottements, ce principe ne peut pas être appliqué

$$\text{- Enoncé du théorème : } \Delta E = \Sigma W(\vec{f}_{\text{ext}})$$

b) - Calcul de V_B

$$\Delta E = E(B) - E(A) = W_{AB}(\vec{f}) \text{ soit } \frac{1}{2} m V_B^2 - mgr = f \times r \times \frac{\pi}{2}$$

$$\text{d'où } V_B = \sqrt{2gr - \frac{f r \pi}{m}} = 2,18 \text{ m.s}^{-1}$$

- Calcul de V_C

$$\Delta E = E(C) - E(B) = W_{BC}(\vec{f}) \text{ soit } \frac{1}{2} m V_C^2 - \frac{1}{2} m V_B^2 = -f \times L$$

$$\text{d'où } V_C = \sqrt{V_B^2 - \frac{2fL}{m}} = 2 \text{ m.s}^{-1}$$

c) Calcul de V_D

On peut appliquer ici le théorème de l'énergie cinétique

$$\Delta E_C = \Sigma W(\vec{f}) \Rightarrow \frac{1}{2} m V_D^2 - \frac{1}{2} m V_C^2 = mgh \text{ d'où } V_D = \sqrt{V_C^2 + 2gh} = 2,63 \text{ m.s}^{-1}$$

Solution P₄-10

1- a) La vitesse avec laquelle le cycliste abordera la côte.

Il y a la conservation de l'énergie mécanique. L'horizontale passant par le point O est l'état de références.

$$\frac{1}{2} m V_1^2 + mg z_1 = \frac{1}{2} m V_2^2 + mg z_2 \text{ or } z_1 = 0, V_2 = 0 \text{ et } z_2 = h \text{ d'où}$$

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 5} = 9,9 \text{ m.s}^{-1} = 35,6 \text{ km.h}^{-1}.$$

La puissance moyenne

$$P = m(\vec{F}) \omega \text{ or } m(\vec{F}) = F \times d \text{ et } \omega = \frac{V}{3R} \text{ d'où } P = F \times d \times \frac{V}{3R}$$

$$A.N: P = 100 \times 2.10^{-1} \times \frac{9,9}{3 \times 6.10^{-1}} = 110 \text{ W.}$$

2- a) Cette vitesse est supérieure à la précédente, à cause des forces de frottements qui ralentissent le mouvement.

b) Calcul de l'intensité f.

La non-conservation d'énergie mécanique s'écrit :

$$\Delta E = W(f) \text{ soit } mgh - \frac{1}{2} m v_1^2 = -f \times l \text{ or } l = \sqrt{h^2 + d^2}$$

$$\text{d'où } f = \frac{m V_1^2 - 2 m g}{2 \sqrt{h^2 + d^2}} = 6,67 \text{ N}$$

3- La vitesse au point O.

Le théorème de l'énergie cinétique s'écrit

$$\frac{1}{2} m V_0^2 = mgh - fl \text{ d'où } V_0 = \sqrt{2gh - \frac{2fl}{m}} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 5 - \frac{2 \times 6,67 \times 15,81}{70}} = 9,75 \text{ m.s}^{-1} = 35,1 \text{ km.h}^{-1}$$

4- Distance parcourue avant l'arrêt

$$\frac{1}{2} m V_0^2 = -fd \text{ d'où } d = \frac{m V_0^2}{2f} = 498,83 \text{ m.}$$

mgh

2,50 m.s⁻¹

53 m.s⁻¹

le point O est

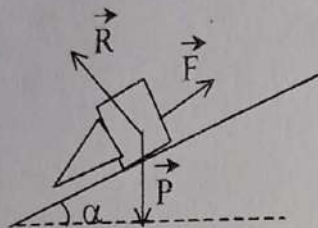
(P₅)

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR LES GAZ PARFAITS

Solution P₅₋₁

- 1) Pression exercée par la caisse sur la table $p = \frac{P}{S} = \frac{60}{0,12} = 500 \text{ Pa}$
- 2) Pression exercée par la table et la caisse sur le sol

$$p = \frac{P + P_1}{4s} = \frac{60 + 40}{4 \times 0,0025} = 10000 \text{ Pa} \text{ ou } p = 0,1 \text{ bar (1 bar} = 10^5 \text{ Pa)}$$



- 3) a) Les forces qui s'exercent sur la cale sont : le poids P, la réaction R et la force F.

- b) La force pressante $\vec{R}'$ est opposée à la réaction R du plan incliné.

L'intensité de la force pressante est donc

$$R' = P \cdot \cos \alpha = 60 \times \cos 25^\circ = 54,38 \text{ N}$$

$$\text{c) Pression subie par la table : } p = \frac{R'}{S} = \frac{P \cdot \cos \alpha}{S} = 453,16 \text{ Pa.}$$

Solution P₅₋₂

- 1) Calcul de la masse M à placer sur le grand piston.

$$\text{Pression exercée par la masse m : } p_1 = \frac{mg}{S_1}$$

$$\text{Pression exercée par la masse M : } p_2 = \frac{Mg}{S_2}$$

Sur le même plan horizontal, la pression est la même

$$p_1 = p_2 \Rightarrow \frac{mg}{S_1} = \frac{Mg}{S_2} \text{ d'où } M = \frac{m \cdot S_2}{S_1} = 10 \text{ kg}$$

- 2) Longueur l dont se déplace le petit piston. Le volume d'eau déplacée est le même dans chaque cylindre.

$$V = S_1 \cdot l = S_2 \cdot L \text{ d'où } l = \frac{S_2 \cdot L}{S_1} = 10 \text{ cm.}$$

Solution P₅₋₃

- 1) Calcul de P₁ : On a $P_1 V = \frac{m}{M} RT_1$ d'où $P_1 = \frac{mRT_1}{MV}$

$$\text{A.N : } P_1 = \frac{8,5 \times 8,31 \times 273}{17 \times 10^{-2}} = 1,13 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

- 2) Calcul de P₂ : On a : $P_2 V = \frac{m}{M} RT_2$ d'où $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$ et $P_2 = P_1 \times \frac{T_2}{T_1} = 1,55 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

- 3) a) La fuite cesse quand la pression à l'intérieur du réservoir est égale à la pression atmosphérique soit $P_{\text{int}} = P_{\text{atm}} = 10^5 \text{ Pa.}$

b) - Calcul

$$P_{\text{int}} \times V = n$$

$$n' = 0,32 \text{ mol}$$

- La masse

4) Calcul de

$$P_1 V = n' RT$$

$$\text{soit } t' = T'$$

Solution

a) Nouvelle

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\text{d'où } P_2 =$$

b) Valeur

$$P_2 = \frac{F}{S} \text{ d'où}$$

Solution

1) a) Puisque

$$P = p_{\text{air}} \text{ et}$$

b) Masse

$$PV = nRT$$

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

2) Nouvelle

$$\frac{P' V'}{T'} = \frac{P V}{T}$$

$$\text{d'où } h_2 =$$

3) Nouvelle

$$\frac{P' V'}{T'} = \frac{P V}{T}$$

$$P' = \frac{P T'}{T}$$

S GAZ

b) - Calcul du nombre de moles de gaz restants

$$P_{int} \times V = n'RT_2 \text{ d'où } \frac{P_{int}}{P_2} = \frac{n'}{n} \text{ et } n' = n \frac{P_{int}}{P_2} = \frac{m}{M} \cdot \frac{P_{int}}{P_2}$$

$$n' = 0,32 \text{ moles}$$

- La masse correspondante : $m = n' \times M = 5,48 \text{ g}$ 4) Calcul de la température t'

$$P_1 V = n'RT' = nRT_1 \text{ d'où } T' = \frac{n}{n'} T_1 = \frac{P_1}{P_{int}} T_1 = 309,67 \text{ K}$$

$$\text{soit } t' = T' - 273 = 36,67^\circ \text{C}$$

Solution P₅₋₄

a) Nouvelle valeur de la pression

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \text{ or } T_1 = T_2 \text{ donc } P_1 \cdot V_1 = P_2 V_2$$

$$\text{d'où } P_2 = \frac{P_1 S \cdot h_1}{S \cdot h_2} = \frac{P_1 h_1}{h_2} = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa.}$$

b) Valeur de la force pressante F

$$P_2 = \frac{F}{S} \text{ d'où } F = P_2 \cdot S = 3 \cdot 10^5 \times 4 \cdot 10^{-6} = 1,2 \text{ N}$$

Solution P₅₋₅

1) a/ Puisqu'il y a équilibre et que le piston est de masse négligeable alors la pression de l'air enfermé est égale à la pression atmosphérique au lieu de l'expérience.

$$P = p_{\text{air enfermé}} = p_a = 75 \text{ de mercure.}$$

b) Masse de l'air enfermé :

$$PV = nRT \text{ or } n = \frac{m}{M} \text{ avec } M = 1,293 \times 22,4 = \text{masse molaire de l'air.}$$

$$PV = \frac{m}{M} RT \text{ d'où } m = \frac{M \cdot P \cdot S \cdot h}{RT} = \frac{1,293 \times 22,4 \times 75 \times 1,33 \cdot 10^{-3} \times 0,025 \times 0,30}{8,31 \times (273,15 + 20)} = 8,89 \text{ g}$$

2) Nouvelle hauteur h_2

$$\frac{P' V'}{T'} = \frac{PV}{T} \Rightarrow \frac{P' \cdot S \cdot h_2}{T'} = \frac{P \cdot S \cdot h_1}{T} \text{ or } P' = P \text{ donc } \frac{h_2}{T'} = \frac{h_1}{T}$$

$$\text{d'où } h_2 = \frac{h_1 \cdot T'}{T} = \frac{30 \times (273,15 + 60)}{273,15 + 20} = 34,09 \text{ cm} \approx 34,1 \text{ cm}$$

3) Nouvelle pression de l'air enfermé

$$\frac{P' V'}{T'} = \frac{P'' V''}{T''} \text{ avec } V' = V'' \text{ d'où } \frac{P'}{T'} = \frac{P''}{T''} \text{ et } P' = P = 75 \text{ cm de mercure}$$

$$P'' = \frac{P' T''}{T'} = \frac{75 \times (273,15 + 100)}{(273,15 + 60)} = 84 \text{ cm de mercure} = 1,12 \cdot 10^5 \text{ Pa.}$$

Solution P₅-6

1) a) La pression du dioxyde de carbone.

$$\text{Le piston étant en équilibre : } P_1 = \frac{m g \sin \alpha}{S} + p_{\text{atm}} = 1,06 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

b) La masse du CO₂

$$P_1 V_1 = n R T_1 = \frac{m'}{M} R T_1 \text{ or } V = S x_1 \text{ d'où } m' = \frac{P_1 \times M \times S x_1}{R T_1}$$

$$\text{A.N : } m' = \frac{1,06 \cdot 10^5 \times 44 \times 15 \cdot 10^{-3} \times 0,4}{8,31 \times 288} = 11,69 \text{ g}$$

2) Expression de $T = f(x_i)$

$$P S x_i = \frac{m'}{M} R T \text{ d'où } T = \frac{P S M}{m' R} x_i = \frac{P T_1}{P_1 x_1} x_i$$

 $T(x_i)$ est une fonction linéaire de x_i 3) Calcul de F

$$P_2 S x_2 = \frac{m'}{M} R T_2 \quad (1) \text{ or plus haut } P_1 S x_1 = \frac{m'}{M} R T_1 \quad (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} \Rightarrow P_2 = P_1 \frac{T_2 x_1}{T_1 x_2} ; \text{ on a } P_2 = \frac{m g \sin \alpha}{S} + \frac{F}{S} + p_{\text{atm}}$$

$$\text{d'où } F = P_1 \frac{T_2 x_1}{T_1 x_2} S - m g \sin \alpha - p_{\text{atm}} S = 260,2 \text{ N}$$

Solution P₅-7

1) Calcul de la pression du mélange de gaz

$$\text{- Dans le récipient du dioxygène : } P_1 V_1 = n_1 R T \text{ d'où } n_1 = \frac{P_1 V_1}{R T}$$

$$\text{- Dans le récipient du diazote : } P_2 V_2 = n_2 R T \text{ d'où } n_2 = \frac{P_2 V_2}{R T}$$

$$\text{- Dans le mélange : } P_3 V_3 = n_3 R T \text{ or } n_1 + n_2 = n_3 \text{ et } V_3 = V_1 + V_2 \text{ d'où}$$

$$P_3 = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{V_3} \quad \text{A.N : } P_3 = \frac{(2 \times 50) + (100 \times 1,5)}{150} = 1,67 \text{ bar}$$

2) Calcul de la masse molaire du mélange

$$\text{On a : } n_3 = \frac{P_3 V_3}{R T} = \frac{m}{M} \text{ d'où } M = \frac{m R T}{P_3 V_3} \text{ or } m = m_1 + m_2 = \frac{M_1 P_1 V_1}{R T} + \frac{M_2 P_2 V_2}{R T}$$

$$\text{d'où } M = \frac{M_1 P_1 V_1 + M_2 P_2 V_2}{P_3 V_3} \quad \text{A.N : } M = \frac{(32 \times 2 \times 50) + (28 \times 1,5 \times 100)}{1,667 \times 150}$$

$$M = 29,60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Calcul du volume molaire à 15°C et sous une pression de $P' = 1 \text{ bar}$

$$P' V_M = R T \text{ or } P V = R T \text{ d'où } V_M = \frac{P V}{P'} = 23,96 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Solution P₅-8

1) Calcul de la masse

$$\text{A.N : } m = \frac{4 \times 10^3}{29}$$

2) Calcul de la pression

Initialement : n_1

Dans le réservoir

Dans le ballon :

Il y a la conservation

$$\text{A.N : } P = 49,75 \text{ bar}$$

3) Soit x le nombreballons : $x \times$

Dans le réservoir

On écrit encore

$$\text{soit } \frac{P_0 U}{R T_0} = \frac{P}{R T}$$

$$x = \frac{(50 \cdot 10^3 - 10^5)}{293 \times}$$

Solution P₅-9

Pour les conversions

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa ;}$$

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cm d'Hg}$$

Notons P_a la pression

Pour le gaz 1

Pour le gaz 2

Pour le gaz 3

Pour le gaz 4

Solution P₅-101- Calcul de n_1

$$P_a V = n_1 R T_a$$

2- Calcul de la

$$m_1 = n_1 M = 1,2$$

Solution P₅-8

1) Calcul de la masse m : $P_0 U = n_0 R T_0 = \frac{m}{M} R T_0$ d'où $m = \frac{M P_0 U}{R T_0}$

A.N. : $m = \frac{4 \times 50 \cdot 10^5 \times 0,2}{293 \times 8,31} = 1642,82 \text{ g} ; m = 1,64 \text{ kg}$

2) Calcul de la pression P du réservoir après le gonflage

- Initialement : $n_0 = \frac{P_0 U}{R T_0}$;

- Dans le réservoir : $n_R = \frac{P U}{R T_0}$

- Dans le ballon : $n_B = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$

Il y a la conservation de la matière : $n_0 = n_R + n_B$ d'où $P = P_0 - \frac{p \cdot V \cdot T_0}{U \cdot T}$

AN : $P = 49,75 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

3) Soit x le nombre de ballons gonflés. Ainsi le nombre de moles de gaz dans les

ballons : $x \times \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$

- Dans le réservoir, il reste encore du gaz à la pression p $n_R = \frac{p \cdot U}{R \cdot T_0}$

On écrit encore la conservation de la matière : $n_0 = n_R + x \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$

soit $\frac{P_0 U}{R \cdot T_0} = \frac{p \cdot U}{R \cdot T_0} + x \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$ d'où $x = \frac{(P_0 - p) U T}{T_0 \cdot p \cdot V}$

$x = \frac{(50 \cdot 10^5 - 10^5) \times 200 \times 290}{293 \times 10^5 \times 50} = 193,99$. On peut gonfler entièrement 193 ballons.

Solution P₅-9

Pour les conversions, retenir que :

1 bar = 10^5 Pa ; 1 atm = 101325 Pa

1 atm = 76 cm de mercure ; 1 cm de mercure $\approx 1,33 \cdot 10^3 \text{ Pa}$.

Notons P_a la pression atmosphérique.

Pour le gaz 1 on a : $p_1 = p_a + h_1 = 75 + 30 = 105 \text{ cm de mercure}$;
 $p_1 = 1,38 \text{ atm}$; $p_1 = 1,39 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Pour le gaz 2 on a : $p_2 = p_a - h'_2 = 75 - 40 = 35 \text{ cm de mercure}$;
 $p_2 = 0,46 \text{ atm}$; $p_2 = 4,66 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

Pour le gaz 3 on a : $p_3 = p_a = 75 \text{ cm de mercure}$; $p_3 = 0,987 \text{ atm}$;
 $p_3 \approx 10^5 \text{ Pa}$

Pour le gaz 4 on a : $p_4 = p_{\text{vide}} + h_4 = 20 \text{ cm de mercure}$ ($p_{\text{vide}} = 0$) ;
 $p_4 = 0,263 \text{ atm}$; $p_4 = 2,66 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

Solution P₅-10

1- Calcul de n_1

$P_A \cdot V = n_1 R T_A$ d'où $n_1 = \frac{P_A \cdot V}{R T_A} = \frac{10^5 \times 30 \cdot 10^{-3}}{8,3 \times 290} = 1,25 \text{ mol}$

2- Calcul de la masse d'air.

$m_1 = n_1 M = 1,25 \times 29 = 36,25 \text{ g}$.

3- Calcul de la masse m d'air à faire pénétrer.

La pression totale est $P_2 = P_A + P = 2,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ et $T_2 = T_A$

Ainsi $P_2 V = n_2 RT_2 = \frac{m_2}{M} RT_A$ d'où $m_2 = M \frac{P_2 V}{RT_A} = 101,20 \text{ g}$ et $m = m_2 - m_1 = 64,95 \text{ g}$

4- a) Masse d'air perdu par le pneu.

$PV = n_3 RT_3 = \frac{m_3}{M} RT_3$ d'où $m_3 = M \frac{PV}{RT_3} = 29 \times \frac{2,8 \cdot 10^5 \times 30 \cdot 10^{-3}}{8,3 \times 318} = 92,29 \text{ g}$

La variation de masse est $\Delta m = m_3 - m_2 = -8,91 \text{ g}$. Le pneu a donc perdu $8,91 \text{ g}$.

c) La surpression à laquelle il faut porter le pneu.

Après surpression, il faut ramener la

quantité de matière dans le pneu à $n_2 = \frac{P_2 V}{RT_2} = 3,5 \text{ mol}$.

Ainsi $P_3 V = n_2 RT_3$ d'où $P_3 = n_2 \frac{RT_3}{V} = 3,08 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Il faut donc gonfler le pneu à la surpression $P = P_3 - P_A = 2,08 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 2,08 \text{ bar}$.

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR LA CALORIMETRIE

Solution P₆-1 : voir rappel du cours

Solution P₆-2

1) La capacité thermique du vase calorimétrique : $C_1 = m_1 c = 46 \text{ J.K}^{-1}$

2) La capacité thermique du calorimètre entier

$$C = \Sigma C_i = C_1 + C_2 + C_3 = C_1 + m_2 c_e + C_3$$

$$C = 46 + 419 + 15 = 480 \text{ J.K}^{-1}$$

3) a) Calcul de C'

Le calorimètre, ses accessoires et l'eau de masse m_2 échangent la quantité de

$$\text{chaleur : } Q_1 = C(t_e - t_1)$$

$$\text{L'eau introduite échange : } Q_2 = C'(t_e - t_2)$$

$$\text{L'équation calorimétrique s'écrit : } Q_1 + Q_2 = 0 \text{ d'où } C' = \frac{C(t_e - t_1)}{t_2 - t_e} = 166,24 \text{ J.K}^{-1}$$

b) La valeur m' de la masse d'eau

$$C' = m' c_e \text{ d'où } m' = \frac{C'}{c_e} = 39,67 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

Solution P₆-3

1) a- ; 2) b- ; 3) a et b ; 4) b-

Solution P₆-4

1) Calcul de la température finale t_e .

Soient m_1 la masse de l'eau chaude et m_2 celle de l'eau froide.

A l'équilibre thermique, la quantité de chaleur cédée par l'eau chaude est égale à la quantité de chaleur reçue par l'eau froide. On a donc :

$$m_1 c(t_1 - t_e) + m_2 c(t_e - t_2) = 0 \text{ d'où } t_e = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = 66,87^\circ \text{C.}$$

2) Posons $t'_e = 38^\circ \text{C}$; on constate que $t_2 < t'_e < t_e$: elle doit donc ajouter au mélange de l'eau froide.

Soit m la masse de l'eau froide à ajouter. A l'équilibre thermique, on a :

$$(m_1 + m_2)c(t_e - t'_e) = mc(t'_e - t_2) \text{ d'où } m = \frac{(m_1 + m_2)(t_e - t'_e)}{t'_e - t_2} = 12,83 \text{ kg}$$

Le volume d'eau froide à ajouter est de 12,83 L.

