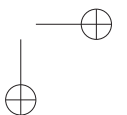
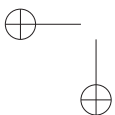


IL1PC



Remerciements

L'auteur et l'équipe de Prepamath Éditions tiennent à remercier Frédéric Masset, Jean-Côme Charpentier, Bruno Pelé et Stéphane Pasquet pour l'aide précieuse qu'ils ont apportée à cet ouvrage.

Illustrations : Patrick Doan, Anna Michalak
Coordination éditoriale : François Déliac
Conception couverture : Simon Geliot

Votre avis nous intéresse : contact@prepamath.fr

© PREPAMATH Éditions 2026
© Éditions NATHAN 2026- ISBN 9782091574165

Avant-propos

Le programme de physique-chimie de la classe de première générale est structuré autour de quatre thèmes : constitution et transformations de la matière (chimie), Mouvement et interactions, Énergie, Ondes et signaux. Y figure également l'étude des notions transverses que sont la mesure des données et leur incertitude, que vous retrouverez au début de cet ouvrage. Très régulièrement, des programmes en langage Python vous permettront d'appliquer vos connaissances en informatique à la résolution de problèmes de physique ou de chimie. Tous ces programmes sont téléchargeables en utilisant l'application Nathan Live (voir mode d'emploi plus loin).

Vous pouvez également les retrouver sur la page :

<http://www.prepamath.fr/IL1PC>.

Dans chaque chapitre, on trouvera :

- un rappel de cours qui s'appuie sur la résolution pratique d'un exercice type, et qui donne de manière concise tout ce que l'on doit retenir du chapitre étudié. Des questionnaires à choix multiples (QCM) ou des vrai-faux (V/F) pour vous assurer d'avoir la maîtrise des concepts fondamentaux du chapitre ;
- des exercices variés et classés par ordre de difficulté croissante, qui ont tous été réellement posés en lycée, sauf pour les parties nouvelles du programme ;
- les corrigés des QCM et exercices, qui sont volontairement très détaillés (plus que ce qui doit être fait par un élève de Première), afin de rendre les raisonnements plus accessibles.

Une grande nouveauté de cette édition est l'apparition de compléments numériques en vidéo. Grâce à l'application Nathan live (*cf* mode d'emploi page 5), ces ressources vous aideront de manière vivante à préciser certains points du cours, à mieux comprendre la résolution d'exercices importants, et à visualiser des expériences.

Pour finir, insistons sur le fait que malgré la vigilance apportée à la conception de cet ouvrage, il se peut que certaines erreurs nous aient échappé. Aussi, nous remercions par avance tout lecteur ou lectrice qui nous fera part de ses remarques et/ou suggestions, afin d'améliorer encore cet ouvrage lors de futures rééditions à l'adresse mail suivante :

contact@prepamath.fr

Très bon entraînement à vous !

Les auteurs

Table des matières

Chap 1	Mesure et incertitude	1
	● Cours	1
	● Interros	11
	● Corrigés	14
	Première partie PHYSIQUE	
Chap 2	Mouvement et interactions	21
	● Cours	21
	● Interros	37
	● Corrigés	47
Chap 3	Pression dans les gaz et les liquides	61
	● Cours	61
	● Interros	68
	● Corrigés	80
Chap 4	Énergie mécanique	101
	● Cours	101
	● Interros	109
	● Corrigés	115
Chap 5	Aspects énergétiques des phénomènes électriques	129
	● Cours	129
	● Interros	136
	● Corrigés	142
Chap 6	Ondes mécaniques	153
	● Cours	153
	● Interros	160
	● Corrigés	165
Chap 7	Images et couleurs	171
	● Cours	171
	● Interros	186
	● Corrigés	197

Deuxième partie
CHIMIE

Chap 8	Détermination de la composition d'un système chimique	219
	● Cours	219
	● Interros	242
	● Corrigés	263
Chap 9	Cohésion de la matière	299
	● Cours	299
	● Interros	316
	● Corrigés	326
Chap 10	Chimie organique	351
	● Cours	351
	● Interros	372
	● Corrigés	387
Chap 11	Devoir de synthèse	413
	● Sujet	413
	● Corrigé	420
Annexes	Classification périodique	425
	Liste des vidéos	427

Méthodes de travail

Tous les conseils qui suivent sont ceux utilisés par un grand nombre de majors (sortis premiers) de Polytechnique ou de l'ENA, par des professionnels de l'organisation et sont également recommandés par de nombreux professeurs. Pour en savoir plus sur le sujet, nous vous conseillons le livre « Comment travailler plus efficacement », par F. Déliac, U. Hadrien, E. Matrullo et E. Maurette, aux Éditions Prepamath.

Faire des « feed-back »

Le « feed-back » est le conseil le plus important et le plus utilisé par ceux qui réussissent brillamment leurs études. Il consiste à contrôler systématiquement, sans s'aider de notes, ce que l'on vient d'apprendre (exercices et cours). Ce contrôle peut se faire mentalement, oralement ou par écrit.

- Dans les transports, essayez de vous rappeler mentalement, et sans vous aider de vos notes, le cours et les exercices vus le matin en classe (feed-back mental).
- Après avoir relu votre cours le soir, essayez de retrouver par écrit les principaux paragraphes et démonstrations sans regarder votre leçon (feed-back écrit).
- Après avoir résolu un problème, prenez 5 minutes pour contrôler par écrit que vous vous rappelez clairement l'énoncé ainsi que la démarche de résolution (feed-back écrit).
- Expliquez à des amis la leçon que vous venez d'apprendre ou l'exercice que vous venez de résoudre : c'est un excellent feed-back oral. Choisissez le type de « feed-back » qui vous convient le mieux et faites-en le plus régulièrement possible (après chaque cours et chaque série d'exercices). Pour être efficace, un « feed-back » doit se faire sans l'aide de vos notes. Ainsi, faire des fiches de résumés de cours à partir de vos cahiers ouverts ne constitue nullement un « feed-back ».

Miser sur la qualité

De nombreux témoignages démontrent que pour obtenir de bons résultats, il est préférable de faire un nombre limité d'exercices, mais plus approfondis, que d'en survoler une grande quantité de piètre qualité. Une tendance très répandue consiste à abattre une grande quantité d'exercices, à la chaîne, mais superficiellement, en espérant que le jour du contrôle, l'on aura déjà vu ce type de problème et que l'on saura s'en souvenir. Cette méthode est absolument inefficace car la seule manière de se souvenir d'un exercice de mathématiques ou de physique, c'est de l'avoir parfaitement compris et assimilé. Ainsi :

- À la fin d'un problème, prenez 5 à 10 minutes pour essayer de trouver un moyen de le généraliser ou de le compliquer (c'est ce que font souvent les professeurs pour concevoir leurs contrôles écrits) ; trouvez ce que cela pourrait changer dans la solution.
- Prenez également l'habitude, après chaque exercice, de faire un « feed-back » en faisant ressortir la démarche générale et en tissant des liens avec le cours. Bref, il ne faut pas vous contenter de résoudre l'exercice, mais il vous faut lui apporter de la valeur ajoutée et vous interroger sur son contenu.
- Idem pour le cours. Ne vous contentez pas de le parcourir de manière passive. Il vous faut avoir la rigueur d'effacer toutes les zones d'ombre. Pour chaque théorème, il faut vous demander quels types d'exercices son utilisation permettra de résoudre.

Travailler par « couches successives »

Cette méthode, très utile pour les étudiants préparant des examens ou des révisions, peut également être utilisée dès le lycée.

On observe que pour apprendre un gros volume de cours, rien n'est plus inefficace que de l'attaquer de front, de manière linéaire. La bonne manière consiste à d'abord survoler l'ensemble, en ne retenant que la structure, c'est-à-dire les grands titres, ainsi que les noms des paragraphes (première couche, étape devant durer 5 minutes). Dans l'étape suivante (deuxième couche, d'une durée de 10 minutes), on reprend son cours du début en retenant cette fois également les théorèmes et résultats importants. Après cette deuxième couche, on a déjà une idée claire de la structure de l'ensemble du cours. On peut alors aborder la dernière étape (troisième couche) : on reprend son cours au début pour, cette fois-ci, l'étudier en profondeur en apprenant le détail des démonstrations.

Il est à noter que cette méthode peut être également appliquée avec succès à des matières littéraires, ainsi qu'aux révisions du bac de français. Par exemple :

- Pour la préparation d'un contrôle, on commencera par passer en revue rapidement l'ensemble du cours et des exercices du chapitre précédemment étudiés, avant de les réviser en détail. Ainsi aura-t-on développé une compréhension synthétique et claire.
- De même, avant d'aborder un problème volumineux (tel qu'un contrôle écrit), il est préférable de survoler l'ensemble du problème avant de l'attaquer.

Travailler sa rapidité

Pour acquérir de la rapidité, 3 voies sont possibles :

- Prenez l'habitude, en travaillant chez vous, de vous concentrer sur une seule chose à la fois, c'est-à-dire ne pas attaquer un problème ou une dissertation, en

rêvassant à ce que vous pourriez trouver à manger dans le réfrigérateur ou en écoutant de la musique.

- Prenez l'habitude de travailler chez vous dans les mêmes conditions qu'en devoirs surveillés. Le minutage de chacun des exercices de ce livre est fait en ce sens. Cependant, cela ne devrait pas, une fois la résolution faite, vous empêcher d'y réfléchir plus calmement afin de vérifier la bonne assimilation du problème. Si les seuls moments où vous vous pressez sont les contrôles écrits, vous ne deviendrez jamais rapide.
- Essayez de contenir tout votre travail à la maison dans une plage horaire serrée. Engagez-vous, par exemple, à travailler chez vous tous les jours entre 18 h et 20 h et efforcez-vous de ne jamais déborder (quelle que soit votre charge de travail). En effet, si l'on ne se donne pas de limite de temps pour accomplir un travail, l'on a naturellement tendance à le laisser traîner en longueur et à rêvasser. L'étroitesse de la plage horaire vous obligera à ne pas vous endormir et à devenir efficace.

Chapitre

1

Mesure et incertitude

Plan du chapitre

1. Introduction
2. Étude d'une série de mesures

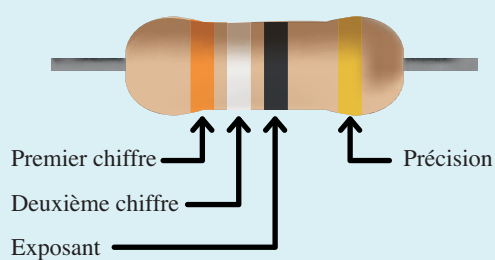
1 Introduction

Exercice type

La résistance R d'un conducteur ohmique est mesurée successivement par 10 élèves, chacun étant équipé de son propre multimètre. Ils obtiennent les mesures suivantes :

155,1 k Ω , 153,1 k Ω , 155,7 k Ω , 155,8 k Ω , 156,1 k Ω ,
154,3 k Ω , 156,8 k Ω , 157,2 k Ω , 155,8 k Ω et 154,9 k Ω .

- 1 Représenter l'histogramme de ces mesures. On prendra des intervalles de largeur 1 k Ω entre 152 et 159 k Ω .
- 2 En utilisant un logiciel tableur, calculer la moyenne et l'écart-type de l'échantillon de ces valeurs.
- 3 Quelle est l'incertitude type ?
- 4 Les fabricants utilisent un code couleur pour spécifier la valeur de la résistance et sa précision. Leur signification est donnée par la figure suivante :



Exercice type (suite)

Pour les deux premiers anneaux (chiffres) :

Couleur	Chiffre
Noir	0
Marron	1
Rouge	2
Orange	3
Jaune	4
Vert	5
Bleu	6
Violet	7
Gris	8
Blanc	9

Pour le multiplicateur :

Couleur	Multiplicateur
Noir	$\times 1 \Omega$
Marron	$\times 10 \Omega$
Rouge	$\times 100 \Omega$
Orange	$\times 1 \text{ k}\Omega$
Jaune	$\times 10 \text{ k}\Omega$
Vert	$\times 100 \text{ k}\Omega$
Bleu	$\times 1 \text{ M}\Omega$
Violet	$\times 10 \text{ M}\Omega$
Gris	$\times 100 \text{ M}\Omega$
Blanc	$\times 1 \text{ G}\Omega$
Or	$\times 0,1 \Omega$

Enfin, pour la précision, nous avons les codes suivants :

Couleur	Tolérance
Marron	$\pm 1\%$
Rouge	$\pm 2\%$
Vert	$\pm 0,5\%$
Bleu	$\pm 0,25\%$
Violet	$\pm 0,1\%$
Gris	$\pm 0,05\%$
Or	$\pm 5\%$
Argent	$\pm 10\%$

Le conducteur ohmique dont les élèves ont mesuré la résistance a l'aspect suivant :



Ceci est-il compatible avec les résultats de leurs mesures ?

- 5 À votre avis, quelle est la raison de la dispersion des résultats des mesures des élèves ?

Voir corrigé page 9

MESURE ET INCERTITUDE • CHAP. 1

Ce chapitre n'est pas spécifiquement relié à l'un des thèmes du programme. Nous y abordons les notions de dispersion de mesures et d'incertitude. Celles-ci sont susceptibles de s'appliquer à la mesure de toutes les grandeurs que l'on rencontre dans les autres parties du programme.

2 Étude d'une série de mesures



 *Comprendre les chiffres significatifs en vidéo.*

Pour introduire la notion de *chiffres significatifs*, on se pose la question suivante : « Pourquoi sur une boîte de médicaments est indiqué 500 mg et non 0,5 g pour la masse de principe actif ? »

La précision d'une mesure est une unité sur le dernier chiffre, ce qui signifie que si l'on indique 0,5 g, la masse de principe actif est comprise entre 0,4 g et 0,6 g alors que pour 500 mg, la masse de principe actif est comprise entre 499 mg et 501 mg. On voit dans cet exemple toute l'importance du nombre de chiffres avec lequel est exprimée une mesure. C'est ce que l'on appelle les chiffres significatifs.

Définition 1 : chiffres significatifs

On appelle *chiffres significatifs* d'un nombre tous les chiffres à partir du premier chiffre différent de zéro.

Dans l'exemple choisi, 0,5 ne comporte qu'un chiffre significatif alors que 500 en comporte trois, cette dernière valeur est donc plus précise.

Règle de calcul : le résultat d'un calcul ne doit pas comporter plus de chiffres significatifs que la donnée la moins précise (celle qui comporte le moins de chiffres significatifs).

Exemple : pour calculer la valeur de la résistance d'un conducteur ohmique, on donne comme tension à ses bornes 0,21 V (2 chiffres significatifs) et la valeur de l'intensité du courant 0,510 A (3 chiffres significatifs).

Le calcul de la valeur de la résistance ne devra pas comporter plus de 2 chiffres significatifs puisque la donnée la moins précise est la valeur de la tension.

Ce qui conduit à : $R = \frac{U}{I} = \frac{0,21}{0,510} = 0,411\,7 = 0,41\,\Omega$ avec 2 chiffres significatifs.

Lors d'une séance de travaux pratiques, des groupes d'élèves mesurent la vitesse du son dans l'air, avec trois chiffres significatifs. Ils obtiennent les valeurs suivantes :

380 m.s⁻¹, 340 m.s⁻¹, 350 m.s⁻¹, 320 m.s⁻¹,
330 m.s⁻¹, 340 m.s⁻¹, 360 m.s⁻¹, 350 m.s⁻¹.

Tous ces résultats ne sont pas égaux car la précision du dispositif expérimental utilisé par les élèves est limitée.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

On dit que les mesures d'une grandeur physique (ici la vitesse du son) ont une *dispersion*.

Cette dispersion dépend du protocole expérimental.

Dans le cas de l'expérience des élèves, on voit bien que la vitesse du son dans les conditions de la mesure est très probablement comprise entre 330 m.s^{-1} et 380 m.s^{-1} , et vraisemblablement vers le milieu de cet intervalle. Nous pouvons utiliser divers indicateurs statistiques pour extraire toute l'information possible de cette série de mesures et en cerner les limites.

2.1 Indicateurs numériques

2.1.1 - La moyenne

Le premier indicateur qui vient à l'esprit est la *moyenne*.

La moyenne des mesures est donc ici :

$$\overline{c_s} = \frac{380 + 340 + 350 + 320 + 330 + 340 + 360 + 350}{8} = 346,25 \text{ m.s}^{-1}.$$



En Python

```
# Script pour calculer la moyenne de 8 mesures

M=[380, 340, 350, 320, 330, 340, 360, 350]
NbMes=8

#Pour rendre le programme plus modulable on peut utiliser
NbMes=len(M)

#len(M) renvoie le nombre d'éléments dans la liste M
#(len pour "length", qui signifie longueur en anglais)

Moyenne=0
for i in range (0,NbMes):
    Moyenne=Moyenne+M[i]/NbMes

print("La moyenne vaut "+str(Moyenne))
```

Mais la moyenne d'une série de mesures ne suffit pas à décrire de manière satisfaisante cette série de mesures. Pour s'en convaincre, il suffit de raisonner sur l'exemple suivant. Supposons que nous ayons effectué deux séries de trois mesures avec des instruments différents. Lors de la première série, nous avons mesuré 340, 341, 339. Lors de la seconde série, nous avons mesuré 300, 340, 380. Les deux séries de mesures ne sont pas équivalentes, pourtant elles ont la même moyenne. La différence provient du fait que les deux séries n'ont pas la même dispersion. On peut donc (légitimement) penser que la première série de mesures

MESURE ET INCERTITUDE • CHAP. 1

permet d'obtenir une valeur plus précise que la seconde. Un bon indicateur statistique de cette dispersion est l'écart-type.

2.1.2 - L'écart-type

Un des indicateurs statistiques permettant d'évaluer la dispersion des mesures est l'écart-type. Il est généralement noté σ

Il n'est pas toujours nécessaire d'effectuer ce calcul pour obtenir la valeur de l'écart-type. Nous pouvons l'obtenir en utilisant les fonctions préprogrammées des tableurs (Apache OpenOffice Calc, Excel, Google Spreadsheet, etc.).

Pour cela, on saisit dans une nouvelle case :

 Avec un tableur

```
=ECARTYPE.STANDARD(A1:A8)
```

Remarques

- Ici la notation A1:A8 indique les cellules dans lesquelles les données ont été rentrées. On suppose dans cet exemple qu'elles se trouvent sur la colonne A, de la ligne 1 à la ligne 8.
- Selon la version de votre logiciel tableur (et la langue d'installation), la syntaxe de la commande peut varier. Au lieu de « ECARTYPE.STANDARD », on peut avoir à saisir « STDEV » (de l'anglais *standard deviation*) ou « STDEVA ».
- Votre tableur vous propose deux versions de l'écart-type. L'une est celle de l'échantillon (*sample* en anglais), l'autre est celle dite de Pearson ou de la population. Il convient d'utiliser ici celle de l'échantillon.

Lorsque l'on valide cette commande, le contenu de la cellule se retrouve remplacé par la valeur numérique de l'écart-type. Il vaut ici :

$$\sigma \approx 18,5 \text{ m.s}^{-1}.$$

Remarque : l'écart-type a la même unité que les valeurs qu'il caractérise, donc ici il s'exprime en mètre par seconde.

On peut également évaluer l'écart-type avec Python à l'aide du programme page suivante.

La valeur de l'écart-type donne une idée de la dispersion des données de part et d'autre de la moyenne. Ainsi, les mesures allaient de 330 m.s^{-1} à 380 m.s^{-1} , c.-à-d. de 16 m.s^{-1} au-dessous de la moyenne à 34 m.s^{-1} au-dessus de celle-ci, l'essentiel des mesures étant plus proche de la valeur moyenne. Ceci est compatible avec la valeur de l'écart-type.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS



```
# Script pour calculer la moyenne de 8 mesures
M=[380, 340, 350, 320, 330, 340, 360, 350]
NbMes,Moyenne,sigma=8,0,0
for i in range (0,NbMes):
    Moyenne=Moyenne+M[i]/NbMes

for i in range (0,NbMes):
    sigma=sigma+(M[i]-Moyenne)**2/(NbMes-1)  # **2 signifie
    "puissance 2"

sigma=(sigma)**0.5  # La puissance 0,5 correspond à prendre
    la racine carrée

print("La moyenne vaut "+str(Moyenne))
print("L'écart-type vaut "+str(sigma))
```

Remarques

- Plus la dispersion des mesures est petite, plus l'écart-type est petit.
- L'écart-type ne peut pas être négatif. Dans le cas hypothétique où toutes les mesures seraient identiques, l'écart-type serait nul.
- Plus l'instrument de mesure est précis, plus l'écart-type de la série de mesures est petit.

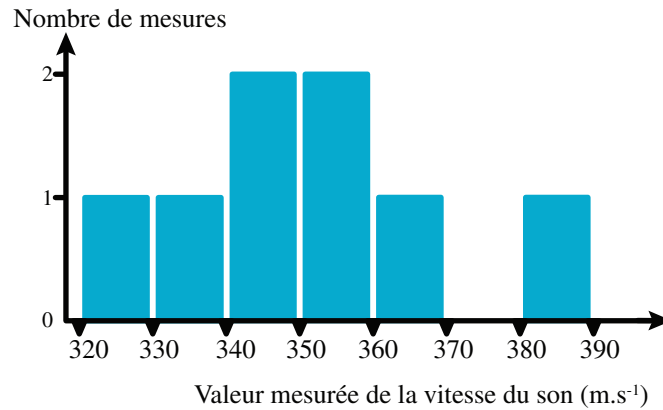
2.2 Un indicateur graphique : l'histogramme

Une autre manière de jauger la dispersion des données est d'utiliser un *histogramme*. Celui-ci est une représentation graphique du nombre de mesures se trouvant dans un intervalle de valeurs. Pour construire l'histogramme des résultats de mesure des élèves pour des intervalles de 10 m.s^{-1} , on procède de la manière suivante. Il y a :

- une mesure qui tombe dans l'intervalle $[320 \text{ m.s}^{-1}, 330 \text{ m.s}^{-1}[$,
- une mesure dans l'intervalle $[330 \text{ m.s}^{-1}, 340 \text{ m.s}^{-1}[$,
- deux mesures dans l'intervalle $[340 \text{ m.s}^{-1}, 350 \text{ m.s}^{-1}[$, etc.

Nous reportons chacune de ces valeurs sous forme d'un graphe comprenant des rectangles pleins. La base de chacun de ces rectangles correspond à l'un des intervalles, et sa hauteur au nombre de mesures tombant dans l'intervalle (voir page ci-contre).

MESURE ET INCERTITUDE • CHAP. 1



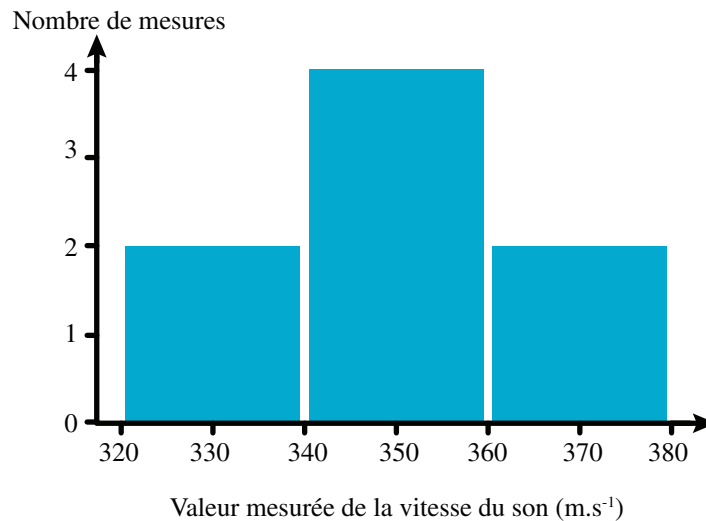
Cet histogramme peut être élaboré à l'aide d'un tableur, ou en Python. Ainsi, le code suivant :



En Python

```
import matplotlib.pyplot as plt
cs=[380, 340, 350, 320, 330, 340, 360, 350]
plt.hist(cs,bins=range(320,400,10),rwidth=0.95)
```

permet de tracer l'histogramme de la figure ci-dessus. Notons qu'un histogramme dépend des intervalles choisis. Si nous avions décidé de prendre des intervalles de largeur différente, l'histogramme serait différent, comme on peut le voir ci-dessous :



Un histogramme dépend de la largeur des intervalles. Ici, nous représentons l'histogramme des valeurs mesurées par les élèves en choisissant cette fois des intervalles de largeur 20 m.s^{-1} .

En règle générale, il convient que la largeur des intervalles soit comparable à ou

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

légèrement plus petite que l'écart-type. Ici, une largeur de 10 m.s^{-1} est un bon choix (on rappelle que l'écart-type vaut $\sigma \approx 18,5 \text{ m.s}^{-1}$).

Un histogramme permet d'évaluer rapidement, de manière graphique, la dispersion de données expérimentales.

2.3 Incertitude-type

Nous voyons ainsi que la dispersion typique d'une mesure de la vitesse du son par les élèves, compte-tenu de la précision, relativement basse, du protocole expérimental, est de l'ordre de $18,5 \text{ m.s}^{-1}$. Pourtant, ne pourrait-on pas déduire, de toutes les mesures effectuées par les différents groupes, une valeur plus précise ? Nous avons vu plus haut qu'il était vraisemblablement illusoire de donner la moyenne avec cinq chiffres significatifs. Toutefois, il est assez intuitif que la moyenne des mesures ait une précision supérieure à celle des mesures individuelles. Cela nous conduit au concept d'incertitude-type.

L'écart-type σ que nous avons évalué pour les mesures effectuées par les élèves nous donne une idée de la dispersion de ces mesures. Chacune des mesures va être entachée d'une erreur dont l'ordre de grandeur est σ . En revanche, la moyenne de plusieurs de ces mesures est plus précise. L'incertitude-type nous donne une indication de l'erreur que l'on peut attendre sur la moyenne.

À RETENIR

L'incertitude-type sur la moyenne de n mesures d'écart-type σ est donnée par :

$$u = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Dans notre exemple, nous avons $n = 8$ mesures de la vitesse du son dans l'air, donc l'incertitude-type est donnée par :

$$u = \frac{18,5}{\sqrt{8}} \approx 6,5 \text{ m.s}^{-1}.$$

Cette valeur représente l'incertitude avec laquelle la moyenne des valeurs représente la vitesse du son. Nous avons vu que cette moyenne est :

$$\overline{c_s} = 346 \text{ m.s}^{-1}.$$

Nous n'écrivons plus ici les deux chiffres après la virgule, puisque l'on sait désormais que l'erreur typique sur cette valeur moyenne est bien supérieure à 1 m.s^{-1} !

Puisque l'incertitude-type est de $6,5 \text{ m.s}^{-1}$, pouvons-nous tout de même conclure *avec certitude* que la valeur exacte de la vitesse du son est comprise entre $\overline{c_s} - u = 346 - 6,5 \approx 339 \text{ m.s}^{-1}$ et $\overline{c_s} + u = 346 + 6,5 \approx 353 \text{ m.s}^{-1}$?

Malheureusement non. Cet intervalle représente juste l'étendue des valeurs où il est raisonnable d'imaginer que se trouve la valeur exacte de la vitesse du son, mais on ne peut pas en être certain à 100 %. On peut d'ailleurs démontrer que, lorsque

MESURE ET INCERTITUDE • CHAP. 1

l'erreur de mesure obéit à certaines propriétés statistiques, alors il y a une probabilité de 68 % que la valeur exacte soit contenue dans l'intervalle $[\bar{c}_s - u, \bar{c}_s + u]$. Si nous voulons plus de certitude, alors il faut renoncer à être aussi précis : on peut démontrer qu'il y a 95 % de chances que la valeur exacte se trouve dans l'intervalle $[\bar{c}_s - 2u, \bar{c}_s + 2u]$, et 99 % de chances qu'elle se trouve dans l'intervalle $[\bar{c}_s - 3u, \bar{c}_s + 3u]$. Ce type d'intervalle est appelé *intervalle de confiance* et le pourcentage associé est le *niveau de confiance*.

On peut écrire les résultats de la mesure et de l'incertitude-type associée de la manière suivante :

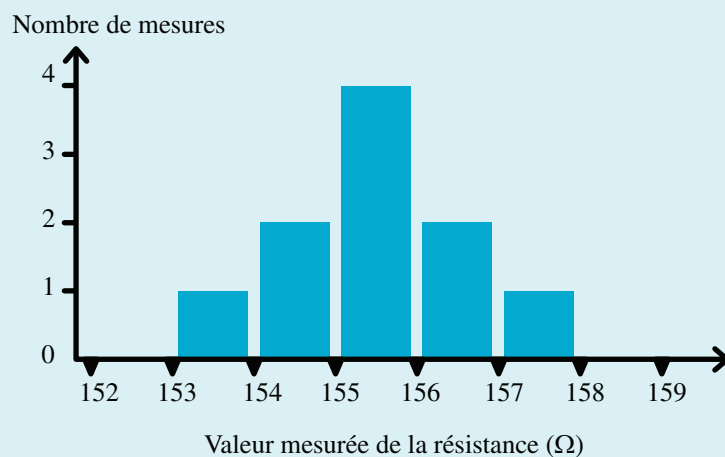
$$c_s = 346 \pm 7 \text{ m.s}^{-1}.$$

Le symbole $\pm$ signifie « plus ou moins ». On écrit toujours l'incertitude-type avec un seul chiffre significatif (on a $6,54 \approx 7 \text{ m.s}^{-1}$). Comme il s'agit ici du chiffre des unités, le dernier chiffre significatif de la moyenne doit aussi être celui des unités.

Remarque : on arrondit toujours l'incertitude-type au nombre supérieur, contrairement à la pratique pour d'autres types de résultats. En effet, si l'on arrondissait à la valeur inférieure, on diminuerait l'intervalle de confiance, et donc le niveau de confiance associé.

➔ Solution de l'exercice type

1 L'histogramme demandé a l'allure suivante :



COURS

INTERROS

CORRIGÉS

➔ Solution de l'exercice type (suite)

- 2 La moyenne des valeurs est :

$$\overline{R} = 155,48 \text{ k}\Omega.$$

Nous écrivons pour l'instant tous les chiffres. Il est possible que certains ne soient pas significatifs : l'étude de l'incertitude-type nous le dira ultérieurement.

L'écart-type des valeurs est :

$$\sigma = 1,20 \text{ }\Omega.$$

- 3 On en déduit l'incertitude-type en utilisant la formule :

$$u = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

avec $n = 10$ (le nombre de mesures).

On obtient :

$$u = \frac{1,20}{\sqrt{10}} = 0,38 \dots \approx 0,4 \text{ }\Omega.$$

On ne garde qu'un chiffre significatif pour l'incertitude-type (c'est le chiffre des dixièmes) et on écrit alors :

$$R = 155,5 \pm 0,4 \text{ }\Omega.$$

- 4 Intéressons-nous dans un premier temps à la valeur numérique supposée de la résistance. Le premier anneau correspond à un 1, le second à un 5 et le troisième à une multiplication par 10 k Ω , ce qui nous donne :

$$R = 15 \times 10 = 150 \text{ k}\Omega.$$

La tolérance est (anneau doré) de $\pm 5\%$. Or 5% de 150 k Ω vaut 7,5 k Ω , donc la valeur réelle de la résistance doit être comprise entre :

$$150 - 7,5 = 142,5 \text{ k}\Omega$$

et

$$150 + 7,5 = 157,5 \text{ k}\Omega.$$

La valeur reportée à la réponse précédente est compatible avec ces limites.

- 5 La dispersion des valeurs mesurées par les élèves est due aux erreurs de mesure de leurs multimètres. Notons qu'il serait absurde de répondre ici que cela est lié à la tolérance sur la valeur de la résistance indiquée par le fabricant. Ici, les élèves ne mesurent *qu'une seule* résistance, qui a une valeur bien précise.

Voir énoncé page 1

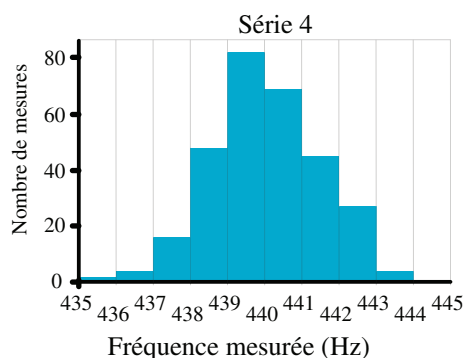
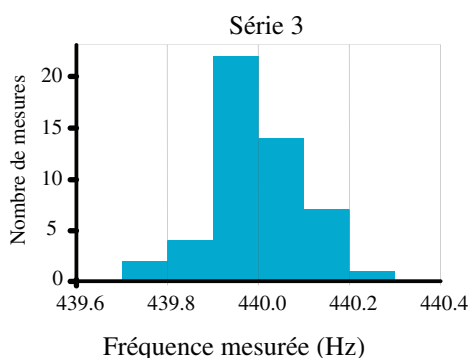
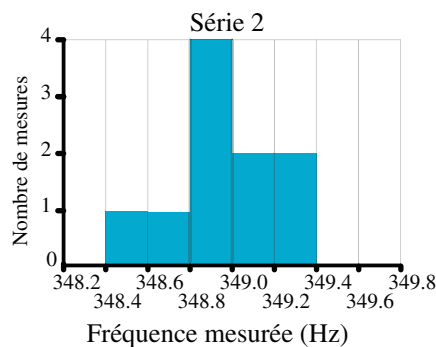
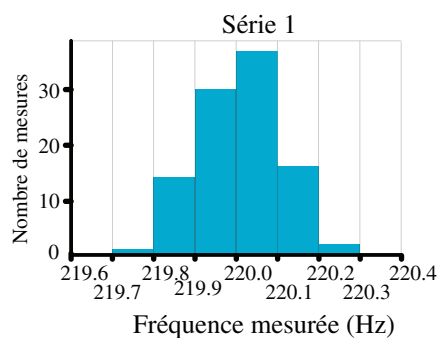
MESURE ET INCERTITUDE • CHAP. 1

1 QCM Testez vos connaissances

5 min

Corrigé
p. 14

- 1 La dispersion d'une série de mesures est caractérisée par :
☐ a La valeur moyenne ☐ b L'écart-type ☐ c L'incertitude-type
- 2 Plus une mesure est précise, plus la dispersion des valeurs mesurées est :
☐ a petite ☐ b grande
- 3 Quatre groupes d'élèves mesurent la température ambiante ϑ dans la salle de classe lors d'une séance de travaux pratiques. La moyenne des valeurs est $21,39\text{ }^{\circ}\text{C}$ et leur écart-type est de $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Laquelle des écritures suivantes est correcte ?
☐ a $\vartheta = 21,39 \pm 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ☐ b $\vartheta = 0,6 \pm 21,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
☐ c $\vartheta = 21,4 \pm 0,3$ ☐ d $\vartheta = 21,39 \pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$
☐ e $\vartheta = 21,4 \pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 4 On considère les quatre histogrammes suivants, correspondant chacun à une série de mesures de la fréquence du son émis par un instrument de musique.



- (a) Sans faire de calcul, indiquer quelle série de mesures a la moyenne la plus petite.
- ☐ a La série 1 ☐ b la série 2 ☐ c la série 3 ☐ d la série 4

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- (b) Sans faire de calcul, indiquer quelle série de mesures a l'écart-type le plus élevé.
- ☐ a La série 1 ☐ b la série 2 ☐ c la série 3 ☐ d la série 4
- (c) Deux séries ont été effectuées en jouant la même note. Il s'agit des séries :
- ☐ a 1 et 2 ☐ b 2 et 3 ☐ c 3 et 4
- (d) Les deux séries de la question précédente présentent une dispersion similaire des résultats de mesure.
- ☐ a Vrai ☐ b Faux
- (e) La série pour laquelle on a effectué le plus de mesures est la série 2.
- ☐ a Vrai ☐ b Faux

2 Indice de réfraction d'un verre



15 min

Corrigé
p. 14

On souhaite identifier un type de verre en mesurant son indice de réfraction. On fait effectuer sept mesures indépendantes, qui donnent pour l'indice de réfraction n les résultats suivants :

1,67; 1,61; 1,61; 1,59; 1,65; 1,56; 1,68

On donne en outre une liste de différents types de verre, et la valeur de leur indice de réfraction.

Dénomination du verre	Indice de réfraction
BK7	1,5168
K5	1,5225
BaK50	1,5677
SK2	1,6074
SSK4	1,6177
LaK10	1,7200

- Quelle est la valeur moyenne des mesures ?
- Quel est l'écart-type des mesures ?
- Quelle est l'incertitude-type résultant de cette série de mesures ?
- Ces mesures sont-elles compatibles avec un ou plusieurs des verres de la table ci-dessus ? Si oui, lequel ou lesquels ?

MESURE ET INCERTITUDE • CHAP. 1

3 Précision d'un GPS



20 min

Corrigé
p. 15

On considère deux capteurs GPS, que nous désignons par la suite par A et B. Chacun de ces capteurs mesure sa propre position (x, y) dans un plan horizontal. Pour simplifier le problème, nous nous intéressons uniquement à la statistique des mesures de x . Chacun des capteurs effectue une mesure toutes les $\Delta t = 0,5$ seconde. Le capteur A est immobile, tandis que le capteur B est animé d'un mouvement rectiligne uniforme le long de l'axe des x à la vitesse de 10 m.s^{-1} , et se trouve en $x = 0$ en $t = 0$.