Solution P₆-5

1) a) Si toute la glace fond, on peut dire que la température du mélange en équilibre thermique est telle que : $0 \leq t_e \leq t$ (t étant la température initiale de l'eau).

b) Si une partie de la glace fond, on peut dire que la température du mélange en équilibre thermique est $t_e = 0^\circ \text{C}$ (température de la glace fondante)

c) Non, ce n'est pas possible que la température finale soit $t_e = -2,5^\circ \text{C}$. Il faut modifier "toute la glace fondait" et dire "une partie de la glace fond"

2) Calcul de t_e à l'équilibre thermique et la masse de la glace restante.

a) On fait l'hypothèse que toute la glace fond. On doit donc avoir $0 \leq t_e \leq t_i$

Pour l'eau : $Q_1 = m_e c_e (t_e - t_i)$

Pour la glace : $Q_2 = m_s c_s (0 - t_s) + m_s L + m_s c_e (t_e - 0)$

L'équation calorifique s'écrit : $Q_1 + Q_2 = 0$

soit $m_e c_e (t_e - t_i) - m_s c_s t_s + m_s L + m_s c_e t_e = 0$ d'où $t_e = \frac{m_e c_e t_e + m_s c_s t_s - m_s L}{c_e (m_e + m_s)}$

$$\text{A.N. : } t_e = \frac{(0,1 \times 4190 \times 18) - (10^{-2} \times 2100 \times 3) - (10^{-2} \times 3,34 \cdot 10^5)}{4190 \times 11 \cdot 10^{-2}} = 8,98^\circ\text{C}$$

Ainsi la masse de la glace restante est $m = 0$ g

b) En faisant la même hypothèse qu'en a), on trouve $t_e = -7,94^\circ\text{C}$.

$t_e < 0$; l'hypothèse n'est pas vérifiée, le résultat est rejeté.

On fait donc une 2^e hypothèse : $t_e = 0^\circ\text{C}$ et la masse de glace qui a fondu est x telle que $0 < x < m_s = 25$ g

Pour l'eau : $Q'_1 = m_e c_e (0 - t_i)$

Pour la glace : $Q'_2 = xL$

L'équation calorifique s'écrit : $Q'_1 + Q'_2 = 0$ soit $xL - m_e c_e T_i = 0$ d'où

$$x = \frac{m_e c_e T_i}{L} = 1,25 \cdot 10^{-2} \text{ kg} = 12,5 \text{ g}$$

Ainsi : $t_e = 0^\circ\text{C}$ est la masse de glace restante est $m = m_s - x = 25 - 12,5 = 12,5$ g.

Solution P₆-6

1) Puissance reçue par une surface d'aire $S = 3000 \text{ cm}^2 = 0,3 \text{ m}^2$

$$1 \text{ m}^2 \longleftrightarrow 1200 \text{ W}$$

$$0,3 \text{ m}^2 \longleftrightarrow P \text{ d'où } P = \frac{0,3 \times 1200}{1} = 360 \text{ W}$$

$$\text{Puissance transférée à l'eau } P_e = \frac{60P}{100} = \frac{60 \times 360}{100} = 216 \text{ W}$$

2) Quantité de chaleur réellement absorbée par l'eau

$$Q = P_e t = 216 \times 50 \times 60 = 648000 \text{ J}$$

3) Température finale de l'eau

$$Q = mc(t_2 - t_1) \text{ d'où } t_2 = \frac{Q}{mc} + t_1 = \frac{648000}{12 \times 4200} + 20 = 32,8^\circ\text{C}$$

4) Calcul de la durée pour obtenir une température $t'_2 = 38^\circ\text{C}$

$$P_e = \frac{Q'}{t'} = \frac{mc(t'_2 - t_1)}{t'} \text{ d'où } t' = \frac{mc(t'_2 - t_1)}{P_e} = \frac{12 \times 4200 \times (38 - 20)}{216} = 4200 \text{ s}$$

(ou 70 min).

Solution P₆-7

1) On fait l'hypothèse qu'il ne reste pas de glace.

- Pour le calorimètre, la quantité de chaleur échangée $Q_1 = mc_e (t_e - t_i)$

- Pour la glace : $Q_2 = m_g L_f + m_g c_e (t_e - 0)$

L'équation
d'où $t_e = \frac{m}{m}$

On a : $0 < t_e$
calorimètre

2) On fait
La masse de

$Q_1 = m' c_e (t_e - t_i)$
On écrit l'é

d'où $x = \frac{m}{m}$

On a : $0 < x$
La masse d

La masse d

3) a) On re
b) Soit y la
Pour la gla

L'équation
A.N. : $y =$

L'hypothè

Solution

Soient Q
par le gla

liquide).
A l'équili

soit $m_1 c_1 (t_e - t_i)$
d'où $t_e =$

Solution

Capacité
 $W = P \cdot t =$

$$\leq t_e$$

l'équation calorimétrique : $Q_1 + Q_2 = 0$ soit $m c_e (t_e - t_1) + m_g L_f + m_g c_e t_e = 0$
 d'où $t_e = \frac{m c_e t_1 - m_g L_f}{(m_1 + m_g) c_e}$. A.N. : $t_e = 3,38^\circ\text{C}$

L
 On a : $0 < t_e < 20^\circ\text{C}$. L'hypothèse est donc vérifiée. Il ne reste plus de glace dans le calorimètre et la température d'équilibre est $t_e = 3,38^\circ\text{C}$.

2) On fait l'hypothèse qu'il reste de la glace alors $t_e = 0^\circ\text{C}$

La masse de glace fondue est x telle que $0 < x < 20$ g

$Q_1 = m' c_e (0 - t_e)$ et $Q_2 = m_g c_g (0 - t') + x L_f$
 On écrit l'équation : $Q_1 + Q_2 = 0$ soit $-m' c_e t_e + x L_f - m_g c_g t' = 0$

d'où $x = \frac{m' c_e t_e + m_g c_g t'}{L_f}$ A.N. : $x = \frac{(0,12 \times 4190 \times 3,38) - 2,10^{-2} \times 18 \times 2100}{3,34 \cdot 10^5} = 2,82\text{g}$

On a : $0 < x < 20\text{g}$. L'hypothèse est donc vérifiée.

La masse d'eau liquide : $m_e = 120 + 2,82 = 122,82$ g

La masse de glace : $m_g = 20 - 2,82 = 17,18$ g

3) a) On refait l'hypothèse précédente et la nouvelle température d'équilibre est 0°C .

b) Soit y la masse d'eau qui se congèle. On doit avoir $0 \leq y \leq 122,82$ g

Pour la glace : $m_g c_g (0 - t') = Q_1$; Pour l'eau : $Q_2 = -y L_f$

L'équation calorimétrique s'écrit : $Q_1 + Q_2 = 0$ soit $y = -\frac{m_g c_g t'}{L_f}$

A.N. : $y = \frac{-2,10^{-2} \times 2100 (-18)}{3,34 \cdot 10^5} = 2,26 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 2,26$ g

L'hypothèse est vérifiée

Solution P₆₋₈

Soient Q la quantité de chaleur cédée par l'eau et Q' la quantité de chaleur absorbée par le glaçon au cours de ses différentes transformations (solide, changement d'état, liquide).

A l'équilibre thermique on a : $Q + Q' = 0$

soit $m_1 c_1 (t_1 - t_e) = m_2 c_2 (0 - t_2) + m_2 L_f + m_2 c_1 (t_e - 0)$

d'où $t_e = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 - m_2 L_f}{(m_1 + m_2) c_1} = 5,0^\circ\text{C}$

Solution P₆₋₉

Capacité thermique massique de l'aluminium

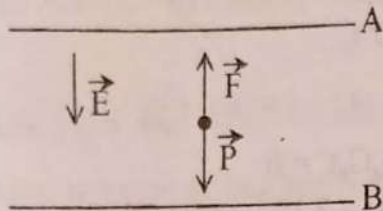
$W = P.t = m_1 c_1 (t_2 - t_1) + m_2 c_2 (t_2 - t_1)$ d'où $c_2 = \frac{P.t - m_1 c_1 (t_2 - t_1)}{m_2 (t_2 - t_1)} = 946,6 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$W = 4200 \text{ J}$

(P₇)

SOLUTION DES EXERCICES PROPOSES SUR LE CHAMP ELECTROSTATIQUE

Solution P₇₋₁



- a) Les forces appliquées à la goutte sont :
- le poids $\vec{P}$;
 - la force électrique $\vec{F}$.

A l'équilibre $\vec{P} + \vec{F} = \vec{0}$ d'où $\vec{P} = -\vec{F}$
 $\vec{P}$ est dirigé de A vers B or $\vec{F} = -\vec{P}$ donc $\vec{F}$ a le sens contraire de $\vec{P}$

$\vec{F} = q \vec{E}$ or $q = -100 \text{ e} < 0$ donc $\vec{F}$ et $\vec{E}$ sont de sens contraires ; le vecteur $\vec{E}$ est dirigé de A vers B. La plaque A est donc chargée positivement et la plaque B, négativement.

b) Intensité E du champ électrique $\vec{E}$.

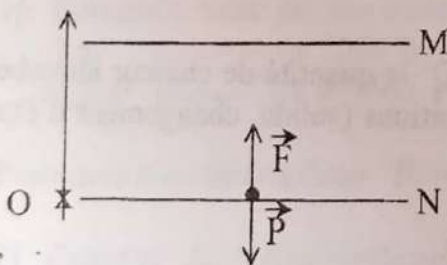
$$\vec{P} + \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{P} + q\vec{E} = \vec{0} \text{ d'où } P = |q| E$$

$$P = mg \text{ or } m = \rho V \text{ avec } V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$\text{On a alors } mg = \rho V g = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 g = |q| E = 100 \text{ eE}$$

$$\text{d'où } E = \rho \frac{4 \pi r^3 g}{3 \times 100 \times e} = 199243 \text{ V/m}$$

Solution P₇₋₂



- 1) Les forces appliquées à la sphère sont :

- le poids $\vec{P}$ dirigé vers le bas ;
- la force électrique $\vec{F}$.

Il y a décollage de la sphère si le vecteur $\vec{F}$ est dirigé vers le haut avec une intensité F supérieure au poids de la sphère.

$$\vec{F} = q \vec{E} \text{ d'où } F = |q| E = |q| \frac{V_M - V_N}{d} = |q| \frac{U}{d} ; \vec{P} = m\vec{g} \text{ d'où } P = mg ;$$

$$F > P \text{ d'où } |q| \frac{U}{d} > mg \text{ soit } U > \frac{mgd}{|q|} = 500 \text{ V.}$$

Il y a décollage de la sphère si $U = V_M - V_N > 500 \text{ V}$.

$$2) a/ E = \frac{U}{d} = \frac{1000}{0,1} = 10000 \text{ V/m ;}$$

$$b) \Delta E_c = E_{C_M} - E_{C_N} = W(\vec{P}) + W(\vec{F}) = -mgd + q(V_N - V_M)$$

$$\Delta E_c = -mgd - q(V_M - V_N) = -mgd - qU = 10^{-3} \text{ J}$$

c) $E_{CM} - E_{CN} = 10^{-3} \text{ J}$ or $E_{CN} = 0$ (décollage)

On a donc $E_{CM} = \frac{1}{2} m v_M^2$ d'où $v_M = \sqrt{\frac{2E_{CM}}{m}} = 1,4 \text{ m.s}^{-1}$.

3) a/ Calcul des potentiels en A et en B

$E = \frac{V_A - V_N}{d_1}$ or $V_N = 0$ d'où $V_A = E \cdot d_1 = 800 \text{ V}$.

$E = \frac{V_B - V_N}{d_2}$ or $V_N = 0$ d'où $V_B = E \cdot d_2 = 400 \text{ V}$

$V_B - V_A = 400 - 800 = -400 \text{ V}$

b) Soit d' la distance entre la surface équipotentielle pour laquelle $V = 600$

volts et l'armature N : $E = \frac{V}{d'}$ d'où $d' = \frac{V}{E} = 0,06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$

La distance d'' entre la surface équipotentielle et l'armature M est :

$d'' = d - d' = 10 - 6 = 4 \text{ cm}$

c) Energie potentielle de la sphère en A :

$E_{pA} = E_{p(\text{pesanteur})} + E_{p(\text{électrostatique})}$; $E_{pA} = mgd_1 + qV_A = -8 \cdot 10^{-4} \text{ J}$

d) Vitesse de la sphère en A :

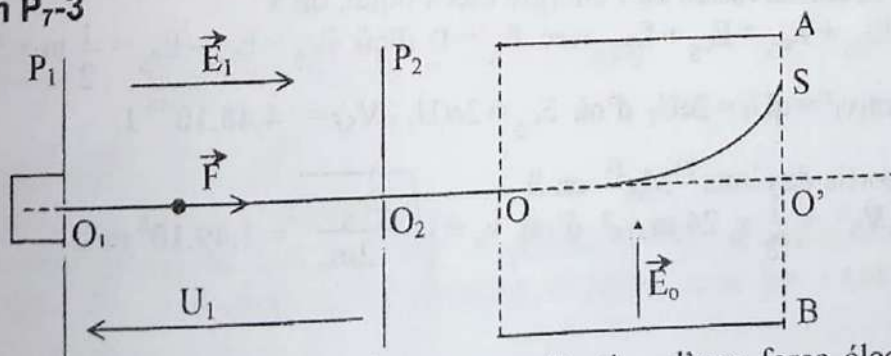
$E_N = E_{pN} + E_{CN} = 0$ car $E_{pN} = 0$ et $E_{CN} = 0$

$E_A = E_{CA} + E_{pA} = \frac{1}{2} m v_A^2 + E_{pA}$

D'après la conservation de l'énergie mécanique

$E_A = E_N = 0$ d'où $\frac{1}{2} m v_A^2 + E_{pA} = 0$ soit $v_A = \sqrt{\frac{-2E_{pA}}{m}} = 1,26 \text{ m/s}$.

Solution P7-3



1) Les ions se déplacent de P_1 vers P_2 sous l'action d'une force électrique $\vec{F}$. Le vecteur $\vec{F}$ est donc dirigé de P_1 vers P_2 .

$\vec{F} = q\vec{E}_1$ or $q > 0$ donc $\vec{F}$ et $\vec{E}_1$ ont même sens (voir schéma).

Le vecteur $\vec{E}$ est dirigé de P_1 vers P_2 dans le sens des potentiels décroissants : on a donc : $U_1 = V_{P_1} - V_{P_2} > 0$.

2) Si on considère un ion quelconque de masse m on a :

$$E_{C_2} - E_{C_1} = q(V_{P_1} - V_{P_2}) \text{ or } E_{C_1} = 0 \text{ d'où } E_{C_2} = q(V_{P_1} - V_{P_2}) = qU_1$$

Pour l'ion $^{24}\text{Mg}^{2+}$ on a $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = qU_1 = 2eU_1$

Pour l'ion $^{26}\text{Mg}^{2+}$ on a $\frac{1}{2} m_2 v_2^2 = qU_1 = 2eU_1$

Les deux ions ont donc la même énergie cinétique en O_2

3) $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = qU_1$ avec $m_1 = 24 m_0$ et $q = 2e$

d'où $v_1 = \sqrt{\frac{4eU_1}{24m_0}} = 126\,491 \text{ m.s}^{-1}$

de même $v_2 = \sqrt{\frac{4eU_1}{26m_0}} = 121\,528,7 \text{ m.s}^{-1}$

4) Les ions sont dérivés vers la plaque A ; donc $\vec{F}$ est dirigé de B vers A.

Or $\vec{F} = q\vec{E}_0 = 2e\vec{E}_0$ donc $\vec{E}_0$ est dirigé de B vers A.

5) a/ Calcul du potentiel V_S

$$E_0 = \frac{V_B - V_A}{d} = \frac{V_0 - V_S}{d'} \text{ d'où } V_0 - V_S = \frac{(V_B - V_A) d'}{d} = \frac{U_0 d'}{d}$$

or $V_0 = 0$ donc $V_S = \frac{U_0 d'}{d} = -400 \text{ V}$

b) Energie potentielle des ions $^{24}\text{Mg}^{2+}$

- En O, $V_0 = 0$ d'où $E_{P_0} = qV_0 = 2eV_0 = 0 \text{ J} = 0 \text{ eV}$

- En S, $V_S = -400 \text{ V}$ d'où $E_{P_S} = qV_S = 2eV_S = -1,28 \cdot 10^{-16} \text{ J}$

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ d'où $E_{P_S} = -800 \text{ eV}$

c) Energie cinétique en S des ions $^{24}\text{Mg}^{2+}$

En utilisant la conservation de l'énergie mécanique, on a :

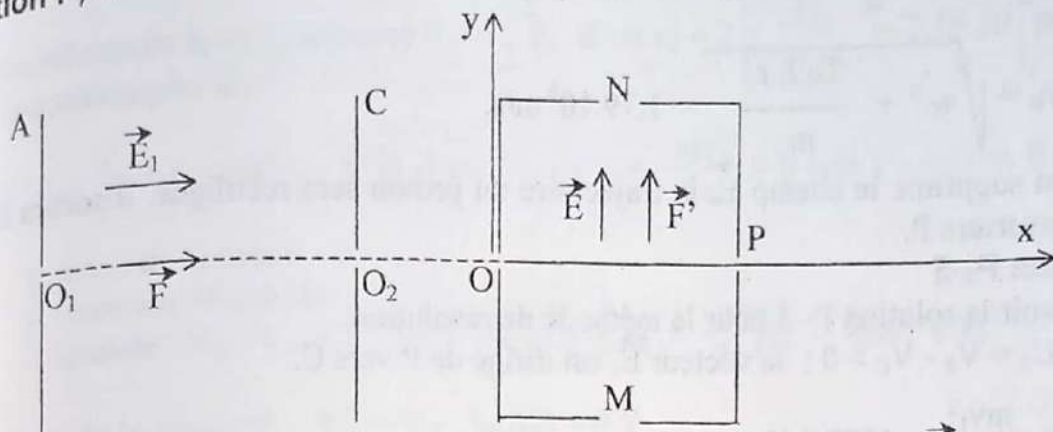
$$E_0 = E_S \text{ soit } E_{C_0} + E_{P_0} = E_{C_S} + E_{P_S} \text{ avec } E_{P_0} = 0 \text{ d'où } E_{C_S} = E_{C_0} - E_{P_S} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 - 2eV_S$$

sait que $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = qU_1 = 2eU_1$ d'où $E_{C_S} = 2e(U_1 - V_S) = 4,48 \cdot 10^{-16} \text{ J}$.

Vitesse de sortie des ions $^{24}\text{Mg}^{2+}$ en S

$$E_{C_S} = \frac{1}{2} m_1 v_S^2 = \frac{1}{2} \times 24 m_0 v_S^2 \text{ d'où } v_S = \sqrt{\frac{E_{C_S}}{12m_0}} = 1,49 \cdot 10^5 \text{ m/s.}$$

Solution P7-4



Le proton se déplace de A vers C sous l'action de la force électrique $\vec{F}$. Le vecteur $\vec{F}$ est dirigé de A vers C.

$\vec{F} = q\vec{E}_1$ avec $q > 0$ donc $\vec{F}$ et $\vec{E}_1$ ont même sens (voir schéma).

Le vecteur $\vec{E}_1$ est dirigé de A vers C dans le sens des potentiels décroissants ; on a donc $U = V_A - V_C > 0$; la tension U est donc positive.

B. : On peut utiliser aussi le théorème de l'énergie cinétique.

$$\frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = q(V_A - V_C) \text{ avec } v_A = 0$$

on a alors : $\frac{1}{2}mv_C^2 = q(V_A - V_C)$; $\frac{1}{2}mv_C^2 > 0$ donc $q(V_A - V_C) > 0$;

$q > 0$ d'où $V_A - V_C > 0$

L'énergie cinétique en O est égale à l'énergie cinétique en O_2 . La vitesse en O (v_O) est égale à la vitesse en C (v_C).

on a : $E_{CO} = E_{CC} = \frac{1}{2}mv_O^2 = \frac{1}{2} \times 1,67 \cdot 10^{-27} \times 800000^2 = 5,344 \cdot 10^{-16} \text{ J} = 3340 \text{ eV}$

(avec $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)

Valeur de la d.d.p $U = V_A - V_C$

$E_C = \frac{1}{2}mv_O^2 = q(V_A - V_C)$ d'où $V_A - V_C = \frac{E_C}{q} = 3340 \text{ V}$

a) Expression de $\vec{F}'$: $\vec{F}' = q\vec{E}$

Le proton est dévié vers l'ouverture N.

La force $\vec{F}'$ a donc le sens de l'axe $y'y$. Or $\vec{F}' = q\vec{E}$ avec $q > 0$; le champ $\vec{E}$ a le même sens que la force $\vec{F}'$. $\vec{E}$ a donc même direction et même sens que l'axe $y'y$ (voir schéma).

Valeur de la vitesse V_N en N.