Mesures du capteur A :

temps (s)	x (m)
0	9,1
0,5	30,0
1	22,8
1,5	4,9
2	14,2
2,5	36,5

Mesures du capteur B :

temps (s)	x (m)
0	1,4
0,5	2,7
1	3,3
1,5	26,6
2	12,7
2,5	21,3

- 1 Quelle est l'écart-type des mesures du capteur B ?
- 2 L'écart-type des mesures du capteur B donne-t-il une idée de la précision de ce capteur ? Justifier, et proposer une méthode permettant d'évaluer la précision de ce capteur.
- 3 Pour améliorer la précision avec laquelle est donnée leur position, les capteurs calculent la moyenne de plusieurs mesures consécutives. Au bout de 3 secondes, quelle est l'incertitude-type sur la position du capteur A ? Sur la position du capteur B ?

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

1 QCM Testez vos connaissances

Énoncé
p. 11

- 1 Réponse **b** : c'est l'écart-type.
- 2 Réponse **a** : plus la dispersion est petite.
- 3 Réponse **e**. On a $n = 4$ donc l'incertitude-type est $\frac{0,6}{\sqrt{4}} = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$.
On doit donc garder l'expression de la valeur moyenne jusqu'au premier chiffre après la virgule. La réponse **c** est incorrecte car il manque l'unité.
- 4 (a) Réponse **a**. Un ordre de grandeur de la valeur moyenne de cette série, pour laquelle les mesures sont toutes comprises entre 219,7 Hz et 220,3 Hz, est de 220 Hz. En répétant le même raisonnement pour les autres séries, on voit qu'elles ont une valeur moyenne plus grande que celle de la série A.
(b) Réponse **d**. L'ordre de grandeur de la dispersion des mesures de cette série est manifestement supérieure à 1 Hz, alors que la dispersion des autres séries est inférieure à 1 Hz (la différence entre la valeur maximale et valeur minimale dans les séries 1 à 3 est au plus égale à 1 Hz).
(c) Réponse **c** : il s'agit des séries 3 et 4, qui ont toutes les deux une valeur moyenne de l'ordre de 440 Hz.
(d) Réponse **b** : faux. Comme on l'a vu précédemment la dispersion des résultats de la série 4 est largement supérieure à celle des autres séries.
(e) Réponse **b** : faux. En sommant toutes les valeurs des barres de l'histogramme de cette série, on obtient $1 + 1 + 4 + 2 + 2 = 10$ mesures. Dans chacun des autres histogrammes, il existe au moins une barre correspondant à plus de mesures. Ceci prouve que non seulement l'affirmation de l'énoncé est fautive, mais *a fortiori* que la série 2 est celle pour laquelle on a effectué le plus petit nombre de mesures.

2 Indice de réfraction d'un verre

Énoncé
p. 12

MÉTHODE

Pour résoudre cet exercice, vous pouvez utiliser un logiciel tableur ou le langage Python, comme expliqué dans le cours.

La valeur moyenne des mesures est

$$\bar{n} \approx 1,624.$$

- 2 L'écart-type des mesures est

$$\sigma \approx 0,044.$$

MESURE ET INCERTITUDE • CHAP. 1

- 3 L'incertitude-type résultant de cette série est par conséquent :

$$u = \frac{\sigma}{\sqrt{7}} \approx 0,017$$

- 4 Nous arrondissons l'incertitude-type de manière à n'avoir qu'un chiffre significatif :

$$u \approx 0,02$$

et nous gardons donc l'expression de $\bar{n}$ avec deux chiffres après la virgule :

$$\bar{n} \approx 1,62.$$

Nous pouvons en définitive écrire :

$$n = 1,62 \pm 0,02.$$

Cette valeur est compatible avec les verres SK2 et SSK4.

3 Précision d'un GPS

Énoncé
p. 13

- 1 Pour répondre à cette question, nous pouvons utiliser un logiciel tableur ou Python. Le format de ce livre étant plus adapté à cette dernière option, c'est celle que nous utilisons pour présenter la solution.



En Python

```
import numpy
x=[1.4, 2.7, 3.3, 26.6, 12.7, 21.3]
print numpy.std(x,ddof=1)
10.6959182246
```

L'écart-type des mesures du capteur B est :

$$\sigma_A \approx 11 \text{ m.s}^{-1}.$$

- 2 Les mesures du capteur B sont dispersées non seulement à cause de sa précision finie, mais aussi parce qu'il est en mouvement. L'écart-type des mesures du capteur B ne permet donc pas de donner une idée de la précision de ce capteur. On peut s'en convaincre en imaginant un capteur de très grande précision, pour lequel l'erreur de mesure est négligeable (très petite), qui aurait la même trajectoire que le capteur B. La liste de ses mesures successives à partir de $t = 0$ serait donc : 0, 5,0 m, 10,0 m, etc.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

L'écart-type de 6 mesures successives (comme pour les capteurs A et B) s'obtiendrait donc de la manière suivante :



En Python

```
import numpy
x=[0, 5, 10, 15, 20, 25, 30]
print numpy.std(x,ddof=1)
10.8012344973
```

L'écart-type obtenu ($\sigma \approx 11 \text{ m.s}^{-1}$) n'est clairement pas lié à l'erreur de mesure, puisque celle-ci est par hypothèse négligeable, mais bien au mouvement du capteur.

Pour remédier à ce problème, on se place dans le référentiel lié au capteur B. Dans ce référentiel, en mouvement par rapport au capteur A, nous introduisons la coordonnée x' , mesurée par rapport à la position x_B du capteur B :

$$x' = x - x_B.$$

Par ailleurs, le capteur B étant animé d'un mouvement rectiligne uniforme à la vitesse $v = 10 \text{ m.s}^{-1}$, nous avons :

$$x_B = vt$$

donc en définitive :

$$x' = x - vt.$$

Nous pouvons donc écrire la table des mesures du capteur B dans son propre référentiel (voir tableau ci-contre).

L'écart-type de ces valeurs est :

$$\sigma_B \approx 7,0 \text{ m.}$$

temps (s)	x' (m)
0	1,4
0,5	-2,3
1	-6,7
1,5	11,6
2	-7,3
2,5	-3,7

- 3** Au bout d'un temps τ , les capteurs ont effectué n mesures, où n est donné par :

$$n = \frac{\tau}{\Delta t}.$$

Ici, nous avons $\tau = 3 \text{ s}$ et $\Delta t = 0,5 \text{ s}$, donc $n = 6$. L'incertitude-type sur la position du capteur A est alors :

$$u_A = \frac{\sigma_A}{\sqrt{6}} \approx 5 \text{ m,}$$

tandis que l'incertitude-type sur la position du capteur B est :

$$u_B = \frac{\sigma_B}{\sqrt{6}} \approx 3 \text{ m.}$$

Ce capteur est donc le plus précis des deux.

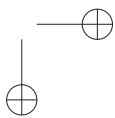
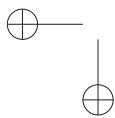
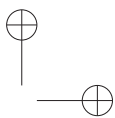
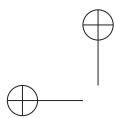
MESURE ET INCERTITUDE • CHAP. 1

—> Physique

COURS

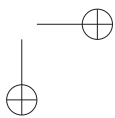
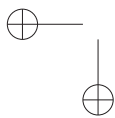
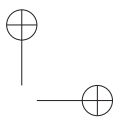
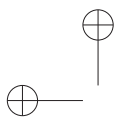
INTERROS

CORRIGÉS



Première partie

PHYSIQUE



Chapitre

2

Mouvement et interactions

Plan du chapitre

1. Introduction
2. Interactions, forces et champs
3. Mouvement d'un système et vecteur vitesse

1 Introduction

La mécanique est la discipline qui analyse les mouvements des corps ainsi que les forces ou actions à l'origine de ces mouvements.

Dans ce chapitre, nous analyserons deux types d'interactions : la gravitation (qui explique la chute des objets ou le mouvement des planètes) et l'électrostatique (à l'origine des attractions ou répulsions entre charges).

Pour décrire ces interactions à distance, nous utiliserons la notion de champ (gravitationnel ou électrostatique), un outil clé pour comprendre comment une force s'exerce à distance.

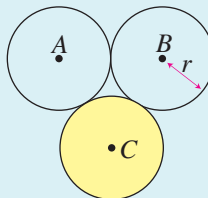
Ensuite, nous définirons le vecteur vitesse et apprendrons à déterminer graphiquement ses variations. Nous verrons enfin que la variation du vecteur vitesse est liée à la résultante des forces appliquées.

2 Interactions, forces et champs

Exercice type 1

Lycée Victor Hugo, Colomiers

On étudie le noyau d'un atome d'hélium ${}^3_2\text{He}$ comportant deux protons (notés A et B) et un neutron (noté C). On modélise ces particules par des sphères de rayon r placées comme l'indique la figure suivante :



Exercice type 1 (suite)

Lycée Victor Hugo, Colomiers

- 1 (a) Exprimer puis calculer la valeur de la force de gravitation $\vec{F}_g$ exercée par le proton A sur le proton B.
(b) Cette force est-elle attractive ou répulsive ?
(c) Représenter cette force sur la figure, sans souci d'échelle.
- 2 (a) Exprimer puis calculer la valeur de la force électrostatique $\vec{F}_e$ exercée par le proton A sur le proton B.
(b) Cette force est-elle attractive ou répulsive ?
(c) Représenter cette force sur la figure, sans souci d'échelle.
- 3 Comparer les valeurs de ces deux forces. Que peut-on en conclure ?
- 4 (a) Pourquoi les deux interactions, gravitationnelle et électrique, ne permettent pas d'expliquer la cohésion du noyau d'hélium ?
(b) Comment expliquer alors la cohésion du noyau d'hélium ?

Données :

- charge élémentaire : $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
- masse d'un nucléon : $m = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$;
- rayon d'un nucléon : $r = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ nm}$;
- constante de la loi de Coulomb : $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$;
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.

Voir corrigé page 30

Cette section a pour but de présenter deux des quatre interactions fondamentales : l'interaction *gravitationnelle* et l'interaction *électrostatique*, qui sont à l'origine des forces du même nom. Par ailleurs, la notion de champ sera introduite.

2.1 Interaction gravitationnelle et interaction électrostatique

2.1.1 - Interaction gravitationnelle entre deux masses ponctuelles

On considère deux corps A et B, suffisamment petits pour que l'on puisse les considérer comme ponctuels. Les masses de ces corps sont respectivement m_A et m_B , et ils sont séparés par une distance d .

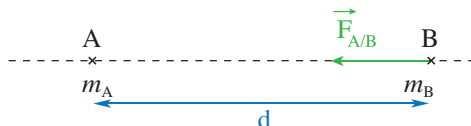


Figure 2.1 – Force exercée par la masse ponctuelle A sur la masse ponctuelle B.

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

Alors le corps A exerce sur le corps B une force $\vec{F}_{A/B}$, appelée force gravitationnelle, colinéaire au vecteur $\vec{AB}$, dirigée de B vers A, et dont la valeur est donnée par la *loi de la gravitation universelle* :

$$F_{A/B} = \frac{\mathcal{G} \times m_A \times m_B}{d^2}.$$

Il s'agit d'une force exercée sans contact entre les masses A et B.

Dans cette expression, $\mathcal{G}$ est une constante, appelée constante de la gravitation universelle. Dans les unités du Système International, elle vaut :

$$\mathcal{G} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ S.I.}$$

On en déduit immédiatement que la force exercée par B sur A est, en intervertissant les indices A et B.

À RETENIR

$$F_{B/A} = \frac{\mathcal{G} \times m_B \times m_A}{d^2} = F_{A/B}$$

Nous retrouvons ainsi le principe de l'action-réaction, sur une force qui s'exerce à distance.

En outre, cette force est dirigée de A vers B, comme représenté sur la figure page ci-contre.

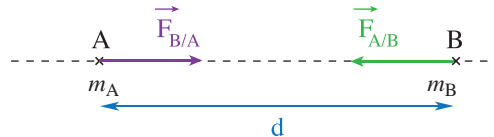


Figure 2.2 – Les deux forces sont de valeurs égales et de sens opposés.

L'expression de l'interaction gravitationnelle peut se résumer ainsi : « Entre deux corps massifs ponctuels, il existe une action à distance appelée force gravitationnelle, attractive et parallèle à la droite joignant les deux corps, dont la valeur est proportionnelle au produit des masses des deux corps et inversement proportionnelle au carré de leur distance. »

Exemple : il existe une interaction électrostatique entre la Terre et la Lune, entre la Terre et le Soleil, mais aussi entre la Lune et le Soleil, entre votre main droite et votre main gauche ou entre ce livre et vous. L'interaction gravitationnelle est universelle, en ce sens qu'elle intervient dans toute paire de corps de masse non nulle. Toutefois, elle est généralement beaucoup trop faible pour être détectable, et il faut des masses considérables pour qu'elle joue un rôle non négligeable. Ainsi, dans la vie quotidienne, la seule masse avec laquelle nous interagissons de manière notable est la Terre ;

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

2.1.2 - Interaction électrostatique entre deux charges ponctuelles

On considère à nouveau deux corps A et B, suffisamment petits pour que l'on puisse les considérer comme ponctuels mais on s'intéresse cette fois au fait qu'ils portent des charges électriques q_A et q_B (exprimées en coulomb : C). Ils sont séparés par une distance d .

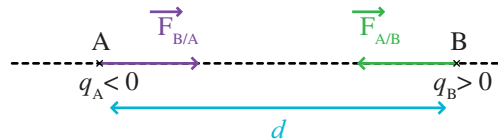


Figure 2.3 – Force exercée par la charge ponctuelle A sur la charge ponctuelle B.

Alors la charge A exerce sur la charge B une force $\vec{F}_{A/B}$, appelée force électrostatique, colinéaire au vecteur $\vec{AB}$, dont la valeur est donnée par la loi de Coulomb :

$$F_{A/B} = \frac{k \times |q_A| \times |q_B|}{d^2}.$$

Cette force est attractive si q_a et q_b sont de signes contraires (comme dans l'exemple ci-dessus) et répulsive si q_a et q_b sont de même signe.

Il s'agit d'une force exercée sans contact entre les charges A et B.

➡ À RETENIR : loi de Coulomb

$$F_{A/B} = \frac{k \times |q_A| \times |q_B|}{d^2}.$$

Dans cette expression, k est une constante, appelée constante de Coulomb. Dans les unités du Système International, elle vaut :

$$k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}.$$

De la même manière que précédemment, la force exercée par B sur A est égale à celle exercée par A et B (principe de l'action-réaction).

L'expression de l'interaction électrostatique peut se résumer ainsi : « Entre deux charges ponctuelles, il existe une action à distance appelée force électrostatique, attractive ou répulsive, et parallèle à la droite joignant les deux corps, dont la valeur est proportionnelle au produit des charges des deux corps et inversement proportionnelle au carré de leur distance. »

Exemple : il existe une interaction gravitationnelle entre le noyau d'un atome (chargé positivement) et un électron (chargé négativement) du même atome. Cette force attractive maintient l'électron à proximité du noyau.

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

2.2 Notion de champs



Retrouvez le cours sur les champs en vidéo.

2.2.1 - Champs scalaires et champs vectoriels

Définition 1

On appelle *champ* une grandeur physique définie en chaque point de l'espace.

Un champ peut être *scalaire*, c'est-à-dire caractérisé uniquement par sa valeur numérique. Par exemple :

- la température T est un champ scalaire : elle est caractérisée, en chaque point de l'espace, par une valeur numérique ;
- la pression P est un champ scalaire, aussi caractérisé par une valeur numérique en chaque point de l'espace (par exemple, plus l'altitude augmente, plus la pression atmosphérique diminue).

Un champ peut aussi être vectoriel, par exemple dans le cas de l'écoulement de l'air : en tout point de l'espace la vitesse de l'air est caractérisée par sa valeur, mais également par sa direction ou son sens (qui peuvent varier d'un point à l'autre) ; c'est le champ de vitesse.

Définition 2

Un champ est *uniforme* lorsqu'il ne varie pas d'un point à l'autre de l'espace.

2.2.2 - Rappel sur les vecteurs

Définition 3

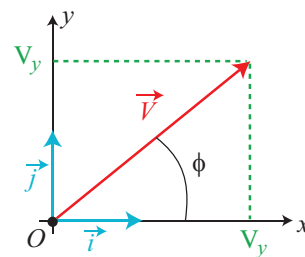
Un *vecteur* $\vec{V}$ est une grandeur caractérisée par :

- sa direction (horizontale, verticale, ...) ;
- son sens (vers la droite, la gauche, ...) ;
- sa norme $V = \|\vec{V}\|$ (taille du vecteur).

Deux vecteurs unitaires $\vec{i}$ et $\vec{j}$ (c'est-à-dire de normes : $\|\vec{i}\| = \|\vec{j}\| = 1$) et une origine O suffisent généralement à définir un repère $\mathcal{R} = (O, \vec{i}, \vec{j})$.

Un vecteur $\vec{V}$ est décrit, dans $\mathcal{R}$, par ses composantes V_x et V_y qui s'obtiennent par projection orthogonale de $\vec{V}$ sur les axes (Ox) et (Oy) de vecteurs unitaires directeurs $\vec{i}$ et $\vec{j}$. $\vec{V}$ admet ainsi deux représentations.

$$\vec{V} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} \text{ et } \vec{V} = \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix}.$$



COURS

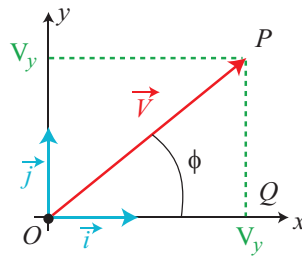
INTERROS

CORRIGÉS

Soit ϕ l'angle que fait $\vec{V}$ avec l'un des axes (par exemple l'axe Ox). Les composantes de $\vec{V}$ peuvent s'exprimer en fonction de $V = \|\vec{V}\|$ et de ϕ :

- représenter les extrémités O et P de $\vec{V}$;
- projeter le point P sur l'axe par rapport auquel l'angle ϕ est défini (Q est ici ce projeté) ;
- définir, dans le triangle rectangle (OPQ) :

$$\begin{cases} \cos \phi = \frac{OQ}{OP} = \frac{OQ}{V} \\ \sin \phi = \frac{PQ}{OP} = \frac{PQ}{V} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} OQ = V \cos \phi \\ PQ = V \sin \phi \end{cases}$$

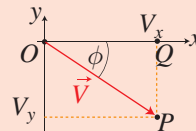


- repérer les composantes de $\vec{V}$ et les identifier à $\pm V_x$ et $\pm V_y$:
 $V_x = OQ = V \cos \phi$ et $V_y = PQ = V \sin \phi$.

⚠ ATTENTION

La dernière identification doit tenir compte des signes de V_x et V_y . On pourra, par exemple, trouver :

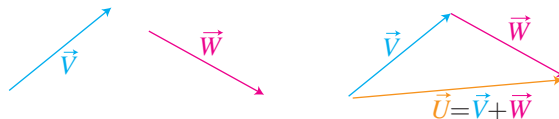
$$\begin{cases} V_x = OQ = V \cos \phi \\ V_y = -PQ = -V \sin \phi \end{cases}$$



Rappelons quelques propriétés des vecteurs :

- Addition des vecteurs.*

La somme $\vec{U} = \vec{V} + \vec{W}$ s'obtient, graphiquement, en joignant l'extrémité « avec flèche » d'un vecteur à l'extrémité « sans flèche » de l'autre vecteur (en déplaçant, au besoin les deux vecteurs) :



MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

Analytiquement, l'addition de deux vecteurs se traduit par l'addition de leurs composantes :

$$\vec{V} + \vec{W} = \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} W_x \\ W_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_x + W_x \\ V_y + W_y \end{pmatrix}.$$

- *Égalité de deux vecteurs.*

Deux vecteurs sont égaux si leurs composantes, associées aux mêmes vecteurs de base, le sont :

$$\vec{U} = \vec{V} \Rightarrow \begin{pmatrix} U_x \\ U_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{cases} U_x = V_x \\ U_y = V_y \end{cases}.$$

- *Multiplication par un scalaire.*

Soit α un scalaire et soit $\vec{U}$ un vecteur. La multiplication d'un vecteur par un scalaire se traduit par la multiplication de toutes les composantes du vecteur par le scalaire :

$$\alpha \vec{U} = \alpha \begin{pmatrix} U_x \\ U_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha U_x \\ \alpha U_y \end{pmatrix}.$$

L'identité $\vec{V} = \alpha \vec{U}$ signifie que :

$$\|\vec{V}\| = |\alpha| \times \|\vec{U}\|;$$

$\vec{U}$ et $\vec{V}$ sont *colinéaires* : les deux vecteurs ont la même direction (si $\alpha > 0$, ils ont aussi le même sens, mais si $\alpha < 0$, ils sont de sens contraire).

- *Norme d'un vecteur.*

$$\vec{U} = \begin{pmatrix} U_x \\ U_y \end{pmatrix} \Rightarrow \|\vec{U}\| = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}.$$

2.3 Exemples de champs vectoriels

2.3.1 - La gravitation

2.3.1.1 - Champ de pesanteur

À la surface d'un astre (notamment de la Terre), un point matériel M , de masse m , est soumis à un champ de pesanteur $\vec{g}$, à l'origine du poids $\vec{P}$ de M :

$$\vec{P} = m \times \vec{g} \text{ avec } \begin{cases} \|\vec{P}\| \text{ en newton (N)} \\ m \text{ en kilogramme} \\ \|\vec{g}\| \text{ en } \text{N} \cdot \text{kg}^{-1} \end{cases}$$

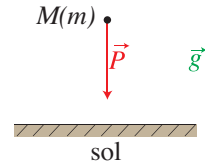
COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Le champ de pesanteur $\vec{g}$ est localement caractérisé par :

- sa direction : verticale (qui passe à proximité du centre de la Terre) ;
- son sens : vers le sol ;
- son intensité, qui dépend de l'endroit où elle est mesurée :



à l'équateur $g \approx 9,78 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$
aux pôles $g \approx 9,83 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$
en moyenne, sur Terre $g \approx 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

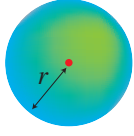
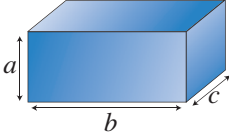
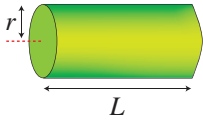
Rappelons que, dans l'expression de $\vec{P}$, la masse m d'un corps est indépendante de l'endroit où se trouve ce corps ; seul $\vec{g}$ en dépend.

À RETENIR

Pour calculer la masse m d'un corps dont on connaît le volume V et la masse volumique μ , on applique la règle :

$$m = \mu \times V \text{ avec } \begin{cases} m \text{ en kg} \\ V \text{ en m}^3 \\ \mu \text{ en kg} \cdot \text{m}^{-3} \end{cases}$$

On rappelle quelques volumes élémentaires qu'il faut connaître :

Sphère	Parallélépipède rectangle	Cylindre
		
$V = \frac{4}{3} \pi r^3$	$V = a \times b \times c$	$V = \pi r^2 \times L$

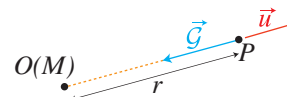
2.3.1.2 - Champ de gravitation

Un point O de masse M , crée en un point P de l'espace, tel que :

$$OP = r \text{ et } \vec{OP} = r \vec{u}$$

un champ de gravitation :

$$\vec{G} = -G \frac{M}{r^2} \vec{u} \text{ avec } \begin{cases} \|\vec{G}\| \text{ en } \text{N} \cdot \text{kg}^{-1} \\ M \text{ en kg} \\ r \text{ en m} \end{cases}$$



où $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ S.I.}$ est la constante de gravitation universelle.

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

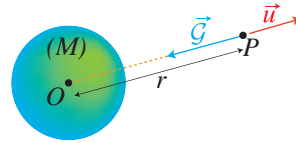
Si le point P possède une masse m , il est alors soumis à une force de gravitation :

$$\vec{F}_g = m \vec{g} = -G \frac{Mm}{r^2} \vec{u}.$$

Remarque : le signe négatif qui apparaît dans l'expression de $\vec{F}$ rend compte du caractère exclusivement attractif de la force de gravitation.

De même, un corps sphérique de masse M (par exemple un astre) et de centre O produit en un point P , extérieur à l'astre, le même champ de gravitation que si une masse ponctuelle M était placée en O :

$$\vec{g} = -G \frac{M}{r^2} \vec{u}.$$



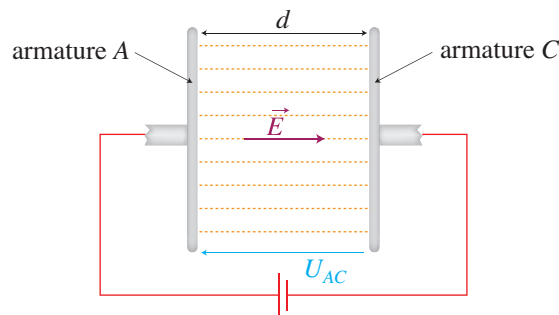
À la surface de la Terre, de rayon moyen R_T et de masse M_T , un point de masse m est soumis à un poids $\vec{P} = m \vec{g}$ qui s'identifie presque à la force de gravitation (la rotation de la Terre, ... génère quelques petites différences entre ces forces) :

$$\vec{P} \approx \vec{F}_g \Rightarrow m \vec{g} \approx -G \frac{M_T m}{R_T^2} \vec{u} \Rightarrow \vec{g} \approx -G \frac{M_T}{R_T^2} \vec{u}.$$

2.3.2 - Champ électrostatique dans un condensateur

Définition 4

Un *condensateur plan* est constitué de deux armatures planes, conductrice de l'électricité, parallèles, de surface très grande par rapport à la distance d qui les sépare.



Un condensateur peut être relié aux bornes d'un générateur électrique ; soit A l'armature du condensateur connectée à la borne positive du générateur et soit C celle reliée à la borne négative du générateur.

À l'intérieur d'un condensateur plan ainsi branché, et loin de ses bords, un champ électrique $\vec{E}$ prend naissance. Il est caractérisé par :

- sa direction : celle des lignes de champ, perpendiculaires aux armatures ;
- son sens : de l'armature A vers l'armature C ;

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- son intensité, inversement proportionnelle à d et proportionnelle à la tension U_{AC} qui règne entre ses bornes :

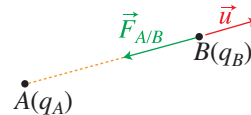
$$E = \|\vec{E}\| = \frac{U_{AC}}{d} \text{ avec } \begin{cases} E \text{ en } \text{V} \cdot \text{m}^{-1} \\ U_{AC} \text{ en } \text{V} \\ d \text{ en } \text{m} \end{cases}$$

Une particule portant la charge q , placée entre les armatures du condensateur plan, se trouve soumise à une force électrostatique :

$$\vec{F}_e = q \vec{E} \text{ avec } \begin{cases} F_e = \|\vec{F}_e\| \text{ en } \text{N} \\ q \text{ en } \text{C} \\ E = \|\vec{E}\| \text{ en } \text{V} \cdot \text{m}^{-1} \end{cases}$$

Soient deux charges q_A et q_B placées respectivement aux points A et B . La force $\vec{F}_{A/B}$ que A exerce sur B suit la loi de Coulomb :

$$\vec{F}_{A/B} = k \times \frac{q_A q_B}{AB^2} \vec{u}.$$



Elle est caractérisée par :

- son point d'application : le point B ;
- sa direction : la droite AB de vecteur directeur unitaire $\vec{u}$;
- son sens : de B vers A si les charges sont de signe opposé (attraction) ou de A vers B si les charges sont de même signe (répulsion) ;
- son intensité :

$$F_{A/B} = \|\vec{F}_{A/B}\| = k \times \frac{|q_A| \times |q_B|}{AB^2} \text{ où } k = 9 \cdot 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-4}$$

désigne la constante de la loi de Coulomb.

Remarque : réciproquement, le point B exerce sur la charge placée en A la force :

$$\vec{F}_{B/A} = -k \times \frac{q_A q_B}{AB^2} \vec{u} = -\vec{F}_{A/B}.$$

➔ Solution de l'exercice type 1

Lycée Victor Hugo, Colomiers

- 1 (a)** La distance qui sépare les deux protons de masses $m_A = m_B = m$ valant $AB = 2r$, l'intensité de la force gravitationnelle que le proton A exerce sur le proton B vaut :

$$\begin{aligned} F_g &= G \times \frac{m_A m_B}{AB^2} = G \times \frac{m^2}{(2r)^2} \text{ avec } r = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m} \\ &= 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{(1,673 \cdot 10^{-27})^2}{(2,4 \cdot 10^{-15})^2} = 3,2 \cdot 10^{-35} \text{ N} \quad (1) \end{aligned}$$

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

➔ Solution de l'exercice type 1 (suite)

Lycée Victor Hugo, Colomiers

- (b) La force gravitationnelle qui s'exerce entre deux corps est toujours attractive.
- (c) Comme l'indique la figure 1, la force $\vec{F}_g$ est dirigée selon la droite (AB), de B vers A (car la gravitation attire B vers A) :

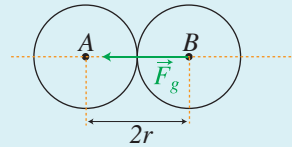


figure 1

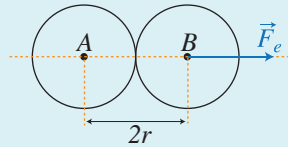


figure 2

- 2 (a) La loi de Coulomb fournit la valeur de la force électrostatique que le proton A (de charge $q_A = e$) exerce sur le proton (de charge $q_B = e$) :

$$\begin{aligned} F_e &= k \times \frac{|q_A| \times |q_B|}{AB^2} = k \times \frac{e^2}{(2r)^2} \text{ où } r = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m} \\ &= 9 \cdot 10^9 \times \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{(2,4 \cdot 10^{-15})^2} = 40 \text{ N.} \end{aligned} \quad (2)$$

- (b) Puisque les protons possèdent des charges de même signe (charges positives), la force électrostatique $\vec{F}_e$ subie par B le repousse de A.
- (c) La direction de la force $\vec{F}_e$ se confond avec la droite (AB) et son sens va de A vers B pour rendre compte de la nature répulsive de cette interaction (cf. figure 2).

- 3 Les valeurs numériques (1) et (2) obtenues pour les interactions gravitationnelle et électrostatique conduisent à :

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{40}{3,2 \cdot 10^{-35}} \approx 1,2 \cdot 10^{36} \Rightarrow F_e \approx 1,2 \cdot 10^{36} \times F_g.$$

Cette disproportion entre F_e et F_g justifie que l'on néglige l'interaction gravitationnelle devant l'interaction électrostatique à l'échelle nucléaire (la force électrostatique est environ un milliard de milliards de milliards de milliards de fois plus intense que la force gravitationnelle).

- 4 (a) Compte tenu de ce qui précède, l'interaction électrostatique devrait s'imposer entre les deux protons du noyau. Sa nature répulsive ne permet alors pas d'expliquer pourquoi les deux protons restent confinés dans le noyau atomique.
- (b) Seule l'interaction forte, par sa nature attractive, explique la cohésion du noyau d'hélium.

Voir énoncé page 21

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

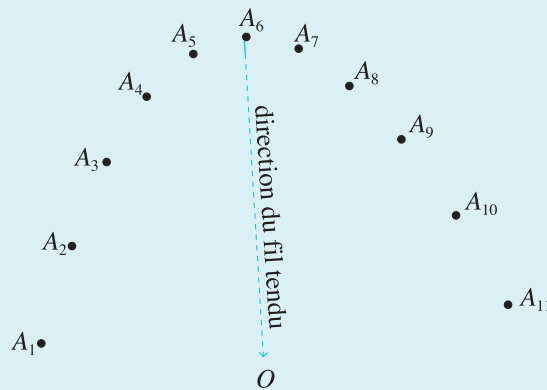
3 Mouvement d'un système et vecteur vitesse

Exercice type 2

Lycée Honoré de Balzac, Mitry-Mory

Un mobile, attaché à un fil élastique, dont l'autre extrémité est liée à un point fixe O , est lancé sur une table à coussin d'air horizontale.

Les positions du centre d'inertie G du mobile sont enregistrées à intervalles de temps consécutifs égaux à 50 ms. Sur l'enregistrement est reportée la direction du fil tendu lorsque le centre d'inertie G occupe la position A_6 .



- 1 Calculer la valeur de la vitesse de G en A_5 et A_7 .
- 2 Représenter, à l'échelle $1 \text{ cm pour } 5 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, les vecteurs vitesse $\vec{v}_5$ et $\vec{v}_7$ en A_5 et A_7 .
- 3 Représenter le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}_6 = \vec{v}_7 - \vec{v}_5$ du vecteur vitesse du centre d'inertie du mobile.
- 4 Comparer $\Delta \vec{v}_6$ à la résultante $\vec{F}$ des forces appliquées au mobile, lorsque G se trouve en A_6 . Le résultat de cette étude est-il conforme à la deuxième loi de Newton ?

Voir corrigé page 35

Le but de cette section est de se familiariser avec la notion de vecteur vitesse ainsi que d'avoir une première approche d'une loi fondamentale dans l'étude des mouvements : la deuxième loi de Newton.

3.1 Définition du vecteur vitesse

La vitesse d'un corps peut être représentée par un vecteur $\vec{v}$: la norme $\|\vec{v}\|$ du vecteur correspond à la valeur de la vitesse (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ par exemple) et la flèche indique la direction de la vitesse.

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

Dans le cas général, ce vecteur n'est pas constant au cours du temps : il peut changer de norme et/ou de direction.

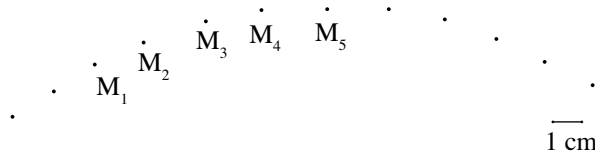
À deux dimensions, on peut écrire $\vec{v}$ sous la forme de ses deux composantes avec les notations suivantes :

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} \text{ ou } \vec{v} = v_x \vec{u}_x + v_y \vec{u}_y$$

où $\vec{u}_x$ et $\vec{u}_y$ sont deux vecteurs unitaires selon l'axe des x et l'axe des y.

3.2 Détermination graphique d'un vecteur vitesse

Supposons que l'on souhaite déterminer la vitesse d'un corps à partir de sa trajectoire :



Cette trajectoire représente la position du point au cours du temps. Deux points successifs correspondent toujours au même intervalle de temps Δt (ici 40 ms).

Pour évaluer la vitesse en un point donné M (on choisira pour notre exemple le point M_3), on procède de la manière suivante :

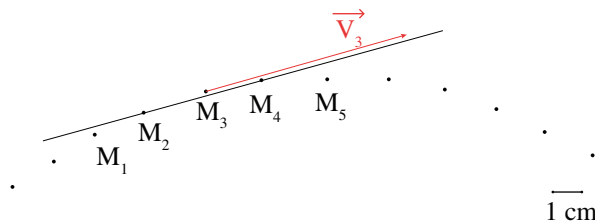
- le vecteur cherché est sur la parallèle à M_2M_4 passant par M_3 .
- sa norme est égale à $\frac{M_2M_3 + M_3M_4}{2 \cdot \Delta t}$.

⚠ ATTENTION

Les valeurs retenues pour M_2M_3 et M_3M_4 doivent correspondre au déplacement réel de l'objet et non à la distance directement mesurée avec la règle. Il ne faut pas oublier de prendre en compte le facteur d'échelle.

Dans notre cas, en prenant en compte l'échelle, on trouve : $M_2M_3 = 2,2\text{cm}$ et $M_3M_4 = 1,9\text{cm}$.

La valeur de la vitesse est donc $v = \frac{(2,2 + 1,9) \cdot 10^{-2}}{2 \times 40 \cdot 10^{-3}} = 0,51 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



COURS

INTERROS

CORRIGÉS

ATTENTION

Cette détermination permet d'avoir une valeur approchée du vecteur vitesse qui sera d'autant meilleure que l'intervalle de temps entre deux points sera court. Une manière exacte de procéder, utilisant la notion de dérivée, sera vue en classe de Terminale.

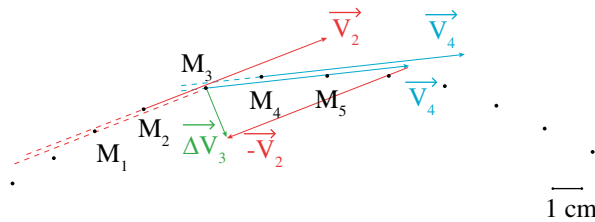
3.3 Détermination du vecteur variation de vitesse



Retrouvez en vidéo le tracé des vecteurs vitesse et accélération.

Il est utile de savoir déterminer le vecteur variation de vitesse au point M_3 . Pour cela on détermine tout d'abord $\vec{v}_2$ et $\vec{v}_4$ comme précédemment. Le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}$ correspond à $\Delta\vec{v} = \vec{v}_4 - \vec{v}_2$.

Graphiquement, il faut donc tracer $\vec{v}_4$ à partir du point M_3 , puis le vecteur $-\vec{v}_2$ au bout du vecteur précédemment tracé. Le vecteur $\Delta\vec{v}$ correspond au vecteur issu de M_3 qui aboutit au bout du dernier vecteur tracé :



Si on connaît les composantes de $\vec{v}_2$ et $\vec{v}_4$ on peut également obtenir $\Delta\vec{v}$ par le calcul :

$$\Delta\vec{v} = \begin{pmatrix} \Delta v_x \\ \Delta v_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{4x} - v_{2x} \\ v_{4y} - v_{2y} \end{pmatrix}.$$

3.4 Lien entre la résultante des forces appliquées et la variation du vecteur vitesse

Tout d'abord, rappelons que l'on appelle résultante des forces la somme vectorielle de l'ensemble des forces qui s'exercent sur un corps.