On applique le théorème de l'énergie cinétique entre O et N.

$$\frac{1}{2}mv_N^2 - \frac{1}{2}mv_O^2 = q(V_O - V_N) \text{ avec } V_M - V_N = E \cdot d = E \cdot 2r ;$$

$$V_O - V_N = \frac{V_M - V_N}{2} = \frac{E \cdot 2r}{2} = E \cdot r$$

On a : $\frac{1}{2}mv_N^2 = \frac{1}{2}mv_O^2 + q(V_O - V_N) = \frac{1}{2}mv_O^2 + q.E.r$

d'où $v_N = \sqrt{v_O^2 + \frac{2q.E.r}{m}} = 1,79.10^6 \text{ m/s.}$

3) Si on supprime le champ $\vec{E}$, la trajectoire du proton sera rectiligne. Il sortira par l'ouverture P.

Solution P7-5

Il faut voir la solution P7-3 pour la méthode de résolution.

1) a) $U_1 = V_P - V_C > 0$; le vecteur $\vec{E}_1$ est dirigé de P vers C.

b) $U_1 = \frac{mv_1^2}{2e} = 1777,3 \text{ V}$

2) a) Les électrons sont déviés vers la plaque A.

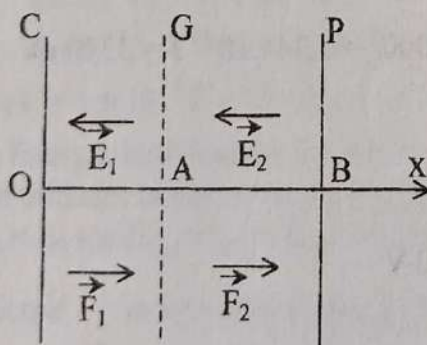
b) $E = \frac{U}{d} = 4000 \text{ V/m}$

c) Calcul de la vitesse v_s

$\frac{1}{2}mv_s^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = F.h = |q| E.h = eEh$

d'où $v_s = \sqrt{v_1^2 + \frac{2eEh}{m}} = \sqrt{v_1^2 + \frac{2eUh}{md}} = 2,5.10^7 \text{ m.s}^{-1}$

Solution P7-6



1) a) $E_1 = \frac{V_G - V_C}{OA} = 10^4 \text{ V.m}^{-1}$

$E_2 = \frac{V_P - V_G}{AB} = 4.10^3 \text{ V.m}^{-1}$

b) Voir schéma

$F_1 = eE_1 = 1,6.10^{-15} \text{ N}$

$F_2 = eE_2 = 6,4.10^{-16} \text{ N}$

$P = mg = 9.10^{-30} \text{ N}$

$P \ll F_1 \text{ et } P \ll F_2$

2) a) Expression de v_1 et v_2

$\frac{1}{2}mv_1^2 = e(V_G - V_C) = eE_1.OA$ d'où $v_1 = \sqrt{\frac{2eE_1.OA}{m}} = \sqrt{\frac{eE_1}{5 \text{ m}}} = 1,89.10^7 \text{ m/s}$

$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = e(V_P - V_G) = eE_2.OA$ d'où $v_2 = \sqrt{v_1^2 + \frac{2eE_2.AB}{m}}$
 $= \sqrt{\frac{2e}{m}(E_2.AB + E_1.OA)}$

les valeurs de E_1 et E_2 donnent $E_1 = \frac{5}{2} E_2$ d'où $v_2 = 2 \sqrt{\frac{eE_2}{5m}} = 2,39 \cdot 10^7 \text{ m/s}$

Caractéristiques de $\vec{E}_1$

$$\frac{1}{2} m v_1^2 = -e(V_G - V_P) \text{ d'où } V_G - V_P = \frac{m v_1^2}{2e} > 0 \text{ (car } v_2 = 0 \text{ en B)}$$

sortira donc

$$\begin{cases} \text{sens : de G vers P} \\ \text{direction : l'axe Ox} \\ \text{module : } V_G - V_P = E_1 \cdot AB = \frac{m v_1^2}{2e} \text{ d'où } E_1 = \frac{m v_1^2}{2e \cdot AB} = 6667 \text{ V/m} \end{cases}$$

Potentiel de la plaque P : $V_P = V_G - E_1 \cdot AB = 0 \text{ V}$.

Solution P₇₋₇

1- Le champ $\vec{E}$ est uniforme (ou constant) entre les armatures du condensateur et perpendiculaire à ces dernières.

2- La boule est soumise à l'action du poids $\vec{P}$, de la tension $\vec{T}$ du fil et de la force électrique $\vec{f}_e$.

3- Calcul de la charge : - Q

$$\tan \alpha = \frac{f_e}{P} = \frac{QU}{mgd} \text{ d'où } Q = \frac{mgd \tan \alpha}{U}$$

$$Q = \frac{10 \cdot 10^{-3} \times 9,81 \times 20 \cdot 10^{-2} \times \tan 30^\circ}{200} = 5,7 \cdot 10^{-5}$$

$$-Q = -5,7 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

4- Le travail de la force électrostatique

$$W_{AB}(\vec{f}_e) = \vec{f}_e \cdot \vec{AB} = f_e \times L = mg \ell \sin \alpha \times \tan \alpha = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

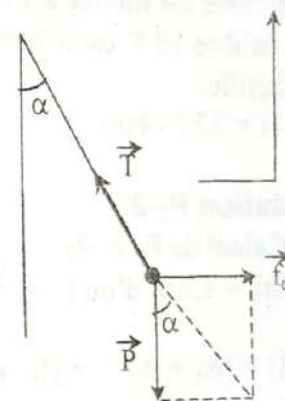
5- La variation d'énergie potentielle : $\Delta E_p = -W(\vec{f}_e)$

$$\text{or } \Delta E_p = E_{pB} - E_{pA} = -QU' = -Q \frac{U}{d} \ell \sin \alpha \text{ d'où la différence de potentiel}$$

$$U' = U \frac{\ell \sin \alpha}{d} = 60 \text{ V.}$$

6- Méthode directe :

$$\frac{U}{d} = \frac{U'}{\ell \sin \alpha} \text{ d'où } U' = \frac{U}{d} \ell \sin \alpha = 60 \text{ V.}$$



v/s

(P₈)

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR LES CONDUCTEURS OHMIQUES

Solution P₈-1

- a) $R_a = 50 \text{ ohms}$
c) $R_c = 25 \text{ ohms}$

b) $R_b = 12 \text{ ohms}$

d) $R_d = 62 \text{ ohms}$

Solution P₈-2

2) a) $I = 0,24 \text{ A}$

b) On ne pourrait pas utiliser le calibre 30 mA pour la mesure car l'intensité I mesurée est supérieure à 30 mA.

3) a) $U = 90 \text{ V}$

b) Avec le calibre 100 V, on a 9 divisions ; avec le calibre 1 V, on a 900 divisions. Avec le calibre 1 V, la mesure de cette tension est impossible car la graduation du voltmètre est limitée à 100 divisions.

Le calibre 10 V est le mieux adapté car il permet d'obtenir la plus grande déviation de l'aiguille.

4) $R = 37,5 \text{ ohms}$

Solution P₈-31- Calcul de R_1 et R_2

$$U I_1 t_1 = C \Delta \theta_1 \text{ d'où } I_1 = \frac{C \Delta \theta_1}{U t_1}; U I_2 t_2 = C \Delta \theta_2 \text{ d'où } I_2 = \frac{C \Delta \theta_2}{U t_2}$$

$$\text{or } U = (R_1 + R_2) I_1 = (R_1 + R_2) \frac{C \Delta \theta_1}{U t_1} \text{ d'où } R_1 + R_2 = \frac{U^2 t_1}{C \Delta \theta_1} = 12$$

$$\text{et } U = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I_2 = \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) \frac{C \Delta \theta_2}{U t_2} \text{ d'où } R_1 R_2 = \frac{U^2 t_2}{C \Delta \theta_2} (R_1 + R_2) = 32$$

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = 12 \\ R_1 R_2 = 32 \end{cases}$$

d'où $R_1 = 4 \Omega$ et $R_2 = 8 \Omega$. La bonne réponse est b)

2- Calcul des intensités

• En série, R_1 et R_2 sont traversés par : $I_1 = \frac{C \Delta \theta_1}{U t_1} = 1,25 \text{ A}$

• En parallèle, R_1 est traversé par i_1 et R_2 par i_2 avec $i_1 + i_2 = I_2 = \frac{C \Delta \theta_2}{U t_2} = 5,62 \text{ A}$

$$i_1 = \frac{U}{R_1} = 3,75 \text{ A}; \quad i_2 = \frac{U}{R_2} = 1,87 \text{ A}.$$

Solution P₈-4

1) L'indication pour supporter 1

L'indication 2

branchés sur le

Calcul de la p

2) a) Ces app

de chacun

b) * Puissance

 $P = P_1 + P_2 +$

* Intensité da

 $P = UI'$ d'o

* Il n'est p

l'intensité I'

la puissance

c) Pour le

puissance P' * $P' = 500 +$

* Puissance

* Nombre d

On peut fair

3) Calcul

 $W = mc(t_2$ $P_1 t = mc(t_2$

4) a) Dur

- Ener

- Puiss

 $P'' =$

b) Inter

 $P'' =$ **Solutio**

1) L'in

pour

- L'

fonc

- In

Solution P₈₋₄

1) L'indication **15 A** représente l'intensité maximale du courant électrique que peut supporter le compteur.

L'indication **220 V** représente la tension d'usage des appareils qui doivent être branchés sur le compteur ; c'est la différence de potentiel aux bornes du compteur.

Calcul de la puissance maximale : $P_{\max} = UI = 220 \times 15 = 3\,300 \text{ W}$

2) a) Ces appareils doivent être branchés en parallèle parce que la tension aux bornes de chacun d'eux doit être de 220 V.

b) * Puissance nécessaire au fonctionnement de tous les appareils :

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + 8P_L = 500 + 500 + 2100 + 8 \times 60 = 3580 \text{ W}$$

* Intensité dans le circuit :

$$P = UI' \text{ d'où } I' = \frac{P}{U} = \frac{3580}{220} = 16,27 \text{ A}$$

* Il n'est pas possible à ces appareils de fonctionner simultanément parce que l'intensité I' nécessaire serait supérieure à l'intensité maximale. On peut dire aussi que la puissance nécessaire est supérieure à la puissance maximale.

c) Pour le fonctionnement du fer, de l'aspirateur et de la cuisinière il faut une puissance P' :

$$* P' = 500 + 500 + 2100 = 3100 \text{ W}$$

$$* \text{Puissance disponible : } P_{\max} - P' = 3300 - 3100 = 200 \text{ W}$$

$$* \text{Nombre de lampes : } N = \frac{200}{60} = 3,3$$

On peut faire fonctionner 3 lampes seulement.

3) Calcul du temps t .

$$W = mc(t_2 - t_1) \text{ or } W = P_1 t \text{ donc}$$

$$P_1 t = mc(t_2 - t_1) \text{ d'où } t = mc \frac{(t_2 - t_1)}{P_1} = \frac{1 \times 420 \times 50}{500} = 42 \text{ s}$$

4) a) Durée du branchement $t' = 11 \text{ h } 10 \text{ min} - 9 \text{ h } 40 \text{ min} = 1 \text{ h } 30 \text{ min}$.

$$- \text{Energie consommée } W = 8032 - 8029 = 3 \text{ kWh} = 10800 \text{ kJ.}$$

- Puissance de l'appareil de chauffage.

$$P'' = \frac{W}{t} = \frac{10\,800\,000}{5\,400} = 2000 \text{ W}$$

b) Intensité du courant.

$$P'' = UI'' \text{ d'où } I'' = \frac{P''}{U} = \frac{2000}{220} = 9,09 \approx 9 \text{ A.}$$

Solution P₈₋₅

1) L'indication en volt représente la tension à appliquer aux bornes de chaque lampe pour avoir un fonctionnement normal : c'est la tension d'usage.

- L'indication en watt représente la puissance consommée par les lampes en fonctionnement normal.

- Intensité correspondant au fonctionnement de la lampe L_1 :

$$P_1 = U_1 I_1 \text{ d'où } I_1 = \frac{P_1}{U_1} = 0,33 \text{ A}$$

- Intensité correspondant au fonctionnement de la lampe L_2 :

$$P_2 = U_2 I_2 \text{ d'où } I_2 = \frac{P_2}{U_2} = 1 \text{ A.}$$

2) - Relation entre P , R et U .

$$U = RI \text{ d'où } I = \frac{U}{R}$$

$$P = UI = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \text{ d'où } R = \frac{U^2}{P}$$

$$\text{- Résistance de la lampe } L_1 : R_1 = \frac{U_1^2}{P_1} = 18 \text{ ohms}$$

$$\text{- Résistance de la lampe } L_2 : R_2 = \frac{U_2^2}{P_2} = 6 \text{ ohms}$$

3) a) Intensité du courant traversant les lampes.

$$U = (R_1 + R_2)I \text{ d'où } I = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{12}{6 + 18} = 0,5 \text{ A}$$

b) - Tension aux bornes de la lampe L_1 :

$$U'_1 = R_1 I = 18 \times 0,5 = 9 \text{ V}$$

- Tension aux bornes de la lampe L_2 :

$$U'_2 = R_2 I = 6 \times 0,5 = 3 \text{ V}$$

- On voit que $U'_2 < 6 \text{ V}$ donc la lampe L_2 ne fonctionne pas normalement ; elle est sous-tension.

- On remarque $U'_1 > 6 \text{ V}$ donc la lampe L_1 ne fonctionne pas normalement ; elle est en surtension ; elle peut même griller.

Solution P₈-6

1) Résistance respective des deux conducteurs.

$$\text{On a : } U = R_1 I_1 = R_2 I_2 \text{ or } R_2 = R_1 + 2,5 \text{ d'où } R_1 I_1 = (R_1 + 2,5) I_2 = R_1 I_2 + 2,5 I_2$$

$$\text{ce qui donne } R_1 (I_1 - I_2) = 2,5 I_2 \text{ soit } R_1 = \frac{2,5 I_2}{I_1 - I_2} = 7,5 \text{ ohms et } R_2 = R_1 + 2,5 = 10 \text{ ohms.}$$

2) Intensité du courant principal : $I = I_1 + I_2 = 2 + 1,5 = 3,5 \text{ A.}$

3) Nouvelle température du pétrole :

Calculons d'abord la résistance équivalente R

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 \cdot R_2} \text{ d'où } R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{75}{17,5} \Omega$$

L'énergie dégagée par les conducteurs ohmiques est égale à l'énergie absorbée par calorimètre et le pétrole.

$$P t = \frac{75}{17.5} \times 3,5^2 \times 5 \times 60 = 15750 \text{ J}$$

$$W = (m'c_e + mc_p)(\theta_2 - \theta_1) \text{ d'où } \theta_2 - \theta_1 = \frac{W}{m'c_e + mc_p}$$

$$+ \frac{W}{m'c_e + mc_p} = 15 + \frac{15750}{0,03 \times 4200 + 0,5 \times 2100} = 28,39^\circ\text{C}$$

ion P8-7

Quantité de chaleur cédée à l'huile

$$W_1 = mc(t_2 - t_1) = 2,4 \times 2400 \times (120 - 20) = 576000 \text{ J}$$

Énergie électrique fournie à la plaque de cuisson :

$$W = W_1 + W_{\text{perte}} = W_1 + \frac{20}{100} W_1 = \frac{120}{100} W_1 = 691200 \text{ J}$$

Durée du chauffage

$$\frac{W}{P} \text{ d'où } t = \frac{W}{P} = \frac{691200}{800} = 864 \text{ s} = 14 \text{ min } 24 \text{ s}$$

Température de l'huile après 10 min de chauffage.

$$W = P t' = \frac{120}{100} W_1 = \frac{120}{100} mc(t'_2 - t_1) \text{ d'où } t'_2 = \frac{100 P t'}{120 mc} + t_1 = 89,4^\circ\text{C}$$

re méthode

Sur 864 s la variation de la température est $120 - 20 = 100^\circ\text{C}$.

Sur $10 \times 60 = 600 \text{ s}$ la variation de la température sera de

$$20 : \text{d'où } t'_2 - 20 = \frac{600 \times 100}{864} = 69,4^\circ\text{C} \text{ soit } t'_2 = 69,4 + 20 = 89,4^\circ\text{C}.$$

a) Quantité de chaleur cédée à l'huile

$$W_1 = mc(t_2 - t_1) = 2,4 \times 2400 \times (1200 - 20) = 576000 \text{ J}$$

Énergie électrique fournie à la plaque de cuisson

$$W = W_1 + W_{\text{perte}} = W_1 + \frac{20}{100} W \text{ d'où } W_1 = W - \frac{20}{100} W = \frac{80}{100} W$$

$$\text{soit } W = \frac{100}{80} W_1 = \frac{100 \times 576000}{80} = 720000 \text{ J}$$

Durée du chauffage

$$P = \frac{W}{t} \text{ d'où } t = \frac{W}{P} = \frac{720000}{800} = 900 \text{ s} = 15 \text{ min}$$

Température de l'huile après 10 min de chauffage.

Sur 900 s, la variation de la température est $120 - 20 = 100^\circ\text{C}$.

Sur $10 \times 60 = 600 \text{ s}$ la variation de la température sera de $t'_2 - 20$ on a alors

$$20 = \frac{600 \times 100}{900} = 66,66^\circ\text{C} \text{ d'où } t'_2 = 66,66 + 20 = 86,66^\circ\text{C}$$

Autre méthode

L'énergie électrique fournie en 10 min est :

$$W' = Pt' = 800 \times 10 \times 60 = 480000 \text{ J}$$

L'énergie cédée à l'huile représente les 80% de l'énergie totale fournie on a donc

$$W'_1 = mc(t'_2 - 20) = \frac{80}{100} W' = \frac{80 \times 480000}{100} = 384000 \text{ J}$$

$$\frac{W'_1}{mc} = t'_2 - 20 \text{ d'où } t'_2 = \frac{W'_1}{mc} + 20 = \frac{384000}{2.4 \times 2400} + 20 = 86,66^\circ\text{C.}$$

Solution P₈-8

1- L'intensité du courant

$$W = C(\theta_f - \theta_i) = R I^2 t \text{ d'où } I = \sqrt{\frac{C(\theta_f - \theta_i)}{R t}} = 1,5 \text{ A.}$$

2- a) Calcul de $\Delta \theta' = \theta'_f - \theta'_i$

$$W' = C \Delta \theta' = R I'^2 t \text{ d'où } \Delta \theta' = \frac{R I'^2 t}{C} = 21,6 \text{ K}$$

b) Comparaison :

$$\text{On remarque que } \Delta \theta' = 4(25,5 - 20,1) = 4 \times 5,4 = 21,6 \text{ K}$$

c) Vérification

L'intensité double et la variation de la température pendant le même temps est multipliée par 4. Ceci vérifie bien l'effet Joule qui est proportionnel au carré de l'intensité.

3- Calcul du diamètre

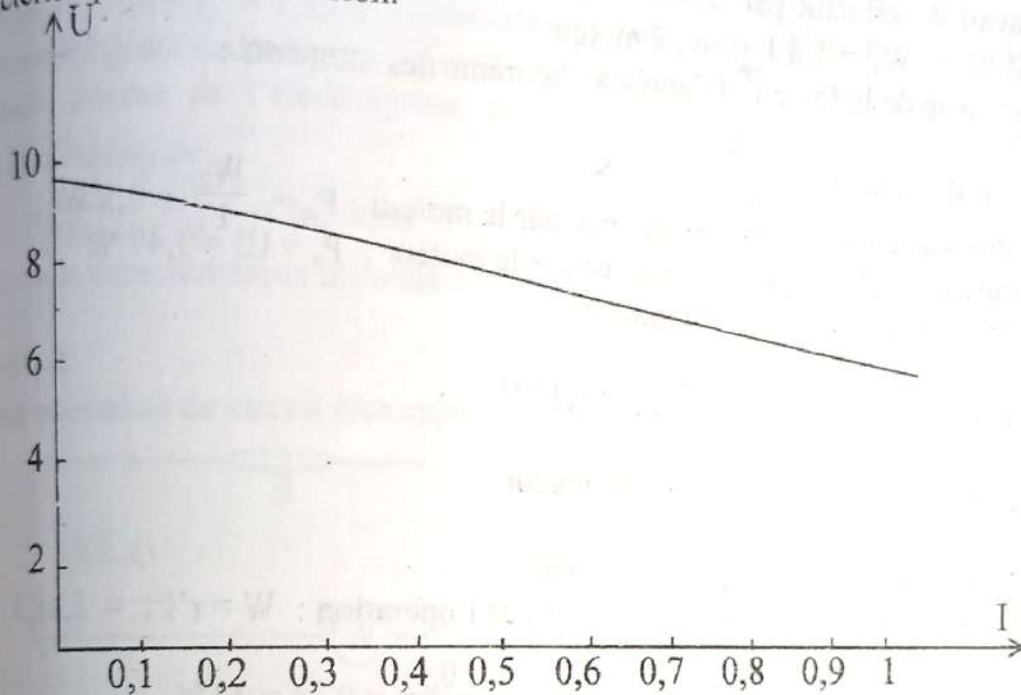
$$R = \rho \frac{\ell}{S} \text{ or } S = R^2 \pi = \frac{d^2}{4} \pi \text{ d'où } R = \rho \frac{4 \ell}{d^2 \pi} \text{ et } d = 2 \sqrt{\frac{\rho \ell}{R \pi}} = 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

La bonne réponse est c).

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR LES GENERATEURS ET LES RECEPTEURS

Question P₉-1

Caractéristique intensité tension.



a) Calcul de la force électromotrice de la pile. La courbe est une droite d'équation $U_{PN} = a + bI$

pour $I = 0$ on a $U_{PN} = a = 9,2$. L'ordonnée à l'origine représente la f.é.m. E de la pile; on a donc $E = 9,2$ V.

Calcul de la résistance interne r de la pile. Le coefficient directeur b de la droite est opposé de la résistance interne r .

$$\frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} = -3 ; b = -3 = -r \text{ d'où } r = 3 \text{ ohms}$$

L'équation $U_{PN} = f(I)$:

la courbe est une droite d'équation $U_{PN} = a + bI$ avec $a = 9,2$ (voir question a) et $b = -3$ (voir question b) d'où $U_{PN} = 9,2 - 3I$.

Intensité du courant de court-circuit I_{CC} .

On met les deux bornes du générateur en court-circuit on a :

$$U_{PN} = 9,2 - 3I = 0 \text{ d'où } I = I_{CC} = \frac{9,2}{3} = 3,06 \text{ A.}$$

a) Expression de I en fonction de E , r et R .

La puissance du générateur P_g est égale à la somme de la puissance qui apparaît dans le conducteur ohmique R et dans la résistance interne r .

$$P_g = P_R + P_r \text{ soit } EI = RI^2 + rI^2 \text{ d'où } I = \frac{E}{R + r}$$

$$A.N : I = \frac{9,2}{20 + 3} = 0,4 \text{ A}$$

$$b) \text{ Puissance du générateur } P_g = EI = 3,68 \text{ W}$$

$$\text{Puissance dissipée dans le circuit par effet Joule}$$

$$P = P_R + P_r = RI^2 + rI^2 = 3,68 \text{ W.}$$

Solution P₉-2

- 1) a) Travail effectué par le poids de la charge $W_1 = -mgh = -1,8 \text{ J}$ (travail résistif)
 b) Travail W_2 effectué par la force $\vec{F}$ exercée par le moteur. D'après la conservation
 travail $W_2 = |W_1| = 1,8 \text{ J}$ (travail moteur)
 c) Intensité de la force $\vec{F}$. D'après le théorème des moments :

$$P.R_1 = F.R_2 \text{ d'où } F = \frac{P.R_1}{R_2} = 1,5 \text{ N}$$

$$2) a) \text{ Puissance mécanique développée par le moteur : } P_m = \frac{W_2}{t} = 0,5 \text{ W}$$

$$b) \text{ Puissance électrique consommée par le moteur : } P_e = UI = 1,47 \text{ W}$$

$$c) \text{ Calcul de la f.c.é.m } E' \text{ du moteur :}$$

$$P_m = E'I \text{ d'où } E' = \frac{P_m}{I} = \frac{0,5}{0,35} = 1,42 \text{ V}$$

Calcul de la résistance interne r' du moteur :

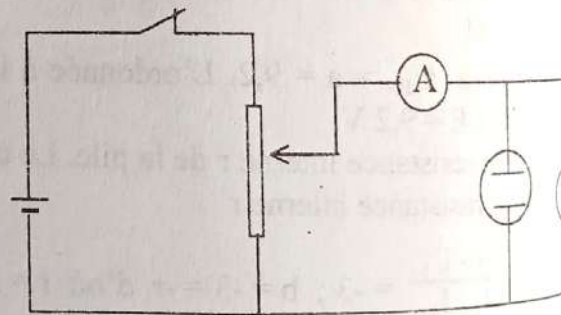
$$U = E' + r'I \text{ d'où } r' = \frac{U - E'}{I} = 7,9 \text{ ohms}$$

$$d) \text{ Quantité de chaleur apparue au cours de l'opération : } W = r'I^2t = 3,48 \text{ J}$$

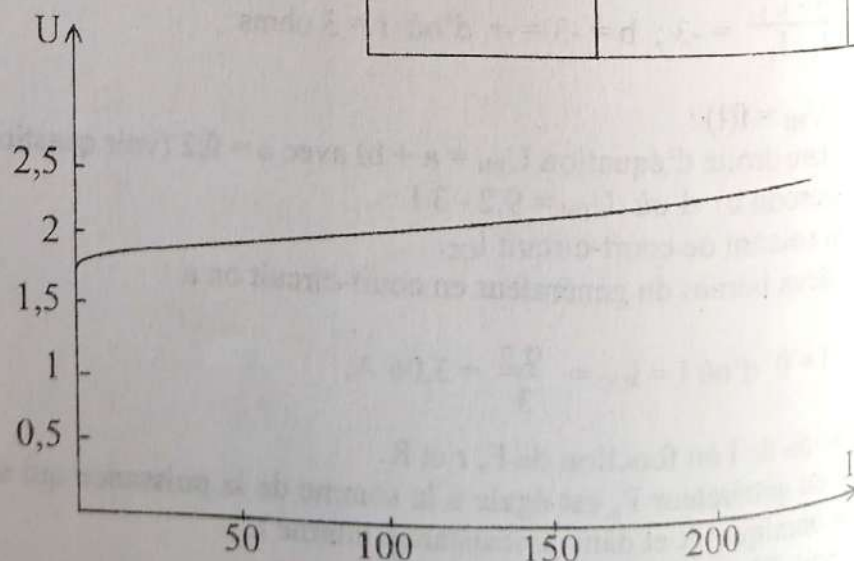
$$e) \text{ Rendement } r_m \text{ du moteur : } r_m = \frac{P_m}{P_e} = \frac{0,5}{1,47} = 0,34 = 34 \%$$

Solution P₉-3

- 1) Schéma normalisé du montage.



- 2) a)



- b) Interprétation de la courbe.

la courbe présente deux parties :

pour les faibles valeurs de l'intensité I du courant ($I < 50$ mA), la tension U aux bornes de l'électrolyseur est une fonction croissante de l'intensité I . Pour les plus faibles valeurs de la tension U , l'intensité du courant est nulle.

Pour les autres valeurs de l'intensité I du courant ($I > 50$ mA), la caractéristique est une droite affine de coefficient directeur positif.

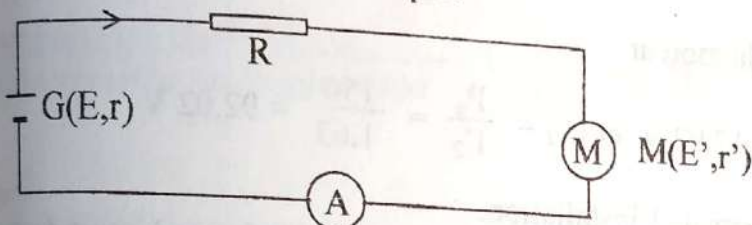
La partie linéarisée de la courbe a pour équation $U = a + bI$

et pour $I = 0$ on a $U = a = E' = 1,95$ V (ordonnée à l'origine). La valeur $E' = 1,95$ V est la f.c.é.m. de l'électrolyseur.

La résistance interne de l'électrolyseur est égale au coefficient directeur de la caractéristique linéarisée.

La caractéristique linéarisée est donc : $U = 1,95 + 3,2 I$

Question P₉-4
Schéma normalisé du circuit électrique.



a) Intensité I_1 dans le circuit.

Le moteur étant bloqué, la f.c.é.m. est nulle. Il se comporte comme un conducteur ohmique de résistance r' .

Sur une seule maille nous donne : $E - rI_1 - RI_1 - r'I_1 = 0$ d'où $I_1 = \frac{E}{R + r + r'}$, car $r = 0$

$$I_1 = \frac{110}{10 + 1} = 10 \text{ A}$$

Différence de potentiel aux bornes du moteur

$$U_1 = r'I_1 = 1 \times 10 = 10 \text{ V}$$

a) Différence de potentiel aux bornes du moteur

$$U_2 = E' + r'I_2 \text{ ou encore } U_2 = E - rI_2 - RI_2 \text{ or } r = 0 \text{ donc } U_2 = E - RI_2 = 60 \text{ V}$$

Valeur de la f.c.é.m. E'

$$E' = U_2 - r'I_2 = 60 - 1 \times 5 = 55 \text{ V}$$

Rendement du moteur

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance reçue}} = \frac{E'I_2}{U_2 I_2} = \frac{E'}{U_2} = \frac{55}{60} = 0,916 = 91,6 \%$$

Puissance dissipée dans le moteur quand il ne tourne pas

$$P_1 = r'I_1^2 = 1 \times 10^2 = 100 \text{ W}$$

Puissance dissipée dans le moteur quand il tourne

$$P_2 = r'I_2^2 = 1 \times 5^2 = 25 \text{ W}$$

Conclusion : $P_1 > P_2$

On n'a pas intérêt à empêcher un moteur de tourner car il va être parcouru par un courant intense. Le moteur va s'échauffer exagérément et risque d'être détruit.

5) a) Montrons qu'il existe deux régimes de fonctionnement.

Commençons par faire le bilan énergétique du circuit.

$P_g = EI$ est la puissance fournie par le générateur.

$P_{th} = RI^2 + r'I^2$ est la puissance dissipée par effet Joule dans le circuit.

$P_d = E'I = P_u = 150$ W est la puissance utile (ou puissance mécanique du moteur).

alors : $P_g = P_{th} + P_u$ soit $E_i = (R + r')I^2 + 150$ ou encore $11I^2 - 110I + 150 = 0$

Calculons le discriminant :

$\Delta = 110^2 - 4 \times 11 \times 150 = 5500 > 0$; il existe donc deux valeurs possibles de I pour le fonctionnement du moteur lorsque sa puissance mécanique est de 150 W.

b) Valeurs des intensités du courant

$$I_1 = \frac{110 + \sqrt{5500}}{2 \times 11} = 8,37 \text{ A et } I_2 = \frac{110 - \sqrt{5500}}{2 \times 11} = 1,63 \text{ A}$$

Valeurs des f.c.é.m du moteur

$$E'_1 = \frac{P_u}{I_1} = \frac{150}{8,37} = 17,92 \text{ V et } E'_2 = \frac{P_u}{I_2} = \frac{150}{1,63} = 92,02 \text{ V}$$

Valeurs des rendements de l'installation.

Le rendement de l'installation (à ne pas confondre avec le rendement du moteur

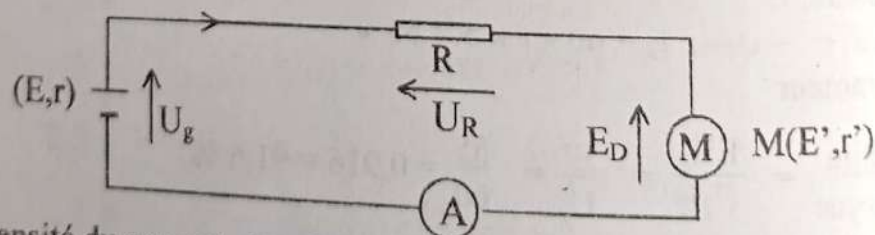
$$\text{pour expression : } r = \frac{\text{Puissance utile du moteur}}{\text{Puissance fournie par le générateur}} = \frac{P_u}{P_g} = \frac{150}{EI}$$

$$\text{On a alors : } r_1 = \frac{P_u}{EI_1} = \frac{150}{110 \times 8,37} = 16,3 \% \text{ et } r_2 = \frac{P_u}{EI_2} = \frac{150}{110 \times 1,63} = 83,6 \%$$

c) On constate que $E \cdot I_2 < E \cdot I_1$ donc le régime de fonctionnement le plus économe est celui pour lequel l'intensité du courant est égale à 1,63 A.

Solution P₉-5

1) Schéma normalisé du circuit électrique.



2) Intensité du courant dans le circuit.

$$U_g = U_R + U_E \text{ soit } E - rI = RI + E' + r'I \text{ d'où } I = \frac{E - E'}{r + r' + R} = \frac{6 - 1,5}{2 + 8 + 5} = 0,3 \text{ A}$$

3) a) Puissance électrique engendrée par le générateur :

$$P_g = EI = 6 \times 0,3 = 1,8 \text{ W}$$

4) Puissance électrique reçue par l'électrolyseur :

$$P = E'I + r'I^2 = 1,17 \text{ W}$$

puissance utile transformée pour des réactions chimiques :

$$= 1,5 \times 0,3 = 0,45 \text{ W}$$

puissance totale dissipée dans le circuit par effet Joule

$$(r' + R) I^2 = 15 \times 0,3^2 = 1,35 \text{ W}$$

rendement r_g du générateur :

$$\frac{\text{puissance reçue par le circuit extérieur}}{\text{puissance engendrée par le générateur}} = \frac{U_g \cdot I}{EI} = \frac{EI - r'I^2}{EI} = 90 \%$$

La puissance reçue par le circuit extérieur est encore appelée puissance disponible aux bornes du générateur.

rendement r_e de l'électrolyseur :

$$\frac{\text{puissance utile de l'électrolyseur}}{\text{puissance reçue par l'électrolyseur}} = \frac{E' \cdot I}{U_E \cdot I} = \frac{E' \cdot I}{(E' + r'I)I} = 38,46 \%$$

rendement r_c du circuit

$$\frac{\text{puissance utile de l'électrolyseur}}{\text{puissance engendrée par le générateur}} = \frac{E' \cdot I}{E \cdot I} = 0,25 = 25 \%$$

Exercice P9-6

Puissance utile de la pompe

$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{60 \times 10 \times 7}{60} = 70 \text{ W}$$

puissance du moteur

$$P_m = P_p + P_f = P_p + \frac{10}{100} P_p = \frac{110}{100} P_p = \frac{110 \times 70}{100} = 77 \text{ W}$$

Force contre électromotrice du moteur

$$P_m = E'I \text{ d'où } E' = \frac{P_m}{I} = \frac{77}{0,77} = 100 \text{ V}$$

Résistance interne r' du moteur

$$U = E' + r'I \text{ d'où } r' = \frac{U - E'}{I} = \frac{110 - 100}{0,77} = 12,98 \text{ ohms}$$

quantité de chaleur dégagée par minute : $W_1 = r'I^2 t = (U - E')It = 462 \text{ J}$
 Lorsque le moteur se trouve dans l'impossibilité de tourner, il est traversé par un courant et il ne fournit aucune puissance mécanique.

$P_e = E'I = 0$ d'où $E' = 0$ car $I \neq 0$
 Le moteur conserve une résistance égale à sa résistance interne r' et joue le même rôle qu'un conducteur ohmique. On a alors :

$I' = \frac{U}{r'} = \frac{110}{12.98} = 8,47 \text{ A}$; le moteur subit donc l'action d'un courant d'intensité exagérée.

La quantité de chaleur dégagée dans les enroulements du moteur est :

$$W_2 = r' \cdot I'^2 \cdot t = U \cdot I' t = 55902 \text{ J.}$$

Solution P₉₋₇

- 1) Travail W_1 de l'ensemble charge + poulie mobile
 $W_1 = -(M + m)g \cdot h = -3,6 \text{ J}$ N.B. : ce travail est résistant.
- 2) Travail effectué par la force motrice

$$r_p = \frac{|W_1|}{W_2} \text{ d'où } W_2 = \frac{|W_1|}{r_p} = 4 \text{ J}$$

- 3) Puissance électrique consommée : $P_e = UI = 2,1 \text{ W}$
- 4) Puissance mécanique P_m développée par le moteur

$$P_m = \frac{W_2}{t} = \frac{4}{5} = 0,8 \text{ W}$$

- 5) - Valeur de la f.c.é.m

$$P_m = E'I \text{ d'où } E' = \frac{P_m}{I} = 1,6 \text{ V}$$

- Résistance interne r'

$$U = E' + r'I \text{ d'où } r' = \frac{U - E'}{I} = \frac{4,2 - 1,6}{0,5} = 5,2 \text{ ohms}$$

- 6) Rendement r_m du moteur

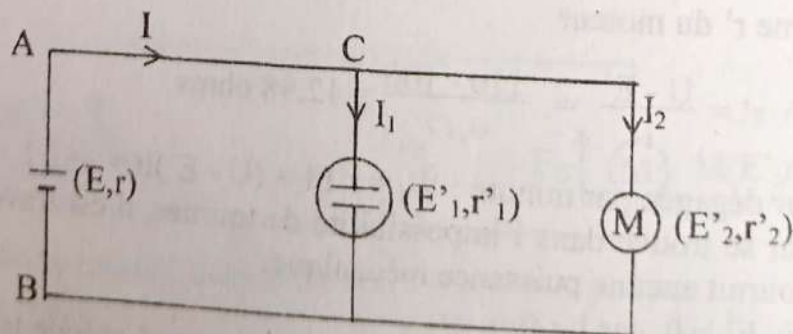
$$r_m = \frac{P_m}{P_e} = \frac{0,8}{2,1} = 0,38 = 38 \%$$

- 7) Rendement global r_g du dispositif

$$r_g = \frac{W_1}{W_e} = \frac{W_1}{P_e \cdot t} = \frac{3,6}{2,1 \times 5} = 0,342 = 34,2 \%$$

Solution P₉₋₈

1)



- a) Expression de U_{AB} en fonction de E , $E'1$, $E'2$, r , $r'1$ et $r'2$

aux bornes du générateur

$$d'où I = \frac{E - U_{AB}}{r}$$

aux bornes de l'électrolyseur

$$E'_1 + r'_1 I_1 d'où I_1 = \frac{U_{AB} - E'_1}{r'_1}$$

aux bornes du moteur

$$E'_2 + r'_2 I_2 d'où I_2 = \frac{U_{AB} - E'_2}{r'_2}$$

au point C

$$I_2 \Rightarrow \frac{E - U_{AB}}{r} = \frac{U_{AB} - E'_1}{r'_1} + \frac{U_{AB} - E'_2}{r'_2}$$

$$\left(\frac{1}{r'_1} + \frac{1}{r'_2} + \frac{1}{r} \right) = \frac{E}{r} + \frac{E'_1}{r'_1} + \frac{E'_2}{r'_2} d'où U_{AB} = \frac{\frac{E}{r} + \frac{E'_1}{r'_1} + \frac{E'_2}{r'_2}}{\frac{1}{r} + \frac{1}{r'_1} + \frac{1}{r'_2}}$$

$$\frac{r'_1 r'_2 E + r r'_2 E'_1 + r r'_1 E'_2}{r'_1 r'_2 + r r'_2 + r r'_1} = 5,90 \text{ V}$$

$$\frac{U_{AB} - E'_1}{r} = 0,098 \text{ A} ; I_2 = \frac{U_{AB} - E'_2}{r'_2} = 0,9 \text{ A} ; I = \frac{E - U_{AB}}{r} = 0,998 \text{ A}$$

puissance du générateur : $P_g = E \cdot I = 6 \times 0,998 = 5,98 \text{ W} \approx 6 \text{ W}$

puissance électrique transformée en travail par le moteur

$$P'_2 \cdot I_2 = 5 \times 0,9 = 4,5 \text{ W}$$

le moteur est bloqué alors sa f.c.é.m E'_2 est nulle.

calculons d'abord la nouvelle valeur de la tension U_{AB}

$$E'_2 = 0 \text{ on a } U'_{AB} = \frac{\frac{E}{r} + \frac{E'_1}{r'_1}}{\frac{1}{r} + \frac{1}{r'_1} + \frac{1}{r'_2}} = 5,45 \text{ V (voir 1/a)}$$

nouvelles valeurs des intensités sont :

$$\frac{U'_{AB} - E'_1}{r'_1} = 0,089 \text{ A} ; I'_2 = \frac{U'_{AB}}{r'_2} = 5,45 \text{ A} ; I' = \frac{E - U'_{AB}}{r} = 5,5 \text{ A}$$

énergie électrique utilisée pour les réactions chimiques

$$W_{\text{électrolyseur}} = E'_1 \cdot I'_1 \cdot t = 1 \times 0,089 \times 5 \times 60 = 26,7 \text{ J}$$

Quantité de chaleur dégagée dans le moteur

$$W_{\text{moteur}} = r'_2 \cdot I'^2_2 \cdot t = 1 \times (5,45)^2 \times 5 \times 60 = 8910,75 \text{ J}$$

Solution P₉₋₉

1- La loi de Pouillet s'écrit : $I = \frac{e_0 - e_1 - e_2}{r_0 + r_1 + r_2 + R} = 0,30 \text{ A}$

La bonne réponse est b)

2- Calcul de la puissance consommée : $P_{OJ} = r_0 \cdot I^2 = 0,45 \text{ W}$

Puissance fournie : $P_o = e_0 I - r_0 I^2 = 6,75 \text{ W}$ (plus exactement, on écrit $P_o = -6,75$)

• Le rendement : $\rho = \frac{P_o}{P_g} = \frac{e_0 I - r_0 I^2}{e_0 I} = 93,75 \%$

3- Calcul des rendements

• Cuve : $\rho_1 = \frac{e_1 I}{e_1 I + r_1 I^2} = 99 \%$

• Moteur : $\rho_2 = \frac{e_2 I}{e_2 I + r_2 I^2} = 80 \%$

• Résistor : $\rho_3 = \frac{R I^2}{R I^2} = 1 = 100 \%$

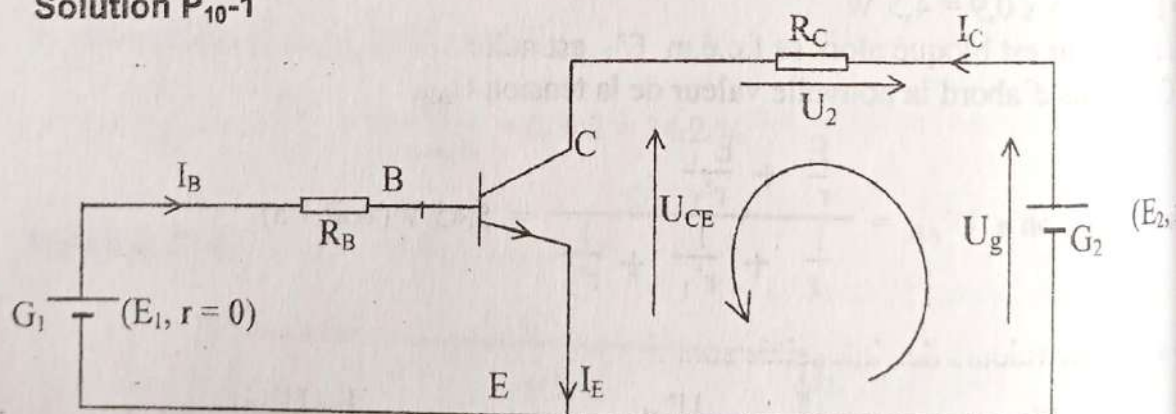
4- La loi de Pouillet P_{OJ}

$P_g = P_c + P_m + P_R$ soit $e_0 I = r_0 I^2 + e_1 I + r_1 I^2 + e_2 I + r_2 I^2 + R I^2$

ou $e_0 = e_1 + e_2 + I(r_0 + r_1 + r_2 + R)$ d'où $I = \frac{e_0 - e_1 - e_2}{r_0 + r_1 + r_2 + R}$

(P₁₀)

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR LES CIRCUITS ELECTRONIQUES

Solution P₁₀₋₁

1) a) Intensité I_B .