Si l'on procède avec soin lorsque l'on construit le vecteur variation de vitesse et que les points de la trajectoire sont suffisamment proches, on s'aperçoit qu'il existe une relation entre ce vecteur et la résultante $\vec{F}$ des forces qui s'appliquent sur le corps considéré :

- ces deux vecteurs sont colinéaires
- leurs normes sont proportionnelles et le coefficient de proportionnalité est lié à la masse de l'objet considéré.

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

On peut résumer ces deux points en une égalité vectorielle :

$$\vec{F} = m \cdot \frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t}$$

Ce résultat constitue une première approche de la deuxième loi de Newton qui sera vue en détail en classe de Terminale.

➔ Solution de l'exercice type 2

Lycée Honoré de Balzac, Mitry-Mory

- 1** Si $\tau = 50 \text{ ms} = 0,05 \text{ s}$ désigne le temps séparant l'enregistrement de deux positions successives, les vitesses en A_5 et A_7 sont définies par :

$$v_5 = \frac{A_4A_5 + A_5A_6}{2\tau} \text{ et } v_7 = \frac{A_6A_7 + A_7A_8}{2\tau}.$$

Or, on constate que

$$A_4A_6 = A_6A_8 = 1,5 \text{ cm} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

en raison de quoi :

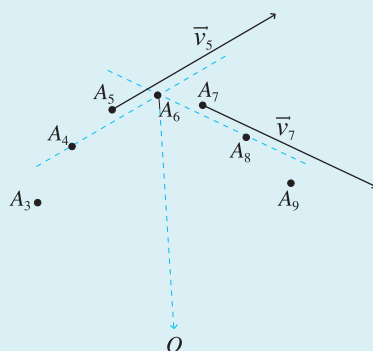
$$v_5 = v_7 = \frac{1,5 \cdot 10^{-2}}{2 \times 0,05} = 0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

- 2** À l'échelle $1 \text{ cm} \leftrightarrow 5 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, une vitesse de $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ serait représentée par une flèche de longueur :

$$\frac{1}{5 \cdot 10^{-2}} = 20 \text{ cm}.$$

C'est pourquoi les vecteurs $\vec{v}_5$ et $\vec{v}_7$ sont figurés par des flèches de longueur $0,15 \times 20 = 3 \text{ cm}$.

En outre, ces vecteurs s'appliquent aux points A_5 pour $\vec{v}_5$ et A_7 pour $\vec{v}_7$ et leurs directions sont respectivement celles de $\overrightarrow{A_4A_6}$ et $\overrightarrow{A_6A_8}$:



COURS

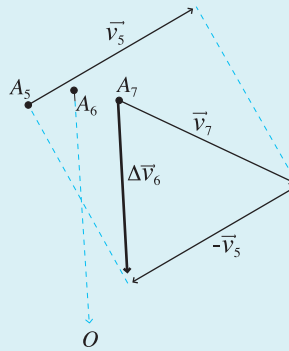
INTERROS

CORRIGÉS

➔ Solution de l'exercice type 2 (suite)

Lycée Honoré de Balzac, Mitry-Mory

- 3 Le vecteur $\Delta \vec{v}_6 = \vec{v}_7 - \vec{v}_5 = \vec{v}_7 + (-\vec{v}_5)$ s'obtient en effectuant la somme vectorielle de $\vec{v}_7$ et du vecteur $\vec{v}'_5 = -\vec{v}_5$ opposé à $\vec{v}_5$:



- 4 Le mobile est soumis à son poids $\vec{P}$, la réaction $\vec{R}$ de la table et la tension $\vec{T}$ du fil. Or, le mouvement se produit dans le plan de la table, ce qui signifie aussi que $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$, et la résultante des forces vaut alors :

$$\vec{F} = \underbrace{\vec{P} + \vec{R}}_{\vec{0}} + \vec{T} = \vec{T}.$$

Donc $\vec{F}$ est colinéaire à $\overrightarrow{A_6 O}$ comme l'est $\vec{T}$. Or, la construction géométrique précédente a révélé que $\Delta \vec{v}_6$ et $\overrightarrow{A_6 O}$ étaient aussi colinéaires, ce qui confirme la deuxième loi de Newton : $\Delta \vec{v}_6$ a la même direction et le même sens que la résultante $\vec{F}$ des forces qui s'exercent sur le mobile.

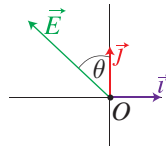
Voir énoncé page 32

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

1 QCM Testez vos connaissances

20 min Corrigé
p. 47

- 1 Quelle est la nature de l'interaction gravitationnelle entre deux masses ?
 - ☐ a Attractive uniquement
 - ☐ b Répulsive uniquement
 - ☐ c Attractive ou répulsive selon les masses
 - ☐ d Nulle si les masses sont égales
- 2 La force électrostatique entre deux charges de même signe est :
 - ☐ a Attractive
 - ☐ b Répulsive
 - ☐ c Nulle
 - ☐ d Dépendante de leur vitesse
- 3 Un champ scalaire est caractérisé par :
 - ☐ a Une direction et un sens en chaque point de l'espace
 - ☐ b Une valeur numérique en chaque point de l'espace
 - ☐ c Une intensité et une orientation
 - ☐ d Une trajectoire définie
- 4 Lorsqu'un champ vectoriel ne varie pas d'un point à l'autre, il est :
 - ☐ a uniforme
 - ☐ b isotrope
 - ☐ c constant
- 5 Le champ $\vec{E}$ (de norme E), représenté ci-dessous :



a pour composantes dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$:

- ☐ a $\vec{E} = \begin{pmatrix} E \cos \theta \\ E \sin \theta \end{pmatrix}$
- ☐ b $\vec{E} = \begin{pmatrix} -E \sin \theta \\ E \cos \theta \end{pmatrix}$
- ☐ c $\vec{E} = \begin{pmatrix} E \sin \theta \\ -E \cos \theta \end{pmatrix}$
- ☐ d $\vec{E} = \begin{pmatrix} -E \cos \theta \\ E \sin \theta \end{pmatrix}$

- 6 Les vecteurs : $\vec{U} = \begin{pmatrix} 5 \\ 2 \end{pmatrix}$ et $\vec{V} = \begin{pmatrix} 3,40 \\ 1,36 \end{pmatrix}$, définis dans la base $\{\vec{i}, \vec{j}\}$, sont :
 - ☐ a orthogonaux
 - ☐ b colinéaires
 - ☐ c égaux
- 7 Dans un condensateur plan, le champ électrostatique entre les armatures est :
 - ☐ a Uniforme et dirigé de l'armature positive vers la négative
 - ☐ b Variable et dirigé de l'armature négative vers la positive
 - ☐ c Nul
 - ☐ d Radial

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 8 Un électron ($q = -1,6 \times 10^{-19}$ C) est placé dans un champ électrostatique $E = 100 \text{ N/C}$. La force subie est :
- ☐ a $1,6 \times 10^{-17}$ N ☐ b $-1,6 \times 10^{-17}$ N
☐ c $1,6 \times 10^{-21}$ N ☐ d 0 N
- 9 Le champ électrostatique dans un condensateur plan dépend :
- ☐ a De la surface des armatures uniquement
☐ b De la distance d entre les armatures uniquement
☐ c De la tension appliquée U et de la distance d entre les armatures
☐ d De la nature du diélectrique uniquement
- 10 La résultante des forces appliquées est liée à la variation du vecteur vitesse par la relation :
- ☐ a $\vec{F} = m \cdot \vec{v}$ ☐ b $\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ ☐ c $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{v}}{m}$
☐ d $\vec{F} = \vec{0}$ si le vecteur vitesse est constant

Champ électrostatique

2 Force subie par un proton



5 min

Corrigé
p. 48

Lycée Guynemer, Compiègne

Un proton de charge e est placé dans une région où règne un champ électrostatique uniforme d'intensité $E = 2,0 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$.

- 1 (a) Représenter, sur un schéma, l'allure des lignes de champ du champ électrostatique.
 (b) Sur ce schéma, représenter en un point quelconque le champ électrostatique $\vec{E}$.
- 2 (a) Calculer l'intensité de la force subie par le proton dans cette zone.
 (b) Représenter cette force sur le schéma précédent.

Donnée : charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

3 Cumulonimbus



5 min

Corrigé
p. 48

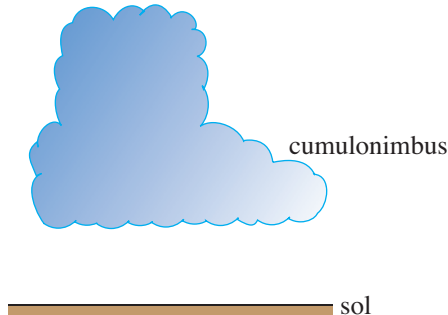
Lycée Teilhard De Chardin, Saint-Maur-des-Fossés

Au cours d'un orage, par des mouvements internes au cumulonimbus, des charges positives s'accumulent à son sommet, alors que des charges négatives se trouvent dans sa base.

Par influence, la partie de la Terre sous le nuage se charge positivement. Par temps calme, le champ électrique à la surface de la Terre a une valeur moyenne d'environ $150 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$.

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

Par temps orageux, cette valeur est de l'ordre de $15 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$ et peut atteindre $100 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$ près des pointes (arbres, paratonnerres, ...).



- 1 Faire apparaître, sur le schéma ci-dessus, la répartition des charges dans le nuage et sur le sol.
- 2 On modélise par un condensateur plan l'ensemble formé par la base du nuage et le sol.
 - (a) Représenter trois lignes du champ électrique créé entre le sol et la base du nuage.
 - (b) Tracer le vecteur représentant le champ électrique précédent.
 - (c) Sachant que la foudre correspond à une tension de l'ordre de 100 millions de volts entre la Terre et la base du nuage, calculer l'altitude de la base du nuage.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Loi de Coulomb

4 Forces électrostatiques



20 min

Corrigé
p. 49

Lycée Charlemagne, Paris

Une particule P , portant une charge électrique q_P équivalente à celle de six protons, se trouve à une distance de 180 pm d'une particule R de charge q_R . Les particules s'attirent mutuellement avec des forces d'intensité $0,128 \mu\text{N}$.

- 1 Quelle est la valeur de la charge q_P et quel est le signe de la charge q_R ?
- 2 Schématiser la situation. Donner l'expression vectorielle des forces électrostatiques en présence puis l'expression de leur intensité. En déduire la valeur de la charge q_R .

Données :

- charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- constante de la loi de Coulomb : $k = 9 \cdot 10^9 \text{ SI}$

5 Cristal de chlorure de sodium



20 min

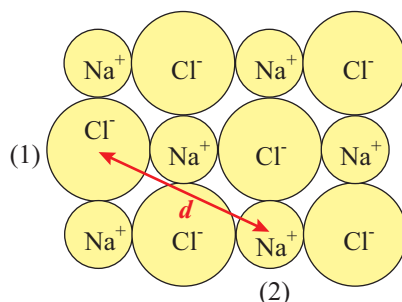
Corrigé
p. 50

Lycée Bertioz, Vincennes



Retrouvez le corrigé de cet exercice en vidéo.

On considère une portion de cristal de chlorure de sodium. Les ions sont assimilés à des sphères comportant des charges ponctuelles placées en leur centre. Les rayons des sphères sont $r_{\text{Cl}^-} = 181 \text{ pm}$ et $r_{\text{Na}^+} = 97 \text{ pm}$. On considère que les sphères sont en contact les unes avec les autres.



- 1 Montrer que la distance d figurant sur le schéma vaut $d = 622 \text{ pm}$. Faire un calcul littéral avant le calcul numérique.
- 2 Calculer la valeur de la force exercée par l'ion (1) sur l'ion (2) puis la représenter sur le schéma.

Données :

- charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
- constante de la loi de Coulomb : $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ USI}$.

Champ de gravitation

6 Calcul de la valeur de g à la surface d



rrc 5 min

Corrigé
p. 51

Lycée Lycée Claude Bernard, Paris

Sachant que le rayon de la terre est $R_T = 6\,370 \text{ km}$, et que sa masse est $M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$, calculer la valeur de l'intensité de pesanteur g à la surface de la Terre, en négligeant les forces dues à la rotation de la Terre.

7 Poids à la surface de Mercure



5 min

Corrigé
p. 52

Lycée Alexandre Dumas, Saint-Cloud

Mercure, la première des planètes de notre système solaire, possède une masse $M = 3,30 \cdot 10^{23} \text{ kg}$ et un rayon $r = 2,44 \cdot 10^3 \text{ km}$.

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

- 1 Calculer l'intensité de la pesanteur g à la surface de Mercure.
- 2 Calculer le poids d'un objet de masse $m = 500 \text{ g}$ à la surface de Mercure.

Donnée : constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.

8 Trou noir stellaire



30 min

Corrigé
p. 52

Lycée Teilhard De Chardin, Saint-Maur-des-Fossés

Un trou noir stellaire résulte de l'effondrement d'une étoile massive sur elle-même. Le plus petit trou noir découvert jusqu'à présent a un rayon de 15 km. Un trou noir moyen d'environ 300 000 masses terrestres a un rayon de 30 km alors que le rayon d'un « gros » trou noir stellaire peut atteindre 300 km, ce qui reste plus petit que les jets directs de particules, émises à grande vitesse et qui s'étendent sur plusieurs centaines d'années lumière de chaque côté du trou noir.

D'après <http://www.eso.org>

- 1 Donner les caractéristiques du champ de gravitation de la Terre en un point A, situé à une distance R de son centre. À quelle condition peut-on assimiler champ de pesanteur et champ de gravitation ?
- 2 On donne l'expression et la valeur du champ de pesanteur terrestre :

$$g = G \frac{M_T}{R_T^2} = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Évaluer la valeur du champ de gravitation à la « surface » d'un trou noir stellaire moyen

Donnée : rayon terrestre : $R_T = 6\,400 \text{ km}$.

9 Balancier d'une horloge



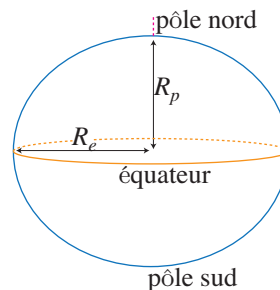
40 min

Corrigé
p. 53

Lycée Saint-Exupéry, Mantes-la-Jolie

À la surface de la Terre, le champ de gravitation vaut g .

La Terre a une forme ovoïde telle que son rayon équatorial n'est pas exactement égal à son rayon polaire.



COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

La différence des deux rayons vaut :

$$R_e - R_p = 21 \text{ km avec } R_e = 6\,378 \text{ km}$$

Un pendule de balancier, de longueur ℓ , placé en une région où règne un champ de pesanteur d'intensité g , décrit un aller-retour en une période :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}.$$

- 1 Une horloge est réalisée avec un balancier dont les caractéristiques géométriques lui confèrent une période $T_0 = 1,000 \text{ s}$ à l'équateur ; un aller-retour du balancier durant une seconde, la trotteuse de l'horloge avance d'une unité à chaque aller-retour du balancier.

Calculer la période T_p de ce balancier lorsque l'horloge est placée aux pôles.

- 2 L'horloge placée aux pôles marque-t-elle une avance ou un retard par rapport à celle restée à l'équateur ?
- 3 Au bout de combien de temps l'écart entre les indications données par les deux horloges atteindra-t-il une seconde ?

On admettra que le champ de pesanteur en un point de la surface de la Terre (de masse M) situé à une distance R du centre vaut $g = G \frac{M}{R^2}$.

10 Interaction Terre-Lune



20 min

Corrigé
p. 54

Lycée Sophie Germain, Paris

- 1 Calculer la force d'attraction gravitationnelle $F_{T/L}$ que la Terre exerce sur la Lune.
- 2 Calculer la charge électrique que devraient porter la Terre et la Lune afin de compenser la force gravitationnelle qu'elles exercent l'une sur l'autre.

Données :

- Masse de la Terre : $M_T = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- Masse de la Lune : $M_L = 7,3 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
- Distance Terre-Lune : $d = 384\,400 \text{ km}$
- Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ SI}$
- Constante d'interaction électrostatique : $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ SI}$

11 Loi de la gravitation



20 min

Corrigé
p. 55

Lycée Bertioz, Vincennes

On considère un point N , situé entre la Terre de masse M_T et la Lune de masse M_L , où les forces d'interaction gravitationnelle $\vec{F}_T$ et $\vec{F}_L$, exercées sur un objet de masse m par la Terre et par la Lune se compensent.

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

La distance entre les centres de la Terre et de la Lune est notée d_{TL} et celle entre les centres de la Terre et de l'objet est notée d .

- 1 Quelle est la nature des forces $\vec{F}_T$ et $\vec{F}_L$?
- 2 Exprimer F_T en fonction des paramètres de la situation. On n'utilisera que les données littérales du texte.
- 3 Exprimer F_L en fonction des paramètres de la situation en utilisant uniquement les notations du texte.
- 4 Que signifie que les forces se compensent au point N ?
- 5 En déduire une expression du rapport $\frac{d_{TL}}{d}$ en fonction des masses.

Mouvement d'un système et vecteur vitesse

12 Tir d'une flèche



10 min

Corrigé
p. 56

Lycée Claude Bernard, Paris

On tire une flèche horizontalement qui part à une vitesse $\vec{v}_0$ telle que $v_{0x} = 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Un dixième de seconde plus tard le vecteur vitesse de la flèche est $\vec{v}_1 = 15\vec{u}_x - \vec{u}_y$.

- 1 En négligeant les frottements, quelle force s'applique sur la flèche ?
- 2 Montrer que $\Delta\vec{v} = \vec{v}_1 - \vec{v}_0$ est proportionnel cette force.
- 3 En déduire le vecteur vitesse $\vec{v}_2$ deux dixièmes de seconde après le départ de la flèche.

13 Mouvement de la Lune



10 min

Corrigé
p. 56

Lycée Lakanal, Sceaux

On considère le mouvement de la Lune (de masse $M_L = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$) autour de la Terre (de masse $M_T = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$). On supposera que la Lune fait le tour de la Terre en 28 jours et que le centre de la Lune est situé à une distance de 385 000 km du centre de la Terre. On considère la trajectoire représentée page suivante.

- 1 Reproduire le schéma et tracer les vecteurs vitesses aux points L_1 et L_3 grâce à une échelle judicieusement choisie.
- 2 Tracer le vecteur variation de vitesse en L_2 .
- 3 Quelle est la force qui s'exerce sur la Lune ? Vous préciserez sa direction et sa norme.
- 4 Les résultats de la question 2 et de la question 3 sont-ils compatibles avec la deuxième loi de Newton ?

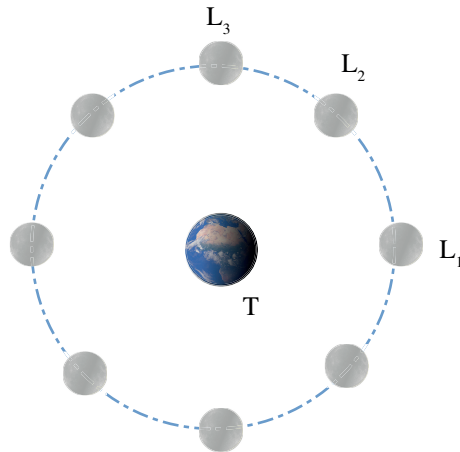
Données : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ SI}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS



14 le dauphin à flanc blanc



30 min

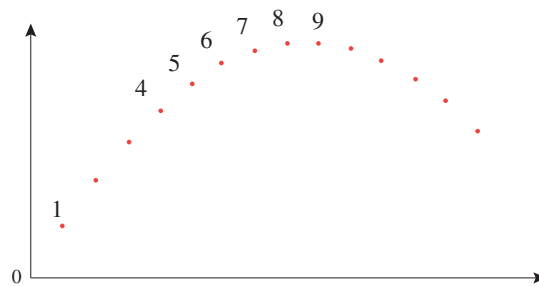
Corrigé
p. 57

Lycée Lakanal, Sceaux

Le dauphin à flancs blancs du Pacifique est peut-être l'espèce la plus abondante du Pacifique Nord. C'est un dauphin très sociable et qui voyage généralement en groupe ; il est rapide, puissant et bon surfeur.

Les positions du centre d'inertie du dauphin sont données à intervalles de temps réguliers sur le document page suivante, la durée entre deux positions est $\Delta t = 0,10\text{s}$.

- 1 À partir du document, déterminer la valeur de la vitesse du centre d'inertie du dauphin aux points 4 et 6. On les notera V_4 et V_6 .
- 2 Tracer les vecteurs $\vec{V}_4$ et $\vec{V}_6$ sur le document, en utilisant l'échelle : 1 cm pour $3,5\text{ m.s}^{-1}$.
- 3 Construire sur le document le vecteur $\Delta \vec{V} = \vec{V}_6 - \vec{V}_4$ au point 5 et déterminer sa valeur en m.s^{-1} en utilisant l'échelle précédente.
- 4 En déduire le sens et la direction de la résultante vectorielle des forces appliquées au centre d'inertie du dauphin.



Échelle du document : 1 cm pour 0,8 m.

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

15 Étude d'un mouvement en Python



25 min

Corrigé
p. 59

Lycée Claude Bernard, Paris

Joachim souhaite réaliser un script Python qui calcule le vecteur variation de vitesse au troisième point d'une trajectoire. Il a pour cela réalisé le programme suivant.



En Python

```
#Intervalle de temps entre deux points successifs (en s)
tau=0.04

#Position des 5 premiers points (en m)
x1=0
y1=100
x2=2
y2=95.2
x3=4
y3=80.4
x4=6
y4=55.6
x5=8
y5=20.8

#Calcul des vecteurs vitesse en 2 et 4
v2x= #A COMPLETER
v2y= #A COMPLETER

v4x= #A COMPLETER
v4y= #A COMPLETER

#Calcul du vecteur variation de vitesse en 3
Deltav3x= #A COMPLETER
Deltav3y= #A COMPLETER

#Affichage du resultat
print("Dv3x="+str(Deltav3x)+" Dv3y="+str(Deltav3y))
```

Ce programme, non optimisé, est en cours de réalisation.

- 1 Compléter les lignes permettant d'estimer v_{2x} , v_{2y} , v_{4x} , v_{4y} , Δv_{3x} , et Δv_{3y}
- 2 Faire les calculs sans utiliser le programme afin de déterminer Δv_{3x} et Δv_{3y} (et ainsi pouvoir vérifier le bon fonctionnement du script).
- 3 Que peut-on en conclure quant-à la force qui s'exerce au point 3 ?

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

16 La phase d'accélération d'un motard



30 min

Corrigé
p. 60

Lycée Claude Bernard, Paris

On considère un motard qui s'élance, avec une vitesse initiale nulle, sur une piste rectiligne en maintenant une accélération constante.

Une chronophotographie (en vue de dessus) représentant les premières positions successives du centre d'inertie G du système est donnée ci-dessous.

La durée $\tau = 0,800$ s sépare deux positions successives du centre d'inertie G . À $t = 0$, le centre d'inertie du système est au point A (G_0 sur la chronophotographie).

- 1 Exprimer les valeurs des vitesses $\vec{V}_2$ et $\vec{V}_4$ du centre d'inertie G aux points G_2 et G_4 puis les calculer.
- 2 Représenter les vecteurs vitesses $\vec{V}_2$ et $\vec{V}_4$ sur le schéma ci-dessous en respectant l'échelle suivante : 1 cm pour 2 m.s^{-1} .
- 3 Représenter sur le document, le vecteur $\Delta \vec{V}_3 = \vec{V}_4 - \vec{V}_2$.
- 4 Donner le sens et la direction de la résultante vectorielle des forces appliquées au motard.



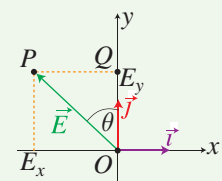
Échelle : 1 cm pour 4,3 m.

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

1 QCM Testez vos connaissances

Énoncé
p. 37

- 1 La gravitation est toujours attractive, quelle que soit la valeur des masses (réponse **a**).
- 2 D'après la loi de Coulomb, deux charges de même signe (positives ou négatives) exercent l'une sur l'autre une force répulsive. Cette force est proportionnelle au produit des charges et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare (réponse **b**).
- 3 Un champ scalaire associe à chaque point de l'espace une valeur numérique (exemples : température, pression). Contrairement à un champ vectoriel, il n'a ni direction ni sens (réponse **b**).
- 4 Un champ (vectoriel ou scalaire), qui demeure le même en tout point d'une région de l'espace est un champ uniforme (réponse **a**). En revanche, un champ constant est un champ qui ne varie pas dans le temps.
- 5 Soient P et O les extrémités du vecteur champ $\vec{E}$ et soit Q le projeté de P sur l'axe Oy vertical. Dans le triangle rectangle (OPQ) , on peut définir :

$$\begin{cases} \cos \theta = \frac{OQ}{OP} = \frac{OQ}{E} \\ \sin \theta = \frac{PQ}{OP} = \frac{PQ}{E} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} OQ = E \cos \theta \\ PQ = E \sin \theta \end{cases}$$


Ainsi, les composantes du vecteur $\vec{E}$ s'écrivent :

$$\begin{cases} E_x = -PQ = -E \sin \theta \\ E_y = OQ = E \cos \theta \end{cases} \Rightarrow \vec{E} = \begin{pmatrix} -E \sin \theta \\ E \cos \theta \end{pmatrix} \text{ (réponse **b**)}.$$

- 6 En remarquant que :

$$\begin{cases} \frac{3,4}{5} = 0,68 \\ \frac{1,36}{2} = 0,68 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3,4 = 0,68 \times 5 \\ 1,36 = 0,68 \times 2 \end{cases}$$

on peut présenter le vecteur $\vec{V}$ sous la forme :

$$\begin{aligned} \vec{V} &= \begin{pmatrix} 3,40 \\ 1,36 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,68 \times 5 \\ 0,68 \times 2 \end{pmatrix} = 0,68 \times \begin{pmatrix} 5 \\ 2 \end{pmatrix} \\ \Rightarrow \vec{V} &= 0,68 \vec{U} \text{ car } \vec{U} = \begin{pmatrix} 5 \\ 2 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

ce qui suffit à prouver que $\vec{U}$ et $\vec{V}$ sont colinéaires (réponse **b**).

- 7 Dans un condensateur plan, le champ électrostatique $\vec{E}$ est uniforme (même intensité, même direction et même sens en tout point entre les armatures). Il est dirigé de l'armature positive vers l'armature négative,

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

car les lignes de champ partent des charges positives et arrivent vers les charges négatives (réponse **a**).

8 $F = qE = -1,6 \times 10^{-19} \times 100 = -1,6 \times 10^{-17} \text{ N}$ (réponse **b**).

9 $E = \frac{U}{d}$, où U est la tension appliquée et d la distance entre les armatures (réponse **c**).

10 • D'après le cours, le vecteur variation de vitesse et la résultante $\vec{F}$ des forces sont colinéaires et le coefficient de proportionnalité est la masse de l'objet considéré, donc $\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$.

• Cas particulier : si le vecteur vitesse $\vec{v}$ est constant (mouvement rectiligne uniforme), alors $\Delta \vec{v} = \vec{0}$, donc $\vec{F} = \vec{0}$ (réponse **d**).

2 Force subie par un proton

Énoncé
p. 38

Lycée Guynemer, Compiègne

- 1 (a) Un champ électrostatique uniforme est caractérisé par un vecteur champ qui demeure le même en tout point de l'espace ; ses lignes de champ sont des segments de droite (cf. figure 1).
- (b) En un point M quelconque d'une ligne de champ, le champ électrique $\vec{E}$ est tangent à la ligne de champ (parallèle à la ligne de champ sur la figure 1 page suivante).



- 2 (a) Un proton, de charge $q_p = e$, plongé dans un champ électrique $\vec{E}$ d'intensité E , est soumis à une force $\vec{F} = q_p \vec{E} = e \vec{E}$, dont l'intensité vaut :

$$F = e \times E = 1,6 \cdot 10^{-19} \times 2 \cdot 10^3 = 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ N}.$$

- (b) La relation $\vec{F} = e \vec{E}$ montre que le vecteur $\vec{F}$ est colinéaire à $\vec{E}$ et possède le même sens car $e > 0$ (cf. figure 2).

3 Cumulonimbus

Énoncé
p. 38

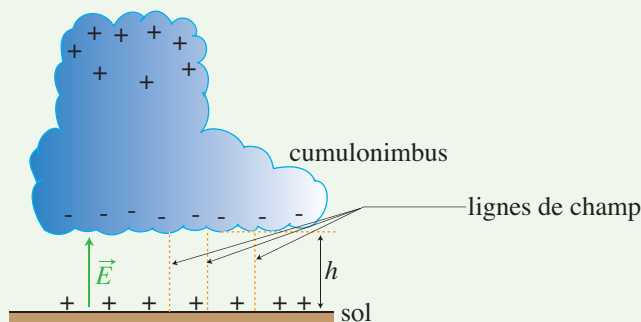
Lycée Teilhard De Chardin, Saint-Maur-des-Fossés

- 1 D'après l'énoncé, les charges se répartissent dans le nuage et sur le sol (cf. schéma page suivante) :
- charges positives au sommet du nuage ;

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

- charges négatives à la base du nuage ;
- charges positives au sol.

- 2** (a) Loin des bords du nuage, l'ensemble nuage-sol se comporte comme un condensateur plan entre les armatures duquel les lignes de champ sont parallèles entre elles et perpendiculaires au sol (cf. schéma ci-dessous).
- (b) Le vecteur champ électrique est caractérisé par :
- sa direction : celle des lignes de champ ;
 - son sens : dirigé des charges positives vers les charges négatives le long d'une ligne de champ ;
 - son intensité : d'autant plus importante que les lignes de champ sont resserrées.



- (c) En excluant le cas marginal des pointes, qui n'est pas caractéristique des condensateurs plans, les surfaces chargées sont espacées d'une distance h . Puisqu'un champ moyen :

$$E = \|\vec{E}\| = 15 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1} = 15.10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

régne dans cet espace sous une tension $U = 100.10^6 \text{ V}$, il s'ensuit que :

$$U = E \times h \Rightarrow h = \frac{U}{E} = \frac{10^8}{15.10^3} \approx 6,7 \cdot 10^3 \text{ m.}$$

4 Forces électrostatiques

Énoncé
p. 39

Lycée Charlemagne, Paris

- 1** La charge d'un proton valant $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$, celle de la particule P lui est 6 fois supérieure :

$$q_P = 6 \times e = 6 \times 1,6.10^{-19} = 9,6.10^{-19} \text{ C.}$$

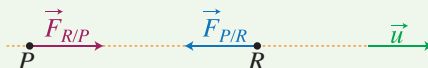
L'attraction entre les particules chargées P et R rend compte de la nature de leurs charges : q_P étant positif, q_R est négatif.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 2 Soit $\vec{u}$ un vecteur unitaire directeur de la droite passant par P et R :



La loi de Coulomb donne l'expression de la force $\vec{F}_{R/P}$ que R exerce sur P et de la force $\vec{F}_{P/R}$ que P exerce sur R :

$$\vec{F}_{R/P} = k \times \frac{|q_P| \times |q_R|}{PR^2} \vec{u} \text{ et } \vec{F}_{P/R} = -k \times \frac{|q_P| \times |q_R|}{PR^2} \vec{u}.$$

Énumérons les caractéristiques de ces deux forces :

- elles sont colinéaires : elles possèdent la même direction $\vec{u}$;
- elles sont de sens opposé : $\vec{F}_{P/R} = -\vec{F}_{R/P}$;
- elles ont la même intensité $F = 0,128 \mu\text{N} = 0,128 \cdot 10^{-6} \text{N}$:

$$F = |\vec{F}_{R/P}| = |\vec{F}_{P/R}| = k \times \frac{|q_P| \times |q_R|}{PR^2}$$

$$\Rightarrow F = k \times \frac{6e \times |q_R|}{PR^2} \text{ car } |q_P| = 6e.$$

De cette dernière relation, il découle que :

$$|q_R| = \frac{F \times PR^2}{6ke} \text{ avec } PR = 180 \text{ pm} = 180 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

$$= \frac{0,128 \cdot 10^{-6} \times (180 \cdot 10^{-12})^2}{6 \times 9 \cdot 10^9 \times 1,6 \cdot 10^{-19}} \Rightarrow |q_R| = 4,8 \cdot 10^{-19}.$$

Et, puisque q_R est négatif :

$$q_R = -4,8 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -3e \text{ car } e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}.$$

La charge q_R équivaut donc à la charge de trois électrons.

5 Cristal de chlorure de sodium

Énoncé
p. 40

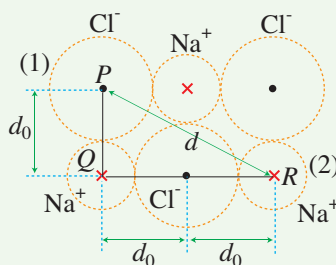
Lycée Bertioz, Vincennes



- 1 Notons :

$$d_0 = r_{\text{Na}^+} + r_{\text{Cl}^-} = 97 + 181 = 278 \text{ pm}$$

la distance séparant un ion Na^+ et un ion Cl^- en contact :



MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Si P et R désignent les centres respectifs des ions (1) et (2), la distance $PR = d$ s'obtient aisément en appliquant le théorème de Pythagore au triangle rectangle (PQR) :

$$\begin{aligned} PR^2 &= PQ^2 + QR^2 \text{ avec } PQ = d_0 \text{ et } QR = 2d_0 \\ \Rightarrow d^2 &= d_0^2 + 4d_0^2 = 5d_0^2 \\ \Rightarrow d &= \sqrt{5}d_0 = \sqrt{5} \times (r_{\text{Na}^+} + r_{\text{Cl}^-}) \\ \Rightarrow d &= \sqrt{5} \times 278 \approx 622 \text{ pm.} \end{aligned}$$

- 2** L'ion Cl^- se forme par addition d'un électron (de charge $-e$) à l'atome de chlore initialement neutre, tandis que l'ion Na^+ provient du départ d'un électron de l'atome de sodium initialement neutre. Les charges respectives de ces ions valent alors :

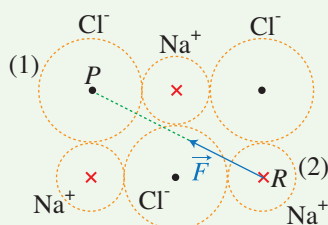
$$q_{\text{Cl}^-} = -e \text{ et } q_{\text{Na}^+} = +e$$

entre lesquels s'exerce une force électrostatique dont la loi de Coulomb prévoit l'intensité :

$$\begin{aligned} F &= k \times \frac{|q_{\text{Cl}^-}| \times |q_{\text{Na}^+}|}{d^2} = k \times \frac{e^2}{d^2} = 9.10^9 \times \frac{(1,6.10^{-19})^2}{(622.10^{-12})^2} \\ \Rightarrow F &= 6,0.10^{-10} \text{ N.} \end{aligned}$$

Les caractéristiques du vecteur force associé sont :

- sa direction : la droite passant par les centres R et P des ions ;
- son sens : de R vers P car l'ion (2) est attiré par l'ion (1) ;
- son intensité : $\|\vec{F}\| = F = 6,0.10^{-10} \text{ N.}$



6 Calcul de la valeur de g à la surface de la Terre

Lycée Lycée Claude Bernard, Paris

Énoncé
p. 40

En négligeant les forces dues à la rotation de la Terre, nous assimilons le champ de gravitation au champ de pesanteur :

$$g = \frac{GM_T}{R_T^2} = \frac{6,67.10^{-11} \times 6,0.10^{24}}{(6\,370.10^3)^2} = 9,8 \text{ m.s}^{-2}.$$

Nous retrouvons ainsi la valeur connue de g .

7 Poids à la surface de Mercure

Énoncé
p. 40

Lycée Alexandre Dumas, Saint-Cloud

- 1 À la surface d'un astre sphérique de masse M et de rayon r règne un champ de gravitation qui peut s'identifier au champ de pesanteur, à condition de négliger le mouvement de l'astre :

$$\begin{aligned} g &= \frac{G M}{r^2} \text{ avec } r = 2\,440 \text{ km} = 2\,240 \cdot 10^3 \text{ m} \\ &= \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 3,3 \cdot 10^{23}}{(2\,440 \cdot 10^3)^2} = 3,70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}. \end{aligned}$$

- 2 À la surface de Mercure, un objet de masse $m = 500 \text{ g} = 0,5 \text{ kg}$ possède alors un poids :

$$P = m g = 0,5 \times 3,7 = 1,85 \text{ N}.$$

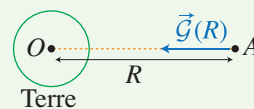
8 Trou noir stellaire

Énoncé
p. 41

Lycée Teilhard De Chardin, Saint-Maur-des-Fossés

- 1 En un point A situé à une distance R du centre O de la Terre, le champ de gravitation $\vec{G}(R)$ est caractérisé par :

- sa direction : la droite (AO) ;
- son sens : de A vers O ;
- son intensité : $G(R) = G \frac{M_T}{R^2}$



G désigne la constante de gravitation universelle et M_T est la masse de la Terre.

Le champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$ se confond avec le champ de gravitation à la surface de la Terre (de rayon R_T) si l'on néglige le mouvement de la Terre.

- 2 À la « surface » d'un trou noir stellaire de rayon $R_{tn} = 30 \text{ km}$ et de masse $M_{tn} = 3 \cdot 10^5 M_T$ (300 000 masses terrestres) règne un champ de gravitation :

$$\begin{aligned} g_{tn} &= G \frac{M_{tn}}{R_{tn}^2} = 3 \cdot 10^5 \times G \frac{M_T}{R_{tn}^2} \\ \text{où } \frac{R_T}{R_{tn}} &= \frac{6\,400}{30} \approx 213 \Rightarrow \frac{1}{R_{tn}} \approx \frac{123}{R_T} \Rightarrow \frac{1}{R_{tn}^2} = \frac{(213)^2}{R_T^2} \text{ fournit :} \\ g_{tn} &= 3 \cdot 10^5 \times (213)^2 \times G \frac{M_T^2}{R_T^2} = 3 \cdot 10^5 \times (213)^2 \times g \approx 1,3 \cdot 10^{10} \times g \\ &\Rightarrow g_{tn} = 1,3 \cdot 10^{11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ car } g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}. \end{aligned}$$

Remarque : à la « surface » d'un tel trou noir, un objet de 1 gramme aurait le même poids qu'un objet de 1 300 tonnes sur Terre !