$E_1 = R_B \cdot I_B + U_{BE}$ d'où $I_B = \frac{E_1 - U_{BE}}{R_B} = \frac{4,5 - 0,6}{20000} = 1,95 \cdot 10^{-4} \text{ A}$

- Valeur de l'intensité I_C : $I_C = \beta I_B = 0,039 \text{ A}$

- Valeur de l'intensité I_E : $I_E = I_B + I_C = 3,92 \cdot 10^{-2} \text{ A}$

b) Valeur de la tension U_{CE}

en considérant la maille $E-G_2R_C C-E$ on a :

$$-U_2 - U_{CE} = 0 \text{ avec } U_g = E_2 - r_{IC} \text{ et } U_2 = R_C I_C;$$

$$\text{on a alors } U_{CE} = U_g - U_2 = E_2 - r_{IC} - R_C I_C = E_2 - I_C(r + R_C) = 7,71 \text{ V}$$

a) Puissance dissipée dans le transistor.

$$P_t = U_{CE} I_C + U_{BE} I_B = 0,3 \text{ W}$$

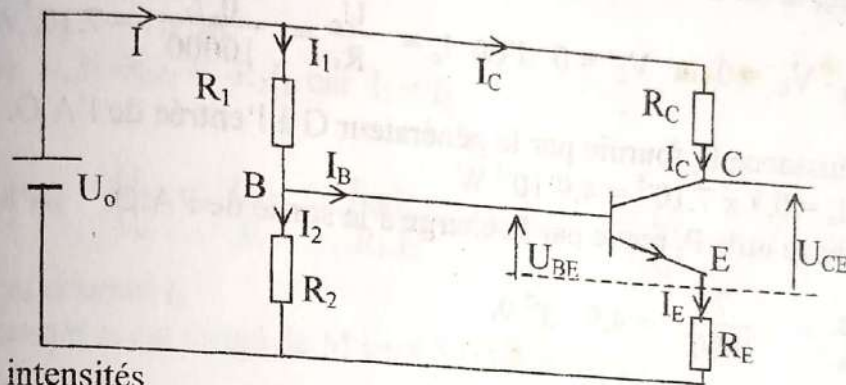
Puissance totale engendrée par les générateurs.

$$P_g = E_1 I_B + E_2 I_C = 0,468 \text{ W}$$

Quantité de chaleur dégagée par minute par le transistor.

$$W_{tr} = P_t t = 0,3 \times 60 = 18 \text{ J}$$

Solution P10-2



a) Valeurs des intensités

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0,03 = 3 \text{ mA}$$

$$I_E = I_C + I_B = 3 + 0,03 = 3,03 \text{ mA}$$

en considérant la maille $B-C-R_C-R_1-B$ on a :

$$-U_{CB} + R_1 I_1 = 0 \text{ d'où } I_1 = \frac{U_{CB} + R_C I_C}{R_1} \text{ avec } U_{CB} = U_{CE} - U_{BE}$$

$$\frac{U_{CE} - U_{BE} + R_C I_C}{R_1} = \frac{6 - 0,6 + 1000 \times 3 \cdot 10^{-3}}{100000} = 8,4 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 0,084 \text{ mA}$$

$$I_1 = I_2 + I_B \text{ d'où } I_2 = I_1 - I_B = 0,084 - 0,03 = 0,054 \text{ mA}$$

$$I_1 + I_C = 0,084 + 3 = 3,084 \text{ mA}$$

Valeurs des résistances R_E et R_2

$$0 = R_C I_C + U_{CE} + R_E I_E \text{ d'où } R_E = \frac{U_0 - R_C I_C - U_{CE}}{I_E} = 1980 \text{ ohms}$$

$$0 = R_1 I_1 + R_2 I_2 \text{ d'où } R_2 = \frac{U_0 - R_1 I_1}{I_2} = 1,222 \cdot 10^5 \text{ ohms}$$

a) Puissance fournie par le générateur

$$P_g = U_0 I = 15 \times 3,084 \cdot 10^{-3} = 0,0462 \text{ W} = 46,2 \text{ mW}$$

Puissance dissipée dans les conducteurs ohmiques.

$$P_{th} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_C I_C^2 + R_E I_E^2 = 0,0282 \text{ W} = 28,2 \text{ mW}$$

Puissance dissipée dans le transistor.

$$P_t = U_{CE} I_C + U_{BE} I_B = 18,018 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 18,018 \text{ mW}$$

Comparaison :

$$P_g = 46,2 \text{ mW}; P_{th} + P_t = 28,2 + 18,018 = 46,2 \text{ mW}$$

$P_g = P_{th} + P_t$: la puissance fournie par le générateur est égale à la somme des puissances consommées dans les conducteurs ohmiques et dans le transistor, ce qui conforme au principe de la conservation de l'énergie.

4) $P_t = 18,018 \text{ mW}$ or $P_{\max} = 20 \text{ mW}$

$P_t < P_{\max}$: les conditions de fonctionnement choisies sont donc acceptables.

Solution P₁₀₋₃

1) Intensité du courant dans la résistance R_1 .

On considère un A.O idéal : $V_E^+ - V_E^- = 0$ or E^+ est à la masse donc $V_E^+ = 0$ d'où $V_E^- = 0$.
A l'entrée, la loi d'additivité des tensions donne :

$$U_e - R_1 I_e - V_E^- = 0 \text{ or } V_E^- = 0 \text{ d'où } I_e = \frac{U_e}{R_1} = \frac{0,7}{10000} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 0,07 \text{ mA}$$

2) a) Puissance P_e fournie par le générateur G à l'entrée de l'A.O.

$$P_e = U_e \cdot I_e = 0,7 \times 7 \cdot 10^{-5} = 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ W}$$

b) Puissance utile P_s reçue par la charge à la sortie de l'A.O.

$$P_s = \frac{U_s^2}{R_u} = \frac{7^2}{1000} = 4,9 \cdot 10^{-2} \text{ W}$$

c) Puissance fournie par l'alimentation

$$P_a = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 = 15,13 \times 1,55 \cdot 10^{-3} + 15,10 \times 8,2 \cdot 10^{-3} = 1,47 \cdot 10^{-1} \text{ W}$$

d) Rendement r du système électronique

$$r = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance totale fournie}} = \frac{P_s}{P_e + P_a} = \frac{4,9 \cdot 10^{-2}}{4,9 \cdot 10^{-5} + 1,47 \cdot 10^{-1}} = 0,33 = 33\%$$

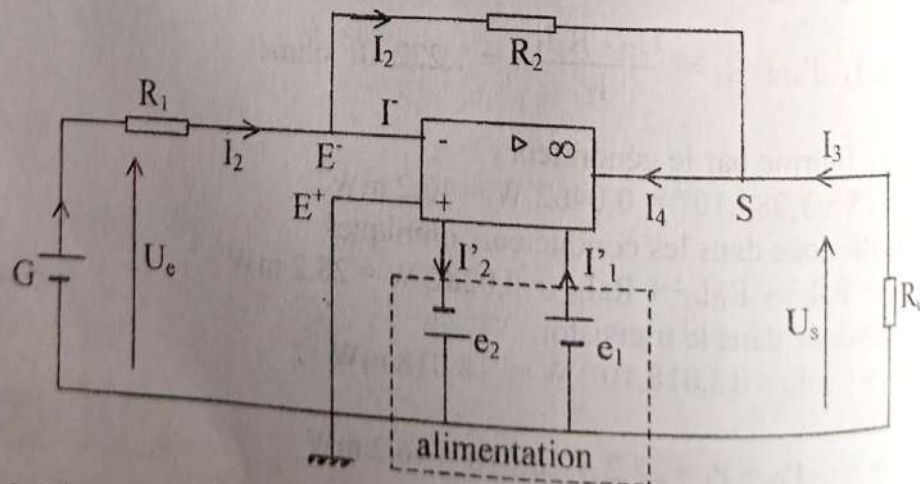
Solution P₁₀₋₄

1) Propriétés d'un A.O parfait fonctionnant en régime linéaire.

* Les deux courants d'entrée de l'A.O. (les courants qui entrent par les entrées E^+ et E^-) ont une intensité nulle. $I^+ = I^- = 0$.

* Les tensions des deux bornes d'entrée sont égales : $U_E^+ = U_E^-$

2)



L'entrée E^+ est reliée à la masse : on a donc $U_E^+ = 0$

Or pour un A.O parfait $U_E^+ = U_E^-$; il vient alors $U_E^- = 0$

La tension aux bornes du générateur est :

$$U_e = E - rI_1 \text{ or } r = 0 \text{ (résistance interne nulle)}$$

On a donc $U_e = E = 3 \text{ V}$

En considérant la maille ME'GM on a :

$$U_e - R_1 I_1 = 0 \text{ d'où } I_1 = \frac{U_e}{R_1} = \frac{E}{R_1} = \frac{3}{2000} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

E étant un nœud, on a : $I_1 = I_2 + I'$ or $I' = 0$ donc $I_1 = I_2 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

b) a) Tension de sortie

La loi d'additivité des tensions donne :

$$U_s = U_{SM} = U_{SE^-} + U_{E^- E^+} + U_{E^+ M}$$

$$= -R_2 I_2 + 0 + 0 \text{ d'où } U_s = -R_2 I_2 = -R_2 I_1 \text{ car } I_1 = I_2$$

$$\left. \begin{array}{l} U_e = U_e = R_1 I_1 \\ U_s = -R_2 I_1 \end{array} \right\} \text{ d'où } \frac{U_s}{U_e} = \frac{U_s}{E} = \frac{-R_2 I_1}{R_1 I_1} \text{ soit } U_s = -\frac{R_2 E}{R_1} = -7,5 \text{ V}$$

b) Sens et intensité du courant I_3

$U_s = U_{SM} < 0$; le courant I_3 est dirigé de M vers S (voir schéma)

$$U_s = -R_u I_3 \text{ d'où } I_3 = \frac{-U_s}{R_u} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

c) Sens et valeur de l'intensité du courant I_4

Les courants I_2 et I_3 arrivent au nœud S. Le courant résultant I_4 rentre dans l'A.O (voir schéma).

Son intensité est $I_4 = I_2 + I_3 = 9 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

/ a) Puissance fournie par le générateur G au reste du circuit

$$P_e = U_e I_1 = E I_1 = 3 \times 1,5 \cdot 10^{-3} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

b) Puissance P_s fournie à la charge R_u (puissance utile)

$$P_s = R_u I_3^2 \text{ ou } P_s = \frac{U_s^2}{R_u} \quad P_s = 5,62 \cdot 10^{-2} \text{ W}$$

c) Puissance P_a fournie par l'alimentation

$$P_a = e_1 I_1 + e_2 I_2 = 15,1 \times 2,5 \cdot 10^{-3} + 14,9 \times 8,2 \cdot 10^{-3} = 15,99 \cdot 10^{-2} \text{ W} \approx 0,16 \text{ W}$$

d) Rendement du dispositif

$$\eta = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance totale fournie}} = \frac{P_s}{P_e + P_a} = \frac{5,62 \cdot 10^{-2}}{4,5 \cdot 10^{-3} + 0,16} = 0,34 = 34 \%$$

Solution P₁₀₋₅

- Si $V_e = 0$ alors $I_B = 0$, donc le transistor est bloqué. Si $V_e = 5 \text{ V}$ alors la jonction émetteur-base est polarisée en direct, donc le transistor est passant. Il sera saturé si

$$I_B \geq I_{B \text{ sat}}$$

- Relation $I_C = f(V_{CE})$

$$\text{On a } E = V_{CE} + R_L I_C \text{ d'où } I_C = \frac{E - V_{CE}}{R_L}$$

- Calcul de $I_{C \text{ sat}}$

Puisque le transistor est saturé : $V_{CE} = V_{CE\text{ sat}} = 0,4 \text{ V}$ d'où

$$I_{C\text{ sat}} = \frac{E - V_{CE\text{ sat}}}{R_L} \simeq \frac{E}{R_L} \simeq 40 \text{ mA.}$$

4- Calcul de I_B nécessaire à la saturation

$$I_{B\text{ sat}} = \frac{I_{C\text{ sat}}}{\beta}; \text{ on prend souvent } I_B \geq \frac{I_{C\text{ sat}}}{\beta_{\min}} \text{ soit } I_B \geq \frac{40 \cdot 10^{-3}}{80} = 0,5 \text{ mA.}$$

5- Calcul de R_B

$$V_e = R_B \cdot I_B + V_{BE}, \text{ lorsque } V_e = 5 \text{ V, d'où } R_B \leq \frac{V_e - V_{BE}}{I_B} = 8,4 \text{ k}\Omega.$$

Si $R_B = 8,2 \text{ k}\Omega$ le transistor sera saturé quelle que soit son amplification en courant

Solution P₁₀₋₆

1) La courbe de variation de la tension de sortie v_s en fonction de la tension différentielle d'entrée ε fait apparaître deux régimes de fonctionnement :
1^{er} régime : entre les points B et C, la tension de sortie v_s est proportionnelle à la tension différentielle d'entrée ε car la courbe est linéaire.

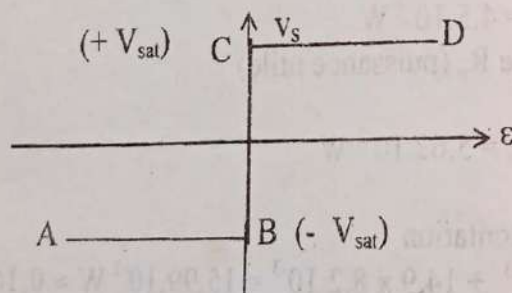
Pour $-\varepsilon_0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0$, l'amplificateur de tension fonctionne en régime linéaire.

2^{ème} étage : pour $\varepsilon < -\varepsilon_0$ (branche AB) et pour $\varepsilon > +\varepsilon_0$ (branche CD), on constate que la tension v_s est constante.

On a $|v_s| = |v_{\text{sat}}|$, l'amplificateur est saturé.

Remarque pour le lecteur : la tension $|V_{\text{sat}}|$ est légèrement inférieure à la tension d'alimentation V_{CC} de l'A.O à cause des chutes de tension internes.

2) Pour $\varepsilon = 0$ la caractéristique est la suivante :



Solution P₁₀₋₈

1- a) Puissance électrique reçue par la lampe.

$P_\ell = U_{AC} \times I_C = 0,29 \text{ W}$. Cette puissance est très voisine de la puissance nominale : la lampe éclaire donc normalement.

b) Calcul de I_B et I_E

$$I_E = I_B + I_C \text{ (Loi des nœuds); or } I_B = \frac{I_C}{\beta} = 1,8 \text{ mA. et } I_E = I_C \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 91,8 \text{ mA.}$$

2- Calcul de U_{PN} , U_{MB} et U_{LM} .

$$\bullet U_{PN} = E - r I_E = 4,2 \text{ V}; \quad U_{MB} = R_{MB} \times I_B = 1,8 \text{ V}$$

$$U_{PN} = U_{PA} + U_{AL} + U_{LM} + U_{MB} + U_{BE} + U_{EN}$$

$$\text{or } U_{PA} = U_{AL} = U_{EN} = 0 \text{ d'où } U_{LM} = U_{PN} - U_{MB} - U_{BE} = 1,8 \text{ V}$$

$$U_{LM} = X \cdot I_B \text{ d'où } X = \frac{U_{LM}}{I_B} = 1000 \, \Omega.$$

3- Démonstration de $P_e = U_{BE} \cdot I_B + U_{CE} \cdot I_C$ et calcul de U_{CE} .

$$U_{PN} = U_{AC} + U_{CE} \text{ d'où } U_{CE} = U_{PN} - U_{AC} = 1,0 \, \text{V}.$$

$$P_e = U_{BP} I_B + U_{P'E} I_E + U_{CP'} I_C \text{ or } I_E = I_B + I_C \text{ d'où}$$

$$P_e = U_{BP} I_B + U_{P'E} (I_B + I_C) + U_{CP'} I_C = (U_{BP} + U_{P'E}) I_B + (U_{P'E} + U_{CP'}) I_C$$

$$\text{Finalement } P_e = U_{BE} I_B + U_{CE} I_C.$$

$$\text{A.N : } P_e = (0,6 \times 1,8 \cdot 10^{-3}) + (1 \times 9 \cdot 10^{-2}) = 91 \cdot 10^{-3} \, \text{W}.$$

4- Puissance calorifique dissipée et l'écart $\theta_T - \theta_A$

$$\text{En régime permanent : } P_{\text{dissipée}} = P_e = 91 \cdot 10^{-3} \, \text{W}$$

$$P_{\text{dissipée}} = \lambda (\theta_T - \theta_A) \text{ d'où } \theta_T - \theta_A = \frac{P_{\text{dissipée}}}{\lambda} = 13 \, \text{K} = 13^\circ \text{C}$$

5- Calcul de P_e .

$$P_{\text{emax}} = \lambda (\theta_{T\text{max}} - \theta_A) = 7 \cdot 10^{-3} (100 - 20) = 560 \, \text{mW}.$$

Solution P₁₀₋₉

1- Calcul de I_E , I_1 et I_B

$$J_Z = U_{BE} + R_E I_E \text{ d'où } I_E = \frac{U_Z - U_{BE}}{R_E} = 27,5 \, \text{mA}.$$

$$J = R I_1 + U_Z \text{ d'où } I_1 = \frac{U - U_Z}{R} = 6,90 \, \text{mA}.$$

$$I_E = I_B + I_C = (\beta + 1) I_B \text{ d'où } I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = 0,34 \, \text{mA}.$$

2- Démonstration de l'expression de I_C

$$I_C = I_E - I_B = I_E - \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_E \text{ or } I_E = \frac{U_Z - U_{BE}}{R_E} \text{ d'où } I_C = \frac{\beta}{\beta + 1} \left(\frac{U_Z - U_{BE}}{R_E} \right) I_C = 27,2 \, \text{mA}$$

3- Calcul de I_2 et P_D

$$I_2 = I_1 - I_B = 6,56 \, \text{mA} ; P_D = U_Z \cdot I_2 = 151,2 \, \text{mW}.$$

5- La valeur limite de R_C

$U_{CE} = U - R_C I_C - R_E I_E$. Le transistor fonctionne en état non saturé si $U_{CE} > 0,2 \, \text{V}$ soit :

$$U - R_C I_C - R_E I_E > 0,2 \text{ d'où } R_C < \frac{U - R_E I_E - 0,2}{I_C} ; R_C < 526 \, \Omega$$

6- Calcul de P_T .

Puisque $R_C = 200 \, \Omega$ alors le transistor n'est pas saturé.

$$P_T = U_{CE} \cdot I_E + U_{BE} I_B \text{ or } U_{CE} = U - R_C I_C - R_E I_E \simeq 9,1 \, \text{V d'où } P_T \simeq 249 \, \text{mW}.$$

Solution P₁₀₋₁₀

1- Expression de U_S

$$E = R_1 I_1 \text{ et } -U_S = R_2 I_2 = R_2 I_1 \text{ d'où } U_S = -\frac{R_2}{R_1} E. \text{ La bonne réponse est donc d)}$$

$$U_S = -9 \, \text{V}.$$

On remarque que $|U_S| < V_{\text{sat}}$; donc l'A.O. fonctionne bien en régime linéaire.
 2- Calcul des puissances électriques.

$$P_1 = \frac{E^2}{R_1} = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ W} ; P_2 = \frac{U_S^2}{R_2} = 13,5 \text{ mW} ; P_3 = 0 ; P_u = \frac{U_S^2}{R_u} = 8,1 \text{ mW}$$

$$P_g = E I_1 = 2,25 \text{ mW}.$$

3- Comparaison

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_u = 23,85 \text{ mW} > P_g$$

La différence : $(P_1 + P_2 + P_3 + P_u) - P_g$ est fournie par l'alimentation continue qui assure le fonctionnement de l'A.O.

4- a) Expression de I_S
 $U_S = -R_u I_u$ d'où $I_u = -\frac{U_S}{R_u}$ or $I_S = I_u + I_2 = -\frac{U_S}{R_u} - \frac{U_S}{R_2}$ soit $I_S = -U_S \left(\frac{1}{R_u} + \frac{1}{R_2} \right)$

b) Choix de la valeur de R_u

D'après le texte, il faut $I_S < 25 \text{ mA}$: Ceci n'est possible que si R_u n'est pas trop faible.

• Valeur minimale.

A la limite ; $R_u \approx 383 \Omega$ avec $I_S = 25 \cdot 10^{-3} \text{ A}$; $U_S = -9 \text{ V}$; $R_2 = 6 \cdot 10^3 \Omega$.

Il faut donc choisir $R_u > 383 \Omega$.

(P₁₁)

SOLUTIONS DES EXERCICES PROPOSES SUR LES CONDENSATEURS

Solution P₁₁-1

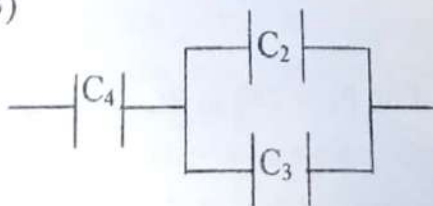
1) Les deux condensateurs sont en série.

On a : $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ d'où $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 1,33 \mu\text{F}$

2) Les deux condensateurs sont en parallèle

On a : $C = C_1 + C_2 = 6 \mu\text{F}$

3)



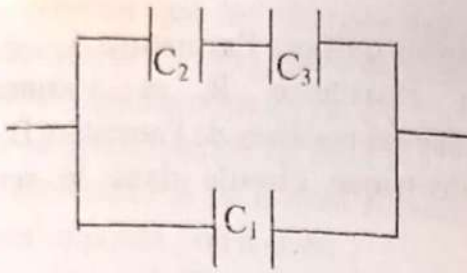
Soit C' la capacité équivalente de l'association C_2 et C_3

on a : $C' = C_2 + C_3 = 10 \mu\text{F}$

Si C est la capacité équivalente de l'association C_2 , C_3 et C_4 , on a :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C'} = \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_2 + C_3} \quad \text{d'où } C = 5 \mu\text{F}$$

4)



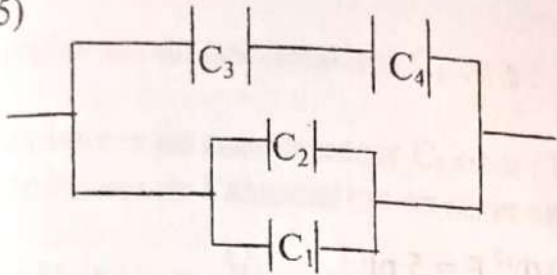
Si C' est la capacité équivalente de l'association en série de C_2 et C_3 , on a :

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \text{ d'où } C' = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} = 2,4 \mu\text{F}$$

Si C est la capacité équivalente de l'association C_1, C_2, C_3 on a :

$$C = C_1 + C' = 4,4 \mu\text{F}$$

5)



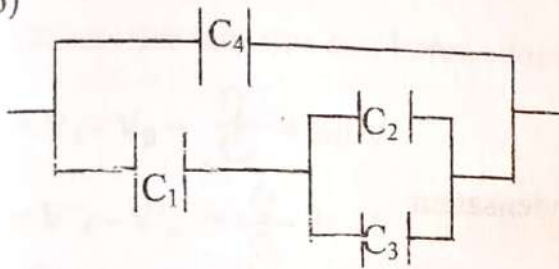
Si C' est la capacité équivalente de l'association en série de C_3 et C_4 , on a :

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} \text{ d'où } C' = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} = 3,75 \mu\text{F}$$

C, C_1 et C_2 sont en parallèle ; la capacité C du condensateur équivalent est :

$$C = C_1 + C_2 + C' = 9,75 \mu\text{F}$$

6)



Soit C' la capacité du condensateur équivalent à l'association en parallèle de C_2 et C_3 . On a :

$$C' = C_2 + C_3 = 10 \mu\text{F}$$

C' et C_1 sont en série. Si C'' est la capacité du condensateur équivalent, on a :

$$\frac{1}{C''} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C'} \text{ d'où } C'' = \frac{C_1 C'}{C_1 + C'} = \frac{20}{12} = \frac{5}{3} \mu\text{F}$$

C_4 et C'' sont en parallèle. Si C est la capacité du condensateur équivalent à toute l'association, on a : $C = C_4 + C'' = 10 + \frac{5}{3} = 11,66 \mu\text{F}$

Solution P₁₁-2

1) Charge portée par l'armature B

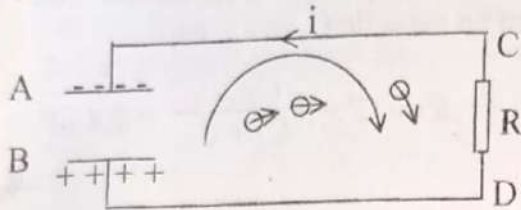
$$q_B = q_A = -2,5 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

2) Différence de potentiel entre A et B

$$V_A - V_B = \frac{q_A}{C} = \frac{-2,5 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-6}} = -125 \text{ V}$$

3) Énergie emmagasinée dans le condensateur

$$E = \frac{1}{2} C U_{BA}^2 = 1,56 \cdot 10^{-2} \text{ J avec } U_{BA} = V_B - V_A = 125 \text{ V}$$



4) a) Les électrons quittent l'armature A, traversent la résistance R et viennent neutraliser les charges positives de l'armature B. Le courant électrique circule dans le sens contraire.

b) Intensité du courant initial

$$U_{DC} = V_D - V_C = R \cdot i_0 \text{ avec } V_D - V_C = V_B - V_A = 125 \text{ V}$$

$$i_0 = \frac{V_D - V_C}{R} = \frac{125}{100} = 1,25 \text{ A}$$

Solution P₁₁₋₃

1) Capacité C du condensateur

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} = \frac{1}{36 \pi \cdot 10^9} \times 7,2 \times \frac{3,14 \cdot 10^{-4}}{0,4 \cdot 10^{-2}} = 5 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 5 \text{ pF}$$

2) a) Champ électrostatique entre les armatures

$$E = \frac{V_A - V_B}{d} = \frac{100}{0,4 \cdot 10^{-2}} = 25000 \text{ V/m}$$

b) Charge prise par le condensateur

$$Q = C(V_A - V_B) = 5 \cdot 10^{-10} \text{ C}$$

c) Energie électrostatique emmagasinée par le condensateur

$$E = \frac{1}{2} C U^2 = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ J}$$

3) Tension maximale à appliquer au condensateur

$$E_{\max} = 60 \text{ kV/m} = 60000 \text{ V/m}$$

$$E_{\max} = \frac{U_{\max}}{d} \text{ d'où } U_{\max} = E_{\max} \cdot d = 60000 \times 0,4 \cdot 10^{-2} = 240 \text{ V}$$

4) * Nouvelle valeur de la capacité C'.

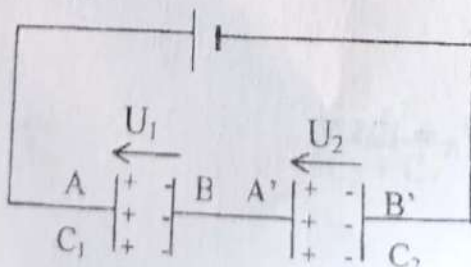
$$C' = \epsilon_0 \frac{S}{d} = \frac{1}{36 \pi \cdot 10^9} \times \frac{3,14 \cdot 10^{-4}}{0,4 \cdot 10^{-2}} = 6,94 \cdot 10^{-13} \text{ F}$$

* La charge du condensateur varie. Sa nouvelle valeur est :

$$Q' = C'(V_A - V_B) = 6,94 \cdot 10^{-11} \text{ C.}$$

Solution P₁₁₋₄

1) a)



Les armatures B et B' sont chargées négativement.

Les armatures A et A' sont chargées positivement.

Montrons que les charges des condensateurs sont égales. Soient Q_1 la charge du condensateur C_1 et Q_2 celle du condensateur C_2 .

Pour le condensateur C_1 on a : $Q_A = Q_1$ et $Q_B = -Q_1$

Pour le condensateur C_2 on a : $Q_{A'} = Q_2$ et $Q_{B'} = -Q_2$

Les armatures A et B sont reliées par un fil de connexion et portent des charges de signes opposés ; on a donc :

$Q_A = -Q_B$ soit $Q_2 = -(-Q_1)$ d'où $Q_2 = Q_1 = Q$

Les condensateurs portent donc la même charge Q

c) Expression de la charge Q en fonction de U , C_1 et C_2

Aux bornes du condensateur C_1 on a : $U_1 = \frac{Q_1}{C_1}$

Aux bornes du condensateur C_2 on a : $U_2 = \frac{Q_2}{C_2}$

Aux bornes de l'association en série on a :

$$U = U_1 + U_2 = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} \text{ avec } Q_1 = Q_2 = Q$$

$$U = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \text{ d'où } Q = \frac{U \cdot C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

d) Valeurs des tensions aux bornes des condensateurs

$$U_1 = V_A - V_B = \frac{Q}{C_1} = 60 \text{ V}$$

$$U_2 = V'_A - V'_B = \frac{Q}{C_2} = 40 \text{ V (ou } U_2 = U - U_1 = 40 \text{ V)}$$

e) Comparaison des énergies emmagasinées par les condensateurs

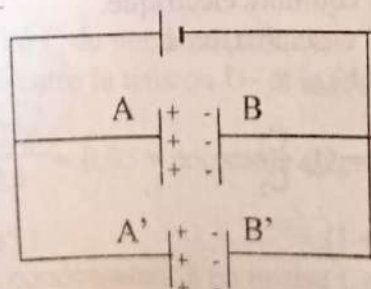
$$\text{Pour le condensateur } C_1 \text{ on a : } E_1 = \frac{1}{2} C_1 U_1^2 = \frac{1}{2} Q U_1 = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

$$\text{Pour le condensateur } C_2 \text{ on a : } E_2 = \frac{1}{2} C_2 U_2^2 = \frac{1}{2} Q U_2 = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Le condensateur C_1 emmagasine plus d'énergie électrostatique que le

$$\text{condensateur } C_2 ; \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{7,2 \cdot 10^{-3}}{4,8 \cdot 10^{-3}} = 1,5 \text{ d'où } E_1 = 1,5 E_2$$

2) a) Les armatures A et A' sont chargées positivement tandis que les armatures B et B' sont chargées négativement



b) Charge prise par les condensateurs C_1 et C_2

Pour le condensateur C_1 on a : $Q_1 = C_1 U = 4 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

Pour le condensateur C_2 on a : $Q_2 = C_2 U = 6 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

c) Capacité C du condensateur équivalent : $C = C_1 + C_2 = 10 \mu\text{F}$

d) Calcul et comparaison des énergies emmagasinées

Pour le condensateur C_1 on a : $E_1 = \frac{1}{2} C_1 U^2 = \frac{1}{2} Q_1 U = 0,02 \text{ J}$

Pour le condensateur C_2 on a : $E_2 = \frac{1}{2} C_2 U^2 = \frac{1}{2} Q_2 U = 0,03 \text{ J}$

Dans cette association, l'énergie emmagasinée par le condensateur C_2 est supérieure celle emmagasinée par le condensateur C_1 .

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{0,03}{0,02} = 1,5 \text{ d'où } E_2 = 1,5 E_1$$

Solution P₁₁₋₅

1) a) Charge portée par l'armature A

$$Q_{0A} = Q_0 = C_1 U_{AB} = 2 \cdot 10^{-6} \times 100 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

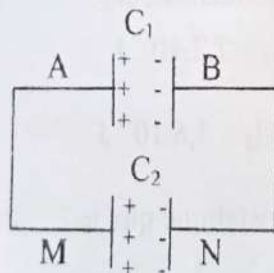
Charge portée par l'armature B

$$Q_{0B} = -Q_0 = -2 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

b) Energie emmagasinée dans le condensateur

$$E_0 = \frac{1}{2} C_1 U_{AB}^2 = \frac{1}{2} Q_0 U_{AB} = 0,01 \text{ J}$$

2) a)



b) Charge portée par chaque condensateur

- Soit Q_0 la charge initiale portée par le condensateur C_1

- Soient Q_1 la charge portée par le condensateur C_1 et Q_2 la charge portée par le condensateur C_2 lorsque le système est à l'équilibre électrique.

- D'après la conservation de la charge de l'ensemble, on a :

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 \text{ avec } Q_1 = C_1 U_{AB} \text{ et } Q_2 = C_2 U_{MN}$$

$$\text{or } U_{AB} = U_{MN} \text{ d'où } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1}{C_2} \text{ soit } Q_1 = Q_2 \frac{C_1}{C_2}$$

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 = \frac{Q_2 C_1}{C_2} + Q_2 = Q_2 \left(\frac{C_1}{C_2} + 1 \right)$$

$$\text{d'où l'on tire } Q_2 = \frac{C_1 Q_0}{C_1 + C_2} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

on déduit $Q_1 = Q_0 - Q_2 = \frac{Q_0 \cdot C_1}{C_1 + C_2} = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

calcul de la tension entre les armatures de chaque condensateur

$$U_{MN} = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} = 40 \text{ V}$$

énergie emmagasinée dans les deux condensateurs

$$\frac{1}{2} C_1 U^2 + \frac{1}{2} C_2 U^2 = \frac{1}{2} (C_1 + C_2) U^2 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ J avec } U = U_{MN} = 40 \text{ V}$$

il n'y a pas eu conservation de l'énergie au cours de l'association des deux condensateurs car $E_f \neq E_0$

perte d'énergie est $E_0 - E_f = 6 \cdot 10^{-3} \text{ J}$

cette différence d'énergie correspond à une dissipation d'énergie sous forme d'effet Joule dans les fils de connexion.

Question P11-6

Pour un amplificateur opérationnel parfait on a : $I^+ = I^- = 0$

au nœud B on a : $I = I_C + I^+ = 0$ donc $I = I_C$.

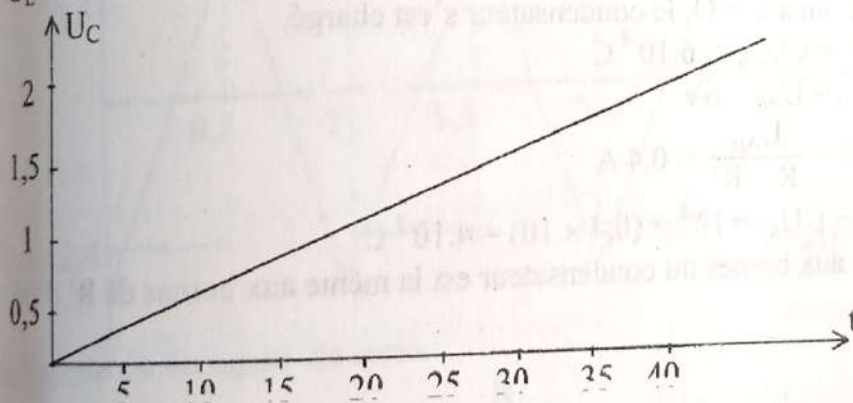
Sachant d'après l'énoncé que l'intensité I du courant délivré par le générateur de tension E est constante ; comme $I = I_C$ alors l'intensité du courant de charge est constante.

Les points S et E⁻ sont reliés par un fil de connexion ; on a alors : $U_S = U_{E^-}$.

Sur le schéma de l'énoncé on a : $U_C = U_{E^+}$

Pour un amplificateur opérationnel parfait on a :

$U_{E^+} = U_{E^-}$ d'où on en déduit que $U_C = U_S$



Calcul de la capacité C du condensateur.

La proportionnalité entre la tension U_C et le temps t . On peut écrire :

$$U_C = k t \text{ avec } k = \frac{\Delta U_C}{\Delta t} = 0,05 = \text{constante de proportionnalité.}$$

alors : $U_C = 0,05 t$

Soit la charge du condensateur à un instant t , on a :

$$Q = C \cdot U_C \text{ d'où } C = \frac{Q}{U_C} = \frac{I \cdot t}{0,05 t} = \frac{I}{0,05} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ F.}$$

Solution P₁₁₋₇

- 1) Lorsqu'on relie A_1 à A_2 et B_1 à B_2 , un mouvement électronique a lieu dans les de jonctions, de A_2 vers A_1 , dans le fil A_1A_2 ; de B_1 vers B_2 dans le fil B_1B_2 . Ces mouvements électroniques s'arrêtent lorsque : $V_{A_1} = V_{A_2}$ et $V_{B_1} = V_{B_2}$ d'où en de régime transitoire ; on a : $(V_{A_1} - V_{B_1}) = (V_{A_2} - V_{B_2}) = U'$
- 2) L'ensemble $(A_1 ; A_2)$ est isolé du reste par les diélectriques et par l'isolant d A_1A_2 : sa charge se conserve.