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

9 Balancier d'une horloge

Énoncé
p. 41

Lycée Saint-Exupéry, Mantes-la-Jolie

- 1 Un point du sol, situé au pôle, se trouve à la distance R_p du centre O de la Terre, auquel cas il est soumis à un champ gravitationnel d'intensité $g_p = \frac{GM}{R_p^2}$, où G est la constante de gravitation universelle et M est la masse de la Terre. De même, un point situé à l'équateur, donc à une distance R_e de O , est soumis à un champ gravitationnel d'intensité $g_e = \frac{GM}{R_e^2}$. Ce faisant, la période d'oscillations d'une horloge située à l'équateur ou au pôle vaut respectivement :

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g_e}} \text{ et } T_p = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g_p}}.$$

Par conséquent :

$$\frac{T_p}{T_0} = \sqrt{\frac{\ell}{g_p}} \times \sqrt{\frac{g_e}{\ell}} = \sqrt{\frac{g_e}{g_p}}$$

avec :

$$\begin{aligned} \frac{g_e}{g_p} &= \frac{GM}{R_e^2} \times \frac{R_p^2}{GM} = \frac{R_p^2}{R_e^2} \Rightarrow \sqrt{\frac{g_e}{g_p}} = \sqrt{\frac{R_p^2}{R_e^2}} = \frac{R_p}{R_e} \\ &\Rightarrow \frac{T_p}{T_0} = \frac{R_p}{R_e} \Rightarrow T_p = T_0 \times \frac{R_p}{R_e} \end{aligned}$$

où $R_e = 6\,378$ km tandis que :

$$R_e - R_p = 21 \text{ km} \Rightarrow R_p = R_e - 21 = 6\,378 - 21 = 6\,357 \text{ km}.$$

Il s'ensuit que :

$$T_p = 1 \times \frac{6\,357}{6\,378} \approx 0,9967 \text{ s}.$$

- 2 Pour passer d'une graduation à l'autre, la trotteuse de l'horloge située au pôle met un temps $T_p \approx 0,9967$ s plus court que celle de l'horloge située à l'équateur (qui met $T_0 = 1 \text{ s} > T_p$). La trotteuse de l'horloge située au pôle tourne donc plus vite que celle de l'horloge située à l'équateur ; elle marque donc une avance par rapport à celle de l'horloge restée à l'équateur.
- 3 Pour passer d'une graduation à l'autre, la trotteuse présente un écart (entre le pôle et l'équateur) :

$$\Delta T_1 = T_0 - T_p = 1 - 0,9967 \approx 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ s}.$$

Donc, après avoir parcouru N graduations, la trotteuse située au pôle présente une avance de :

$$\Delta T_N = N \times \Delta T_1$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

sur celle restée à l'équateur. Ce faisant, cet écart atteindra la valeur $\Delta T_N = 1$ s, lorsque la trotteuse aura parcouru :

$$N = \frac{\Delta T_N}{\Delta T_1} = \frac{1}{3,3 \cdot 10^{-3}} = 303 \text{ graduations}$$

c'est-à-dire au bout de :

$$\tau = 303 \text{ s} = 5 \text{ min } 3 \text{ s.}$$

10 Interaction Terre-Lune

Énoncé
p. 42

Lycée Sophie Germain, Paris

- 1 La Terre et la Lune étant espacées d'une distance $d = 384\,400 \cdot 10^3$ m, la force gravitationnelle qu'elles exercent mutuellement l'une sur l'autre est donnée par la loi page ci-contre.

$$F_{T/L} = \frac{G M_T M_L}{d^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 6 \cdot 10^{24} \times 7,3 \cdot 10^{22}}{(384\,400 \cdot 10^3)^2}$$

$$\Rightarrow F_{T/L} = 2,0 \cdot 10^{20} \text{ N.}$$

- 2 Soit q_T et q_L les charges électriques respectivement portées par la Terre et la Lune. L'intensité de l'interaction électrostatique entre ces astres vaut alors :

$$F_{\text{élec}} = k \frac{|q_T| \times |q_L|}{d^2} = k \frac{|q|^2}{d^2}$$

si les charges q_T et q_L sont identiques. Donc, pour que l'interaction électrostatique compense la gravitation, elle doit repousser les astres (q_T et q_L sont de même signe) avec la même intensité :

$$F_{\text{élec}} = F_{T/L} \Rightarrow k \frac{|q|^2}{d^2} = \frac{G M_T M_L}{d^2}$$

$$\Rightarrow |q|^2 = \frac{G M_T M_L}{k}$$

$$\Rightarrow |q| = \sqrt{\frac{G M_T M_L}{k}}$$

$$\Rightarrow |q| = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 6 \cdot 10^{24} \times 7,3 \cdot 10^{22}}{9 \cdot 10^9}}$$

$$\Rightarrow |q| = 5,7 \cdot 10^{13} \text{ C.}$$

MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

11 Loi de la gravitation

Énoncé
p. 42

Lycée Bertioz, Vincennes

- 1 À grande distance, les forces que les astres exercent sont de type gravitationnel.
- 2 L'intensité F_T de la force exercée par la Terre (de masse M_T) sur l'objet (de masse m) est inversement proportionnelle au carré de la distance NT qui sépare ces corps :

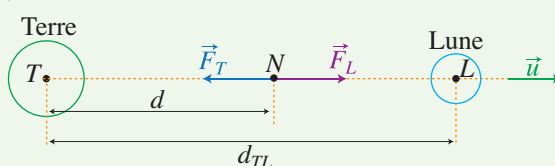
$$F_T = \frac{G M_T m}{NT^2} \quad (3)$$

où G désigne la constante de gravitation.

- 3 L'intensité F_L de la force gravitationnelle que la Lune (de masse M_L) exerce sur l'objet vérifie une loi analogue :

$$F_L = \frac{G M_L m}{NL^2}. \quad (4)$$

- 4 Les vecteurs force qui s'exercent sur l'objet présentent la même direction : la droite TL de vecteur unitaire directeur $\vec{u}$, mais sont de sens contraire :



L'objet est alors soumis à une force résultante $\vec{F} = \vec{F}_T + \vec{F}_L = (F_L - F_T) \vec{u}$ qui s'annule lorsque les deux forces gravitationnelles se compensent. Dans ce cas :

$$F_T = F_L. \quad (5)$$

- 5 Compte tenu des relations (3) et (4), l'identité (5) devient :

$$\begin{aligned} F_T = F_L &\Rightarrow \frac{G M_T m}{NT^2} = \frac{G M_L m}{NL^2} \Rightarrow \frac{M_T}{NT^2} = \frac{M_L}{NL^2} \\ &\Rightarrow NL^2 = NT^2 \times \frac{M_L}{M_T}. \end{aligned}$$

Il s'ensuit que :

$$NL = NT \times \sqrt{\frac{M_L}{M_T}} = d \sqrt{\frac{M_L}{M_T}}.$$

Ainsi, la distance qui sépare la Terre et la Lune vaut :

$$\begin{aligned} d_{TL} = TL &= TN + NL = d + d \sqrt{\frac{M_L}{M_T}} = d \times \left(1 + \sqrt{\frac{M_L}{M_T}} \right) \\ &\Rightarrow \frac{d_{TL}}{d} = 1 + \sqrt{\frac{M_L}{M_T}}. \end{aligned}$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

12 Tir d'une flèche

Énoncé
p. 43

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1 La seule force qui s'exerce sur la flèche, si on néglige les frottements de l'air, est son poids $\vec{P} = -mg \cdot \vec{u}_y$ (en définissant $\vec{u}_y$ comme un vecteur unitaire, dont la direction est verticale et qui pointe vers le haut).
- 2 Il est possible de déterminer $\Delta\vec{v}$ par le calcul :

$$\Delta\vec{v} = \vec{v}_1 - \vec{v}_0 = \begin{pmatrix} v_{x1} - v_{x0} \\ v_{y1} - v_{y0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 - 15 \\ -1 - 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \end{pmatrix} = -\vec{u}_y.$$

$\Delta\vec{v}$ et $\vec{P}$ sont bien proportionnels : $\vec{P} = mg \cdot \Delta\vec{v}$

- 3 La force qui s'exerce sur la flèche est constante. Donc le vecteur variation de vitesse est constant lui aussi.

On en déduit donc que :

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \Delta\vec{v} = \begin{pmatrix} v_{x1} + \Delta v_x \\ v_{y1} + \Delta v_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 + 0 \\ -1 - 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 \\ -2 \end{pmatrix} = 15\vec{u}_x - 2\vec{u}_y.$$

Les valeurs numériques sont exprimées en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

13 Mouvement de la Lune

Énoncé
p. 43

Lycée Lakanal, Sceaux

- 1 On considère la vitesse constante au cours du mouvement. On peut donc tracer les vecteurs vitesse de n'importe quelle longueur à partir du moment où tous les vecteurs sont de la même longueur. Il faut néanmoins calculer la valeur de la vitesse afin de pouvoir préciser l'échelle :

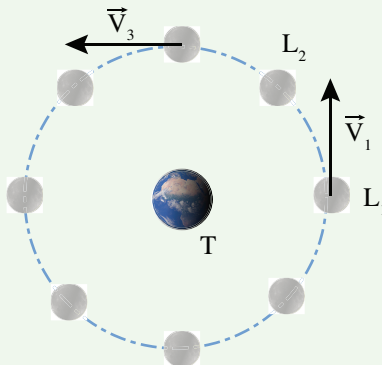
$$\|\vec{v}\| = \frac{D}{T}$$

où $D = 2\pi R$ est la distance parcourue et T est la durée (en secondes) mise par la Lune pour faire le tour de la Terre.

Donc :

$$\|\vec{v}\| = \frac{2 \times \pi \times 385 \cdot 10^6}{28 \times 24 \times 3600} \approx 1\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

L'échelle choisie peut être de représenter $1\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ par un segment de 1,5 cm.



Ainsi,

$$V_4 = \frac{1,28}{0,20} = 6,4 \text{ m.s}^{-1}.$$

- La vitesse V_6 est donnée par la formule :

$$V_6 = \frac{G_5 G_7}{2\tau}.$$

Graphiquement, on mesure :

$$G_5 G_7 = 1,3 \text{ cm}.$$

Avec l'échelle 1 cm pour 0,80 m, on obtient alors :

$$G_5 G_7 = 1,3 \times 0,8 = 1,04 \text{ m}.$$

Ainsi,

$$V_6 = \frac{1,04}{0,2} = 5,2 \text{ m.s}^{-1}.$$

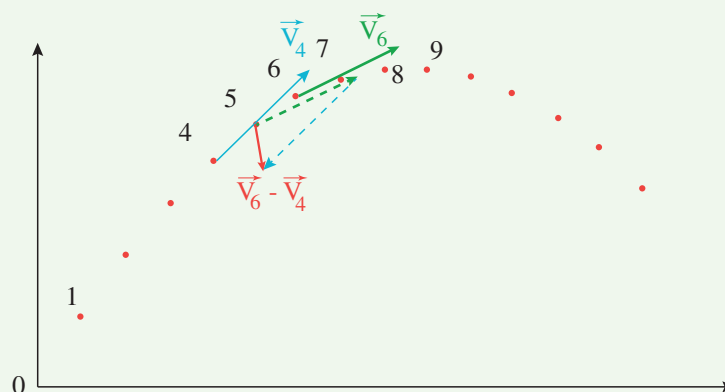
- 2** Avec l'échelle 1 cm pour $3,5 \text{ m.s}^{-1}$, $\vec{V}_4$ mesure $\frac{6,4}{3,5} = 1,8 \text{ cm}$, et $\vec{V}_6$ mesure $\frac{5,2}{3,5} = 1,5 \text{ cm}$.

Les deux vecteurs sont représentés sur le schéma qui se trouve en fin de corrigé.

- 3** Construction du vecteur $\Delta \vec{V}$ au point 5 : on reporte $\vec{V}_6$ au point 5 et on soustrait le vecteur $\vec{V}_4$ (voir vecteurs en pointillés). Le vecteur $\Delta \vec{V}$ mesure 1,0 cm donc avec l'échelle des vitesses :

$$\Delta \vec{V} = 2,0 \text{ m.s}^{-1}.$$

- 4** La résultante vectorielle des forces appliquées au centre d'inertie du dauphin a même sens et direction que $\Delta \vec{V}$.



MOUVEMENT ET INTERACTIONS • CHAP. 2

15 Étude d'un mouvement en Python

Énoncé
p. 44

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1 Pour résoudre le problème, il faut considérer indépendamment la composante de la vitesse selon l'axe des x et la composante de la vitesse selon l'axe des y .

La composante de la vitesse selon l'axe des x se calcule à partir de la différence des positions en x :

$$v_{2x} = (x_3 - x_2) - (x_2 - x_1) = x_3 - x_1.$$

De même la composante de la vitesse selon l'axe des y se calcule à partir de la différence de positions en y :

$$v_{2y} = (y_3 - y_2) - (y_2 - y_1) = y_3 - y_1.$$

De même pour v_{4x} et v_{4y} .

Enfin,

$$\Delta v_x = v_{4x} - v_{2x} \quad \text{et} \quad \Delta v_y = v_{4y} - v_{2y}.$$

D'où le script suivant :



```
#Interv. de temps entre 2 pts successifs (en s)
tau=0.04

#Position des 5 premiers points (en m)
x1, y1 = 0, 100
x2, y2 = 2, 95.2
x3, y3 = 4, 80.4
x4, y4 = 6, 55.6
x5, y5 = 8, 20.8

#Calcul des vecteurs vitesse en 2 et 4
v2x=(x3-x1)/(2*tau)
v2y=(y3-y1)/(2*tau)
v4x=(x5-x3)/(2*tau)
v4y=(y5-y3)/(2*tau)

#Calcul du vecteur variation de vitesse en 3
Deltav3x=v4x-v2x
Deltav3y=v4y-v2y

#Affichage du résultat
print("Dv3x="+str(Deltav3x)+"   Dv3y="+str(Deltav3y))

print(str(v2x)+" "+str(v2y))
print(str(v4x)+" "+str(v4y))
```

- 2 En réalisant les calculs, on trouve (valeurs sont exprimées en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) :
- $$v_{2x} = 50, v_{2y} = -245, v_{4x} = 50, v_{4y} = -745, \Delta v_x = 0, \Delta v_y = -500.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 3 On voit que $\Delta v_x = 0$ et que Δv_y est négatif. On en déduit que la force qui s'exerce au point 3 est verticale, dirigée vers le bas.

16 La phase d'accélération d'un motard

Énoncé
p. 46

Lycée Claude Bernard, Paris

1
$$V_2 = \frac{G_1 G_3}{t_3 - t_1} = \frac{G_1 G_3}{2\tau}.$$

Le facteur d'échelle donne : 1 cm (document) $\longleftrightarrow$ 4,3 m (réel).

$G_1 G_3 = 3$ cm sur le document donc réellement :

$$G_1 G_3 = 3 \times 4,3 = 12,9 \text{ m}.$$

Ainsi,

$$\vec{V}_2 = \frac{12,9}{2 \times 0,800} \approx 8,0 \text{ m.s}^{-1}.$$

De plus, $\vec{V}_4 = \frac{G_3 G_5}{t_5 - t_3}$ avec $G_3 G_5 = 6,5$ cm sur le document donc réellement : $G_3 G_5 = 6,5 \times 4,3 \approx 28$ m.

Ainsi,

$$\vec{V}_4 = \frac{28}{2 \times 0,800} = 17,5 \text{ m.s}^{-1}.$$

- 2 Voir schéma en fin de corrigé.

Échelle des vitesses : 1 cm $\longleftrightarrow$ 4,3 m.s⁻¹ donc :

- $\vec{V}_2$ est représenté par une flèche de $8,0 \times \frac{1}{4,3} \approx 1,9$ cm,
- $\vec{V}_4$ est représenté par une flèche de $17,5 \times \frac{1}{4,3} = 4,1$ cm.

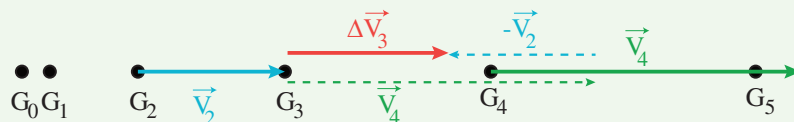
Les vecteurs vitesses sont tangents à la trajectoire et orientés dans le sens du mouvement.

- 3 Voir schéma en fin de corrigé.

Construction du vecteur $\Delta \vec{V}_3 = \vec{V}_4 - \vec{V}_2$ en G_3 .

Les vecteurs en pointillés nous permettent de construire $\Delta \vec{V}_3$.

- 4 La résultante des forces a le même sens et la même direction que $\Delta \vec{V}_3$.



Chapitre

3

Pression dans les gaz et les liquides

Plan du chapitre

1. Introduction
2. Description d'un gaz à l'échelle microscopique
3. Notion de température
4. Notion de pression
5. Loi de Mariotte
6. Relation fondamentale de l'hydrostatique

1 Introduction

Exercice type 1

Lycée Van Dongen, Lagny

Un hublot d'avion a pour dimensions $25\text{ cm} \times 18\text{ cm}$. L'air à l'intérieur de l'avion est à la pression $P_0 = 10^5\text{ Pa}$, alors que l'air extérieur est à la pression $P_1 = 10^4\text{ Pa}$. Quelle est la résultante des forces pressantes sur le hublot ?

Voir corrigé page 64

Dans ce chapitre, nous abordons l'étude des notions de température et de pression d'un gaz sur le plan microscopique et macroscopique, et nous présentons la relation fondamentale de l'hydrostatique.

2 Description d'un gaz à l'échelle microscopique

Un gaz tel que l'air contenu dans une salle de classe contient un nombre considérable de particules (ici des molécules de dioxygène et de diazote pour la plupart). Ces molécules sont animées, dans les conditions standards, d'une vitesse qui est de l'ordre de 500 m.s^{-1} , et ont des trajectoires totalement aléatoires, erratiques, qui sont perpétuellement changées par les chocs contre les parois et par les chocs entre particules elles-mêmes. Entre deux chocs les trajectoires sont des segments de droite. Pour fixer les idées, l'air dans la salle de classe se comporte comme un gigantesque billard, en trois dimensions au lieu de deux, avec environ 10^{25} boules, qui sont les molécules.

Le mouvement erratique, aléatoire, d'une particule dans un gaz est appelé le mouvement brownien.

Bien évidemment, il est impossible de décrire un gaz en étudiant individuellement la trajectoire de chacune des particules qui le composent. Il faut faire appel à des grandeurs macroscopiques, qui permettent une description statistique du gaz. Température et pression sont précisément des grandeurs macroscopiques qui jouent ce rôle.

Remarque : *macroscopique* est le contraire de *microscopique*. Une propriété macroscopique du système est ici une propriété que l'on peut définir de manière globale, sans s'intéresser à ses composants individuels, les particules, qui sont microscopiques.

3 Notion de température

La température caractérise l'état thermique d'un corps. Dans un gaz, elle est liée à la vitesse d'agitation moyenne des molécules. L'échelle de mesure des températures courantes est l'échelle Celsius. À la pression atmosphérique, l'eau gèle à 0 °C et bout à 100 °C. La dilatation d'un liquide tel que le mercure permet d'interpoler et d'extrapoler l'échelle au-delà de ces limites. Le symbole du degré Celsius est °C. Une température exprimée en degrés Celsius est souvent notée θ (lettre grecque *theta*).

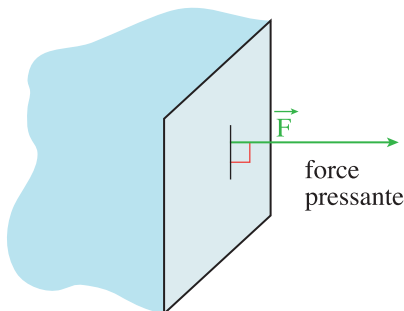
4 Notion de pression

La température caractérisait la vitesse d'agitation des particules dans un gaz. La pression, elle, caractérise l'intensité de tous les chocs de particules subis par une paroi.

4.1 Force pressante subie par une surface

Un ballon est gonflé par l'agitation des molécules qui viennent heurter ses parois intérieures.

De manière plus formelle, lorsqu'une surface plane est plongée dans un fluide (liquide ou gaz), elle reçoit de ce fluide une force, appelée force pressante, qui est perpendiculaire à la surface et proportionnelle à celle-ci.



La force pressante est perpendiculaire à la surface. La force est exercée par un fluide qui se trouve à gauche de la surface.

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

Bien évidemment, si cette surface est en contact avec le fluide des deux côtés, elle reçoit deux forces pressantes qui se compensent. En revanche, si elle est en contact avec des fluides différents des deux côtés (vitre d'aquarium, hublot d'avion, hublot de sous-marin, etc.) alors les forces pressantes ne se compensent plus.

Définition 1

La pression est la force exercée par unité de surface.

Si on note P la pression, elle est donc donnée par :

$$P = \frac{F}{S},$$

où F est la force pressante exercée par le fluide sur une surface plane d'aire S .

4.2 Unités et mesure

Dans les unités du Système International, elle se mesure donc en N.m^{-2} , encore appelé pascal, de symbole Pa. On utilise souvent l'hecto-pascal, de symbole hPa. On a : $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$.

La pression standard est $P_0 = 101\,325 \text{ Pa} = 1\,013,25 \text{ hPa}$.

Remarque : d'autres unités fréquemment utilisées sont :

- L'atmosphère, de symbole atm. On a : $1 \text{ atm} = P_0 = 101\,325 \text{ Pa}$.

Exemple : une pression $p = 3 \text{ atm}$ vaut, en pascals :
 $p = 3 \times 101\,325 = 303\,975 \text{ Pa}$.

- Le millimètre de mercure (de symbole mm Hg).

Une pression se mesure à l'aide d'un manomètre.

5 Loi de Mariotte



 Retrouvez une illustration de la loi de Mariotte en vidéo.

Le Français Edme Mariotte et l'irlandais Robert Boyle ont, au cours du XVII^e siècle, découvert indépendamment la loi qui porte leur nom, et qui peut s'énoncer ainsi :

➔ À RETENIR : loi de Mariotte

À température donnée, le produit de la pression P et du volume V d'une quantité de gaz donnée est constante : $P \times V = \text{constante}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Cette loi est très bien vérifiée par les gaz aux basses pressions (pressions de l'ordre de la pression atmosphérique). Elle est rigoureusement exacte dans le cas des gaz parfaits. Elle est indépendante de la nature (composition chimique) du gaz considéré. On pouvait s'y attendre dans la mesure où la première hypothèse des gaz parfaits suppose que les particules du gaz parfait sont des masses ponctuelles, et donc ne considère absolument pas la structure atomique ou moléculaire (c'est-à-dire l'identité chimique) des particules du gaz.

Ainsi, considérons un gaz à une température donnée θ , dans une enceinte de volume V_1 et à la pression P_1 . On suppose que l'on fait varier le volume de l'enceinte, de manière à ce qu'il devienne V_2 . Si la température est maintenue égale à θ , alors le gaz se retrouve à une pression P_2 qui vérifie l'égalité :

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2.$$

Nous verrons dans les classes ultérieures que ce produit dépend de la température (raison pour laquelle il est très important de spécifier « à température constante » dans l'énoncé de la loi de Boyle-Mariotte). Ceci nous conduira à l'équation d'état des gaz parfaits.

➔ Solution de l'exercice type 1

Lycée Van Dongen, Lagny

On commence par évaluer la force pressante F_i sur la face intérieure du hublot. Cette force est donnée par :

$$F_i = S \times P_0,$$

où $S = 0,25 \times 0,18 = 0,045 \text{ m}^2$ (attention à travailler dans les unités du Système International).

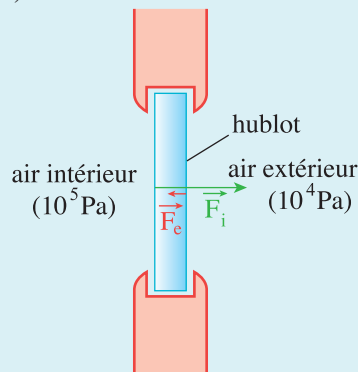


Figure 3.1 – Bilan des forces pressantes sur le hublot d'avion.

L'application numérique donne :

$$F_i = 10^5 \times 0,045 = 4\,500 \text{ N}.$$

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

➔ Solution de l'exercice type 1 (suite)

Lycée Van Dongen, Lagny

De la même manière, la force pressante F_e sur la face extérieure du hublot est :

$$F_e = P_1 \times S = 10^4 \times 0,045 = 450 \text{ N.}$$

La résultante de ces deux forces, qui sont parallèles et opposées, est une force dirigée vers l'extérieur de l'avion et de valeur :

$$F = F_i - F_e = 4\,500 - 450 = 4\,050 \text{ N.}$$

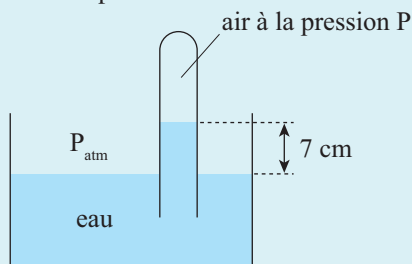
Voir énoncé page 61

6 Relation fondamentale de l'hydrostatique

Exercice type 2

Lycée Victor Hugo, Bordeaux

On considère la situation représentée ci-dessous :



Un tube à essais est renversé sur une cuve contenant de l'eau. On observe un dénivelé h entre le niveau de l'eau dans la cuve et celui de l'eau dans le tube à essais.

Quelle est, dans les unités du Système International, la pression P de l'air emprisonné dans le tube à essais ?

- Données :
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.
 - Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \text{ g.cm}^{-3}$.
 - Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 101\,325 \text{ Pa}$.

Voir corrigé page 66

Définition 2

On appelle *masse volumique* d'un corps la masse par unité de volume de ce corps. Dans les unités du Système International, elle s'exprime en kilogramme par mètre cube (kg.m^{-3}).

En unités du Système International, la masse volumique est donc la masse d'un mètre cube du corps.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Dans un liquide incompressible de masse volumique ρ , au repos, on a, entre deux points quelconques A et B à l'intérieur du liquide la relation donnée ci-dessous :

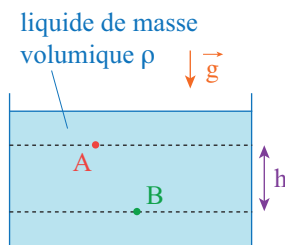
➡ À RETENIR

Relation fondamentale de l'hydrostatique :

$$P_B - P_A = \rho \times g \times h,$$

où P_B est la pression au point B et P_A la pression au point A, g l'intensité de la pesanteur, ρ la masse volumique du fluide et h la différence d'altitude entre les deux points.

On représente schématiquement la situation à la figure ci-dessous.



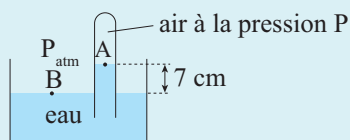
La relation fondamentale de l'hydrostatique appelle quelques commentaires :

- elle n'est valable que si le liquide est au repos (d'où le qualificatif de loi de l'hydrostatique) ;
- la pression est toujours plus élevée au point le plus bas (dans le cas représenté ci-dessus il s'agit du point B). En cas de doute en cours de devoir, on s'assurera bien que chaque membre de l'égalité est positif (ici $P_B > P_A$ donc $P_B - P_A > 0$, et $\rho \times g \times h > 0$) ;
- h n'est pas la distance qui sépare les points, mais la différence d'altitude. En particulier, si ceux-ci sont à la même altitude, ils sont à la même pression ;
- les points A et B ne sont pas nécessairement sur la même verticale (voir à ce titre la correction de l'exercice type) ;
- on peut appliquer la relation fondamentale de l'hydrostatique si on peut passer continûment du point A au point B en restant toujours dans le même fluide.

➡ Solution de l'exercice type 2

Lycée Victor Hugo, Bordeaux

Nous considérons les deux points A et B représentés sur la figure ci-dessous.



PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

➔ Solution de l'exercice type 2 (suite)

Lycée Victor Hugo, Bordeaux

La différence d'altitude entre ces deux points est $h = 7$ cm. Nous pouvons écrire la relation fondamentale de l'hydrostatique relative à ces points :

$$P_B - P_A = \rho \times g \times h.$$

Or, la pression au point B, qui se trouve à la surface libre de la cuve, au contact de l'atmosphère, est la pression atmosphérique :

$$P_B = P_{\text{atm}}.$$

De la même manière, la pression au point A, en contact avec l'air emprisonné dans le tube à essais, vérifie :

$$P_A = P.$$

Nous pouvons donc réécrire la relation fondamentale de l'hydrostatique comme :

$$P_{\text{atm}} - P = \rho \times g \times h \quad \text{soit :} \quad P = P_{\text{atm}} - \rho \times g \times h.$$

Nous effectuons à présent l'application numérique, après avoir dûment converti toutes les grandeurs dans les unités du Système International.

Combien devons-nous laisser de chiffres significatifs à ce résultat ? Notons que la hauteur d'eau dans le tube à essais n'est donnée qu'avec un chiffre significatif, donc la *différence* de pression ρgh , qui est une petite quantité (P diffère peu de P_{atm} , comme nous allons le voir), n'est connue qu'avec un chiffre significatif. Ainsi :

$$\rho \times g \times h = 10^3 \times 9,8 \times 0,07 = 7 \times 10^2 \text{ Pa.}$$

Le dernier chiffre significatif est donc celui des centaines de pascals.

Par conséquent :

$$P = 101\,325 - 7 \times 10^2 = 1,006 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

Le chiffre des centaines de pascals est le quatrième et dernier chiffre significatif.

Voir énoncé page 65

COURS

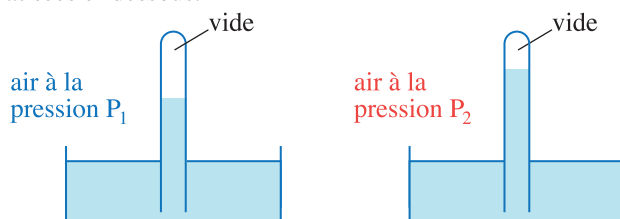
INTERROS

CORRIGÉS

1 QCM Testez vos connaissances

20 min **Corrigé**
p. 80

- 1** À l'échelle microscopique, la pression d'un gaz est due :
 - ☐ a Aux chocs des molécules contre les parois du récipient
 - ☐ b À la masse des molécules
 - ☐ c À la couleur du gaz
 - ☐ d Aux chocs des molécules entre elles
- 2** La température d'un gaz est liée :
 - ☐ a À la vitesse moyenne des molécules
 - ☐ b À la masse des molécules
 - ☐ c À la couleur du gaz
 - ☐ d À la pression atmosphérique
- 3** La loi de Mariotte s'applique :
 - ☐ a À pression constante
 - ☐ b À température constante
 - ☐ c À volume constant
 - ☐ d À énergie constante
- 4** Sans calcul, identifier la seule pression des quatre ci-dessous qui vaut 3 atm. On rappelle que la pression atmosphérique vaut approximativement 10^5 Pa, ou 760 millimètres de mercure.
 - ☐ a 76 mm Hg
 - ☐ b 760 mm Hg
 - ☐ c 4 000 hPa
 - ☐ d 2 280 mm Hg
- 5** Lorsque, à température constante, le volume d'un gaz augmente, sa pression :
 - ☐ a diminue
 - ☐ b augmente
- 6** Le protocole expérimental est strictement identique dans les expériences schématisées ci-dessous.



Que peut-on en déduire ?

- ☐ a $P_1 = P_2$
 - ☐ b $P_1 < P_2$
 - ☐ c $P_1 > P_2$
- 7** Un gaz occupe un volume de 2 L sous une pression de 1 bar. Si on comprime le gaz à 0,5 L à température constante, sa nouvelle pression est :
 - ☐ a 0,25 bar
 - ☐ b 0,5 bar
 - ☐ c 2 bar
 - ☐ d 4 bar
 - 8** La pression au fond d'un lac de 50 m de profondeur ($\rho = 1\,000\text{ kg/m}^3$, $g = 10\text{ m/s}^2$, $P_0 = 1\text{ bar}$) est :
 - ☐ a 1 bar
 - ☐ b 5 bar
 - ☐ c 6 bar
 - ☐ d 10 bar

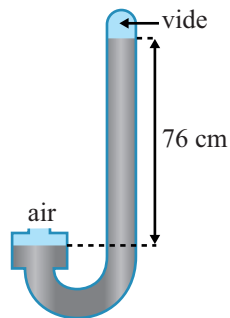
PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

- 9 Un réservoir contient un gaz sous une pression de 5×10^5 Pa. La surface interne du couvercle du réservoir est de $0,2 \text{ m}^2$.

Quelle est la force pressante exercée par le gaz sur le couvercle ?

- ☐ a 100 N ☐ b 1 000 N ☐ c 10 000 N ☐ d 100 000 N

- 10 Un tube en U contient du mercure ($\rho = 13\,600 \text{ kg/m}^3$) sur une hauteur de 76 cm.



Quelle est la pression hydrostatique exercée par le mercure sur l'air ?

- ☐ a 10 132 Pa
☐ b 101 325 Pa
☐ c 1 013 250 Pa
☐ d 10 132 500 Pa

Donnée : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

2 Pression sur un piston

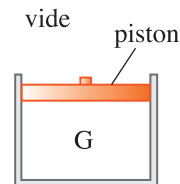


10 min

Corrigé
p. 81

Lycée Les Fauvettes, Cannes

On considère un gaz G dans une enceinte fermée en haut par un piston de masse $m = 10 \text{ kg}$ et de surface $S = 50 \text{ cm}^2$. L'enceinte se trouve dans le vide, comme indiqué sur la figure ci-dessous.



- 1 Quel est le bilan des forces exercées sur le piston ?
- 2 En déduire la pression du gaz G.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

3 Forces pressantes sur une fenêtre



10 min

Corrigé
p. 81

Lycée Frédéric Ozanam, Lille

- 1 Quelle est la force exercée sur une fenêtre de $80,000 \text{ cm} \times 100,00 \text{ cm}$ par l'air extérieur, de pression $P = 101\,325 \text{ Pa}$?
- 2 Quelle est la force exercée par l'air intérieur, supposé à la même pression que l'air extérieur ?
- 3 Pourquoi la fenêtre ne casse-t-elle pas ?

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

4 Ballons de baudruche



5 min

Corrigé
p. 82

Lycée Sévigné, Marseille

Deux ballons de baudruche identiques sont gonflés avec deux gaz différents, respectivement de l'hélium et du dioxygène, avec des pressions identiques. Les deux ballons ont donc une forme et un volume identiques au départ. Il sont soigneusement ficelés, et pourtant il se dégonflent au bout de quelques jours. On remarque que le ballon gonflé d'hélium se dégonfle plus rapidement que l'autre.

- 1 Quelle est la nature microscopique des forces pressantes agissant à l'intérieur des ballons ?
- 2 Comment interpréter le fait que les ballons se dégonflent ?
- 3 Quel renseignement peut-on en déduire concernant la taille relative d'une molécule de dioxygène et d'un atome d'hélium ?

5 Pointe de punaise



10 min

Corrigé
p. 82

Lycée Henri IV, Paris

On considère une punaise en laiton (représentée ci-dessous), composée d'une pointe dont l'extrémité peut être considérée comme un disque de rayon $r = 0,1$ mm, et d'une tête plate assimilable à un disque de rayon $R = 4$ mm.

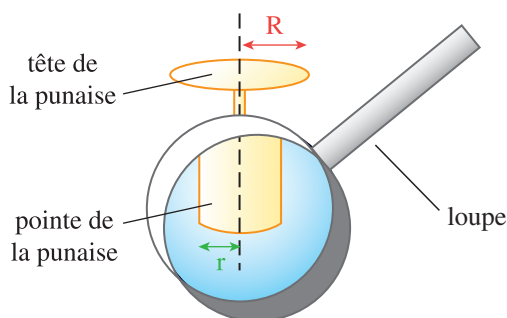


Figure 3.2 – Schéma de la punaise et agrandissement de la pointe.

On exerce sur la tête de la punaise une force de valeur $F = 50$ N, tout en appliquant la pointe sur un mur.

- 1 Quelle masse aurait un poids de valeur égale à cette force ?
- 2 Quelle pression exerce-t-on sur la tête de la punaise ?
- 3 Quelle pression est exercée sur la pointe ? Que pouvez-vous en conclure ?

Données :

- La surface d'un disque de rayon r est πr^2 .
- Intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

6 Force pressante



10 min

Corrigé
p. 83

Lycée Hector Berlioz, Vincennes

Une masse $m = 240$ kg est posée sur une surface d'aire $A_1 = 3,00$ m².

- 1 Quelle pression, supposée uniformément répartie, exerce-t-elle sur cette surface ?
- 2 Cette pression est-elle beaucoup plus grande que la pression atmosphérique ?
- 3 Cette masse est à présent posée sur une surface d'aire $A_2 = 120$ cm². Quelle est la pression exercée sur cette surface ? Comment se compare-t-elle à la pression atmosphérique ?

Donnée : $g = 10$ N.kg⁻¹.