Il en est de même pour la charge de l'ensemble $(B_1 ; B_2)$

- Avant la connexion, la charge de A_1B_1 est $Q_1 = C_1U_1$
- Après la connexion, la charge de l'ensemble vaut $Q = C_1U' + C_2U'$
- La conservation de la charge s'écrit : $C_1U_1 = C_1U' + C_2U'$ d'où

$$U' = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot U_1 = 36 \text{ V.}$$

- 3) - Avant la connexion, l'énergie électrique emmagasinée est : $W_i = \frac{1}{2} C_1 U_1^2$

- Après la connexion, l'énergie électrique, emmagasinée dans le système est

$$W_f = \frac{1}{2} C_1 U'^2 + \frac{1}{2} C_2 U'^2 \text{ or } U' = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot U_1 \text{ d'où } W_f = \frac{1}{2} \frac{C_1^2}{C_1 + C_2} U_1^2$$

$$\text{- La variation d'énergie est } \Delta W = W_f - W_i = - \frac{C_1 C_2}{2(C_1 + C_2)} U_1^2$$

$$\text{A.N. : } \Delta W = -2,16 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Conclusion : Cette variation est négative, le système perd de l'énergie électrique cette perte correspond à l'apparition de chaleur par effet Joule dans les fils de jonction

Solution P₁₁₋₈

- 1) a) A l'équilibre, on a $I_0 = 0$, le condensateur s'est chargé.

b) La charge $Q_0 = CU_{AB} = 6 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

c) La tension $U_0 = U_{AB} = 6 \text{ V}$

2) a) L'intensité : $I = \frac{U_{AB}}{R + R'} = 0,4 \text{ A}$

b) La charge $Q = CU_{R'} = 10^{-8} \times (0,4 \times 10) = 4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

c) La tension U aux bornes du condensateur est la même aux bornes de R' d'où $U = R'I = 4 \text{ V.}$

(P₁₂)

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR LE MONTAGE DERIVATEUR ET LE MONTAGE INTEGRATEUR

Solution P₁₂₋₁

1) Période du signal : $T = \frac{1}{N} = \frac{1}{1000} = 10^{-3} \text{ s} = 1 \text{ ms}$

2) * Expression de $e(t)$ pour $0 \leq t \leq 0,5 \text{ ms}$

Le signal $e(t)$ croît linéairement de -3 V à $+3$ V ; on a donc une fonction de la forme $e(t) = at + b$ qui vérifie les conditions suivantes :

à $t = 0$, $e(0) = a \times 0 + b = -3$ d'où $b = -3$ V

à $t = 0,5$ ms $= 0,5 \cdot 10^{-3}$ s, $e(0,5 \cdot 10^{-3}) = a \times 0,5 \cdot 10^{-3} + b = 3$ d'où

$$\frac{3 - (-3)}{0,5 \cdot 10^{-3}} = \frac{3 - (-3)}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 12000 \text{ V/s}$$

Pour $0 \leq t \leq 0,5$ ms, l'équation $e(t)$ est : $e(t) = 12000 t - 3$ (t en s, e en V)

Expression de $e(t)$ pour $0,5$ ms $\leq t \leq 1$ ms

Le signal $e(t)$ décroît linéairement de 3 V à -3 V ; son équation est de la forme $e(t) = a't + b'$ avec a' et b' à déterminer

à $t = 0,5 \cdot 10^{-3}$ s on a : $e(0,5 \cdot 10^{-3}) = a' \times 0,5 \cdot 10^{-3} + b' = 3$

à $t = 10^{-3}$ s $= 1$ ms on a : $e(10^{-3}) = a' \times 10^{-3} + b' = -3$

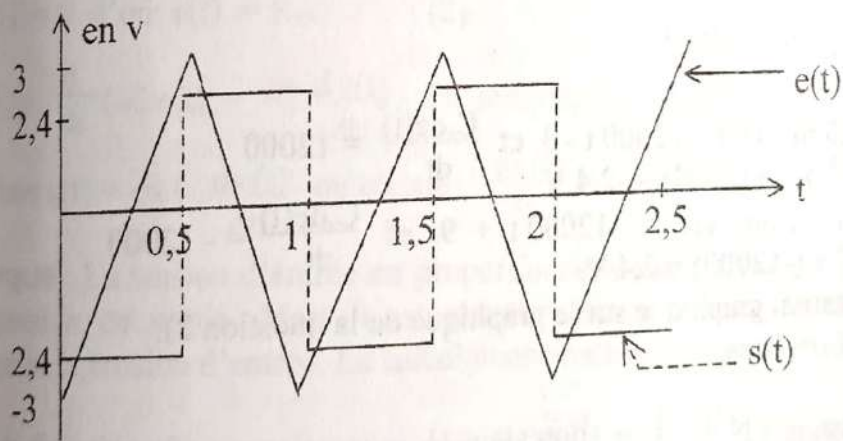
On a donc le système suivant :

$$\begin{cases} 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot a' + b' = 3 \\ 10^{-3} \cdot a' + b' = -3 \end{cases} \quad \text{d'où } a' = -12000 \text{ V/s et } b' = 9 \text{ V}$$

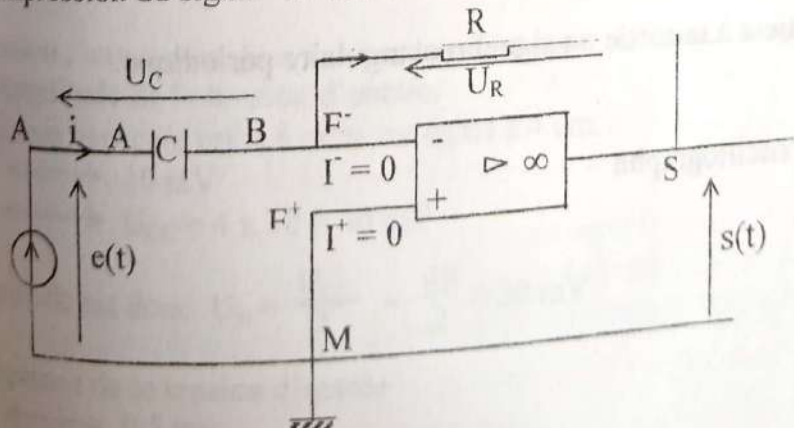
Pour $0,5$ ms $\leq t \leq 1$ ms on a : $e(t) = -12000 t + 9$ (t en s, e en V)

3) Pour la représentation graphique on dresse le tableau suivant :

t en ms	0	0,5	1	1,5	2	2,5
e(t) en V	-3	3	-3	3	-3	3



4) a) Expression du signal de sortie



La masse M est au potentiel zéro ; or E^+ est relié à la masse M donc $U_{E^+} = 0$
 Pour un A.O parfait $U_{E^+} = U_{E^-}$ d'où $U_{E^-} = 0$
 En considérant la maille MACBM on a : $e(t) - U_C = 0$ d'où $U_C = e(t)$
 Si q est la charge de l'armature A , on a :

$$q = C.U_C = C.e(t) \text{ d'où } i = \frac{dq}{dt} = \frac{C.de(t)}{dt} \quad (1)$$

Puisque $I^- = I^+ = 0$ pour un A.O parfait, alors l'intensité du courant qui traverse est encore égale à i .

En considérant la maille MBRSM on a :

$$s(t) + U_R + U_{E^-} = 0 \text{ d'où } s(t) = -U_R = -R i \text{ car } U_{E^-} = 0$$

$$s(t) = -R i ; \text{ or d'après (1) } i = \frac{C.de(t)}{dt} \text{ d'où } s(t) = -R.C \frac{de(t)}{dt}$$

$$\text{On a donc finalement } s(t) = -RC \frac{de(t)}{dt}$$

* Justification du nom "circuit ou montage dérivateur".

La tension de sortie $s(t)$ est proportionnelle à la dérivée par rapport au temps tension appliquée à l'entrée du montage : c'est ce qui justifie le nom de montage dérivateur.

b) Expression numérique du signal de sortie

$$R = 1000 \text{ ohms et } C = 0,2 \mu\text{F} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ F d'où } RC = 2 \cdot 10^{-4} ;$$

$$\text{On a alors } s(t) = -2 \cdot 10^{-4} \frac{C.de(t)}{dt}$$

$$\text{* Pour } 0 \leq t \leq 0,5 \text{ ms, } e(t) = 12000 t - 3 \text{ et } \frac{C.de(t)}{dt} = 12000$$

$$\text{d'où } s(t) = -2 \cdot 10^{-4} \times (+12000) = -2,4 \text{ V}$$

$$\text{* Pour } 0,5 \text{ ms} \leq t \leq 1 \text{ ms, } e(t) = -12000 t + 9 \text{ et } \frac{C.de(t)}{dt} = -12000$$

$$\text{d'où } s(t) = -2 \cdot 10^{-4} \times (-12000) = 2,4 \text{ V}$$

c) Voir représentation graphique sur le graphique de la question 2).

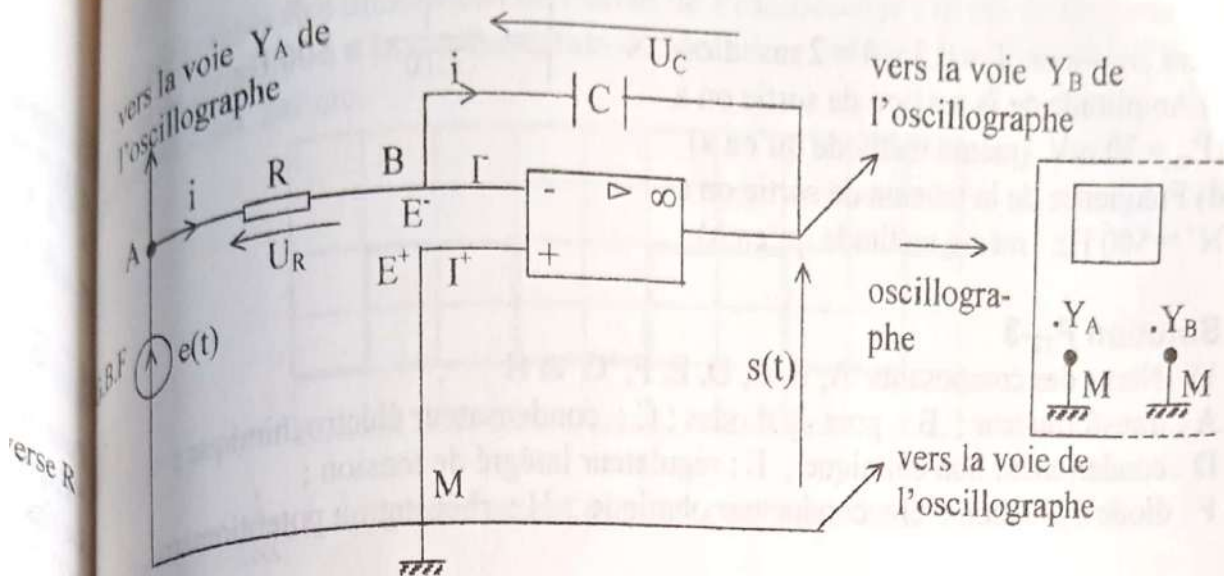
d) Période $T = 1 \text{ ms}$

$$\text{Fréquence } N = \frac{1}{T} = 1000 \text{ Hz}$$

Forme : on obtient à la sortie un signal rectangulaire périodique.

Solution P₁₂-2

1) Branchement de l'oscilloscope



2) Expression de $e(t)$ en fonction de R , C et $\frac{ds(t)}{dt}$

La masse M est au potentiel zéro. E^+ est relié à la masse ; on a donc $U_{E^+} = 0$. Comme $U_{E^+} = U_{E^-}$ alors $U_{E^-} = 0$; E^- est donc à la masse.

Au nœud E^- , $I = 0$ d'où $i = i'$

En considérant la maille $MSCE^-M$ on a :

$$s(t) + U_C = 0 \text{ avec } U_C = \frac{q(t)}{C} \text{ d'où } s(t) = -\frac{q(t)}{C} \text{ soit } q(t) = -C.s(t) \quad (1)$$

En considérant la maille $MBRAM$ on a :

$$e(t) - R.i = 0 \text{ d'où } e(t) = R.i \quad (2)$$

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}(-C.s(t)) = -C \frac{ds(t)}{dt} \text{ En remplaçant } i \text{ dans } (2)$$

$$\text{On obtient } e(t) = -R.C. \frac{ds(t)}{dt} \text{ ou encore } \frac{ds(t)}{dt} = -\frac{e(t)}{RC}$$

Remarque : La tension d'entrée est proportionnelle à la dérivée par rapport au temps de la tension de sortie. Mais il est question de déterminer la tension de sortie connaissant la tension d'entrée. Le calcul mathématique qui permet de

trouver la fonction $s(t)$ connaissant sa dérivée $\frac{ds(t)}{dt} = -\frac{e(t)}{RC}$ s'appelle une

intégration ; voilà pourquoi le montage est appelé montage intégrateur.

3) a) Amplitude de la tension d'entrée.

La distance verticale crête à crête est égale à 4 cm.

$$1 \text{ cm} \longleftrightarrow 10 \text{ mV}$$

$$4 \text{ cm} \longleftrightarrow U_{CC} = 4 \times 10 = 40 \text{ mV}$$

$$\text{L'amplitude est donc } U_m = \frac{U_{CC}}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ mV}$$

b) Fréquence de la tension d'entrée

$$1 \text{ cm} \longleftrightarrow 0,5 \text{ ms}$$

4 cm $\longleftrightarrow$ $T = 0,5 \times 4 = 2 \text{ ms}$ d'où $N = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ Hz}$

c) Amplitude de la tension de sortie on a :

$U'_m = 30 \text{ mV}$ (même méthode qu'en a)

d) Fréquence de la tension de sortie on a :

$N' = 500 \text{ Hz}$ (même méthode qu'en b)

Solution P₁₂₋₃

1) Noms des composants A, B, C, D, E, F, G et H

A : transformateur ; B : pont de diodes ; C : condensateur électrochimique ;
D : condensateur non chimique ; E : régulateur intégré de tension ;
F : diode à jonction ; G : conducteur ohmique ; H : rhéostat ou potentiomètre.

2)

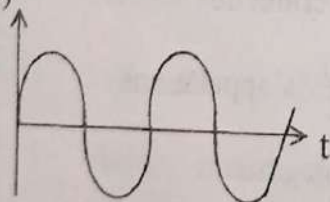
- A est un transformateur. Dans ce montage il permet de transformer la tension alternative (220 V) du secteur en une autre tension alternative de même fréquence et de valeur plus faible.
- B est un pont de diodes. Il permet de redresser la tension alternative obtenue à la sortie du transformateur : on obtient à la sortie du pont, une tension périodique à signe constant.
- Le condensateur C permet le filtrage ou le lissage de la tension redressée : on obtient aux bornes du condensateur C une tension ondulée positive de valeur moyenne positive.
- Le régulateur intégré de tension R. I. T permet d'obtenir une tension parfaitement continue et stable à partir d'une tension ondulée.
- Le potentiomètre H permet de fixer la tension de sortie à une valeur donnée.

3) Les armatures du condensateur C ne sont pas équivalentes : ce condensateur est polarisé. Le condensateur D est un condensateur non chimique ; les armatures sont équivalentes.

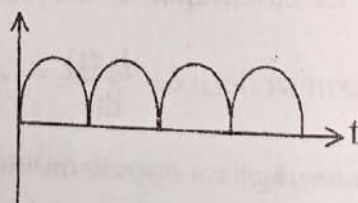
4) a) L'affirmation est vraie.

b) L'affirmation est fausse : le courant circule dans la diode F dans le sens passant.

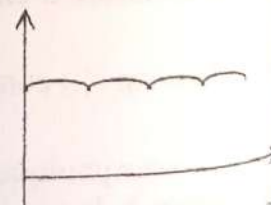
5)



Signal à la sortie de A



Signal à la sortie de B



Signal à la sortie de C

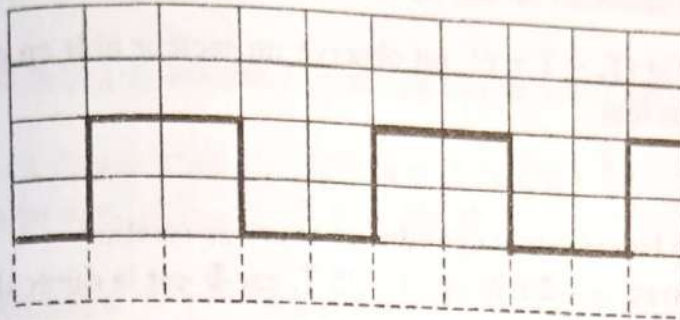
Solution P₁₂₋₄

1) L'étage n°1 est un montage intégrateur

L'étage n°2 est un montage dérivateur

Le montage global est un intégrateur-dérivateur.

En tenant compte des dimensions de l'écran de l'oscilloscope (10 cm de longueur et 8 cm de largeur) on a la représentation ci-dessous en utilisant les sensibilités 2V par cm et 2 ms par cm.



$$u_1(t) = \frac{1}{2RC} \int_0^t u_0(t) \text{ voir rappel de cours pour la méthode}$$

$$u_2(t) = -RC \frac{du_1(t)}{dt} \text{ voir rappel de cours pour la méthode}$$

$$u_2(t) = -RC \frac{d}{dt} (u_1(t)) = -RC \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{1}{2RC} u_0(t) = \frac{u_0(t)}{2}$$

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR LA STROBOSCOPIE

Solution P₁₃₋₁

1) $N_e = pn$; 2) $N = 100 \text{ Hz}$;
 Pour $n = 5 \text{ tours/s}$, on a $N_e = 50 \text{ Hz} = \frac{N}{2}$ d'où $2T = T_e$: on observe une lame unique apparemment immobile ; pour $n = 20 \text{ tours/s}$ on a $N_e = 200 \text{ Hz} = 2N$ d'où $T = 2T_e$: on observe deux lames apparemment immobiles hors de la position d'équilibre ; on peut observer aussi une lame immobile dans la position d'équilibre) ; pour $n = 9,9 \text{ tours/s}$ on a $N_e = 99 \text{ Hz} \approx N$: on observe une lame en mouvement apparent ralenti.
 4) Si x est le nombre de secteurs et N la fréquence d'apparition des secteurs, on a : $N = n'x = N_e$ d'où $x = \frac{N}{n'}$; pour $n' = 33 \frac{1}{3} \text{ tours/min}$, $x = 180$ secteurs.

Solution P₁₃₋₂

1) $N = N_e \Rightarrow \omega = 2\pi N = 628 \text{ rad/s}$
 2) Pour $n = 5 \text{ tr/s}$ on observe un secteur noir immobile ; pour $n = 20 \text{ tr/s}$ on observe deux secteurs noirs apparemment immobiles ; pour $n = 9,5 \text{ tr/s}$ on observe un mouvement apparent ralenti dans le sens du mouvement à la fréquence apparente $N_a = N - N_e = 5 \text{ Hz}$.

Solution P₁₃₋₃

1) $T_e = kT$ d'où $N = kN_e = 60 \text{ k}$ et $\omega = 2\pi N = 120\pi \text{ k} = 376,8 \text{ k rad.s}^{-1}$
 2) $N = N_e = 120 \text{ Hz}$ et $\omega = 2\pi n = 753,6 \text{ rad.s}^{-1}$

- 3) Pour $N_e = 240$ Hz ($T = 2T$) on observe deux secteurs noirs apparemment immobiles diamétralement opposés.
 - Pour $N_e = 360$ Hz ($T = 3T$) on observe trois secteurs équidistants apparemment immobiles.
 - Pour $N_e = 118$ Hz ($T_e = T + \varepsilon$) on observe un secteur noir en mouvement apparent ralenti dans le sens réel.

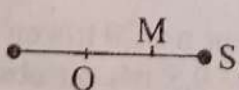
Solution P₁₃-4

- a) Soit θ l'angle balayé par le cylindre au cours de rotation.
 On a $\theta = \omega t$ avec $\omega = 2\pi n$ et $t = 25 T$ car T est la durée d'une oscillation.
 On a donc $\theta = 2\pi n \cdot 25T$.
 $L = R\theta = 50 R \pi n T$ d'où $T = \frac{L}{50 R \pi n} = 0,08$ s.
 La fréquence N vaut : $N = \frac{1}{T} = 12,5$ Hz.
 b) On sait que $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}}$ d'où $k = \frac{2\pi^2 m}{T^2} = 308,11$ N.m⁻¹

(P₁₄)

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR LES INTERFERENCES A LA SURFACE DE L'EAU

Solution P₁₄-1

- 1) a) On observe entre les points S_1 et S_2 deux types de lignes ayant la forme d'hyperboles de foyers S_1 et S_2 , les unes, surelevées et claires alternant avec les autres légèrement plus basses et sombres.
 b) Les sources S_1 et S_2 étant en phase, le point M appartient à une frange d'amplitude maximale si $d_2 - d_1 = k\lambda$ et à une frange d'amplitude nulle si $d_2 - d_1 = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$.
 M_1 appartient à une frange d'amplitude nulle, M_3 à une frange d'amplitude maximale ; M_2 n'appartient ni à une frange d'amplitude maximale ni à une frange d'amplitude nulle.
 c) $d'_2 + d'_1 = S_1 S_2$; $d'_1 = 2,5\lambda$ d'où $d'_1 = 0,4$ cm, $d'_2 = 3,4$ cm.
 2) a)  $d_2 = S_2 O + x$; $d_1 = S_1 O - x$; $d_2 - d_1 = k\lambda = 2x$
 d'où $x = \frac{k\lambda}{2}$; $x_{(k+1)} - x_{(k)} = \frac{\lambda}{2}$; ces points sont au nombre de 7.
 b) $x = (2k + 1)\frac{\lambda}{4}$; ces points sont au nombre de 6 (à déterminer).

Exercice P₁₄₋₂

1) Ecrire la condition d'obtention des points en état de vibration maximale.

$$d_2 - d_1 = k\lambda$$

 Poser $-S_1S_2 < k\lambda < S_1S_2$; on obtient 7 points en état de vibration maximale

$$d_2 = S_2O + x; d_1 = S_1O = x \text{ d'où } d_2 - d_1 = 2x = k\lambda \text{ soit } x = \frac{k\lambda}{2}$$

Les positions sont en mm : -27, -18, -9, 0, 9, 18, 27

 2) Amplitude maximale si $\frac{d_2 - d_1}{\lambda} = k$ et nulle si $\frac{d_2 - d_1}{\lambda} = k + \frac{1}{2}$

 Pour M_1 on a $\frac{d_2 - d_1}{\lambda} = 1,5$; M_1 est un point au repos

 Pour M_2 on a $\frac{d_2 - d_1}{\lambda} = -2$; M_2 vibre avec une amplitude maximale

 Pour M_4 on a $\frac{d_2 - d_1}{\lambda} = 1,72$; M_4 n'est ni au repos ni un point d'amplitude maximale.