7 Mobile autoporteur



10 min

Corrigé
p. 84

Lycée Madeleine Danielou, Rueil-Malmaison

Un mobile autoporteur cylindrique, de rayon $R = 5$ cm et de masse $m = 400$ g, se déplace sur un coussin d'air sur un plan horizontal, et sa trajectoire est rectiligne et uniforme.

- 1 Nommer et calculer les forces exercées sur le mobile ? (on supposera que, exception faite du coussin d'air sur sa face inférieure, il se trouve dans de l'air à la pression standard $P_0 = 101\,325$ Pa).
- 2 En déduire la pression du coussin d'air sur la face inférieure.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 10$ N.kg⁻¹.

Remarque : il faut auparavant avoir étudié le chapitre sur le principe d'inertie pour résoudre cet exercice.

8 Calcul de pression

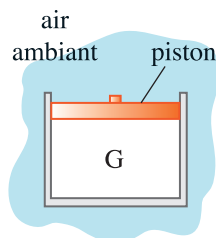


10 min

Corrigé
p. 85

Lycée Ampère, Lyon

On considère le gaz G dans l'enceinte de la figure ci-contre. Cette enceinte est fermée par un piston de masse m et de surface $S = 100$ cm². L'ensemble est en équilibre, et se trouve dans l'air ambiant ($P = 101\,325$ Pa).



- 1 Quelles sont les forces exercées sur le piston ? Caractériser chacune d'elle.
- 2 Sachant que la pression du gaz G est $P_G = 1,11 \times 10^5$ Pa, déduire la masse du piston.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 10$ N.kg⁻¹.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

9 Unité de pression



10 min

Corrigé
p. 85

Lycée Carnot, Dijon

Un fabricant automobile désire spécifier la pression nominale des pneumatiques d'une automobile. Dans le manuel de celle-ci réservé aux pays anglo-saxons, on trouve l'indication, pour les roues avant : 32 PSI. Ce dernier sigle est une unité de pression qui correspond à *Pound per Square Inch* (livre par pouce carré).

- 1 Cette unité de pression utilise un abus de langage très répandu. Lequel ?
- 2 Quelle est, dans les unités du Système International, la surface S correspondant à un pouce carré ?
- 3 Quelle est le poids d'une masse d'une livre ?
- 4 Quelle est, en pascals, la pression correspondant à 1 PSI ?
- 5 Quelle indication le fabricant de voitures doit-il donner dans le manuel destiné aux pays où les pressions de pneumatiques s'expriment couramment en bars ?

Données :

- Une livre vaut 0,453 592 37 kg.
- L'intensité de la pesanteur vaut $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$.
- Un pouce mesure 25,4 mm.
- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 101\,325 \text{ Pa}$.

10 Plongeur en apnée



10 min

Corrigé
p. 86

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse

On considère un athlète effectuant une descente en apnée jusqu'à une profondeur $h = 32 \text{ m}$. Il prend son inspiration à la surface juste avant son plongeon. L'air contenu dans ses poumons occupe alors un volume $v_0 = 5,0 \text{ L}$.

- 1 Quelle est la pression de l'eau au point le plus profond de sa descente ?
- 2 En déduire le volume occupé par l'air dans ses poumons lorsqu'il atteint ce point.

Données :

- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \text{ g.cm}^{-3}$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.
- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 101\,325 \text{ Pa}$.

11 Étude d'une seringue



10 min

Corrigé
p. 87

Lycée Ampère, Lyon

On souhaite comprimer une seringue dont on bouche l'extrémité avec le doigt. Initialement, le piston est à $l = 10 \text{ cm}$ du fond. On souhaite l'amener à $l' = 2 \text{ cm}$ du fond. Pour ce faire, on pousse lentement sur le piston. La seringue et l'air qu'elle contient peuvent donc être considérés comme étant à tout instant en équilibre thermique (voir illustration page suivante).

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

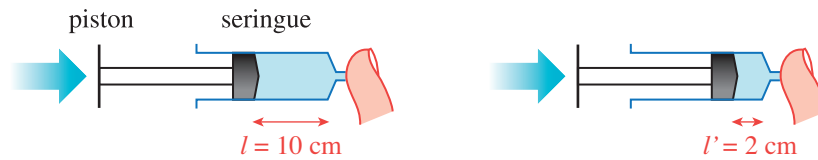


Figure 3.3 – Compression de l'air emprisonné dans la seringue.

Quelle force F_0 l'opérateur doit-il exercer sur le piston ?

Donnée : le rayon de la seringue est $r = 5$ mm.

12 Bouteille d'oxygène



15 min

Corrigé
p. 88

Lycée Carnot, Dijon

On considère une bouteille d'oxygène destinée à la plongée. Elle contient de l'oxygène sous une pression de 6,00 bars. Le rayon de cette bouteille est $r = 5,00$ cm.

- 1 La bouteille est hors de l'eau. Calculer la force pressante due à l'air ambiant sur le fond de la bouteille.
- 2 Calculer la force pressante due à l'oxygène contenu dans la bouteille, sur le fond de celle-ci.
- 3 En déduire le bilan des forces pressantes sur le fond de la bouteille lorsqu'elle est hors de l'eau.
- 4 Quelle est la force pressante due à l'eau, sur le fond de la bouteille, lorsque celle-ci se trouve à 50 mètres de profondeur ?
- 5 En déduire le bilan des forces pressantes sur le fond de la bouteille, à cette profondeur.
- 6 Même chose à 100 mètres de profondeur.

Données :

- Intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.
- Pression de l'air ambiant : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

13 Profil de plongée



15 min

Corrigé
p. 89

Lycée Notre-Dame de Sion, Paris

Un plongeur prépare son immersion par l'étude du profil de plongée représentée page suivante (en fin d'énoncé).

On suppose que la température est constante au cours de la plongée.

- 1 Quelle est la durée totale Δt de la plongée, incluant la remontée ?
- 2 Quelle est la pression P_A au point A ? Justifier.

COURS

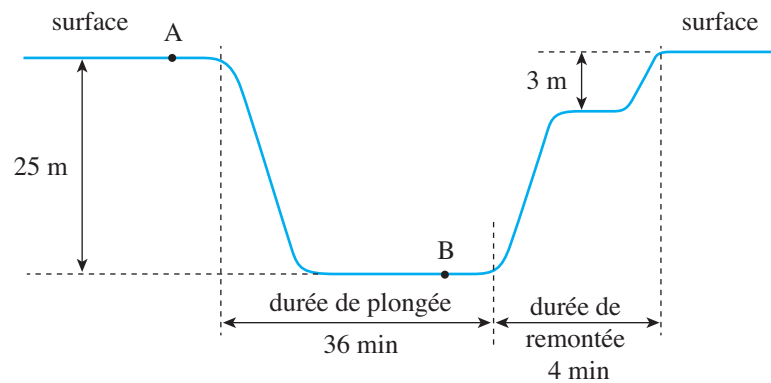
INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 3 La différence de pression ΔP entre deux points d'un liquide est proportionnelle à la différence de profondeur Δh entre ces deux points. Le coefficient de proportionnalité est $k = 1,0 \times 10^4 \text{ Pa.m}^{-1}$.
- Quelle est la pression P_B exercée sur le plongeur lorsqu'il se trouve à la profondeur maximale ?
 - La paume du plongeur a une surface $S = 30 \text{ cm}^2$. Quelle est la valeur F de la force pressante $\vec{F}$ subie par la paume du plongeur à cette profondeur ?
 - En admettant que la quantité d'air contenue dans les poumons ne varie pas, quel est le volume de l'air contenu dans ses poumons à cette profondeur sachant qu'en surface il occupe $V_A = 7,5 \text{ L}$?

Donnée : la pression atmosphérique vaut $P_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.



14 Lunettes de plongée



15 min

Corrigé
p. 90

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse

On considère des lunettes de plongée constituées d'un joint en caoutchouc, de deux verres circulaires de diamètre 5,0 cm, et d'une attache.



- Quelle est l'aire totale des verres de ces lunettes ?
- Quelle est la force pressante totale exercée par l'air sur le côté externe des verres, au niveau de la mer, avant la plongée ?
- Quelle est la force pressante totale exercée par l'air sur le côté interne des verres, au niveau de la mer, avant la plongée ?

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

- 4 Quelle est la force pressante exercée par l'eau sur le côté externe des verres, à la profondeur $d = 5 \text{ m}$?

Données :

- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.
- Valeur du champ de pesanteur terrestre : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

15 Calcul de pression



15 min

Corrigé
p. 91

Lycée de la Providence, La Rochelle

Deux enceintes indéformables (1) et (2) sont maintenues à la température $\theta = 100^\circ \text{C}$ en permanence. À l'instant initial, l'enceinte (1) contient un gaz sous une pression $p_1 = 3,0 \text{ atm}$; le volume de cette enceinte est $V_1 = 1,0 \text{ m}^3$. L'enceinte (2) contient quant à elle, est vide, et son volume est $V_2 = 2,0 \text{ m}^3$.

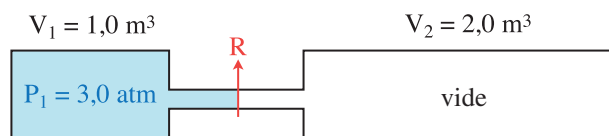


Figure 3.4 – Représentation schématisques des enceintes

On ouvre le robinet R et les molécules du gaz peuvent librement circuler entre les enceintes (1) et (2) : la pression est alors la même dans les deux enceintes. Que vaut cette pression ?

16 Planète océan



20 min

Corrigé
p. 91

Lycée du Parc, Lyon

Il faut avoir préalablement étudié le chapitre sur la gravitation pour faire cet exercice.

Au cours des années 2000, il a été proposé le concept de « planète océan ». Il s'agirait de grosses planètes telluriques entièrement recouvertes d'une couche d'eau liquide pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres de profondeur. On considère une telle planète, ayant une masse égale à 10 fois celle de la Terre, et un rayon égal à 2,0 fois celui de la Terre.

- 1 Quelle est la valeur du champ de pesanteur à la surface de cette planète ?
- 2 Quelle est la pression à 70 km de profondeur dans l'océan qui recouvre cette planète ? On supposera négligeable la pression à la base d'une éventuelle atmosphère qui recouvre la planète.

Données :

- Masse de la Terre : $5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$.
- Rayon de la Terre : 6378 km.
- Masse volumique de l'eau liquide : 10^3 kg.m^{-3} .
- Constante de la gravitation : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.kg}^{-2}.\text{m}^2$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

17 Densité d'une huile

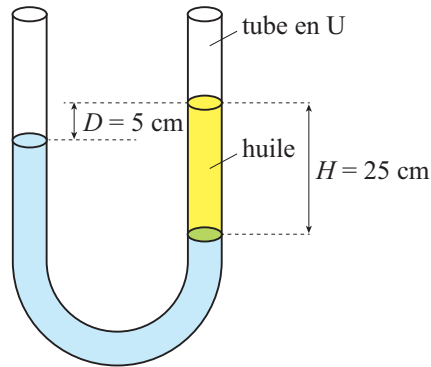


25 min

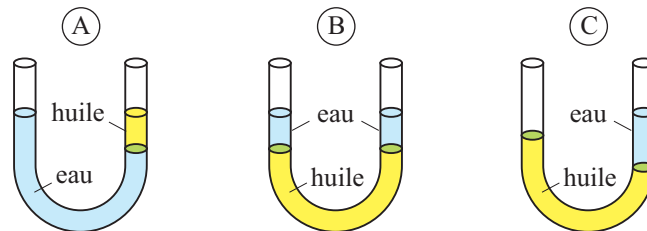
Corrigé
p. 92

Lycée Condorcet, Paris

On souhaite mesurer la densité par rapport à l'eau d'une huile de cuisine. Pour ce faire, on introduit de l'eau dans un tube en U, puis, d'un seul côté, l'huile dont on souhaite mesurer la densité d . Une fois l'équilibre atteint, on observe la situation représentée ci-contre.



- 1 Quelle propriété de l'huile et de l'eau permet d'expliquer leur séparation ?
- 2 Justifier qualitativement pourquoi la densité de l'huile par rapport à l'eau est inférieure à un.
- 3 En utilisant la relation fondamentale de l'hydrostatique, exprimer la densité d en fonction de la hauteur de H de l'huile dans la partie droite et du dénivelé D entre le ménisque d'eau et celui d'huile. Faire l'application numérique.
- 4 Si l'on introduit à présent une huile plus dense que l'eau, quelle(s) configuration(s) peut-on obtenir parmi les trois représentées page suivante, une fois l'équilibre atteint ?



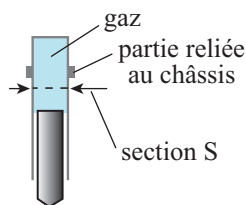
18 Amortisseur



10 min

Corrigé
p. 93

Lycée Blomet, Paris



Un amortisseur de véhicule contient un gaz comprimé, comme indiqué sur la figure ci-contre. La section S de chaque amortisseur est $S = 5,0 \text{ cm}^2$. La masse du véhicule est $m = 500 \text{ kg}$. Il comporte quatre roues, sur lesquelles son poids est également réparti. Quelle est la pression du gaz dans chaque amortisseur ?

Données : • Intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$.

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

19 Enceinte indilatable



10 min

Corrigé
p. 94

Lycée Sainte-Geneviève, Versailles

On enferme une certaine quantité de gaz dans un réservoir de volume fixé, invariable. On porte les parois du réservoir à une température θ , on attend l'équilibre thermique, puis on mesure la pression du gaz dans le réservoir. Les résultats des mesures sont reportés dans le tableau ci-dessous.

θ (en $^{\circ}\text{C}$)	0	100	-40	150
Pression P du gaz (en bars)	0,92	1,25	0,78	1,42

- 1 Pour une température donnée θ des parois, quelle est la température T du gaz à l'équilibre thermique ?
- 2 Lorsque la température du réservoir augmente, que fait la pression ?
- 3 Ajouter une ligne au tableau de l'énoncé.

On y portera le quotient $\frac{T + 273,15\text{ }^{\circ}\text{C}}{P}$.

Que constatez-vous ?

20 Éclatement d'un ballon de baudruche



15 min

Corrigé
p. 94

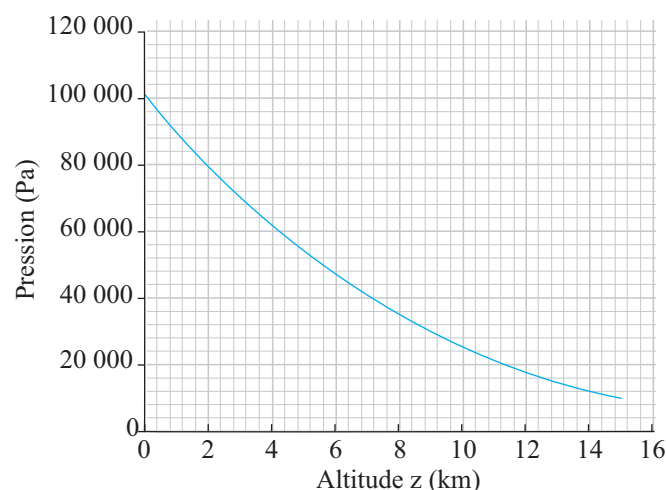
Lycée du Parc, Lyon



Retrouvez le corrigé de cet exercice en vidéo.

On considère un ballon de baudruche, que l'on assimilera à une sphère de rayon variable r . On sait que ce ballon éclate lorsque son rayon atteint un rayon critique $r_c = 17,0\text{ cm}$. Au niveau de la mer, on gonfle ce ballon avec de l'hélium, de façon à lui donner un rayon $r_0 = 10,0\text{ cm}$, puis on le lâche.

Le graphique suivant représente la pression de l'air dans l'atmosphère terrestre en fonction de l'altitude.



COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 1 En supposant constante la température de l'atmosphère terrestre en fonction de l'altitude, déterminer à quelle altitude z_c le ballon va éclater.
- 2 En fait, la température décroît dans l'atmosphère terrestre au fur et à mesure que l'on s'élève. L'altitude réelle z'_c à laquelle le ballon va éclater est-elle inférieure ou supérieure à z_c ?

Indications : le volume d'une sphère de rayon r est donné par $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.

La pression P à l'intérieur d'un ballon de baudruche est légèrement supérieure à la pression de l'air environnant. Toutefois, on fera l'hypothèse simplificatrice que ces pressions sont égales.

Le produit $P \times V$ augmente lorsque la température augmente.

21 Autonomie d'un plongeur



20 min

Corrigé
p. 95

Lycée Michel Montaigne, Bordeaux

On considère un plongeur muni d'une bouteille de volume $V_0 = 10$ L d'air comprimé à la pression $P_0 = 200$ bars. Ce plongeur se trouve à la profondeur $h = 15$ m. L'air que lui fournit son détendeur est à la même pression P que l'eau qui l'entoure.

À chacune de ses inspirations, il inspire un volume $V = 1,0$ L d'air. Sa respiration est périodique de période $T = 2,0$ s, indépendamment de la profondeur.

- 1 Donner l'expression littérale de la pression P de l'eau autour du plongeur, en utilisant la relation fondamentale de l'hydrostatique.
- 2 En utilisant la loi de Boyle-Mariotte, indiquer quel est le volume V_1 occupé par le gaz correspondant à une inspiration du plongeur, lorsque ce gaz se trouve encore dans la bouteille.
- 3 En déduire le nombre d'inspirations que le plongeur peut réaliser.
- 4 En déduire l'autonomie maximale du plongeur, c.-à-d. le temps qu'il peut passer à la profondeur h .
- 5 Quelle serait l'autonomie du plongeur à la profondeur $h' = 30$ m ?

Données :

- Intensité de la pesanteur : $g = 9,8$ N.kg⁻¹.
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \times 10^3$ kg.m⁻³.
- Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 101325$ Pa.

22 Force sur une éprouvette



30 min

Corrigé
p. 97

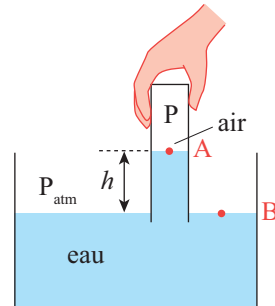
Lycée Louis Le Grand, Paris

On considère une éprouvette renversée sur une cuve contenant de l'eau. De l'air est emprisonné au sommet de l'éprouvette, à une pression P différente de la pression atmosphérique.

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

On observe un dénivelé $h = 15$ cm entre la hauteur de l'eau dans la cuve et celle de la surface dans l'éprouvette. On suppose qu'un expérimentateur maintient l'éprouvette de telle manière qu'elle affleure juste sous la surface de la cuve, comme représenté sur la figure ci-dessous. On se pose la question de savoir quelle force l'expérimentateur doit exercer sur l'éprouvette.

- 1 Quelle est la pression de l'air emprisonné dans l'éprouvette ?
- 2 On considère le système composé seulement de l'éprouvette, à l'exclusion de son contenu. Quelles sont les forces s'exerçant sur lui ? Lesquelles se compensent ?
- 3 Le système considéré étant au repos, en déduire la force que l'expérimentateur exerce sur l'éprouvette.



- Données :*
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.
 - Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.
 - Rayon de l'éprouvette : $r = 8,0 \text{ mm}$.
 - Masse de l'éprouvette : $m = 120 \text{ g}$.
 - Pression atmosphérique : $P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

1 **QCM** Testez vos connaissances

Énoncé
p. 68

- 1 Réponse **a**. La pression d'un gaz résulte des *chocs des molécules* contre les parois du récipient.
- 2 Réponse **a**. La température est une mesure de la vitesse d'agitation moyenne des molécules.
- 3 Réponse **b**. La loi de Mariotte décrit la relation $P \times V = \text{constante}$ et se vérifie à température constante.
- 4 Réponse **d**. Aucune des trois premières réponses ne peut convenir.
- 5 Réponse **a**. Voir le cours.
- 6 Réponse **b**. Le dénivelé de liquide est plus important lorsque la pression de l'air est P_2 .
- 7 Réponse **d**. $P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow 1 \times 2 = p_2 \times 0,5 \Rightarrow P_2 = 4 \text{ bar}$.
- 8 Réponse **c**. $1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa}$ donc :

$$P = P_0 + \rho gh = 100\,000 + (1\,000 \times 10 \times 50) \text{ Pa} = 600\,000 \text{ Pa} = 6 \text{ bar}.$$

- 9 Réponse **d**. La force pressante F est donnée par la relation : $F = P \times S$, où :

- $P = 5 \times 10^5 \text{ Pa}$
- $S = 0,2 \text{ m}^2$ (surface du couvercle).

Donc,

$$F = 5 \times 10^5 \times 0,2 = 100\,000 \text{ N}.$$

- 10 Réponse **b**. La pression hydrostatique P exercée par le mercure sur l'air est donnée par la relation :

$$P = P_{\text{vide}} + \rho \times g \times h$$

où

- $P_{\text{vide}} = 0 \text{ Pa}$,
- $\rho = 13\,600 \text{ kg/m}^3$ (masse volumique du mercure),
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$,
- $h = 0,76 \text{ m}$ (hauteur de mercure).

Donc,

$$P = 0 + 13\,600 \times 9,81 \times 0,76 \approx 101\,325 \text{ Pa}.$$

Remarque : cette pression correspond à *1 atmosphère*, ce qui explique pourquoi le mercure est souvent utilisé dans les baromètres.

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

2 Pression sur un piston

Énoncé
p. 69

Lycée Les Fauvettes, Cannes

- 1 Les forces exercées sur le piston sont (voir figure ci-dessous) :

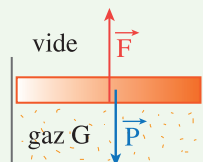


Figure 3.5 – Bilan des forces exercées sur le piston.

- La force pressante $\vec{F}$ exercée par le gaz intérieur à l'enceinte. Elle est dirigée vers le haut et sa valeur est $F = p \times S$ où p est la pression du gaz G.
- Le poids $\vec{P}$ du piston, qui est dirigé vers le bas, et dont la valeur est $P = m \times g$.

- 2 Le piston est en équilibre donc les forces qui s'exercent sur lui se compensent. On peut donc écrire :

$$p \times S = m \times g \quad \text{soit :} \quad p = \frac{m \times g}{S}.$$

L'application numérique donne :

$$p = \frac{10 \times 10}{50 \times 10^{-4}} = 2,0 \times 10^4 \text{ Pa} = 20 \text{ kPa}.$$

3 Forces pressantes sur une fenêtre

Énoncé
p. 69

Lycée Frédéric Ozanam, Lille

- 1 La force s'obtient par application de la formule :

$$\text{force} = \text{pression} \times \text{surface}.$$

Ici, la surface vaut $S = 0,8 \times 1 = 0,8 \text{ m}^2$, donc la force vaut :

$$F = P \times S = 101\,325 \times 0,8 = 81\,060 \text{ N}.$$

Notons que cette force correspond au poids d'une masse d'environ huit tonnes !

- 2 La force se déduit par la même formule ; les valeurs numériques étant inchangées, la valeur de la force est la même qu'à la question précédente :

$$F = 81\,060 \text{ N}.$$

- 3 La fenêtre ne casse pas parce qu'elle est pressée de la même manière sur ses deux faces. Si les pressions ne sont pas exactement égales, il y a risque de rupture. Dans ce cas, pour qu'elle puisse résister, il faut que la fenêtre soit petite (on minimise ainsi S) et épaisse. C'est la raison pour laquelle les hublots d'avion sont beaucoup plus petits que les fenêtres d'un train, par exemple.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

4 Ballons de baudruche

Énoncé
p. 70

Lycée Sévigné, Marseille

- 1 La force pressante à l'intérieur du ballon résulte, à l'échelle microscopique, des chocs incessants des molécules du gaz contenu dans le ballon sur ses parois.
- 2 Les ballons se dégonflent car les molécules du gaz contenu à l'intérieur arrivent à s'échapper peu à peu, par *porosité* à travers ses parois, et également au niveau de l'endroit où ils sont ficelés.
- 3 Le ballon gonflé à l'hélium se dégonfle plus vite que le ballon gonflé au dioxygène : les atomes d'hélium arrivent à sortir du ballon plus facilement. Ils sont donc vraisemblablement plus petits que les molécules de dioxygène.

On notera qu'il y a une autre raison à cela (qui est toutefois hors-programme) : les atomes d'hélium ont une vitesse d'agitation plus grande que les molécules d'air (environ 2,7 fois plus), et donc heurtent les parois plus fréquemment, ce qui les aide à sortir plus vite.

5 Pointe de punaise

Énoncé
p. 70

Lycée Henri IV, Paris

- 1 On applique la relation $P = mg$. Cela donne :

$$m = \frac{P}{g} = \frac{50}{10} = 5,0 \text{ kg.}$$

Une masse de 5,0 kg aurait un poids égal à la force exercée.

- 2 La pression est égale à la force pressante divisée par la surface. La surface de la tête de la punaise est :

$$S = \pi R^2 = 3,14 \times (4 \times 10^{-3})^2 = 5 \times 10^{-5} \text{ m}^2.$$

La pression exercée sur la tête de la punaise est donc :

$$P = \frac{50}{5 \times 10^{-5}} = 10^6 \text{ Pa.}$$

- 3 On considère la punaise en équilibre (ou en mouvement de translation rectiligne uniforme si elle s'enfonce dans le mur). Les forces qui s'exercent sur elle se compensent donc. Ce sont la force exercée par l'opérateur sur la tête de la punaise, et la réaction du mur sur la pointe. Il est parfaitement justifié de négliger le poids de la punaise, au vu de l'ordre de grandeur obtenu à la première question.

La force exercée sur la pointe a donc pour valeur $F = 50 \text{ N}$.

La pression correspondante s'en déduit par :

$$P' = \frac{F}{\pi r^2}.$$

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

Application numérique :

$$P' = \frac{50}{3,14 \times (10^{-4})^2} \approx 1,6 \times 10^9 \text{ Pa.}$$

Cette pression représente environ 16 000 atmosphères. Elle est considérable. Ceci permet à la pointe de percer les matériaux dans lesquels on veut enfoncer la punaise.

Note : On peut vérifier ce calcul en constatant que le rayon de la pointe est 40 fois plus petit que celui de la tête, donc la pression au niveau de la pointe doit être $40^2 = 1\,600$ fois plus grande qu'au niveau de la tête.

6 Force pressante

→ Énoncé
p. 71

Lycée Hector Bertioz, Vincennes

- 1 La force exercée sur la surface est :

$$F = mg = 240 \times 10 = 2,4 \times 10^3 \text{ N.}$$

La pression s'en déduit par :

$$P = \frac{F}{A_1} = \frac{2\,400}{3} = 800 \text{ Pa.}$$

- 2 Cette pression est considérablement plus faible que la pression atmosphérique.

⚠ ATTENTION

La pression est ici obtenue en pascals. Dans cette unité, la pression atmosphérique vaut environ cent mille.

- 3 Convertissons la valeur de cette nouvelle surface dans l'unité du Système International, le mètre carré. On a :

$$1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm} \quad \text{donc :} \quad 1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 \quad \text{donc :} \quad 1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2.$$

La surface vaut donc :

$$A_2 = 120 \times 10^{-4} = 1,2 \times 10^{-2} \text{ m}^2.$$

La pression exercée sur la surface est donc :

$$P' = \frac{F}{A_2} = \frac{2\,400}{1,2 \times 10^{-2}} = 2,0 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

Cette pression vaut environ deux fois la pression atmosphérique.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

7 Mobile autoporteur

Énoncé
p. 71

Lycée Madeleine Danielou, Rueil-Malmaison

- 1 On a représenté sur la figure ci-dessous les forces s'exerçant sur le mobile autoporteur.

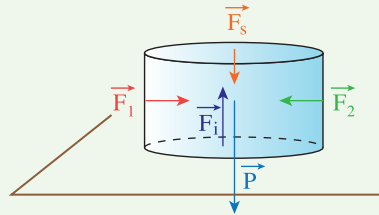


Figure 3.6 – Bilan des forces exercées sur le mobile autoporteur.

Le mobile est soumis :

- À son poids $\vec{P}$, de valeur $P = mg = 0,4 \times 10 = 4 \text{ N}$, et dirigé vers le bas.
- À la force pressante sur sa face supérieure $\vec{F}_s$, dirigée vers le bas. Cette force a pour valeur $F_s = \pi R^2 P_0$, car πR^2 est la surface de la face supérieure du mobile.
- À la force pressante sur sa face inférieure $\vec{F}_i$, dirigée vers le haut. Cette force a pour valeur $F_i = \pi R^2 P_c$, où P_c est la pression du coussin d'air sur la face inférieure.
- Enfin, le mobile est soumis aux forces pressantes sur sa face latérale. Deux forces s'exerçant sur les parties diamétralement opposées s'annulent deux à deux (comme illustré sur la figure par les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$). Ainsi, la somme vectorielle des forces pressantes latérales est nulle.

- 2 Le mobile a une trajectoire rectiligne uniforme. D'après le cours de mécanique, cela signifie qu'il est soumis à des forces qui se compensent, ou encore que la somme vectorielle des forces qui s'exercent sur lui est nulle.

On en déduit la relation : $P + F_s = F_i$, c'est-à-dire :

$$\pi R^2 P_c = \pi R^2 P + mg,$$

soit encore :

$$P_c = P + \frac{mg}{\pi R^2}.$$

L'application numérique donne (on prend soin de convertir R en mètres au préalable) :

$$P_c = 101\,325 + \frac{4}{\pi 0,05^2} = 101\,834 \text{ Pa}.$$

Cette pression est assez peu différente de la pression atmosphérique standard. On notera qu'une surpression aussi faible que 0,5 % atmosphère est suffisante pour soulever le mobile autoporteur.

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

8 Calcul de pression

Énoncé
p. 71

Lycée Ampère, Lyon

- 1 Les forces exercées sur le piston sont (voir la figure ci-dessous) :

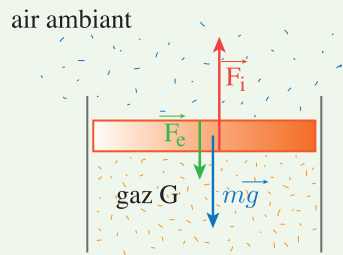


Figure 3.7 – Bilan des forces exercées sur le piston.

- La force pressante $\vec{F}_i$ exercée par le gaz intérieur à l'enceinte. Elle est dirigée vers le haut et sa valeur est $F_i = P_G \times S$ où P_G est la pression du gaz G.
- La force pressante $\vec{F}_e$ exercée par le gaz extérieur à l'enceinte. Elle est dirigée vers le bas et sa valeur est $F_e = P \times S$ où P est la pression de l'air ambiant.
- Le poids $m \times g$ du piston, qui est dirigé vers le bas.

- 2 Le piston est en équilibre donc les forces qui s'exercent sur lui se compensent. On peut donc écrire :

$$F_i = F_e + mg ,$$

soit :

$$P_G \times S = P \times S + m \times g \quad \text{soit :} \quad m = \frac{(P_G - P) \times S}{g} .$$

L'application numérique donne :

$$m = \frac{(1,11 \times 10^5 - 1,01 \times 10^5) \times 10^{-2}}{10} = 10 \text{ kg} .$$

Il faut faire attention à la conversion des centimètres carré en mètres carré : $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$ (il y a dix mille centimètres carré dans un mètre carré).

9 Unité de pression

Énoncé
p. 72

Lycée Carnot, Dijon

- 1 Une pression est une force par unité de surface. Or ici, l'unité de pression fait référence à une masse (la livre) par unité de surface (le pouce carré). Il y a donc confusion entre masse et force (le poids d'une masse

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

donnée). C'est exactement le même type d'abus de langage que dans la formulation *incorrecte* « tel objet pèse 20 kg ».

- 2 La surface est :

$$S = 0,0254^2 = 6,45 \times 10^{-4} \text{ m}^2.$$

- 3 Le poids est donné par :

$$F = mg = 0,454 \times 9,81 = 4,45 \text{ N}.$$

On note F ce poids (c'est une force) pour ne pas le confondre avec la pression P que l'on introduit à la réponse suivante.

- 4 On en déduit la pression correspondant à 1 PSI, qui est égale au *poids* d'une masse de une livre divisé par une surface d'un pouce carré :

$$P = \frac{F}{S} = \frac{4,45}{6,45 \times 10^{-4}} = 6,90 \times 10^3 \text{ Pa}.$$

Nous avons donc la correspondance :

$$1 \text{ PSI} = 6,90 \times 10^3 \text{ Pa}.$$

- 5 La pression des pneumatiques est donnée par :

$$P = 32 \times 6,90 \times 10^3 = 2,2 \times 10^5 \text{ Pa} = 2,2 \text{ bars}.$$

Le fabricant de voitures doit indiquer une pression nominale de 2,2 bars.

10 Plongeur en apnée

Énoncé
p. 72

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse

- 1 Nous écrivons la relation fondamentale de l'hydrostatique entre la surface (où la pression vaut P_{atm}) et le point le plus profond de la plongée, où la pression vaut P . Elle s'écrit donc :

$$P - P_{\text{atm}} = \rho \times g \times h,$$

soit :

$$P = P_{\text{atm}} + \rho \times g \times h.$$

Application numérique :

Il faut convertir au préalable ρ dans les unités du Système International : $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$. En définitive, nous avons :

$$P = 101\,325 + 9,8 \times 1,0 \times 10^3 \times 32 = 4,1 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

Nous gardons deux chiffres significatifs puisque c'est la précision avec laquelle sont données les indications de l'énoncé.

- 2 La température corporelle du plongeur est constante, et la température de l'air contenu dans ses poumons l'est par conséquent. Nous pouvons donc lui appliquer la loi de Boyle-Mariotte. Si on appelle V le volume recherché, elle s'écrit :

$$P \times V = P_{\text{atm}} \times V_0,$$

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

soit :

$$V = V_0 \times \frac{P_{\text{atm}}}{P}.$$

Application numérique :

$$V = 5,0 \times \frac{101\,325}{410\,000} = 1,2 \text{ L.}$$

Là encore nous gardons deux chiffres significatifs. Nous constatons que l'air contenu dans les poumons du plongeur a considérablement réduit son volume. Les poumons du plongeur sont « écrasés » par la pression de l'eau.

11 Étude d'une seringue

Énoncé
p. 72

Lycée Ampère, Lyon

Puisque la température de l'air dans la seringue est constante, on peut utiliser la loi de Boyle-Mariotte et écrire que $P \times V = P' \times V'$, où P est la pression initiale (qui est aussi la pression atmosphérique), V le volume initial de l'air emprisonné dans la seringue, et P' et V' les valeurs finales de ces deux grandeurs. En outre, entre la distance l du piston au fond de la seringue et le volume V , on a la relation suivante :

$$V = l \times S,$$

où S est la surface du piston, si on néglige le volume du bout de la seringue.

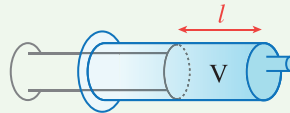


Figure 3.8 – Volume de l'air emprisonné dans la seringue.

On peut donc écrire :

$$P' = \frac{P \times V}{V'} = P \times \frac{S \times l}{S \times l'} = P \times \frac{l}{l'}.$$

Application numérique :

On suppose que la pression atmosphérique est $P = 1 \text{ bar}$ (compte-tenu de la précision des données de l'énoncé, ce degré de précision est bien suffisant). Nous avons donc :

$$P' = 1 \times \frac{10}{2} = 5 \text{ bars} = 5 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

La force pressante à appliquer sur le piston s'en déduit par :

$$F_0 = P' \times S = P' \times \pi r^2 = 5 \times 10^5 \times 3,14 \times (5 \times 10^{-3})^2 \approx 4 \cdot 10^1 \text{ N.}$$

Notons qu'il s'agit d'une force qui correspond au poids d'un objet dont la masse est environ 4 kg.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

12 Bouteille d'oxygène

Énoncé
p. 73

Lycée Carnot, Dijon

- 1 La force pressante exercée par l'air ambiant sur le fond de la bouteille est égale à la pression ambiante multipliée par la surface du fond, soit :

$$F_{\text{amb}} = P_{\text{amb}} \times \pi r^2.$$

L'application numérique donne :

$$F_{\text{amb}} = 10^5 \times 3,14 \times (5 \times 10^{-2})^2 \approx 790 \text{ N}.$$

Notons que nous avons tout d'abord converti la valeur de la pression en pascals.

- 2 La force pressante due à l'oxygène de la bouteille s'évalue par une expression analogue. On obtient :

$$F_{\text{oxy}} = 6 \times 10^5 \times 3,14 \times (5 \times 10^{-2})^2 \approx 4,71 \times 10^3 \text{ N}.$$

- 3 Le bilan des forces pressantes sur le fond de la bouteille lorsque celle-ci est hors de l'eau peut s'obtenir à partir de la figure suivante :

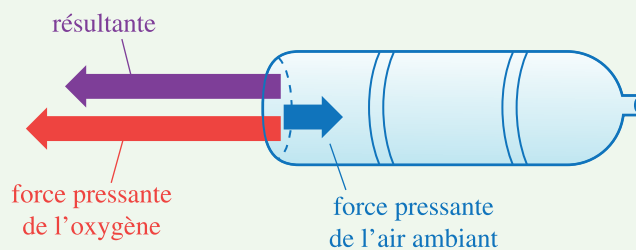


Figure 3.9 – Bilan des forces pressantes sur le fond de la bouteille.

La force résultante des forces pressantes est dirigée vers l'extérieur de la bouteille et a pour valeur : $F = F_{\text{oxy}} - F_{\text{amb}} = 4\,700 - 790 \approx 3,9 \cdot 10^3 \text{ N}$.

- 4 Calculons la pression p' de l'eau à la profondeur $h = 50$ mètres. En utilisant la relation fondamentale de l'hydrostatique, nous avons :

$$p' - p = \rho \times g \times h,$$

ce qui nous donne :

$$p' = p + \rho \times g \times h = 10^5 + 10^3 \times 50 \times 10 = 6 \times 10^5 \text{ Pa} = 6,0 \text{ bar}.$$

Remarque : il peut être utile de savoir que la pression de l'eau augmente d'un bar chaque fois que l'on descend de 10 m. Ici elle augmente donc de 5 bar et passe de 1 à 6 bar.

La force pressante F' due à l'eau sur le fond de la bouteille s'évalue comme précédemment.

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

Puisque la pression est de 6×10^5 Pa, nous retrouvons le résultat de la deuxième question, soit :

$$F' = 6 \times 10^5 \times 3,14 \times (5 \times 10^{-2})^2 \approx 4,71 \times 10^3 \text{ N.}$$

- 5 On voit que cette force pressante et celle de l'oxygène contenu dans la bouteille s'annulent. La force résultante est donc de valeur nulle.

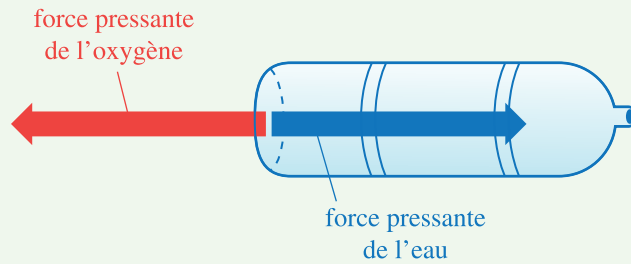


Figure 3.10 – Les forces pressantes sur le fond de la bouteille s'annulent.

- 6 Un calcul similaire à celui de la question précédente indique que la pression de l'eau vaut $p'' = 1,1 \times 10^6$ Pa = 11 bar. La force pressante de l'eau est donc :

$$F'' = 1,1 \times 10^6 \times 3,14 \times (5 \times 10^{-2})^2 \approx 8,64 \times 10^3 \text{ N.}$$

Le bilan des forces pressantes est cette fois dirigé vers l'intérieur de la bouteille et vaut : $8\,600 - 4\,700 = 3\,900$ N.

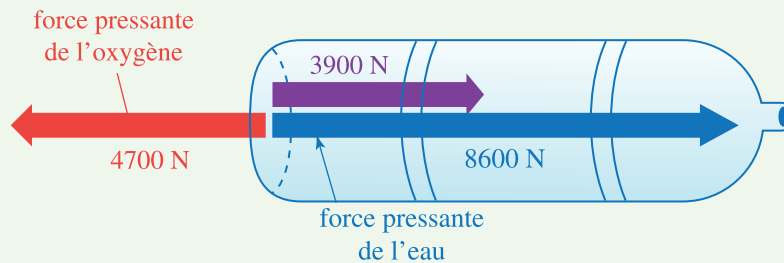


Figure 3.11 – La force pressante exercée par l'eau est supérieure à la force pressante exercée par l'oxygène contenu dans la bouteille.

13 Profil de plongée

Lycée Notre-Dame de Sion, Paris

Énoncé
p. 73

- 1 La durée totale de la plongée est l'intervalle de temps qui sépare l'immersion du plongeur et son retour à la surface, soit 40 minutes (36 minutes de plongée et 4 minutes de remontée).

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 2 La pression au point A est la pression atmosphérique, puisque ce point se trouve à la surface de la mer.

- 3 (a) On écrit :

$$\Delta P = k \Delta h \text{ soit } P_B - P_A = k \Delta h,$$

où Δh vaut ici 25 m. On en déduit :

$$P_B = P_A + k \Delta h = 1,0 \times 10^5 + 1,0 \times 10^4 \times 25 = 3,5 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

- (b) On utilise la relation :

$$F = P \times S.$$

On convertit au préalable S dans les unités du Système International :

$$S = 30 \text{ cm}^2 = 30 \times (10^{-2})^2 \text{ m}^2 = 3,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2.$$

On en déduit :

$$F = 3,5 \times 10^5 \times 3,0 \times 10^{-3} = 1,1 \times 10^3 \text{ N.}$$

- (c) On utilise la loi de Boyle-Mariotte, qui dit que le produit PV (où P est la pression du gaz et V son volume) est constant à température constante. On peut l'appliquer puisque l'on suppose ici que la température est constante au cours de la plongée. On peut donc écrire :

$$P_A \times V_A = P_B \times V_B,$$

où $V_A = 7,5 \text{ L}$ est le volume de l'air contenu dans les poumons du plongeur en surface, et où V_B est le volume recherché. On a ainsi :

$$V_A = \frac{P_B}{P_A} V_B = \frac{1,0 \times 10^5}{3,5 \times 10^5} \times 7,5 = 2,1 \text{ L.}$$

L'air contenu dans les poumons du plongeur n'occupe qu'un volume de 2,1 L à la profondeur maximale.

14 Lunettes de plongée

Énoncé
p. 74

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse

- 1 Chaque verre a une aire donnée par :

$$A = \pi \times r^2,$$

où $r = 5/2 = 2,5 \text{ cm}$ est le rayon du verre. L'application numérique donne :

$$A = \pi \times (2,5 \times 10^{-2})^2 = 2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2,$$

donc l'aire totale des verres des lunettes vaut $A' = 2 \times A = 4,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.

- 2 La force pressante totale exercée par l'air sur le côté externe des verres, au niveau de la mer, avant la plongée, est donnée par le produit de l'aire et de la pression atmosphérique :

$$F = P_{\text{atm}} \times A' = 1,0 \times 10^5 \times 4,0 \times 10^{-3} = 4,0 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

3 La force pressante exercée sur le côté interne des verres a exactement même valeur (400 N) et direction que la force pressante exercée sur le côté externe des verres, et un sens opposé. Les forces pressantes interne et externe s'annulent par conséquent.

4 On utilise la loi de l'hydrostatique pour déterminer la pression en un point B situé à une profondeur d . Si on considère un point A situé à la surface de la mer (à la pression $P_A = P_{\text{atm}}$), nous avons :

$$P_B - P_A = \rho \times g \times d ,$$

soit :

$$P_B = P_{\text{atm}} + \rho \times g \times d = 1,0 \times 10^5 + 10^3 \times 5 \times 10 = 1,5 \times 10^4 \text{ Pa.}$$

La force pressante totale exercée par l'eau sur le côté externe des verres est donc :

$$F' = P_B \times A' = 1,5 \times 10^5 \times 4,0 \times 10^{-3} = 6,0 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

15 Calcul de pression

→ Énoncé
p. 75

Lycée de la Providence, La Rochelle

La température du système étant maintenue constante, nous pouvons appliquer la loi de Boyle-Mariotte. Le volume final occupé par le gaz est $v' = v_1 + v_2$. Nous notons p' la pression finale recherchée. La loi de Boyle-Mariotte s'écrit ici :

$$p' \times v' = p_1 \times v_1 ,$$

soit :

$$p' = \frac{p_1 \times v_1}{v_1 + v_2} = 3 \times \frac{1}{3} = 1,0 \text{ atm.}$$

Nous gardons ici deux chiffres significatifs compte-tenu de la précision des données de l'énoncé.

16 Planète océan

→ Énoncé
p. 75

Lycée du Parc, Lyon

1 La valeur du champ de pesanteur à la surface de cette planète est donnée par :

$$g = \frac{G \times M}{R^2} ,$$

où M est la masse de la planète et R son rayon. L'application numérique donne :

$$g = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 10 \times 5,98 \times 10^{24}}{(2,0 \times 6378 \times 10^3)^2} = 25 \text{ N.kg}^{-1}.$$

On garde deux chiffres significatifs car c'est la précision avec laquelle sont donnés le rayon et la masse de la planète.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 2 On applique la loi de l'hydrostatique entre un point A situé à la surface de l'océan et un point B situé à une profondeur $d = 70$ km. Elle s'écrit :

$$P_B - P_A = \rho g d \quad \text{donc} \quad P_B = P_A + \rho g d \approx \rho g d,$$

où P_B est la pression recherchée, P_A est la pression à la surface de l'océan ($P_A \approx 0$ d'après l'énoncé), ρ est la masse volumique de l'eau liquide et g la valeur du champ de pesanteur à la surface de cette planète. L'application numérique donne :

$$P_B = 10^3 \times 25 \times 70 \times 10^3 = 1,75 \times 10^9 \text{ Pa}.$$

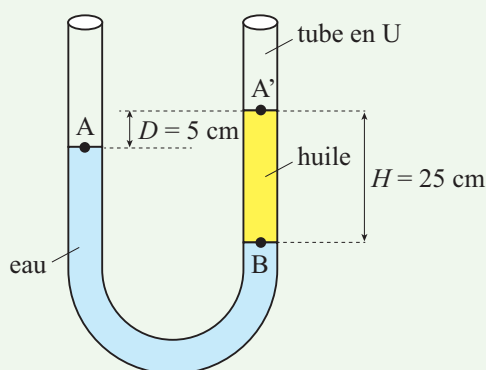
La valeur du champ de pesanteur étant connue avec deux chiffres significatifs, ce résultat doit également être donné avec deux chiffres significatifs. Toutefois, le dernier chiffre étant un cinq, on garde trois chiffres dans l'expression finale du résultat.

17 Densité d'une huile

Énoncé
p. 76

Lycée Condorcet, Paris

- 1 L'huile et l'eau sont deux liquides non miscibles. C'est la raison pour laquelle ils se séparent.
- 2 Lorsque deux liquides non miscibles se séparent, le liquide le moins dense (celui qui a la plus petite masse volumique) se trouve au-dessus de l'autre. L'huile se retrouvant en haut, on en déduit que sa densité par rapport à l'eau est inférieure à un.
- 3 Nous considérons les points B, A et A' qui représentés sur la figure ci-dessous.



Nous pouvons écrire la relation fondamentale de l'hydrostatique entre les points A et B d'une part, et entre les points A' et B d'autre part. Cela donne :

$$P_B - P_{A'} = \rho_{\text{huile}} \times g \times H$$

et

$$P_B - P_A = \rho_{\text{eau}} \times g \times (H - D).$$

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

En outre, les points A et A' sont au contact de l'atmosphère, donc les pressions P_A et $P_{A'}$ sont toutes deux égales à la pression atmosphérique P_{atm} . Nous pouvons donc écrire :

$$P_B - P_{\text{atm}} = \rho_{\text{huile}} \times g \times H = \rho_{\text{eau}} \times g \times (H - D).$$

En transformant cette dernière égalité, nous obtenons :

$$d = \frac{\rho_{\text{huile}}}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{H - D}{H}.$$

Application numérique :

Nous avons :

$$d = \frac{25 - 5}{25} = \frac{20}{25} = 0,80.$$

Nous gardons deux chiffres significatifs car c'est la précision avec laquelle on connaît H et $H - D$. Nous voyons, comme attendu, que cette densité est inférieure à un.

- 4** Les seules configurations possibles sont celles où l'huile occupe la partie inférieure du tube, puisque l'huile considérée dans cette dernière question est d'une densité supérieure à l'eau. Il s'agit des situations B et C. On constate en particulier que la situation C correspond à la situation des questions antérieures, où les rôles de l'huile et de l'eau sont inversés. Si le ménisque d'eau n'avait pas été au-dessus du ménisque d'huile du tube de gauche, cette situation aurait été impossible et aurait dû être éliminée.

18 Amortisseur

Lycée Blomet, Paris

Énoncé
p. 76

La force pressante dans chaque amortisseur doit être égale au *quart* du poids du véhicule, puisque celui-ci a quatre roues, et que son poids est également réparti sur les quatre roues. En outre, la force pressante F dans un amortisseur s'écrit :

$$F = P \times S,$$

où P est la pression du gaz dans l'amortisseur.

On en déduit :

$$P \times S = \frac{m \times g}{4} \quad \text{soit :} \quad P = \frac{m \times g}{4 \times S}.$$

L'application numérique donne :

$$P = \frac{500 \times 10}{4 \times 5 \times 10^{-4}} = 2,5 \times 10^6 \text{ Pa} \approx 25 \text{ atm}.$$

Il faut faire attention à la conversion des centimètres carré en mètres carré : $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$ (il y a dix mille centimètres carré dans un mètre carré).

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

19 Enceinte indilatable

Énoncé
p. 77

Lycée Sainte-Geneviève, Versailles

- 1 À l'équilibre thermique, la température de tout le système est uniforme, donc la température du gaz dans le réservoir est égale à la température des parois du réservoir, donc $T = \theta$.
- 2 On lit dans le tableau que plus la température est élevée, plus la pression est grande.
- 3 On reporte ci-dessous le tableau et les résultats.

θ (en °C)	0	100	-40	150
Pression P du gaz (en bars)	0,92	1,25	0,78	1,42
$T + 273,15$	297	298	299	298
P				

- 4 On constate que le quotient $\frac{T + 273,15 \text{ °C}}{P}$ est indépendant (aux erreurs de mesure près) de la température et de la pression.

20 Éclatement d'un ballon de baudruche

Énoncé
p. 77

Lycée du Parc, Lyon



- 1 Il s'agit de déterminer la pression à laquelle le ballon va éclater. En utilisant le graphe donné dans l'énoncé, cela nous fournira l'altitude correspondante.

Puisque l'on suppose la température constante, on peut utiliser la loi de Boyle-Mariotte, qui relie la pression P et le volume V du ballon. Le produit $P \times V$ est constant, donc :

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \times P = \text{constante.}$$

Par conséquent, puisque $\frac{4}{3}\pi$ est une constante, nous pouvons également écrire :

$$r^3 \times P = \text{constante.}$$

La valeur de la constante est déterminée par le rayon initial r_0 du ballon, et par la pression au niveau de la mer, que l'on peut lire sur le graphe, et qui vaut $P_{\text{atm}} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Nous avons ainsi :

$$r^3 \times P = r_0^3 \times P_{\text{atm}},$$

donc la pression critique P_c pour laquelle le ballon éclate (quand $r = r_c$) est donnée par :

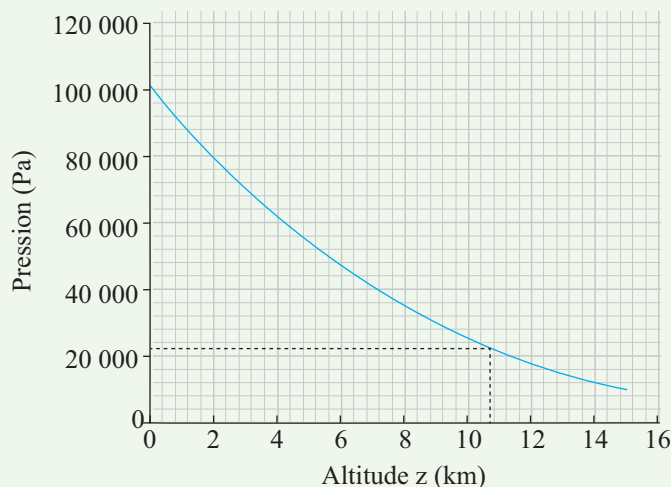
$$P_c = P_{\text{atm}} \left(\frac{r_0}{r_c} \right)^3.$$

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

L'application numérique donne :

$$P_c = 1,01 \times 10^5 \times \left(\frac{10}{17}\right)^3 = 2,1 \times 10^4 \text{ Pa.}$$

On garde deux chiffres significatifs dans ce résultat. On lit sur le graphe que cette pression critique est atteinte à l'altitude $z_c = 10,7 \text{ km}$.



- 2** Nous savons que le produit $P \times V$ croît lorsque la température croît. Puisque la température décroît au fur et à mesure que l'on s'élève dans l'atmosphère, à l'altitude z_c , le produit PV est inférieur à la valeur qu'on lui a supposée à la question précédente. La pression P étant fixée, pour une altitude donnée, et donnée par la lecture du graphe, on en déduit que le ballon a un volume *inférieur* à celui inféré à la question précédente, donc un rayon inférieur au rayon critique : à l'altitude z_c il n'a pas encore éclaté, et il éclatera à une altitude *supérieure* à z_c .

21 Autonomie d'un plongeur

Lycée Michel Montaigne, Bordeaux

Énoncé
p. 78

- 1** On écrit la relation fondamentale de l'hydrostatique entre le point A (à la surface) et le point B (au niveau du plongeur). Elle s'écrit :

$$P_B - P_A = \rho \times g \times h.$$

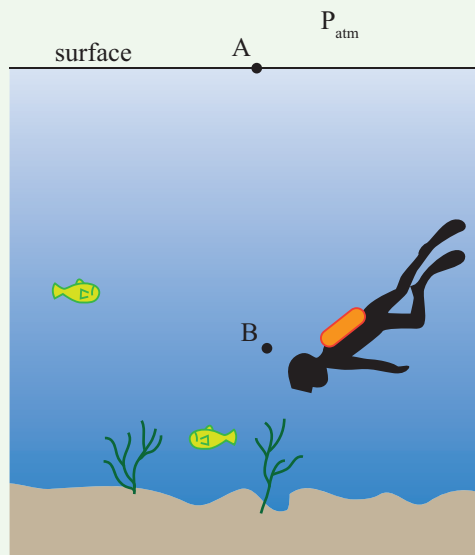
Or $P_B = P$ est la pression recherchée, et le point A est au contact de l'atmosphère, donc $P_A = P_{\text{atm}}$. Nous pouvons ainsi écrire :

$$P = P_{\text{atm}} + \rho \times g \times h.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS



Application numérique :

$$P = 101325 + 1,0 \times 10^3 \times 9,8 \times 15 = 2,5 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

On garde deux chiffres significatifs dans ce résultat.

- 2** On néglige la variation de température du gaz entre la bouteille et les poumons du plongeur. On applique donc la loi de Boyle-Mariotte qui s'écrit ici :

$$P_0 \times V_1 = P \times V$$

car lorsque le gaz est dans la bouteille où il occupe le volume V_1 (recherché), il est à la pression P_0 , et lorsqu'il se trouve dans les poumons du plongeur, où il occupe un volume V , il se trouve en équilibre de pression avec l'eau environnante, à la pression P . Nous avons donc :

$$V_1 = \frac{P \times V}{P_0}.$$

Application numérique :

$$V_1 = \frac{2,5 \times 10^5 \times 1}{200 \times 10^5} = 1,25 \times 10^{-2} \text{ L.}$$

Étant donné que nous avons gardé le volume v en litres, nous obtenons le volume v_1 également en litres.

- 3** Le nombre total d'inspirations que le plongeur peut réaliser est donné par :

$$n = \frac{v_0}{v_1} = \frac{10}{1,25 \times 10^{-2}} = 800 \text{ inspirations.}$$

PRESSION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

- 4 La durée totale que peut passer le plongeur sous l'eau est donc :

$$T_{\text{tot}} = n \times T = 1\,600 \text{ s} \approx 26 \text{ min.}$$

On notera que le résultat devrait être arrondi à 27 et non 26 minutes. Toutefois, comme on cherche à donner une valeur maximale, il convient exceptionnellement de donner la valeur à deux chiffres significatifs immédiatement inférieure. Compter sur 27 minutes d'autonomie pourrait se révéler dangereux pour le plongeur.

- 5 Il suffit de répéter les applications numériques de chacune des questions, en utilisant la pression P' qui règne à la profondeur $h' = 30 \text{ m}$. Nous avons, en rassemblant les résultats des questions précédentes :

$$T'_{\text{tot}} = T \frac{P_0 \times v_0}{P' \times v}.$$

La nouvelle pression est :

$$P' = 101325 + 1,0 \times 10^3 \times 9,8 \times 30 = 4,0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

et l'autonomie vaut donc :

$$T'_{\text{tot}} = 2 \times \frac{2,0 \times 10^7 \times 10}{4,0 \times 10^5 \times 1} = 1\,000 \text{ s} \approx 16 \text{ min.}$$

L'autonomie décroît lorsque la profondeur de la plongée augmente.

22 Force sur une éprouvette

Énoncé
p. 78

Lycée Louis Le Grand, Paris

- 1 On applique la relation fondamentale de l'hydrostatique entre un point B situé à la surface de l'eau de la cuve, et un point A à la surface de l'eau dans l'éprouvette. On a ainsi :

$$P_B - P_A = \rho \times g \times h.$$

Le point A est en contact avec l'air de l'éprouvette. Il se trouve donc à la pression P avec $P_A = P$. De la même manière, le point B est en contact avec l'atmosphère et se trouve donc à la pression atmosphérique :

$$P_B = P_{\text{atm}}.$$

Nous avons donc en définitive :

$$P = P_{\text{atm}} - \rho \times g \times h.$$

Application numérique :

$$P = 101\,325 - 1,0 \times 10^3 \times 9,8 \times 0,15 = 9,99 \times 10^4 \text{ Pa.}$$

La pression atmosphérique est donnée avec six chiffres significatifs, mais on n'a que deux chiffres significatifs pour les autres données de l'énoncé, donc la différence $\rho \times g \times h$ est précise jusqu'au chiffre des centaines. On

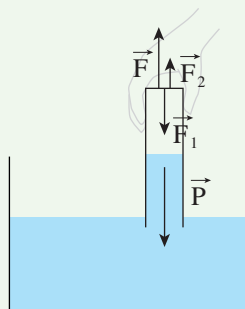
COURS

INTERROS

CORRIGÉS

donne donc un résultat précis à la centaine de pascals près, c'est-à-dire avec trois chiffres significatifs.

- 2 Les forces exercées sur le système « éprouvette » sont représentées sur la figure ci-dessous.



Ces forces sont :

- Le poids $\vec{P}$ de l'éprouvette, vertical et dirigé vers le bas.
- La force $\vec{F}$ exercée par l'opérateur, que nous décrirons plus en détail après.
- La force pressante $\vec{F}_1$ exercée par l'air du laboratoire sur le fond de l'éprouvette. Celle-ci est verticale et dirigée vers le bas.
- La force pressante $\vec{F}_2$ exercée par l'air de l'éprouvette sur le fond de celle-ci. Elle est verticale et dirigée vers le haut.
- Les forces pressantes exercées sur le corps principale de l'éprouvette. Celles-ci ne sont pas représentées sur la figure, et elles se compensent par symétrie : leur somme vectorielle est nulle.

- 3 Le système étant au repos, la somme vectorielle des forces qui s'exercent sur lui est nulle. Puisque les forces $\vec{P}$, $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont verticales, $\vec{F}$ est nécessairement verticale. En outre, puisque $P < P_{\text{atm}}$, nous voyons que $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ est dirigée vers le bas, donc *a fortiori* $\vec{P} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ est aussi dirigée vers le bas. On en déduit, ce qui est assez intuitif, que $\vec{F}$ est dirigée vers le haut. En projetant sur un axe vertical, nous pouvons écrire la relation suivante sur les grandeurs des forces :

$$F + F_2 - P - F_1 = 0 \quad \text{soit :} \quad F = P + F_1 - F_2.$$

Le poids P de l'éprouvette est donné par $P = mg$. La force pressante F_1 est donnée par le produit de la pression atmosphérique et de la surface du fond de l'éprouvette :

$$F_1 = P_{\text{atm}} \times \pi r^2.$$

De la même manière nous avons pour F_2 :

$$F_2 = P \times \pi r^2.$$

PRESSIION DANS LES GAZ ET LES LIQUIDES • CHAP. 3

En substituant ces valeurs dans l'expression de F , nous avons :

$$F = mg + P_{\text{atm}} \times \pi r^2 - P \times \pi r^2 = mg + \pi r^2 (P_{\text{atm}} - P).$$

On peut substituer la parenthèse de cette dernière expression parce que nous avons obtenu à la première question :

$$F = mg + \pi r^2 \rho \times g \times h = (m + \pi r^2 h \rho)g.$$

Nous notons ici que le deuxième terme de la parenthèse est égal au volume du cylindre d'eau dans l'éprouvette (base πr^2 et hauteur h) multiplié par la masse volumique de l'eau : c'est la masse de l'eau contenue dans l'éprouvette.

Application numérique :

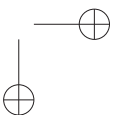
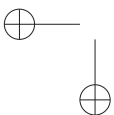
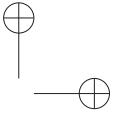
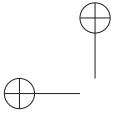
$$\begin{aligned} F &= [0,12 + \pi \times (8 \times 10^{-3})^2 \times 0,15 \times 10^3] \times 9,8 \\ &= 1,5 \text{ N.} \end{aligned}$$

L'opérateur doit exercer une force de 1,5 N sur l'éprouvette.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS



Chapitre

4

Énergie mécanique

Plan du chapitre

1. Introduction
2. Énergie d'un point en mouvement
3. Travail et considérations énergétiques

1 Introduction

Exercice type

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse



 Retrouvez le corrigé de cet exercice en vidéo.

Un pendule simple est constitué d'un boulet assimilable à un point matériel, de masse $m = 7,0 \text{ kg}$, attachée à un fil inextensible de longueur $L = 2,0 \text{ m}$. L'ensemble est fixé en un point A et on considère que les forces de frottements sont négligeables.

- 1 On écarte le pendule de sa position d'équilibre d'un angle $\theta_0 = 50^\circ$ (position I du boulet). On la lâche sans vitesse initiale. On repère la position du pendule par la valeur θ de l'angle que fait le fil avec la verticale. Faire un schéma.
Exprimer l'énergie potentielle de pesanteur du pendule en fonction de m , g , L et θ .
- 2 Quelle est la valeur de θ la plus grande au cours des oscillations ? Justifier.
- 3 Donner l'expression littérale de l'énergie potentielle de pesanteur maximale du pendule.
- 4 Quelle est la valeur de la vitesse du boulet lorsqu'elle passe en O (position d'équilibre) ? Montrer que cette vitesse ne dépend pas de la masse du boulet.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Voir corrigé page 106

Ce chapitre a pour but de présenter les notions d'énergie cinétique, d'énergie potentielle et d'énergie mécanique. Nous verrons également comment est défini le travail d'une force et les applications que peut avoir cette notion. Enfin, nous verrons comment identifier les situations de conservation et de non conservation de l'énergie mécanique.

2 Énergie d'un point en mouvement

2.1 Énergie potentielle et énergie cinétique

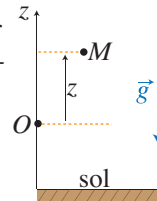
2.1.1 - Énergie potentielle de pesanteur

Définition 1

Au voisinage de la Terre, là où le champ de pesanteur est quasi uniforme et d'intensité g (en $\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$), l'énergie potentielle de pesanteur d'un point M de masse m (en kg) de cote verticale z (en m), vaut :

$$E_{pp}(M) = mgz + E_0 \text{ (en joule)}$$

où E_0 est une constante arbitraire.



Remarque : la constante E_0 peut être définie en choisissant l'origine des énergies potentielles de pesanteur à la cote z_{ref} (ce qui revient à supposer nulle E_{pp} en $z = z_{\text{ref}}$). Dans ce cas, l'expression de E_{pp} devient :

$$E_{pp}(M) = mg(z - z_{\text{ref}}) \text{ car } E_0 = -mgz_{\text{ref}}. \quad (6)$$

⚠ ATTENTION

La cote z représente souvent une altitude, c'est-à-dire une cote par rapport au sol ou au niveau de la mer. Il faut alors convenir de l'existence d'altitudes négatives qui correspondent à des points situés sous la surface du sol ou de la mer.

Puisque la constante E_0 peut être définie arbitrairement, l'énergie potentielle de pesanteur de deux points :

$$E_{pp}(A) = mgz_A + E_0 \text{ et } E_{pp}(B) = mgz_B + E_0$$

n'est jamais connue qu'à une constante près. En revanche, la variation d'énergie potentielle :

$$\Delta E_{pp} = E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = mg(z_B - z_A)$$

est parfaitement déterminée.

➡ À RETENIR : méthode

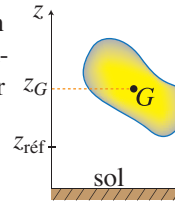
En choisissant l'origine de l'énergie potentielle de pesanteur au niveau du sol (ou de la mer) et en notant z l'altitude d'un point M , l'expression (6) de l'énergie potentielle de pesanteur de M se simplifie :

$$E_{pp}(M) = mgz.$$

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

Remarque : l'énergie potentielle de pesanteur d'un corps non ponctuel, de masse m et de centre de gravité G s'identifie à l'énergie potentielle de pesanteur du point G qui posséderait la masse m :

$$E_{pp}(\text{corps}) = mgz_G + E_0.$$



2.1.2 - Énergie cinétique

Définition 2

L'énergie cinétique d'un point de masse m (en kg) et de vitesse v (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) vaut :

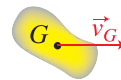
$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (en joule).}$$

⚠ ATTENTION

La définition précédente ne peut être utilisée qu'à condition que la vitesse soit exprimée en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Dans tout autre cas, il faudrait convertir la vitesse dans cette unité. Notamment, on rappelle que :

$$1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 3,6 \text{ km/h} \Leftrightarrow 1 \text{ km/h} = \frac{1}{3,6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}. \quad (7)$$

Remarque : l'énergie cinétique d'un solide en translation, de masse m et de centre de gravité G , se confond à celle du point G , de vitesse v_G , qui aurait la masse m :



$$E_c(\text{solide en translation}) = \frac{1}{2}mv_G^2.$$

2.2 Énergie mécanique

Définition 3

L'énergie mécanique d'un point matériel M est la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle :

$$E_m(M) = E_c(M) + E_p(M).$$

Remarque : si un point matériel M est soumis à plusieurs forces qui dérivent chacune d'une énergie potentielle $E_{pi}(M)$, son énergie potentielle résultante est la somme des énergies potentielles (même si ces énergies potentielles ont des origines différentes, par exemple gravitationnelle, électrique,...) :

$$E_p(M) = E_{p1}(M) + E_{p2}(M) + \dots$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

2.3 Conservation et non conservation de l'énergie mécanique



 Retrouvez en vidéo le principe de conservation de l'énergie mécanique.

2.3.1 - En l'absence de frottements

En l'absence de frottements, l'énergie mécanique d'un point matériel se conserve. La conservation de l'énergie mécanique d'un point matériel M , de masse m , est souvent exploitée pour calculer la vitesse finale du point (v_f), dont on connaît la vitesse initiale (v_i) :

- Exprimer l'énergie mécanique de M aux points M_i et M_f de sa trajectoire.
- Écrire l'équation traduisant la conservation de son énergie mécanique, notamment aux points M_i et M_f , où sa vitesse vaut v_i et v_f respectivement :

$$E_m(M_f) = E_m(M_i) \Rightarrow \frac{1}{2} m v_f^2 + E_p(M_f) = \frac{1}{2} m v_i^2 + E_p(M_i).$$

- Résoudre l'équation précédente et en déduire v_f :

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + \frac{2}{m} \times [E_p(M_i) - E_p(M_f)]}.$$

Lorsqu'un système est composé de plusieurs points ($A, B, \dots$), éventuellement en interaction (par exemple des particules chargées électriquement), l'absence de frottements induit la conservation de l'énergie mécanique de l'ensemble du système :

$$E_m(\text{système}) = \text{cte} \Leftrightarrow E_m(A) + E_m(B) + \dots = \text{cte}.$$

2.3.2 - En présence de frottements

Lorsque les frottements apparaissent au cours du mouvement d'un corps :

- son énergie mécanique diminue généralement : $\Delta E_m < 0$;
- l'énergie mécanique est souvent transformée en énergie thermique qui peut éventuellement provoquer un échauffement.

3 Travail et considérations énergétiques

3.1 Travail d'une force constante

On considère une force constante $\vec{F}$ appliquée au système étudié. Au cours du temps, le point d'application de cette force se déplace du point A au point B. On appelle travail de la force $\vec{F}$ entre les points A et B, et on note $W_{A \rightarrow B}^{\vec{F}}$, la quantité $\vec{F} \cdot \vec{AB}$. On veillera au fait que cette expression n'est valable *que si la force est constante*.

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

À RETENIR

$$W_{A \rightarrow B}^{\vec{F}} = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} \quad \text{où } \vec{F} \text{ est constante.}$$

Dans les unités du Système International, le travail s'exprime en joules, de symbole J.

Un travail positif est qualifié de travail moteur. Un travail négatif est un travail résistant. Le travail d'une force constante entre A et B ne dépend pas du chemin suivi pour aller de A à B, qui peut être absolument quelconque.

Cas particulier du travail du poids :

À RETENIR

Le travail effectué par le poids d'un système de masse m , entre les points A et B, est :

$$W_{A \rightarrow B}^{\vec{P}} = mg(z_A - z_B),$$

où z_A (resp. z_B) est l'altitude du point A (resp. du point B), comptée positivement vers le haut.

On peut ainsi définir l'énergie potentielle de pesanteur :

$$E_p = mgz.$$

Le travail du poids entre deux points A et B est alors donné par :

$$W_{A \rightarrow B}^{\vec{P}} = E_p(A) - E_p(B).$$

Un système est dit *conservatif* (ou *non dissipatif*) si le travail des forces auxquelles il est soumis ne dépend que du point d'arrivée et du point de départ, pas du chemin suivi. Le poids est ainsi une force conservative, et un pendule simple pesant (système que nous aurons l'occasion de revoir) est un système conservatif. Un système soumis à une force de frottement fluide n'est pas conservatif. Les forces de frottement, ceci sera revu dans les études ultérieures, dégradent leur travail en chaleur. On dit alors que le système est *dissipatif*.

L'énergie mécanique d'un système est égale à la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle :

$$E_m = E_c + E_p,$$

où l'énergie cinétique E_c est donnée par :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2,$$

m étant la masse du système et v sa vitesse dans le référentiel d'étude. L'énergie mécanique d'un système conservatif se conserve au cours du temps, et la variation de l'énergie mécanique d'un système dissipatif entre un état initial et un état final est égal au travail des forces de frottement entre ces deux états.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

3.2 Théorème de l'énergie cinétique

On étudie un solide S en translation dans un référentiel galiléen. La variation d'énergie cinétique de S , entre deux instants A et B , est égale à la somme algébrique des travaux des forces extérieures appliquées à S .

À RETENIR

$$\Delta E_c = E_{cB} - E_{cA} = \Sigma W_{A \rightarrow B}^{\vec{f}}$$

On se souviendra que cette relation n'est vraie que dans un référentiel galiléen. On définit l'énergie mécanique d'un système conservatif comme étant la somme de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique. Dans ces conditions, le théorème de l'énergie cinétique prend une forme différente, plus simple, qui s'énonce comme suit. L'énergie mécanique d'un système conservatif est constante au cours du temps.

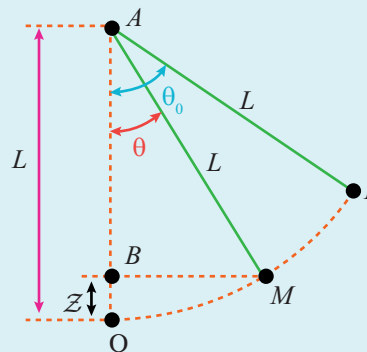
Solution de l'exercice type

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse



1 Soient :

- I la position initiale du boulet ;
- M la position du boulet à un instant quelconque ;
- O la position d'équilibre du boulet.



On choisit la position d'équilibre O comme origine des altitudes et par convention, on pose :

$$E_{pp}(0) = 0.$$

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

➔ Solution de l'exercice type

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse

Si on note z l'altitude de M par rapport à celle de O , on a :

$$E_{pp}(M) = mgz.$$

Soit B le projeté orthogonal de M sur $[OA]$; on a :

$$z = OB = OA - AB = L - AB.$$

Dans le triangle rectangle ABM , on a :

$$\cos \theta = \frac{AB}{AM} = \frac{AB}{L} \Rightarrow AB = L \cos \theta.$$

On a ainsi :

$$z = L - L \cos \theta = L(1 - \cos \theta).$$

Donc finalement,

$$E_{pp}(M) = mgL(1 - \cos \theta).$$

- 2** Soit v_M la vitesse du pendule en M , à partir de laquelle est définie son énergie cinétique :

$$E_c(M) = \frac{1}{2}mv_M^2$$

d'où découle l'expression de l'énergie mécanique en M :

$$E_m(M) = E_{pp}(M) + E_c(M) = mgL(1 - \cos \theta) + \frac{1}{2}mv_M^2.$$

En outre, au point I , le pendule est lâché avec une vitesse $v_I = 0$ et un angle θ_0 ; son énergie mécanique vaut alors, conformément à la relation précédente :

$$E_m(I) = mgL(1 - \cos \theta_0) + \frac{1}{2}mv_I^2 = mgL(1 - \cos \theta_0).$$

Or, l'absence de frottements autorise la conservation de l'énergie mécanique du pendule :

$$\begin{aligned} E_m(M) = E_m(I) &\Rightarrow mgL(1 - \cos \theta) + \frac{1}{2}mv_M^2 = mgL(1 - \cos \theta_0) \\ &\Rightarrow -gL \cos \theta + \frac{1}{2}v_M^2 = -gL \cos \theta_0 \\ &\Rightarrow \frac{1}{2}v_M^2 = gL(\cos \theta - \cos \theta_0) \end{aligned} \quad (8)$$

Enfin, puisque $v_M^2 \geq 0$ (tout carré est positif ou nul), il s'ensuit que :

$$\cos \theta - \cos \theta_0 \geq 0 \Rightarrow \cos \theta \geq \cos \theta_0 \Rightarrow \theta \leq \theta_0.$$

Cette inéquation montre que θ_0 est la plus grande valeur accessible à θ .