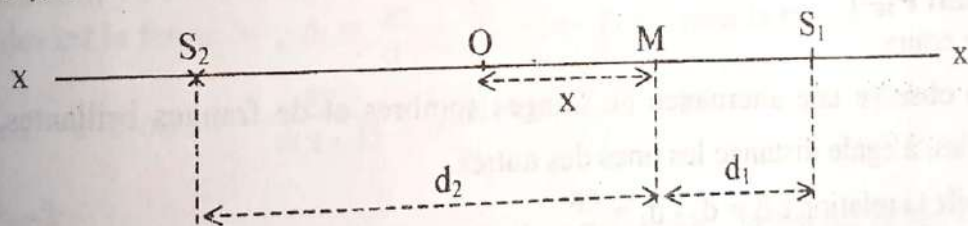
 Pour M_3 on a $\frac{d_2 - d_1}{\lambda} = 1,5$; M_3 est un point au repos

 3) Les points M_1 et M_3 $d_2 - d_1 = 1,5\lambda$ et $d_2 + d_1 = S_1S_2$ d'où

$$d_2 = \frac{1,5\lambda + S_1S_2}{2} = 4,35 \text{ cm et } d_1 = 1,65 \text{ cm.}$$

 Solution P₁₄₋₃

1)



$$S_2O = S_1O = l; S_2M = d_2 = l + x; S_1M = d_1 = l - x$$

$$d_2 - d_1 = l + x - (l - x) = 2x$$

 Pour les points en état de vibration maximale on a : $d_2 - d_1 = 2x = k\lambda$ d'où $x = \frac{k\lambda}{2}$

$$\text{Pour les points M immobiles on a : } d_2 - d_1 = 2x = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\text{d'où } x = (k + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{2} = (2k + 1)\frac{\lambda}{4}$$

$$2) a) MS_2 - MS_1 = 2 \times 12 \text{ mm} \longrightarrow x = 6 \text{ mm.}$$

$$M'S_2 - M'S_1 = 2x' = 36 \text{ mm} \longrightarrow x' = 18 \text{ mm.}$$

 Que la n^{ème} frange soit brillante ou sombre on a :

$$x_{n+3} - x_n = x' - x = 10 - 6 = (n + 3)\frac{\lambda}{2} - n\frac{\lambda}{2} = 3\frac{\lambda}{2} \text{ d'où } \lambda = 8 \text{ mm.}$$

$$V = \lambda N = 0,8 \text{ m.s}^{-1}$$

b) $\frac{x}{\lambda} = \frac{6}{8}$ d'où $x = \frac{6\lambda}{8} = \frac{3\lambda}{4} = (2+1)\frac{\lambda}{4}$; cette expression est de la

forme $x = (2k+1)\frac{\lambda}{4}$ avec $k = 1$; la frange envisagée est donc une frange de

mouvement nul. C'est la 2^{ème} frange de mouvement nul comptée à partir de O car $k=1$.

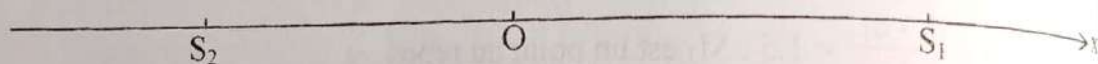
4) Nombre de nœuds : $-1 \leq x \leq 1 \Rightarrow -1 \leq (k + \frac{1}{2}) \frac{\lambda}{2} \leq 1 \Rightarrow -\frac{2l}{\lambda} - \frac{1}{2} \leq k \leq \frac{2l}{\lambda} - \frac{1}{2}$.

On a $k = \{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ soit 10 nœuds.

Nombre de ventres : $-1 \leq k \frac{\lambda}{2} \leq 1$ d'où $k = \{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ soit 9 ventres.

Position des nœuds $x = (k + \frac{1}{2}) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow x \in \{-18, -14, -10, -6, -2, 2, 6, 10, 14, 18\}$ x en mm.

Représentation :



(P₁₅)

SOLUTIONS DES EXERCICES SUR LES INTERFERENCES LUMINEUSES

Solution P₁₅-1

1) Voir cours

2) On observe une alternance de franges sombres et de franges brillantes, presque parallèles, à égale distance les unes des autres.

3) Etablir la relation : $\Delta = d_2 - d_1 = \frac{ax}{D}$

4) $x_k = (2k+1)\frac{\lambda D}{2a}$; montrer que $x_{k+1} - x_k = \frac{\lambda D}{a} = 1,2 \text{ mm}$; cette distance est appelée interfrange i .

5) $x_k = k \frac{\lambda D}{a} = ki$; $d = 15i - 3i = 12i = 14,4 \text{ mm}$; entre la frange centrale

et le milieu de la 11^{ème} frange obscure on a $d' = (2 \times 10 + 1) \cdot \frac{1,2}{2} = 12,6 \text{ mm}$.

6) $i' = \frac{\lambda' D}{a} = \frac{C' TD}{a} = \frac{CTD}{na} = \frac{\lambda D}{na} = \frac{i}{n} = 0,9 \text{ mm}$.

7) Déplacement de la frange centrale du côté de la lame de $x_0 = \frac{eD(n-1)}{a} = 50 \text{ mm}$.

8) Déplacement de la frange centrale dans le sens contraire à celui de la source

de $x = \frac{yD}{d} = 5 \text{ mm}$.

On observe une frange centrale nette et brillante puis une large plage de franges moins nettes se terminant par une frange nette et brillante qui correspond à la coïncidence des franges brillantes des deux systèmes.

$$x_1 = \frac{k_1 \lambda_1 D}{a} ; \quad x_2 = \frac{k_2 \lambda_2 D}{a} ;$$

$$x_1 = x_2 \Rightarrow \frac{k_1}{k_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{0,55}{0,75} = \frac{11}{15} ; \text{ il y a coïncidence entre la } 11^{\text{ème}}$$

frange brillante de λ_1 et la $15^{\text{ème}}$ frange brillante de la radiation de longueur

$$\text{d'onde } \lambda_2 \text{ à la distance } x = \frac{11 \lambda_1 D}{a} = 1,65 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

en

10) On observe une frange centrale blanche et autour d'elle des franges plus ou moins brillantes aux bords plus ou moins nets (franges irisées). Plus loin on a un blanc sale appelé blanc d'ordre supérieur qui correspond à la coïncidence de la majorité des radiations qui composent la lumière blanche. On a 5 franges obscures : $N = 4,125 \cdot 10^{14}$ Hz.

> x

Solution P₁₅₋₂

1) a) On observe des raies alternativement brillantes et sombres avec en O une frange brillante.

$$b) i = \frac{\lambda d}{a} \text{ or } 8 i = 1 \text{ d'où } \lambda = 0,6 \mu\text{m.}$$

2) a) Déplacement vers le bas de 10 mm.

$$b) \text{ On place devant la fente } S_1 ; \Delta = \frac{ay}{d} + \frac{ax}{D} - (n-1)e ; \text{ pour la frange}$$

e

$$\text{centrale on a } x = 0 \text{ d'où } e = \frac{ay}{d(n-1)} = 0,01 \text{ mm.}$$

Solution P₁₅₋₃

1) On observe sur l'écran une série de raies alternativement brillantes et sombres, presque parallèles entre elles, parallèles aux fentes, équidistantes les unes des autres et ayant pratiquement la même largeur.

$$2) a) 1 = \frac{N \lambda D}{a} ; \quad \lambda = \frac{a l}{N D} = 0,6 \mu\text{m} ; \quad b) f = 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$c) 0,1 : 1,5 : 2,5 : 3,5 \quad \lambda D = 2,5 \text{ mm}$$

$$3) n_0 = \frac{I N'}{I' N} = 1,33$$

$$4) a) \text{ Montrer que } \Delta = \frac{ax}{D} + \frac{ay}{d} ;$$

$$b) \Delta = k \lambda \text{ d'où } x = \frac{k \lambda D}{a} - \frac{y D}{d} ; \text{ pour } y = 0, x' = k \frac{\lambda D}{a} ; \text{ si } x_0 \text{ est le déplacement, on a } x_0 = x - x' = - \frac{y D}{d} \text{ les franges se déplacent dans le sens}$$

contraire à celui du déplacement de la source d'une distance $|x_0| = \frac{yD}{d} = 4 \text{ mm}$.

5) a) $t_1 = \frac{S_1 M - e}{C} + \frac{e}{V} = \frac{S_1 M + e(n-1)}{C}$ avec $n = \frac{C}{V}$;

b) $t_2 = \frac{S_2 M}{C}$; c) $\Delta = \frac{ax}{D} - e(n-1)$;

d) $e = \frac{ax}{D(n-1)} = 27 \mu\text{m}$;

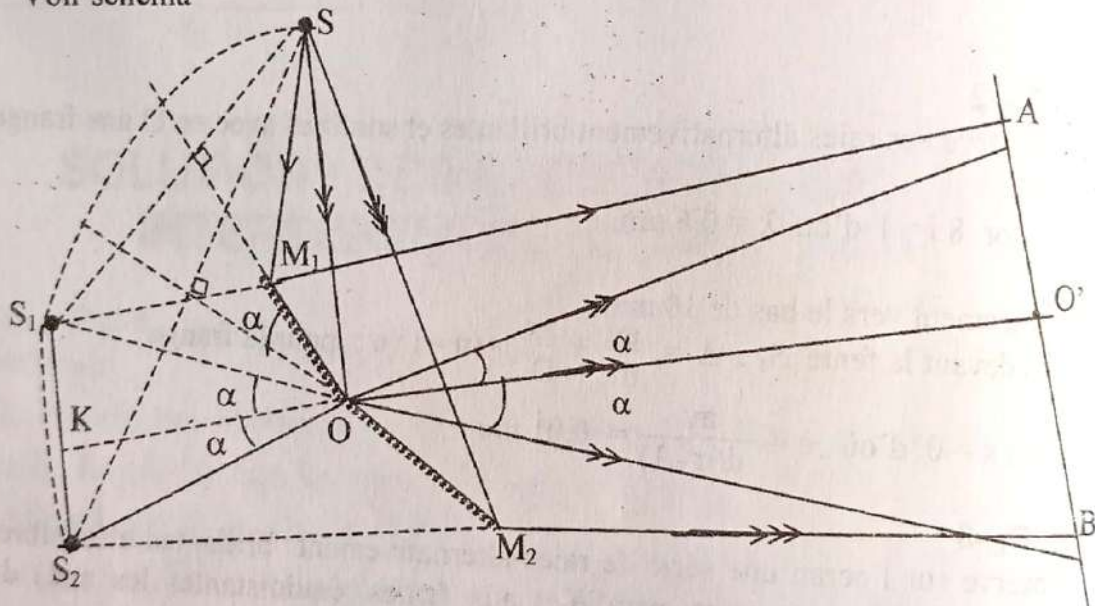
6) b) $x_1 = \frac{11 \lambda_1 D}{a}$ et $x_2 = \frac{13 \lambda_2 D}{a}$

$x_1 = x_2$ d'où $\lambda_2 = \frac{11 \lambda_1}{13} = 0,55 \mu\text{m}$.

7) Les longueurs d'onde sont : $0,733 \mu\text{m}$; $0,600 \mu\text{m}$; $0,44 \mu\text{m}$.

Solution P₁₅₋₄

1) Voir schéma



Il faut placer l'écran dans la partie hachurée (zone d'interférence). Calcul de la distance $S_1 S_2 = a$

$S_1 K = S_1 O \sin \alpha \approx d \alpha$ car $S_1 O = d$ et $\sin \alpha \approx \alpha$.

$S_1 S_2 = a = 2 S_1 K = 2 d \alpha$.

2) a) Expression de l'interfrange en fonction de λ , D , d et α

$i = \frac{\lambda D'}{a}$ avec $D' = KO' = d + D$ et $a = 2 d \alpha$ ($KO \approx d$) d'où $i = \frac{\lambda(D+d)}{2 d \alpha}$

b) Expression de X

$L = AB = X = 2 AO'$

En considérant le triangle $OO'A$ on a $\tan \alpha = \frac{O'A}{OO'} = \frac{O'A}{D}$
d'où $O'A = D \tan \alpha \approx D \alpha$ car $\tan \alpha \approx \alpha$.

On a alors $X = 2AO' = 2D\alpha$

c) Valeur de α : $X = 2D\alpha$ d'où $\alpha = \frac{X}{2D} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{2 \times 2,50} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$

Longueur d'onde λ

$$X = 5i = 5 \frac{\lambda(D+d)}{2d\alpha} \text{ d'où } \lambda = \frac{2d\alpha X}{5(D+d)} = 0,75 \mu\text{m}$$

3) Valeur de l'interfrange dans le liquide : $i' = \frac{i}{n} = 1 \text{ mm}$ (à démontrer)

* Pour les franges sombres - $\frac{X}{2} \leq (k + \frac{1}{2}) i' \leq \frac{X}{2}$

$$\text{soit } -\frac{X}{2i'} - \frac{1}{2} \leq k \leq \frac{X}{2i'} - \frac{1}{2} \Rightarrow -4,25 \leq k \leq 3,25$$

$k \in \{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$: on obtient 8 franges sombres.

* Pour les franges brillantes, $\frac{X}{2} \leq ki' \leq \frac{X}{2}$ soit $-\frac{X}{2i'} \leq k \leq \frac{X}{2i'} \Rightarrow$

$-3,75 \leq k \leq 3,75$; $k \in \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$: on obtient 7 franges brillantes.

4) a) $x_n = 8,4n$ (en mm) ; b) pour $n = 6$, on a : $x_6 = 50,4 \text{ mm}$

Solution P₁₅₋₅

2) $a = S_1S_2 = 2l\sin\alpha$ avec $\sin\alpha \approx \alpha$ on a : $a = 2l\alpha = 10^{-3} \text{ m}$

3) a) $i = \frac{\lambda D'}{a}$ avec $D' = D + l$ d'où $\lambda = \frac{ia}{D+l} = 0,65 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

d) $i' = \frac{i}{n} = 0,86 \text{ mm}$

4) b) $i'' = \frac{\lambda(D+l)}{2l(\alpha + \varepsilon)}$ or $i = \frac{\lambda(D+l)}{2l\alpha}$ d'où $\frac{i''}{i} = \frac{\alpha}{\alpha + \varepsilon}$

$$\text{soit } \varepsilon = \alpha \frac{i - i''}{i''} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

5) b/ $x = (k + \frac{1}{2}) \lambda \frac{(D+l)}{a}$ d'où $\lambda = \frac{ax}{(D+l)(k + 1/2)}$;

$$0,4 \cdot 10^{-6} < \lambda < 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ d'où } \frac{ax}{0,8 \cdot 10^{-6}(D+l)} - \frac{1}{2} < k < \frac{ax}{0,4 \cdot 10^{-6}(D+l)} - \frac{1}{2}$$

soit $8,87 < k < 18,75$ Le compte donne $k = 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,$

18 ce qui correspond à 10 radiations éteintes. $\lambda = 0,789 \mu\text{m}$

Solution P₁₅₋₆

1) Pour la 4^{ème} frange sombre à gauche $d_1 = (3 + 0,5) i$; pour la 5^{ème} frange

brillante $d_2 = 5i$ d'où $d = d_1 + d_2 = 8,5 i$ soit $i = \frac{d}{8,5} = 0,6 \text{ mm}$;

$$a = \frac{\lambda D}{i} = 1 \text{ mm}$$

2) b/ en μm on a : 0,67 ; 0,54 ; 0,46 ; 0,4.

Solution P₁₅₋₇

1) Aspect de l'écran

On observe sur l'écran une série de raies alternativement brillantes et sombres, presque parallèles entre elles, parallèles aux fentes, équidistantes les unes des autres et ayant pratiquement la même largeur.

2) Expression de a en fonction de n , D , λ et L

$$L = n \cdot i \text{ avec } i = \frac{\lambda D}{a} = \text{interfrange}$$

$$L = \frac{n \lambda D}{a} \text{ d'où } a = \frac{n \lambda D}{L} = \frac{6 \times 0,589 \cdot 10^{-6} \times 1,2}{6,8 \cdot 10^{-3}} = 0,62 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

3) a) Si l'on augmente a , l'interfrange diminue et le nombre de franges brillantes augmente sur l'intervalle L ; il y a donc resserrement des franges.b) Valeur maximum a_m

$$i = \frac{\lambda D}{a}; \text{ pour } i = 0,1 \text{ mm, on a : } a = a_m$$

$$\text{d'où } a_m = \frac{\lambda D}{i} = \frac{0,589 \cdot 10^{-6} \times 1,2}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 7,068 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

4) Etat lumineux des points M_1 et M_2

Calculons d'abord les différents interfranges

$$i_1 = \frac{\lambda_1 D}{a} = \frac{0,4 \cdot 10^{-6} \times 2,5}{2 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$i_2 = \frac{\lambda_2 D}{a} = \frac{0,48 \cdot 10^{-6} \times 2,5}{2 \cdot 10^{-3}} = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$i_3 = \frac{\lambda_3 D}{a} = \frac{0,6 \cdot 10^{-6} \times 2,5}{2 \cdot 10^{-3}} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Chaque point considéré. Pour une relation donnée, appartient à une raie

brillante si $x = ki$ (ou $\frac{x}{i} = k$) et à une raie sombre si $x = (k + \frac{1}{2}) i$
(ou $\frac{x}{i} = k + \frac{1}{2}$)

Etat lumineux du point M_1

$\frac{OM_1}{i_1} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 6$; le point M_1 appartient à la 6^{ème} raie brillante de la radiation de longueur d'onde λ_1 .

$\frac{OM_1}{i_2} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 5$; le point M_1 appartient à la 5^{ème} raie brillante de la

radiation de longueur d'onde λ_2 .

$$\frac{OM_1}{i_3} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{0,75 \cdot 10^{-3}} = 4 ; \text{ le point } M_1 \text{ appartient à la 4}^{\text{ème}} \text{ raie brillante de la}$$

radiation de longueur d'onde λ_3

En conclusion, le point M_1 appartient à une raie brillante issue de la superposition de la 4^{ème} raie brillante de la radiation de longueur d'onde λ_3 , de la 5^{ème} raie brillante de la radiation de longueur d'onde λ_2 et de la 6^{ème} raie brillante de la radiation de longueur d'onde λ_1 .

Etat lumineux du point M_2

$$\frac{OM_2}{i_1} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 9 ; \text{ le point } M_2 \text{ appartient à la 9}^{\text{ème}} \text{ raie brillante de la}$$

radiation de longueur d'onde λ_1 .

$$\frac{OM_2}{i_2} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 7,5 ; \text{ le point } M_2 \text{ appartient à la 8}^{\text{ème}} \text{ raie sombre de la}$$

radiation de longueur d'onde λ_2 .

$$\frac{OM_2}{i_3} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{0,75 \cdot 10^{-3}} = 6 ; \text{ le point } M_2 \text{ appartient à la 6}^{\text{ème}} \text{ raie brillante de la}$$

radiation de longueur d'onde λ_3 .

En conclusion, le point M_2 appartient à une raie brillante issue de la superposition de la 9^{ème} raie brillante de la radiation de longueur d'onde λ_1 et la 6^{ème} raie brillante de la radiation de longueur d'onde λ_3 .

Solution P₁₅₋₈

$$1) L = 20 i = 20 \frac{\lambda D}{a} \quad \text{d'où } a = \frac{20 \lambda D}{L} = 0,4 \text{ mm}$$

$$2) \text{ Pour la 3}^{\text{ème}} \text{ frange brillante } x_1 = \frac{3 \lambda D}{a} ; \text{ pour la 3}^{\text{ème}} \text{ frange sombre}$$

$$x_2 = (2 + 0,5) \frac{\lambda' D}{a} ; \quad x_1 = x_2 \quad \text{d'où } \lambda' = \frac{3 \lambda}{2,5} = 0,600 \mu\text{m}$$

$$3) \lambda' = 7,5 \text{ nm} ; \text{ pour les autres positions } \lambda' = 7,5 n_0 \text{ en nm}$$

3) a/ On observe une frange centrale blanche, quelques franges irisées et du blanc d'ordre supérieur.

b) Spectre continu (sans cannelures) ; on observe toutes les couleurs de la lumière blanche.

a) 5 cannelures.

$$b) z = \frac{y D}{d} = 2,5 \text{ cm.}$$

Solution P₁₅₋₉

$$1) a/ i = \frac{\lambda D}{a} \text{ avec } \frac{a}{2D} = \tan \frac{\alpha}{2} \text{ d'où } i = \frac{\lambda}{2 \tan \alpha/2} = 799,59 \mu\text{m} \approx 0,8 \text{ mm}$$

b) Le système de franges se déplace du côté de S₁ (vers le haut) de

$$x_0 = \frac{e(n-1)D}{a} = 10 \text{ mm.} \quad 2) b/ x = \frac{7 \lambda D}{a} = \frac{8 \lambda' D}{a} = 5,6 \text{ mm.}$$

Solution P₁₅₋₁₀

$$1) \Delta = \frac{ax}{D}$$

$$2) a = 10 \frac{\lambda D}{1} = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$3) x = x' \Rightarrow (2k+1) \frac{\lambda D}{2a} = (2k'+1) \frac{\lambda' D}{2a} \text{ d'où } \lambda' = \frac{(2k+1)\lambda}{2k'+1} = \frac{11 \times 0,59}{9}$$

$$= 0,721 \mu\text{m} (k = 5 \text{ pour la } 6^{\text{ème}} \text{ frange sombre et } k = 4 \text{ pour la } 5^{\text{ème}} \text{ frange sombre}).$$

Fin