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

➔ Solution de l'exercice type (suite)

Lycée Pierre de Fermat, Toulouse

- 3 Puisque $E_{pp} = mgL(1 - \cos \theta)$ et d'après ce qui précède, l'énergie potentielle du pendule devient maximale lorsque $\theta = \theta_0$:

$$E_{pp\max} = mgL \times (1 - \cos \theta_0).$$

- 4 La relation (8) est vérifiée pour toute position de M du pendule, en particulier lorsque M occupe la position de O , pour laquelle $\theta = 0$.
On a alors $\cos \theta = 1$ et :

$$\begin{aligned} E_m(0) &= \frac{1}{2} v_O^2 \\ &= gL(1 - \cos \theta_0) \end{aligned}$$

donc :

$$v_O = \sqrt{2gL(1 - \cos \theta_0)}.$$

On a montré que la valeur de v_O ne dépend pas de la masse du boulet.

Application numérique :

$$v_O = \sqrt{2 \times 10 \times 2 \times [1 - \cos(50^\circ)]} \approx 3,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Voir énoncé page 101

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

1 QCM Testez vos connaissances

10 min Corrigé
p. 115

- 1 Un point matériel M , de masse $m = 200 \text{ g}$, est placé à une altitude z dans le champ de pesanteur d'intensité $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$. L'origine des énergies potentielles de pesanteur étant choisie à l'altitude $z_{\text{ref}} = 10 \text{ m}$, l'énergie potentielle de pesanteur de M (en joule) vaut :

☐ a $E_{pp} = mgz - 20$	☐ b $E_{pp} = mgz$
☐ c $E_{pp} = mgz + 20$	☐ d $E_{pp} = mgz - 2$
- 2 Une vitesse peut être exprimée en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ou en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, avec la loi de conversion :

☐ a $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{1}{36} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	☐ b $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
☐ c $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = \frac{1}{36} \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	☐ d $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 3,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- 3 Un point de masse m (en kg) et de vitesse v (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) possède l'énergie cinétique :

☐ a $E_c = mv^2$	☐ b $E_c = 2mv^2$	☐ c $E_c = \frac{1}{2}mv^2$
- 4 L'énergie mécanique d'un point matériel soumis au champ de pesanteur :

☐ a est définie par $E_m = E_c - E_{pp}$;
☐ b est constante en l'absence de frottements ;
☐ c est toujours constante à la surface de la Terre.
- 5 Un marteau-pilon, de masse $m = 2 \text{ tonnes}$, tombe d'une hauteur $h = 3 \text{ m}$ sur un objet en aluminium de masse $m' = 20 \text{ kg}$. Sa vitesse initiale est nulle.
Les frottements sont négligés lors de la chute.
L'augmentation de la température de l'objet lors du choc est notée $\Delta\theta$.
L'énergie potentielle de pesanteur du marteau pilon varie de la quantité :

☐ a $\Delta E_{pp} = -20\,000 \text{ J}$	☐ b $\Delta E_{pp} = -6 \cdot 10^4 \text{ J}$
☐ c $\Delta E_{pp} = 2 \cdot 10^6 \text{ J}$	☐ d $\Delta E_{pp} = 6 \cdot 10^5 \text{ J}$
- 6 Calculer l'énergie cinétique du marteau-pilon juste avant le choc avec l'objet en aluminium.

☐ a $E'_c = 0 \text{ J}$	☐ b $E'_c = 6 \cdot 10^4 \text{ J}$
☐ c $E'_c = 2\,000 \text{ J}$	☐ d $E'_c = 6\,000 \text{ J}$
- 7 Que vaut la vitesse du marteau-pilon juste avant le choc avec l'objet ?

☐ a $v' = 7,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	☐ b $v' = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
☐ c $v' = 7,7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	☐ d $v' = 40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 8 Un objet de masse $m = 2$ kg se déplace horizontalement sur une distance 5 m sous l'action d'une force constante $\vec{F}$ de valeur $F = 10$ N, parallèle au déplacement. Quelle est la valeur du travail W de cette force ?
- ☐ a $W = 0$ J ☐ b $W = 25$ J
☐ c $W = 50$ J ☐ d $W = 100$ J
- 9 Un objet de masse $m = 3$ kg est initialement au repos. Une force $\vec{F}$ lui communique une accélération constante, et sa vitesse atteint $v = 6$ m/s après un déplacement de $d = 4$ m. Quelle est la valeur de la force F appliquée ?
- ☐ a $F = 6$ N ☐ b $F = 13,5$ N
☐ c $F = 27$ N ☐ d $F = 54$ N
- 10 Un skieur de masse $m = 70$ kg descend une piste inclinée de 30° par rapport à l'horizontale. La longueur de la piste est $L = 100$ m. En négligeant les frottements, quelle est la vitesse v du skieur à la fin de la descente s'il part sans vitesse initiale ?
- ☐ a $v = 14$ m/s ☐ b $v = 24$ m/s
☐ c $v = 32$ m/s ☐ d $v = 44$ m/s

Données : intensité de la pesanteur : $g = 10$ m/s².

2 Énergie cinétique



5 min

Corrigé
p. 117

Lycée Félix Faure, Beauvais

La vitesse d'une balle déterminée a été enregistrée à $269 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Calculer l'énergie cinétique que posséderait cette balle de masse égale à 58,4 g.

3 Énergie mécanique d'un TGV



5 min

Corrigé
p. 117

Lycée Bellevue, Toulouse

Un TGV atlantique, de masse $m = 500$ tonnes, roule à $300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ sur une voie rectiligne et horizontale. Subissant un arrêt d'urgence, il bloque ses roues et stoppe au bout de 3 300 m.

- 1 Quelle est la variation de son énergie cinétique lors du freinage (expression littérale puis calcul en respectant les unités) ?
- 2 Quelle est le mode de transfert de cette énergie ?
- 3 En supposant qu'elle a été constante tout au long du processus, déterminer la norme de la force de freinage.

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

4 Énergie mécanique



10 min

Corrigé
p. 117

Lycée Félix Faure, Beauvais

On lance une petite pierre de masse $m = 100 \text{ g}$ verticalement, vers le haut. La pierre part d'un point O , pris comme origine des altitudes, avec une vitesse initiale $v_0 = 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. On néglige l'action de l'air.

Calculer l'altitude maximale atteinte.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

5 Énergie mécanique

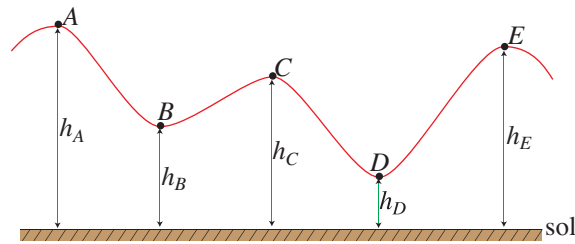


30 min

Corrigé
p. 118

Lycée Claude Bernard, Paris

Dans un parc d'attraction, un wagonnet de masse $m = 65 \text{ kg}$ se déplace sur des rails dont le profil est donné sur le schéma suivant.



L'intensité de la pesanteur vaut $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Les hauteurs des différents points A , B , C , D et E sont repérées par rapport au sol et ont pour valeurs :

$$\begin{aligned} h_A &= 20 \text{ m} & h_B &= 10 \text{ m} & h_C &= 15 \text{ m} \\ h_D &= 5 \text{ m} & h_E &= 18 \text{ m} \end{aligned}$$

- 1 Calculer la variation d'énergie potentielle $\Delta E_{\text{pp}}(A/B)$ lorsque le wagonnet passe de A à B , puis la variation d'énergie potentielle $\Delta E_{\text{pp}}(B/C)$ lorsque le wagonnet passe de C à C .

On admet, pour toute la suite, qu'il n'y a pas de frottements.

- 2 Calculer les variations d'énergie potentielle de pesanteur et d'énergie mécanique lorsque le wagonnet passe de A à E .
- 3 Le wagonnet part de A sans vitesse initiale. Calculer sa vitesse au point B .
- 4 Le wagonnet part de A avec une vitesse initiale $v_A = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Calculer sa vitesse au passage en E .

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

6 Skieur



15 min

Corrigé
p. 120

Lycée Lakanal, Sceaux

Un skieur est initialement à l'arrêt sur une piste formant un angle de $\alpha = 15^\circ$ avec l'horizontale. Il se laisse glisser dans le sens de la pente. On supposera que les forces de frottement sont négligeables ; le skieur n'est donc soumis qu'à son poids (vertical) et à la réaction du sol (perpendiculaire à la piste).

Quelle vitesse le skieur aura-t-il atteint lorsqu'il aura parcouru une distance $d = 25 \text{ m}$?

Données : $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

7 Cycliste en roue libre

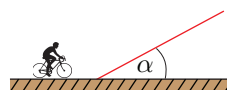


15 min

Corrigé
p. 120

Lycée Sainte-Marie, Antony

Un cycliste roule sur une route plane et horizontale à la vitesse $V = 20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Arrivant au pied d'une montée, il cesse de pédaler. Quelle distance parcourt-il sur la pente, si on néglige les frottements ?



Données :

- intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- la pente est de 15%, ce qui signifie qu'en parcourant 100 m dans la pente, le cycliste monte de 15 m.

8 Chute d'une pièce de 5 centimes



15 min

Corrigé
p. 122

Lycée Lakanal, Sceaux

On lâche sans vitesse initiale une pièce de 5 centimes de masse $m = 4,0 \text{ g}$ du haut de la tour Montparnasse à 210 m d'altitude.

- 1 Estimer la vitesse qu'aurait la pièce au moment où elle touche le sol en l'absence de frottements :

- (a) En utilisant le principe de conservation de l'énergie mécanique.
- (b) En utilisant le théorème de l'énergie cinétique.

- 2 En réalité, la pièce arrive au sol avec une vitesse de $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Déterminer l'énergie perdue par frottement.

Données : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

9 Mouvement d'une particule



30 min

Corrigé
p. 122

Lycée Claude Bernard, Paris

Un condensateur plan est formé de deux plaques parallèles, distantes de $d = 2,0 \text{ cm}$, entre lesquelles règne un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$, dirigée de la plaque positive vers la plaque négative.

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

Un électron de charge $q = -1,6 \times 10^{-19}$ C et de masse $m = 9,1 \times 10^{-31}$ kg est initialement au repos sur la plaque négative au point A. Cet électron va se déplacer de la plaque négative vers la plaque positive pour arriver au point B. L'intensité du champ électrostatique est $E = 5,0 \times 10^3$ V · m⁻¹. La force électrostatique est la seule force agissant sur la particule.

- 1 Rappeler l'expression de la force électrostatique $\vec{F}$ subie par la particule en fonction de q et $\vec{E}$.
Quel est sa direction et son sens ?
- 2 Calculer le travail W de cette force lorsque la particule se déplace de la plaque positive vers la plaque négative.
- 3 En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, en déduire la vitesse v de la particule lorsqu'elle atteint la plaque négative.

10 Saut en hauteur



30 min

Corrigé
p. 123

Lycée Saint-Pierre, Brunoy

Cet exercice étudie le franchissement d'une barre positionnée à 2,45 m lors d'un record mondial de saut en hauteur.

L'athlète, de masse $m = 85,0$ kg, sera modélisé uniquement par son centre d'inertie G situé à 1,00 m du sol au départ.

- 1 Au cours du saut, son centre d'inertie G passe par un point haut situé à 1,00 cm au dessus de la barre.

Quelle est la variation d'énergie potentielle de pesanteur lors du saut ?

- 2 Après sa course d'élan, l'athlète possède la vitesse $v = 5,55$ m · s⁻¹ au pied de la barre.

Quelle hauteur théorique peut-il atteindre si on suppose que toute son énergie cinétique initiale est convertie en énergie potentielle de pesanteur ?

- 3 En fait, au point le plus haut, le sauteur conserve un peu d'énergie cinétique car la composante horizontale de sa vitesse ne s'annule pas ; elle a pour valeur 0,63 m · s⁻¹.

Calculer la somme des énergies cinétique et potentielle de l'athlète au départ du saut puis au point le plus haut. Conclure.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 10$ N · kg⁻¹.

11 Lancer d'une pierre



30 min

Corrigé
p. 125

Lycée Félix Faure, Beauvais

Un petit objet S , presque ponctuel, de masse $m = 100$ g, peut se déplacer sur deux plans inclinés, dont les coupes OA et OB sont représentées page suivante.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

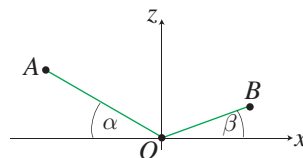
INTERROS

On donne :

$$OA = 3,00 \text{ m} \quad \alpha = 30^\circ$$

$$OB = 2,00 \text{ m} \quad \beta = 20^\circ$$

On repère la position de l'objet par son abscisse x sur un axe horizontal d'origine O .



Le point O sera choisi comme origine de l'énergie potentielle de pesanteur.

- 1 Quelles sont les coordonnées de A et B ?
- 2 Exprimer, en fonction de x , l'énergie potentielle de pesanteur de l'objet, dans le champ de pesanteur vertical, dirigé selon Oz (on considérera les deux cas : $x < 0$ et $x > 0$).
- 3 L'objet passe de A à B . Calculer la variation d'énergie potentielle de pesanteur ΔE_{pp} .
- 4 L'objet étant lâché sans vitesse initiale en A , calculer son énergie cinétique $E_c(B)$ en B .

Les frottements sont négligeables.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

12 Système à deux mobiles reliés



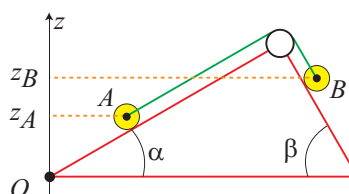
40 min

Corrigé
p. 127

Lycée Fustel de Coulanges, Massy

Le dispositif représenté ci-contre est formé de deux mobiles A et B reposant sur deux plans inclinés et reliés par un fil inextensible passant par une poulie.

La poulie et le fil ont des masses négligeables.



On suppose les frottements également négligeables.

Les masses des mobiles sont égales et valent $m = 2,0 \text{ kg}$.

- 1 Le système est initialement maintenu dans une position telle que la différence d'altitude des mobiles vaut $z_B - z_A = 0,50 \text{ m}$.
En prenant l'énergie potentielle de pesanteur de A nulle dans cette position initiale, calculer l'énergie potentielle de pesanteur de B .
- 2 On abandonne le système ; B entraîne A . Exprimer la vitesse des corps A et B lorsque ceux-ci se sont déplacés d'une longueur ℓ sur les plans inclinés.
Faire l'application numérique avec $\ell = 20 \text{ cm}$, $\alpha = 30^\circ$ et $\beta = 60^\circ$.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

1 QCM Testez vos connaissances

Énoncé
p. 109

- 1 L'énergie potentielle de pesanteur vaut :

$$\begin{aligned} E_{pp} &= mg(z - z_{\text{ref}}) = mgz - mgz_{\text{ref}} \\ &= mgz - 0,2 \times 10 \times 10 \\ \Rightarrow E_{pp} &= mgz - 20 \text{ (réponse [a])}. \end{aligned}$$

- 2 Conformément au rappel (7) de la page 103, la conversion entre les unités de vitesse s'écrit :

$$1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{1}{3,6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \Leftrightarrow 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \text{ (réponse [b])}.$$

- 3 Par définition, l'énergie cinétique d'un point matériel de masse m et de vitesse v est définie par :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (réponse [c])}.$$

- 4 Un point matériel d'énergie cinétique E_c et d'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} a une énergie mécanique définie par :

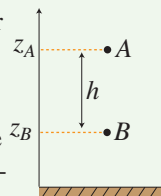
$$E_m = E_c + E_{pp}$$

qui est constante en l'absence de frottements (réponse [b]).

- 5 Le marteau-pilon passe d'une altitude z_A à une altitude z_B , auquel cas son énergie potentielle de pesanteur passe de :

$$E_{pp}(A) = mgz_A + E_0 \text{ à } E_{pp}(B) = mgz_B + E_0$$

où E_0 est une constante. C'est pourquoi, au cours de la chute, l'énergie potentielle de pesanteur du marteau-pilon varie de la quantité :



$$\begin{aligned} \Delta E_{pp} &= E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = mg(z_B - z_A) \\ &= -mgh \text{ car } h = z_A - z_B \\ &= -2\,000 \times 10 \times 3 \Rightarrow \Delta E_{pp} = -6 \cdot 10^4 \text{ J (réponse [b])}. \end{aligned}$$

- 6 Lorsqu'il est en A, le marteau-pilon présente une vitesse nulle ($v_A = 0$) et donc une énergie cinétique nulle :

$$E_c(A) = \frac{1}{2}mv_A^2 = 0.$$

En revanche, lorsqu'il est en B, son énergie cinétique prend une valeur $E'_c = E_c(B)$.

Or, en A et en B, l'énergie mécanique du marteau-pilon vaut :

$$E_m(A) = E_{pp}(A) + E_c(A) = E_{pp}(A)$$

et

$$E_m(B) = E_{pp}(B) + E_c(B) = E_{pp}(B) + E'_c.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

L'absence de frottements se traduit alors par la conservation de l'énergie mécanique :

$$\begin{aligned} E_m(B) = E_m(A) &\Rightarrow E_{pp}(B) + E'_c = E_{pp}(A) \\ &\Rightarrow E'_c = E_{pp}(A) - E_{pp}(B) = -\Delta E_{pp} \\ &\Rightarrow E'_c = 6.10^4 \text{ J (réponse [b])}. \end{aligned}$$

- 7** L'énergie cinétique du marteau-pilon E'_c est définie à partir de sa vitesse v' juste avant le choc avec l'objet :

$$\begin{aligned} E'_c = \frac{1}{2} m v'^2 &\Rightarrow v' = \sqrt{\frac{2E'_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 6.10^4}{2\,000}} \\ &\Rightarrow v' \approx 7,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (réponse [a])}. \end{aligned}$$

- 8** Le travail d'une force constante entre deux points A et B est donné par $W = \vec{F} \cdot \vec{AB}$.

Comme $\vec{F}$ est parallèle au déplacement, $\vec{F}$ et $\vec{AB}$ sont colinéaires donc :

$$W = F \times AB = 10 \times 5 = 50 \text{ J. (réponse [c])}$$

- 9** D'après le théorème de l'énergie cinétique,

$$\Delta E_c = \sum W.$$

Or, le travail W de la force vaut $F \times d$ car la force est parallèle au déplacement. Donc,

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m v^2 = F \times d &\iff \frac{1}{2} \times 3 \times 6^2 = F \times 4 \\ &\iff 54 = 4F \\ &\iff F = 13,5 \text{ N (réponse [b])}. \end{aligned}$$

- 10** En l'absence de frottements, l'énergie potentielle initiale est intégralement convertie en énergie cinétique :

$$mgh = \frac{1}{2} m v^2.$$

Donc après simplification par m :

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Or,

$$h = L \times \sin(30^\circ) = 100 \times 0,5 = 50 \text{ m.}$$

$$\text{Donc } v = \sqrt{2 \times 10 \times 50} = \sqrt{1\,000} \approx 31,6 \approx 32 \text{ m/s. (réponse [c])}.$$

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

2 Énergie cinétique

Énoncé
p. 110

Lycée Félix Faure, Beauvais

Sachant que $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{1}{3,6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, la vitesse de la balle valait :

$$v = \frac{269}{3,6} \approx 74,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

et sa masse $m = 58,4 \text{ g} = 58,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$.

Par suite, son énergie cinétique valait :

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 58,4 \cdot 10^{-3} \times (74,7)^2 \approx 163 \text{ J}.$$

3 Énergie mécanique d'un TGV

Énoncé
p. 110

Lycée Bellevue, Toulouse

- 1 • Initialement, le train possède la vitesse :

$$v_i = 300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{300}{3,6} = 83,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Son énergie cinétique vaut alors : $E_{ci} = \frac{1}{2} m v_i^2$.

- Lorsque le train stoppe, sa vitesse v_f est alors nulle, ainsi que son énergie cinétique :

$$E_{cf} = \frac{1}{2} m v_f^2 = 0.$$

Au cours de cet arrêt, l'énergie cinétique du train a donc varié de la quantité :

$$\begin{aligned} \Delta E_c &= E_{cf} - E_{ci} = -\frac{1}{2} m v_i^2 = -\frac{1}{2} \times 500 \cdot 10^3 \times (83,3)^2 \\ \Rightarrow \Delta E_c &\approx -1,73 \cdot 10^9 \text{ J}. \end{aligned}$$

- 2 Cette énergie est transférée aux freins, aux roues et aux rails sous forme thermique (frottements).

- 3 On applique ici le théorème de l'énergie cinétique $\vec{F} \cdot \vec{AB} = \Delta E_c$.
Comme $\|\vec{AB}\| = 3300 \text{ m}$, et que la force est colinéaire au mouvement tout au long du freinage, on en déduit :

$$\|\vec{F}\| = \frac{1,73 \cdot 10^9}{3,3 \cdot 10^3} = 5,25 \cdot 10^5 \text{ N}.$$

4 Énergie mécanique

Énoncé
p. 111

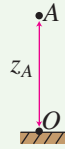
Lycée Félix Faure, Beauvais

Calculons l'énergie mécanique de la pierre aux deux extrémités de la trajectoire.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS



- Au point O le plus bas, d'altitude $z_O = 0$, la pierre possède la vitesse $v_O = 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Donc, son énergie potentielle de pesanteur vaut :

$$E_{pp} = mgz_O = 0$$

tandis que son énergie cinétique vaut $E_c(O) = \frac{1}{2}mv_O^2$.

Par conséquent, la pierre a pour énergie mécanique :

$$E_m(O) = E_{pp}(O) + E_c(O) = \frac{1}{2}mv_O^2.$$

- Au point A le plus élevé, d'altitude z_A , la pierre a une vitesse v_A nulle (sans quoi elle continuerait à s'élever). C'est pourquoi son énergie potentielle de pesanteur et son énergie cinétique y valent respectivement :

$$E_{pp}(A) = mgz_A \text{ et } E_c(A) = \frac{1}{2}mv_A^2 = 0$$

et définissent l'énergie mécanique :

$$E_m(A) = E_{pp}(A) + E_c(A) = mgz_A.$$

En négligeant les frottements liés à l'air, on admet la conservation de l'énergie mécanique de la pierre au cours de son mouvement :

$$\begin{aligned} E_m(A) &= E_m(O) \Rightarrow mgz_A = \frac{1}{2}mv_O^2 \\ \Rightarrow z_A &= \frac{v_O^2}{2g} = \frac{(15)^2}{2 \times 10} \Rightarrow z_A = 11 \text{ m.} \end{aligned}$$

5 Énergie mécanique

Énoncé
p. 111

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1 En A , B et C , d'altitudes respectives h_A , h_B et h_C , le wagonnet possède les énergies potentielles de pesanteur respectives :

$$E_{pp}(A) = mgh_A + E_0, E_{pp}(B) = mgh_B + E_0, E_{pp}(C) = mgh_C + E_0$$

où E_0 est une constante. Donc, entre A et B d'une part et entre B et C d'autre part, l'énergie potentielle de pesanteur du wagonnet varie des quantités :

$$\begin{aligned} \Delta E_{pp}(A/B) &= E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = mg(h_B - h_A) \quad (9) \\ &= 65 \times 10 \times (10 - 20) \end{aligned}$$

et :

$$\begin{aligned} \Delta E_{pp}(B/C) &= E_{pp}(C) - E_{pp}(B) = mg(h_C - h_B) \\ &= 65 \times 10 \times (15 - 10) \end{aligned}$$

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

c'est-à-dire :

$$\Delta E_{pp}(A/B) = -6\,500 \text{ J et } \Delta E_{pp}(B/C) = 3\,250 \text{ J.}$$

- 2** De même, lorsque le wagonnet se trouve en A ou en E , son énergie potentielle de pesanteur prend les valeurs respectives :

$$E_{pp}(A) = mgz_A + E_0 \text{ et } E_{pp}(E) = mgh_E + E_0.$$

Donc, lorsque le wagonnet passe de A à E , son énergie potentielle de pesanteur varie de la quantité :

$$\begin{aligned} \Delta E_{pp}(A/E) &= E_{pp}(E) - E_{pp}(A) = mg(h_E - h_A) \quad (10) \\ &= 65 \times 10 \times (18 - 20) \end{aligned}$$

tandis que son énergie mécanique E_m ne varie pas en l'absence de frottements. C'est pourquoi :

$$\Delta E_{pp}(A/E) = -1\,300 \text{ J et } \Delta E_m(A/E) = 0 \text{ J.}$$

- 3** En A , la vitesse du wagonnet est nulle, donc son énergie cinétique $E_c(A)$ aussi. C'est pourquoi son énergie mécanique vaut :

$$E_m(A) = E_c(A) + E_{pp}(A) = E_{pp}(A).$$

En revanche, la vitesse v_B du wagonnet en B lui confère une énergie cinétique $E_c(B) = \frac{1}{2}mv_B^2$ et donc une énergie mécanique :

$$E_m(B) = E_c(B) + E_{pp}(B) = \frac{1}{2}mv_B^2 + E_{pp}(B).$$

Enfin, l'absence de frottements justifie la conservation de l'énergie mécanique du wagonnet entre A et B , ce qui impose :

$$\begin{aligned} E_m(B) = E_m(A) &\Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 + E_{pp}(B) = E_{pp}(A) \\ &\Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 = E_{pp}(A) - E_{pp}(B) \end{aligned}$$

c'est-à-dire, compte tenu de l'identité (9) :

$$\begin{aligned} \Delta E_{pp}(A/B) &= E_{pp}(B) - E_{pp}(A) \Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 = -\Delta E_{pp}(A/B) \\ &\Rightarrow v_B = \sqrt{-\frac{2}{m} \Delta E_{pp}(A/B)} = \sqrt{-\frac{2}{65} \times (-6\,500)} \\ &\Rightarrow v_B \approx 14,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}. \end{aligned}$$

- 4** Maintenant, le wagonnet part de A avec une vitesse $v_A = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et donc avec une énergie cinétique $E_c(A) = \frac{1}{2}mv_A^2$. Donc, son énergie mécanique vaut :

$$E_m(A) = E_c(A) + E_{pp}(A) = \frac{1}{2}mv_A^2 + E_{pp}(A).$$

Le wagonnet arrive alors en E avec une vitesse v_E associée à une énergie cinétique $E_c(E) = \frac{1}{2}mv_E^2$. Son énergie mécanique vaut alors :

$$E_m(E) = E_c(E) + E_{pp}(E) = \frac{1}{2}mv_E^2 + E_{pp}(E).$$

L'absence de frottements entre A et E justifie la conservation de l'énergie mécanique :

$$\begin{aligned} E_m(E) &= E_m(A) \Rightarrow \frac{1}{2}mv_E^2 + E_{pp}(E) = \frac{1}{2}mv_A^2 + E_{pp}(A) \\ \Rightarrow \frac{1}{2}mv_E^2 &= \frac{1}{2}mv_A^2 + E_{pp}(A) - E_{pp}(E). \end{aligned}$$

La relation (10) permet alors de poser :

$$\begin{aligned} E_{pp}(A) - E_{pp}(E) &= -\Delta E_{pp}(A/E) \\ \Rightarrow \frac{1}{2}mv_E^2 &= \frac{1}{2}mv_A^2 - \Delta E_{pp}(A/E) \\ \Rightarrow v_E &= \sqrt{v_A^2 - \frac{2}{m}\Delta E_{pp}(A/E)} = \sqrt{1 - \frac{2}{65} \times (-1\,300)} \\ \Rightarrow v_E &\approx 6,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}. \end{aligned}$$

6 Skieur

Énoncé
p. 112

Lycée Lakanal, Sceaux

La manière la plus élégante de résoudre ce problème est d'utiliser le théorème de l'énergie cinétique. La réaction $\vec{R}$ du sol est perpendiculaire au déplacement. Le travail de cette force est donc nul.

On en déduit que $\Delta E_c = \vec{P} \cdot \vec{AB}$ d'où $\Delta E_c = \|\vec{P}\| \cdot \|\vec{AB}\| \cos \alpha = mgd \cos \theta$ où θ est l'angle entre le poids et la piste ($\theta = 90^\circ - \alpha = 75^\circ$).

Comme $E_c(A) = 0$, on en déduit :

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgd \cos \theta.$$

$$\text{Soit } v = \sqrt{2gd \cos \theta} = \sqrt{2 \times 10 \times 25 \times \cos 75^\circ} \approx 11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

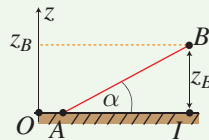
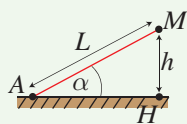
7 Cycliste en roue libre

Énoncé
p. 112

Lycée Sainte-Marie, Antony

Calculons au préalable l'angle α que fait le plan de la pente avec l'horizontale.

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4



Lorsqu'on parcourt la longueur $AM = L = 100$ m dans la pente, on s'élève de $h = 15$ m. Le triangle rectangle (AMH) montre alors que :

$$\sin \alpha = \frac{MH}{AM} = \frac{h}{L} = \frac{15}{100} \Rightarrow \sin \alpha = 0,15.$$

Considérons maintenant le cycliste (assimilé à un point matériel) en deux points de sa trajectoire :

- Au pied A de la montée, il possède une vitesse :

$$v_A = V = 20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{20}{3,6} \approx 5,56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

et donc une énergie cinétique $E_c(A) = \frac{1}{2} m v_A^2 = \frac{1}{2} m V^2$.

Quant à son altitude $z_A = 0$, elle définit son énergie potentielle de pesanteur :

$$E_{pp}(A) = mgz_A + E_0 = E_0, \text{ où } E_0 \text{ est une constante.}$$

L'énergie mécanique du cycliste situé en A vaut alors :

$$E_m(A) = E_c(A) + E_{pp}(A) = \frac{1}{2} m V^2 + E_0.$$

- Au point B culminant de sa montée, sa vitesse vaut $v_B = 0$ (sans quoi le cycliste continuerait à monter) ; son énergie cinétique vaut alors :

$$E_c(B) = \frac{1}{2} m v_B^2 = 0.$$

Soit I le projeté orthogonal de B sur le sol horizontal. Le triangle rectangle (AIB) montre que la distance AB parcourue par le cycliste et son altitude z_B sont liées :

$$\sin \alpha = \frac{BI}{AB} = \frac{z_B}{AB} \Rightarrow z_B = AB \sin \alpha,$$

en conséquence de quoi l'énergie potentielle de pesanteur vaut :

$$E_{pp}(B) = mgz_B + E_0 = mg AB \sin \alpha + E_0$$

et son énergie mécanique est définie par :

$$E_m(B) = E_c(B) + E_{pp}(B) = mg \sin \alpha \times AB + E_0.$$

En négligeant les frottements, on admet la conservation de l'énergie mécanique entre A et B :

$$E_m(B) = E_m(A) \Rightarrow mg \sin \alpha \times AB + E_0 = \frac{1}{2} m V^2 + E_0$$

$$\Rightarrow g \sin \alpha \times AB = \frac{1}{2} V^2 \Rightarrow AB = \frac{V^2}{2g \sin \alpha}$$

$$\Rightarrow AB = \frac{(5,56)^2}{2 \times 10 \times 0,15} = 10 \text{ m.}$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

8 Chute d'une pièce de 5 centimes

Énoncé
p. 112

Lycée Lakanal, Sceaux

On appelle A le point de départ de la pièce, B le point d'impact au sol, h la hauteur de la tour et m la masse de la pièce.

- 1 (a) En A, la vitesse de la pièce est nulle.

$$\text{Donc } E_m(A) = E_p(A) = mgh.$$

En B, la pièce est à une hauteur nulle.

$$\text{Donc } E_m(B) = \frac{1}{2}mv_B^2.$$

Par conservation de l'énergie mécanique on a donc $mgh = \frac{1}{2}mv_B^2$, soit :

$$v_B = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,8 \times 210} = 64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

On remarque que la masse de la pièce n'a pas d'incidence sur le calcul.

- (b) Puisqu'on néglige les frottements, la seule force qui s'applique est le poids $\vec{P} = -mg\vec{u}_z$. Le déplacement est $\vec{AB} = -h\vec{u}_z$. La variation d'énergie cinétique vaut donc, d'après le théorème de l'énergie cinétique : $\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = mgh$.

Comme $E_c(A) = 0$, on retrouve la même formule que précédemment : $mgh = \frac{1}{2}mv_B^2$, soit :

$$v_B = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 210} = 64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

- 2 L'énergie mécanique en B est en fait l'énergie cinétique (puisque l'énergie potentielle est nulle :

$$E(B) = \frac{1}{2}mv_B^2.$$

L'énergie mécanique en A était $E(A) = mgh$.

L'énergie perdue par frottement est la différence entre ces deux énergies :

$$E_f = E(A) - E(B) = mgh - \frac{1}{2}mv_B^2$$

$$E_f = 4 \cdot 10^{-3} \times 9,81 \times 210 - \frac{1}{2} \times 4 \cdot 10^{-3} \times 25^2$$

$$E_f \approx 7 \text{ J}.$$

9 Mouvement d'une particule

Énoncé
p. 112

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1 L'expression de la force électrostatique est :

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}.$$

Cela donne :

$$F = |q| \cdot E = 1,6 \times 10^{-19} \times 5,0 \times 10^3 = 8,0 \times 10^{-16} \text{ N}.$$

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

La direction de cette force est celle du champ électrique $\vec{E}$, mais comme la charge est négative, la force est dirigée vers la plaque positive (c'est-à-dire que le sens de cette force est sens opposé au champ électrique $\vec{E}$).

- 2** Le travail de la force électrostatique est donné par le produit scalaire :

$$W = \vec{F} \cdot \vec{AB}.$$

Puisque la force et le déplacement sont dans le même sens et que $AB = d$, on a :

$$W = F \cdot d = 8,0 \times 10^{-16} \times 2,0 \times 10^{-2} = 1,6 \times 10^{-17} \text{ J}.$$

Le travail de la force électrostatique est donc de $W = 1,6 \times 10^{-17} \text{ J}$.

- 3** Le théorème de l'énergie cinétique annonce que la variation d'énergie cinétique de l'électron entre A et B est égale à la somme algébrique des travaux des forces extérieures appliquées à l'électron.

$$\Delta E_c = \sum W_{A \rightarrow B}.$$

Ici il y a uniquement la force électrostatique dont le travail est W . Donc,

$$\sum W_{A \rightarrow B} = W = 1,6 \times 10^{-17} \text{ J}.$$

Par ailleurs l'énergie cinétique au point A est nulle car l'électron y est au repos. Donc,

$$\Delta E_c = E_{cB} - E_{cA} = E_{cB}.$$

v étant la vitesse atteinte en B, on a :

$$E_{cB} = \frac{1}{2} m \cdot v^2.$$

Finalement,

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = W.$$

On isole maintenant v dans l'équation :

$$v = \sqrt{\frac{2 \times W}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \times 10^{-17}}{9,1 \times 10^{-31}}} \approx \sqrt{3,52 \times 10^{13}} \approx 5,9 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

La vitesse de l'électron lorsqu'il atteint la plaque positive est :

$$v \approx 5,9 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

10 Saut en hauteur

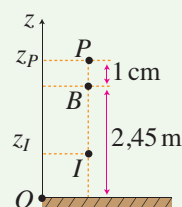
Énoncé
p. 113

Lycée Saint-Pierre, Brunoy

- 1** Initialement, le centre d'inertie G se trouve au point I d'altitude $z_I = 1 \text{ m}$.

En choisissant l'énergie potentielle de pesanteur nulle au niveau du sol, l'énergie potentielle de pesanteur initiale de l'athlète vaut :

$$E_{pp}(I) = mgz_I.$$



Le point G atteint, au cours du saut, le point P le plus élevé, d'altitude $z_P = 2,45 + 0,01 = 2,46$ m. En ce point, l'athlète a pour énergie potentielle de pesanteur :

$$E_{pp}(P) = mgz_P.$$

Donc, au cours du saut, l'énergie potentielle de pesanteur de l'athlète varie de :

$$\begin{aligned}\Delta E_{pp} &= E_{pp}(P) - E_{pp}(E) = mg \times (z_P - z_I) \\ &= 85 \times 10 \times (2,46 - 1) \Rightarrow \Delta E_{pp} = 1,24 \cdot 10^3 \text{ J}.\end{aligned}$$

2 Évaluons les énergies cinétique et potentielle de l'athlète au début et en fin de saut :

- en I , son énergie potentielle de pesanteur vaut : $E_{pp}(I) = mgz_I$ tandis que son énergie cinétique vaut : $E_c(I) = \frac{1}{2}mv^2$.
- en son point Q le plus élevé, de hauteur $z_Q = h$, son énergie potentielle de pesanteur vaut :

$$E_{pp}(Q) = mgz_Q = mgh.$$

Quant à sa vitesse (supposée sans composante horizontale), elle est nulle ($v_Q = 0$), sans quoi l'athlète continuerait de monter. Son énergie cinétique vaut donc $E_c(Q) = \frac{1}{2}mv_Q^2 = 0$.

En supposant que toute l'énergie cinétique initiale soit convertie en énergie potentielle de pesanteur, on suppose que :

$$\begin{aligned}E_{pp}(Q) &= E_{pp}(I) + E_c(I) \Rightarrow mgh = mgz_I + \frac{1}{2}mv^2 \\ \Rightarrow h &= z_I + \frac{v^2}{2g} = 1 + \frac{(5,55)^2}{2 \times 10} \Rightarrow h = 2,54 \text{ m}.\end{aligned}$$

3 Effectuons le même bilan que précédemment :

- Au point I , l'athlète possède la même énergie potentielle de pesanteur et la même énergie cinétique que précédemment :

$$E_{pp}(I) = mgz_I \text{ et } E_c(I) = \frac{1}{2}mv^2.$$

Donc, l'énergie mécanique de l'athlète vaut maintenant :

$$\begin{aligned}E_m(I) &= E_{pp}(I) + E_c(I) = mgz_I + \frac{1}{2}mv^2 \\ &= 85 \times 10 \times 1 + \frac{1}{2} \times 85 \times (5,55)^2 \Rightarrow E_m(I) = 2,16 \cdot 10^3 \text{ J}.\end{aligned}$$

- Au point P (point le plus haut réellement atteint par G), l'athlète possède l'énergie potentielle de pesanteur : $E_{pp}(P) = mgz_P$, tandis que sa vitesse vaut $v_0 = 0,63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (la composante horizontale de la vitesse ne s'annule pas) ; son énergie cinétique vaut alors $E_c(P) = \frac{1}{2}mv_0^2$.

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

Par suite, l'athlète possède l'énergie mécanique :

$$\begin{aligned} E_m(P) &= E_{pp}(P) + E_c(P) = mgz_P + \frac{1}{2}mv_0^2 \\ &= 85 \times 10 \times 2,46 + \frac{1}{2} \times 85 \times (0,63)^2 \\ \Rightarrow E_m(P) &= 2,11 \cdot 10^3 \text{ J.} \end{aligned}$$

Au cours du saut, l'athlète a perdu de l'énergie mécanique ($E_m(P) < E_m(I)$). Cette perte est vraisemblablement due à des frottements.

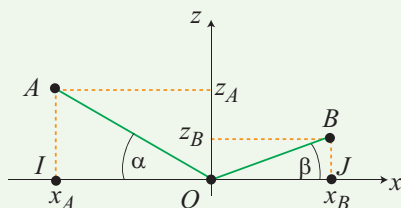
11 Lancer d'une pierre

Énoncé
p. 113

Lycée Félix Faure, Beauvais

- 1 Soient I et J les projetés orthogonaux respectifs de A et B sur l'axe horizontal, qui permettent d'exprimer les coordonnées (x_A, z_A) de A et (x_B, z_B) de B :

$$\begin{cases} x_A = -OI \\ z_A = IA \end{cases} \text{ et } \begin{cases} x_B = OJ \\ z_B = JB \end{cases}$$



Or, les triangles rectangles (OJB) et (OIA) permettent de définir :

$$\begin{aligned} \begin{cases} \cos \alpha = \frac{OI}{OA} \\ \sin \alpha = \frac{IA}{OA} \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} OI = OA \cos \alpha = 3 \times \cos(30^\circ) \\ IA = OA \sin \alpha = 3 \times \sin(30^\circ) \end{cases} \\ &\Rightarrow \begin{cases} x_A = -OI = -2,60 \text{ m} \\ z_A = IA = 1,50 \text{ m} \end{cases} \end{aligned}$$

et :

$$\begin{aligned} \begin{cases} \cos \beta = \frac{OJ}{OB} \\ \sin \beta = \frac{JB}{OB} \end{cases} &\Rightarrow \begin{cases} OJ = OB \cos \beta = 2 \times \cos(20^\circ) \\ JB = OB \sin \beta = 2 \times \sin(20^\circ) \end{cases} \\ &\Rightarrow \begin{cases} x_B = OJ = 1,88 \text{ m} \\ z_B = JB = 0,68 \text{ m} \end{cases} \end{aligned}$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 2 • Lorsque l'objet se trouve sur le segment de droite (OA), ses coordonnées z et x vérifient l'équation :

$$z = a \times x \quad (11)$$

où a est le coefficient directeur de la droite (OA). Notamment, puisque A appartient à cette droite, ses coordonnées vérifient aussi :

$$z_A = a \times x_A \Rightarrow a = \frac{z_A}{x_A} = \frac{1,5}{-2,6} = -0,58.$$

Or, l'énergie potentielle de pesanteur de cet objet vaut :

$$E_{pp} = mgz + E_0$$

où $E_0 = 0$ assure que E_{pp} est nul à l'altitude de O (quand $z = 0$).

C'est pourquoi la relation (2.1.1.1) fournit :

$$\begin{aligned} E_{pp} &= mga \times x = 0,1 \times 10 \times (-0,58) \times x \\ \Rightarrow E_{pp} &= -0,58 \times x \text{ pour } x < 0. \end{aligned}$$

- De même, lorsque l'objet se trouve sur la partie linéaire (OB), ses coordonnées vérifient :

$$z = a' \times x \quad (12)$$

même lorsque l'objet est confondu avec B :

$$z_B = a' \times x_B \Rightarrow a' = \frac{z_B}{x_B} = \frac{0,68}{1,88} \approx 0,36.$$

Conformément à l'identité (12), l'énergie potentielle de pesanteur vaut alors :

$$\begin{aligned} E_{pp} &= mgz = mga' \times x = 0,1 \times 10 \times 0,36 \times x \\ \Rightarrow E_{pp} &= 0,36 \times x. \end{aligned}$$

- 3 En A et B , l'objet possède les énergies potentielles de pesanteur respectives :

$$E_{pp}(A) = mgz_A \text{ et } E_{pp}(B) = mgz_B.$$

Pendant que l'objet passe de A à B , son énergie potentielle de pesanteur varie alors de la quantité :

$$\begin{aligned} \Delta E_{pp} &= E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = mg \times (z_B - z_A) \\ &= 0,1 \times 10 \times (0,68 - 1,50) \\ \Rightarrow \Delta E_{pp} &= -0,82 \text{ J}. \end{aligned}$$

- 4 Puisque l'objet est lâché en A avec une vitesse nulle ($v_A = 0$), son énergie cinétique vaut $E_c(A) = \frac{1}{2}mv_A^2 = 0$ et son énergie mécanique s'écrit :

$$E_m(A) = E_c(A) + E_{pp}(A) = E_{pp}(A).$$

De même, lorsqu'il arrive en B , l'objet possède l'énergie mécanique :

$$E_m(B) = E_c(B) + E_{pp}(B).$$

ÉNERGIE MÉCANIQUE • CHAP. 4

En négligeant les frottements, on admet la conservation de l'énergie mécanique entre A et B , ce qui permet le calcul de l'énergie cinétique de l'objet en B :

$$\begin{aligned} E_m(B) = E_m(A) &\Rightarrow E_c(B) + E_{pp}(B) = E_{pp}(A) \\ &\Rightarrow E_c(B) = E_{pp}(A) - E_{pp}(B) = -\Delta E_{pp} = 0,82 \text{ J.} \end{aligned}$$

12 Système à deux mobiles reliés

Énoncé
p. 114

Lycée Fustel de Coulanges, Massy

- 1 En A et B , les mobiles ont une énergie potentielle de pesanteur :

$$E_{pp}(A) = mgz_A + E_0 \text{ et } E_{pp}(B) = mgz_B + E_0$$

où E_0 est une constante. Ainsi :

$$\begin{aligned} E_{pp}(B) - E_{pp}(A) &= (mgz_B + E_0) - (mgz_A + E_0) \\ &= mg(z_B - z_A) \end{aligned}$$

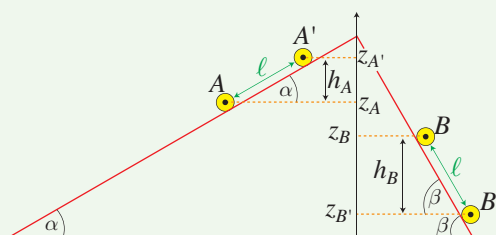
c'est-à-dire, en prenant l'énergie potentielle de A nulle dans cette position :

$$E_{pp}(B) = mg(z_B - z_A).$$

Application numérique :

$$E_{pp}(B) = 2 \times 10 \times 0,5 = 10 \text{ J.}$$

- 2 Soit ℓ la longueur dont se sont déplacés les mobiles de A en A' et de B en B' .



Le point A est monté d'une hauteur h_A telle que :

$$\sin \alpha = \frac{h_A}{AA'} = \frac{h_A}{\ell} \Rightarrow h_A = \ell \sin \alpha$$

et le point B est descendu d'une hauteur h_B telle que :

$$\sin \beta = \frac{h_B}{BB'} = \frac{h_B}{\ell} \Rightarrow h_B = \ell \sin \beta.$$

Par conséquent, les points A' et B' ont pour altitudes respectives :

$$z_{A'} = z_A + h_A = z_A + \ell \sin \alpha \text{ et } z_{B'} = z_B - h_B = z_B - \ell \sin \beta$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

et donc pour énergies potentielles de pesanteur :

$$\begin{cases} E_{pp}(A') = mgz_{A'} + E_0 = mgz_A + mg\ell \sin \alpha + E_0 \\ E_{pp}(B') = mgz_{B'} + E_0 = mgz_B - mg\ell \sin \beta + E_0. \end{cases}$$

De plus, puisque le fil est inextensible, les mobiles arrivent en A' et B' avec une même vitesse v qui leur confère une énergie cinétique :

$$E_c(A') + E_c(B') = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 = mv^2.$$

Finalement, lorsque les mobiles sont en A' et B' , l'énergie mécanique du système $\mathcal{S}$, composé des deux mobiles, de la poulie et des supports inclinés, vaut :

$$\begin{aligned} E'_m &= E_m(A') + E_m(B') \\ &= mg(z_A + z_B) + mg\ell(\sin \alpha - \sin \beta) + 2E_0 + mv^2. \end{aligned}$$

Or, lorsque les mobiles sont partis de A et B , sans vitesse initiale (donc sans énergie cinétique), leurs énergies mécaniques valaient :

$$\begin{cases} E_m(A) = E_{pp}(A) = mgz_A + E_0 \\ E_m(B) = E_{pp}(B) = mgz_B + E_0. \end{cases}$$

L'énergie mécanique du système $\mathcal{S}$ valait alors :

$$E_m = E_m(A) + E_m(B) = mg(z_A + z_B) + 2E_0.$$

Enfin, l'absence de frottements se traduit par la conservation de l'énergie mécanique du système $\mathcal{S}$: $E'_m = E_m$, c'est-à-dire :

$$mg(z_A + z_B) + mg\ell(\sin \alpha - \sin \beta) + 2E_0 + mv^2 = mg(z_B + z_B) + 2E_0$$

d'où il s'ensuit que :

$$mg\ell(\sin \alpha - \sin \beta) + mv^2 = 0 \Rightarrow v = \sqrt{g\ell(\sin \beta - \sin \alpha)}.$$

Application numérique :

$$v = \sqrt{10 \times 0,2 \times [\sin(60^\circ) - \sin(30^\circ)]} \Rightarrow v \approx 0,86 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Chapitre

5

Aspects énergétiques des phénomènes électriques

Plan du chapitre

1. Introduction
2. Charges électriques et intensité d'un courant
3. L'énergie électrique
4. Récepteurs et générateurs

1 Introduction

Exercice type

Lycée Édouard Branly, Nogent-Sur-Marne



 Retrouvez le corrigé de cet exercice en vidéo.

Une batterie de six accumulateurs au plomb est chargée pendant 10 heures, sous une tension de 14,0 V et un courant de 12,0 A.

- 1 Quelle est la capacité de la batterie ?
- 2 Quelle est l'énergie W_e fournie à la batterie pendant la charge ?
- 3 Pendant la décharge, la tension est de 12,0 V et le courant de 13,0 A. Au bout de 8 heures, la batterie est déchargée.
 - (a) Quelle est l'énergie W_d restituée par cette batterie pendant la décharge ?
 - (b) Calculer le rendement en énergie de cet accumulateur.

Voir corrigé page 135

Le but de ce chapitre est d'aborder la notion d'énergie électrique et de voir comment cette énergie peut être convertie en d'autres formes d'énergie.

2 Charges électriques et intensité d'un courant

Un matériau conduit le courant électrique s'il existe dans ce matériau des porteurs de charges électriques mobiles qui peuvent se déplacer collectivement. C'est ce déplacement qui donne naissance au courant électrique.

Un courant électrique qui circule est caractérisé par son intensité I exprimée en ampère (A).

Il existe une relation entre la quantité de charges électriques Q (en coulomb) circulant durant l'intervalle de temps Δt (en seconde) et l'intensité I du courant (en ampère) :

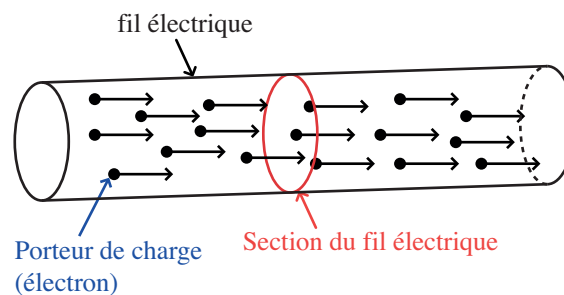
$$Q = I \times \Delta t.$$

Cela revient à dire que l'intensité d'un courant correspond au débit des charges circulant dans le matériau :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

où Q correspond à la quantité de charge ayant traversé une section du matériau pendant la durée Δt .

Prenons l'exemple d'un fil électrique cylindrique parcouru par un courant constant d'intensité I . Les porteurs de charge à l'origine du courant sont des électrons, qui portent chacun une charge q_e . On considère une section S du fil électrique et on note N le nombre d'électrons qui traversent la section S pendant une durée Δt .



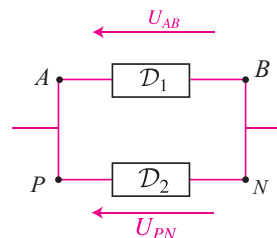
$$\text{Alors } I = \frac{N \times q_e}{\Delta t}.$$

3 L'énergie électrique

3.1 Généralités

Définition 1

Deux dipôles $\mathcal{D}_1$ et $\mathcal{D}_2$ sont montés *en parallèle* lorsque leurs bornes sont reliées deux à deux (les bornes A et P sont reliées par un fil électrique, de même que B et N).



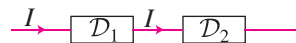
ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES • CHAP. 5

Lorsque deux dipôles sont montés en parallèle, les tensions entre leurs bornes sont égales :

$$U_{AB} = U_{PN}.$$

Définition 2

Deux dipôles $\mathcal{D}_1$ et $\mathcal{D}_2$ sont montés *en série* lorsque le courant électrique I qui traverse l'un traverse aussi l'autre.



Définition 3

Lorsqu'un système échange une énergie $\mathcal{E}$ (en joule, J) pendant une durée Δt (en seconde, s) la puissance $\mathcal{P}$ qu'il échange vaut :

$$\mathcal{P} = \frac{\mathcal{E}}{\Delta t} \text{ (en watt : W).}$$

4 Récepteurs et générateurs

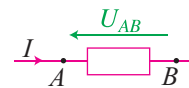
4.1 Conducteur ohmique

Définition 4

Un *conducteur ohmique* est un dipôle aux bornes duquel la tension U_{AB} est proportionnelle à l'intensité I du courant qui le traverse.

La loi d'Ohm précise cette relation de proportionnalité :

$$U_{AB} = R \times I \text{ avec } \begin{cases} U_{AB} \text{ en volt} \\ I \text{ en ampère} \\ R \text{ en ohm} \end{cases}$$



dans laquelle R est la *résistance* du conducteur ohmique.

Remarque : on appelle souvent *résistance* le conducteur ohmique, que l'on confond alors avec sa résistance R .

⚠ ATTENTION

La loi d'Ohm : $U_{AB} = R \times I$ n'est valable qu'à condition que U_{AB} et I soient représentés par des flèches de sens opposé. Dans le cas contraire, il faudrait écrire : $U_{AB} = -R \times I$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Un conducteur ohmique transforme toute la puissance électrique qu'il reçoit :

$$\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = U_{AB} \times I$$

en puissance thermique ; c'est l'effet Joule.

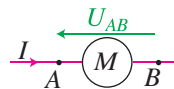
Compte tenu de la loi d'Ohm, la puissance dissipée par effet Joule vaut :

$$\mathcal{P}_{\text{Joule}} = RI^2 = \frac{U_{AB}^2}{R} = \mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} \text{ avec } \begin{cases} \mathcal{P}_{\text{Joule}} \text{ en watt} \\ R \text{ en ohm} \\ I \text{ en ampère} \\ U_{AB} \text{ en volt} \end{cases}$$

4.1.1 - Moteur et électrolyseur

Définition 5

Un *moteur* est un dipôle récepteur, qui transforme une partie de l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie mécanique.



Soit U_{AB} la tension aux bornes A et B du moteur, traversé par un courant d'intensité I (orienté en sens inverse par rapport à la tension U_{AB}). Ce moteur :

- reçoit la puissance électrique, de la part du circuit :
 $\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = U_{AB} \times I$;
- émet une puissance, sous forme mécanique : $\mathcal{P}_{\text{méca}} = E \times I$, où E (en volt) est la force *contre-électromotrice* du moteur ;
- dissipe une puissance thermique $\mathcal{P}_{\text{Joule}} = rI^2$, où r (en ohm) désigne la *résistance interne* du moteur.

Le principe de conservation de l'énergie impose à l'énergie électrique reçue de se convertir d'une part en énergie mécanique et d'autre part en énergie thermique :

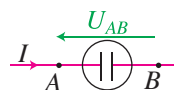
$$\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = \mathcal{P}_{\text{méca}} + \mathcal{P}_{\text{Joule}} \Rightarrow U_{AB} \times I = E \times I + rI^2.$$

Remarque : la loi précédente conduit aussi à l'expression de U_{AB} en fonction de I :

$$U_{AB} = E + rI. \quad (13)$$

Définition 6

Un *électrolyseur* est un dipôle récepteur, qui transforme une partie de l'énergie électrique qu'il reçoit sous forme d'énergie chimique.



ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES • CHAP. 5

Avec les mêmes conventions, l'électrolyseur est soumis à des lois analogues à celles du moteur :

$$\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = U_{AB} \times I \quad \mathcal{P}_{\text{chimique}} = E \times I \quad \mathcal{P}_{\text{Joule}} = rI^2$$

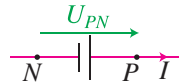
où $\mathcal{P}_{\text{chimique}}$ représente la puissance transformée par l'électrolyseur sous forme chimique.

La loi (13) demeure applicable à l'électrolyseur.

4.1.2 - Générateur électrique

Définition 7

Un générateur électrique est un dipôle qui transmet à un circuit électrique une partie de l'énergie qu'il génère.



Le courant I sort du générateur par sa borne positive.

La tension U_{PN} aux bornes du générateur est liée à l'intensité I du courant généré (I et U_{PN} étant orientés dans le même sens) :

$$U_{PN} = E - r \times I \quad (14)$$

où E est la *force électromotrice* (en volt) du générateur et r sa résistance interne. Au cours de son fonctionnement, le générateur :

- génère une puissance $\mathcal{P}_{\text{générée}} = E \times I$ (sous forme chimique, mécanique,...);
- transmet au circuit électrique une puissance $\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})} = U_{PN} \times I$;
- dissipe par effet Joule une puissance $\mathcal{P}_{\text{Joule}} = rI^2$ (puissance dissipée sous forme thermique).

Le principe de conservation de l'énergie impose que la puissance générée soit en partie transférée au circuit et en partie dissipée sous forme thermique :

$$\mathcal{P}_{\text{générée}} = \mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})} + \mathcal{P}_{\text{Joule}} \Rightarrow E \times I = U_{PN} \times I + rI^2$$

Remarque : cette dernière relation confirme la loi (14) :

$$U_{PN} \times I = E \times I - rI^2 \Rightarrow U_{PN} = E - rI.$$

4.2 Transfert d'énergie

Définition 8

Au cours de son fonctionnement, un dipôle consomme une puissance $\mathcal{P}_{\text{consommée}}$ et fournit une puissance utile $\mathcal{P}_{\text{utile}}$. Le *rendement* de ce dipôle vaut alors :

$$\eta = \frac{\mathcal{P}_{\text{utile}}}{\mathcal{P}_{\text{consommée}}}.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Remarque : la définition précédente convient également à l'énergie consommée $\mathcal{E}_{\text{consommée}}$ par le dipôle et l'énergie utile $\mathcal{E}_{\text{utile}}$ restituée par ce dipôle :

$$\eta = \frac{\mathcal{E}_{\text{utile}}}{\mathcal{E}_{\text{consommée}}}.$$

Exemples

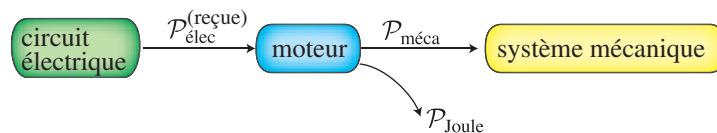
- Un générateur reçoit une puissance $\mathcal{P}_{\text{générée}}$ de la part d'une source (par exemple une réaction chimique peut produire l'énergie nécessaire au fonctionnement d'une pile); une partie de cette puissance, $\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})}$, est fournie à un circuit, tandis qu'une autre partie est dissipée par effet Joule.



Le rendement du générateur vaut alors :

$$\eta_{\text{générateur}} = \frac{\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})}}{\mathcal{P}_{\text{générée}}}$$

- Un moteur reçoit une puissance $\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})}$, sous forme électrique, qu'il transforme en partie sous forme de puissance mécanique et dont il dissipe une autre partie par effet Joule :



Le rendement du moteur est donc donné par :

$$\eta_{\text{moteur}} = \frac{\mathcal{P}_{\text{méca}}}{\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})}}.$$

Lorsqu'un circuit comporte plusieurs générateurs et plusieurs récepteurs, la somme des puissances fournies par les générateurs s'identifie à la somme des puissances reçues par les récepteurs :

$$\sum \mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})} = \sum \mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})}.$$

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES • CHAP. 5



➔ Solution de l'exercice type

Lycée Édouard Branly, Nogent-Sur-Marne

- 1** Par définition, la capacité C d'une batterie chargée pendant Δt (en heure), avec un courant d'intensité I (en ampère), vaut :

$$C = I \times \Delta t = 12 \times 10 \Rightarrow C = 120 \text{ A} \cdot \text{h}.$$

- 2** La tension aux bornes de la batterie vaut $U = 14 \text{ V}$, alors qu'elle est traversée par le courant d'intensité $I = 12 \text{ A}$; cette batterie reçoit ainsi une puissance électrique :

$$\mathcal{P}_e = I \times U = 12 \times 14 = 168 \text{ W}.$$

Pendant :

$$\Delta t = 10 \text{ h} = 10 \times 3\,600 = 36.10^3 \text{ s}$$

la batterie reçoit donc l'énergie électrique :

$$W_e = \mathcal{P}_e \times \Delta t = 36.10^3 \times 168 \Rightarrow W_e \approx 6,05.10^6 \text{ J}.$$

- 3 (a)** Pendant la décharge, la pile débite un courant d'intensité $I' = 13 \text{ A}$, tandis que la tension à ses bornes vaut $U' = 12 \text{ V}$; elle libère donc une puissance électrique :

$$\mathcal{P}_d = U' \times I' = 12 \times 13 = 156 \text{ W}.$$

Or, puisque la décharge dure :

$$\Delta t' = 8 \text{ h} = 8 \times 3\,600 = 2,88.10^4 \text{ s}$$

la batterie libère finalement l'énergie électrique :

$$W_d = \mathcal{P}_d \times \Delta t' = 156 \times 2,88.10^4 \Rightarrow W_d \approx 4,49.10^6 \text{ J}.$$

- (b)** La batterie est utilisée afin qu'elle délivre une énergie électrique W_d la plus grande possible. Or, pour y parvenir, elle consomme l'énergie W_e . C'est pourquoi son rendement est défini par :

$$\eta = \frac{W_d}{W_e} = \frac{4,49.10^6}{6,05.10^6} \approx 0,74 = 74\%.$$

Voir énoncé page 129

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

1 QCM Testez vos connaissances

30 min  Corrigé
p. 142

- 1** Lorsque deux dipôles sont montés en parallèle :
 - ☐ a leurs bornes sont reliées deux à deux ;
 - ☐ b le courant qui traverse l'un des dipôles traverse l'autre ;
 - ☐ c les tensions entre leurs bornes sont généralement différentes ;
 - ☐ d ils ont la même direction.
- 2** Un dipôle échange une énergie $\mathcal{E}$ (en Joule) pendant la durée Δt (en seconde). La puissance $\mathcal{P}$ (en watt) transférée au dipôle vaut :
 - ☐ a $\mathcal{P} = \mathcal{E} \times \Delta t$;
 - ☐ b $\mathcal{P} = \frac{\mathcal{E}}{\Delta t}$;
 - ☐ c $\mathcal{P} = \frac{\Delta t}{\mathcal{E}}$.
- 3** Un conducteur ohmique, de résistance R , est traversé par un courant d'intensité I . La tension U_{AB} entre ses bornes et la puissance $\mathcal{P}_{\text{Joule}}$ qu'il dissipe par effet Joule valent respectivement :
 - ☐ a $U_{AB} = RI$ et $\mathcal{P}_{\text{Joule}} = \frac{1}{2} RI^2$;
 - ☐ b $U_{AB} = RI^2$ et $\mathcal{P}_{\text{Joule}} = RI$;
 - ☐ c $U_{AB} = \frac{1}{2} RI$ et $\mathcal{P}_{\text{Joule}} = RI^2$;
 - ☐ d $U_{AB} = RI$ et $\mathcal{P}_{\text{Joule}} = RI^2$;
- 4** Un moteur, de force contre-électromotrice E (en V) et de résistance interne r (en Ω), est traversé par un courant d'intensité I (en A). La tension U_{AB} (en V) entre ses bornes vérifie :
 - ☐ a $U_{AB} = E - rI$
 - ☐ b $U_{AB} = E + rI$
 - ☐ c $U_{AB} = rI - E$
- 5** Un générateur, de force électromotrice E (en V) et de résistance interne r (en Ω), débite un courant d'intensité I (en A). La tension U_{PN} (en V) entre ses bornes vérifie :
 - ☐ a $U_{PN} = E - rI$
 - ☐ b $U_{PN} = E + rI$
 - ☐ c $U_{PN} = rI - E$
- 6** Le rendement du moteur précédent vaut :
 - ☐ a $\eta_{\text{moteur}} = \frac{E}{E + rI}$
 - ☐ b $\eta_{\text{moteur}} = \frac{rI - E}{E}$
 - ☐ c $\eta_{\text{moteur}} = 1 - \frac{rI}{E}$
 - ☐ d $\eta_{\text{moteur}} = \frac{rI - E}{I}$
- 7** Un générateur délivre une tension $U = 6,0$ V et une intensité $I = 0,5$ A pendant une durée $\Delta t = 2$ min. Quelle est l'énergie électrique $\mathcal{E}$ transférée ?
 - ☐ a $\mathcal{E} = 360$ J
 - ☐ b $\mathcal{E} = 120$ J
 - ☐ c $\mathcal{E} = 600$ J
 - ☐ d $\mathcal{E} = 180$ J

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES • CHAP. 5

- 8** Un récepteur électrique a une puissance nominale $P = 50 \text{ W}$ et est alimenté sous une tension $U = 230 \text{ V}$. Quelle est l'intensité I qui le traverse ?
- a** $I = 0,22 \text{ A}$ **b** $I = 2,2 \text{ A}$
c $I = 0,43 \text{ A}$ **d** $I = 4,3 \text{ A}$
- 9** Un générateur fournit une énergie électrique $\mathcal{E}_{\text{utile}} = 1,8 \text{ kJ}$ à un circuit, mais il a reçu une énergie chimique $\mathcal{E}_{\text{reçue}} = 2,5 \text{ kJ}$. Quel est son rendement η ?
- a** $\eta = 82\%$ **b** $\eta = 72\%$
c $\eta = 68\%$ **d** $\eta = 92\%$
- 10** Un moteur électrique a un rendement $\eta = 80\%$ et reçoit une puissance $P_{\text{reçue}} = 1,2 \text{ kW}$. Quelle est la puissance utile P_{utile} qu'il fournit ?
- a** $P_{\text{utile}} = 800 \text{ W}$ **b** $P_{\text{utile}} = 1,0 \text{ kW}$
c $P_{\text{utile}} = 1,5 \text{ kW}$ **d** $P_{\text{utile}} = 960 \text{ W}$

2 Conversion d'énergie électrique



5 min

Corrigé
p. 143

Lycée Saint-Dominique, Herblain

Un conducteur ohmique est caractérisé par sa résistance $R = 100 \Omega$ et sa puissance maximale admissible $P_{\text{max}} = 0,50 \text{ W}$.

- 1** Calculer l'intensité maximale du courant qu'il peut supporter sans danger. Préciser ce danger.
- 2** Calculer la tension maximale qu'on peut lui appliquer.

3 Conversion d'énergie électrique



5 min

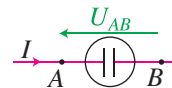
Corrigé
p. 144

Lycée Saint-Dominique, Herblain

La tension U_{AB} , aux bornes d'un électrolyseur parcouru par un courant d'intensité I est donnée par la loi :

$$U_{AB} = 3,5 + 5,0 \times I.$$

Cet appareil est parcouru par un courant de 100 mA , pendant 10 min .



- 1** Quelle est la valeur de la tension à ses bornes ?
- 2** Quelle est l'énergie électrique consommée ?
- 3** Qu'est devenue cette énergie ? Préciser la réponse (formes nouvelles d'énergie et valeurs de ces énergies).

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

4 Conversion d'énergie



10 min

Corrigé
p. 145

Lycée Lumière, Luxeuil

Le moteur d'une automobile électrique utilise l'énergie stockée dans une batterie.

- 1 Faire un schéma représentant les transferts énergétiques pour cette voiture.
- 2 On évalue les pertes énergétiques de ce moteur à 1,2 MJ par seconde, alors que la batterie lui fournit 7,9 MJ par seconde.
 - (a) Calculer la puissance mécanique fournie à l'automobile.
 - (b) Calculer le rendement de ce moteur.

5 Batterie électrique



5 min

Corrigé
p. 145

Lycée Colbert, Lorient

On dispose d'une batterie, de force électromotrice $E = 12 \text{ V}$ et de résistance interne négligeable, ainsi que de trois résistances chauffantes de valeurs respectives $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$ et $R_3 = 2 \Omega$.

- 1 On connecte une de ces résistances à la pile. Préciser la valeur de la résistance afin que l'énergie dissipée par effet Joule soit maximale pour une durée imposée Δt .
Calculer alors la puissance électrique $\mathcal{P}_{\text{elec}}$ disponible aux bornes de l'alimentation.
- 2 Quelle résistance doit être connectée à la pile pour obtenir, cette fois, une valeur minimale de l'énergie dissipée par effet Joule, pendant Δt ? Calculer $\mathcal{P}_{\text{elec}}$.

6 Conversion d'énergie électrique



10 min

Corrigé
p. 146

Lycée Branly, Nogent-sur-Marne

Un moteur électrique consomme une puissance électrique de 1,50 kW. Il fournit une énergie mécanique utile de $4,32 \cdot 10^6 \text{ J}$ pendant une heure. Les circuits électriques qui composent ce moteur cèdent une énergie thermique $Q = 7,20 \cdot 10^5 \text{ J}$.

- 1 Quelles sont les autres pertes d'énergie possibles dans ce convertisseur (valeur et nature) ?
- 2 Calculer le rendement de ce moteur.

7 Charge d'une voiture électrique



15 min

Corrigé
p. 147

Lycée Claude Bernard, Paris

Une voiture électrique a une batterie de capacité $1,87 \times 10^8 \text{ J}$ (52 kWh). On étudie deux méthodes de charge (voir page suivante).

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES • CHAP. 5

- *Charge domestique sur boîtier mural dédié pour la charge* : rendement de 92% (8% de pertes). Le prix du MJ est dans ce cas de 0,05 €.
- *Charge rapide sur autoroute* : rendement de 85% (15% de pertes). Le prix du kWh est dans ce cas de 0,2 €.

- 1 Calculer l'énergie réelle à fournir pour charger complètement la batterie avec chacune des deux méthodes.
- 2 Calculer le coût d'une charge complète de la batterie avec chacune des deux méthodes.

8 Différentes lampes



15 min

Corrigé
p. 147

Lycée Claude Bernard, Paris

On souhaite éclairer une pièce avec le même flux lumineux (mesuré en lumens) de 1 500 lm. Deux types de lampes sont disponibles :

- lampe halogène (rendement lumineux de 25 lm.W^{-1});
- lampe LED (rendement lumineux de 100 lm.W^{-1}).

Le prix du MJ d'électricité est de 0,05 €.

- 1 Calculer la puissance électrique (en watts) nécessaire pour chaque type de lampe afin d'obtenir un flux lumineux de 1 500 lumens.
- 2 Calculer l'énergie consommée (en MJ) par chaque lampe pour un fonctionnement quotidien de 5 heures pendant 30 jours.
- 3 Calculer le coût pour 30 jours d'utilisation pour chaque type de lampe.

9 Moteur électrique



20 min

Corrigé
p. 148

Lycée Jacques Monod, Clamart

Un moteur, de résistance interne $20,00 \Omega$, est alimenté par une tension de 220 V.

- 1 Faire un bilan énergétique à l'aide de la puissance dans ce moteur.
- 2 Le moteur est calé. Calculer l'intensité du courant qui le traverse et le dégagement d'énergie chaque minute.
- 3 Le moteur tourne ; le dégagement d'énergie thermique est de 7 500 J, chaque minute.
 - (a) Quelle est l'intensité du courant qui traverse le moteur ?
 - (b) Quel est son rendement ?

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

10 Charge d'un téléphone



20 min

Corrigé
p. 149

Lycée Claude Bernard, Paris

Un chargeur de téléphone est modélisé par une source réelle de tension $E = 5,0 \text{ V}$ et une résistance interne $r = 0,2 \Omega$. Il est branché à un téléphone dont la résistance équivalente est $R = 4,8 \Omega$.

- 1 Calculer l'intensité i du courant qui traverse le circuit.
- 2 Déterminer la tension U aux bornes du téléphone.
- 3 Calculer l'énergie électrique fournie au téléphone en 2 heures de charge.
- 4 Sachant que le prix du MJ est de $0,04 \text{ €}$, calculer le coût de cette charge.
- 5 Calculer la quantité de charge électrique traversant le téléphone en 2 heures.
- 6 Détermine le nombre d'électrons correspondant.
- 7 Si la résistance interne du chargeur augmente à $r = 0,5 \Omega$, recalculer la tension U aux bornes du téléphone.

Que peux-tu conclure sur l'importance de la résistance interne dans les dispositifs électriques ?

11 Conversion d'énergie électrique

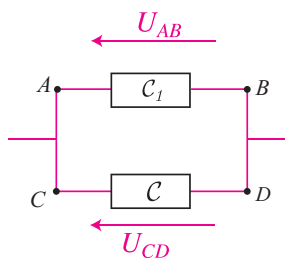


20 min

Corrigé
p. 150

Lycée Saint-Exupéry, Mantes-la-Jolie

- 1 Soient deux conducteurs résistifs $\mathcal{C}_1$, $\mathcal{C}$, de résistances respectives $R_1 = 750 \Omega$ et $R = 250 \Omega$, associés en parallèle :

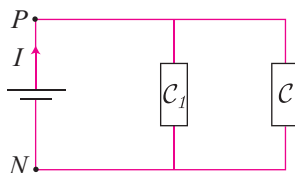


montage 1

- (a) Rappeler la relation entre les tensions U_{AB} et U_{CD} aux bornes de ces deux dipôles.
- (b) Soit P_1 la puissance dissipée par effet Joule par le conducteur $\mathcal{C}_1$ et P celle dissipée par $\mathcal{C}$. Exprimer P_1 en fonction de U_{AB} et R_1 , puis exprimer P en fonction de U_{CD} et R .
- (c) En déduire une relation entre R , P , R_1 et P_1 .

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES • CHAP. 5

- 2 Les deux conducteurs C_1 et C sont ensuite associés, en parallèle, à un générateur de tension :



montage 2

- (a) Quelle relation lie la puissance P_{elec} fournie par le générateur et les puissances P_1 et P dissipées par effet Joule par C_1 et C .
(b) On s'intéresse à la puissance P dissipée par C . Calculer numériquement la valeur du rendement du circuit.

12 Transfert d'énergie électrique



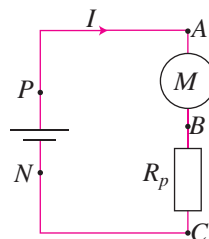
30 min

Corrigé
p. 151

Lycée Claude Bernard, Paris

Un générateur de tension, de force électromotrice $E = 24,0 \text{ V}$ et de résistance interne négligeable, alimente un conducteur ohmique de résistance $R_p = 10,0 \Omega$ avec, en série, un moteur de résistance interne $r = 10,0 \Omega$.

Le but est d'ajuster la valeur de la résistance R_p pour qu'avec ce circuit, le moteur puisse faire monter une charge de masse $m = 2,00 \text{ kg}$ sur une hauteur de $1,00 \text{ m}$, pendant $2,50 \text{ secondes}$. On supposera que toute l'énergie mécanique fournie par le moteur est utilisée pour accroître l'énergie potentielle de pesanteur de la charge.



- 1 Calculer la variation d'énergie potentielle de pesanteur de la charge et en déduire la puissance reçue par la charge.
- 2 En ajustant la résistance R_p à la valeur de 10Ω , il circule un courant d'intensité $I = 416 \text{ mA}$.
Calculer la puissance électrique reçue par tout le circuit.
- 3 Pour le conducteur ohmique, calculer la puissance dissipée par effet Joule.
- 4 Calculer la puissance dissipée par effet Joule dans le moteur.
- 5 Calculer le rendement du moteur dans ces conditions.
- 6 Dans ces conditions, le moteur pourra-t-il réaliser la levée de charge ?

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

1 **QCM** Testez vos connaissances

Énoncé
p. 136

1 Par définition, deux dipôles sont montés en parallèle si leurs bornes sont reliées deux à deux (réponse **a**); les tensions entre leur bornes sont alors toujours identiques.

2 Lorsqu'une puissance $\mathcal{P}$ est transférée à un dipôle pendant une durée Δt , ce dipôle reçoit une énergie :

$$\mathcal{E} = \mathcal{P} \times \Delta t \Rightarrow \mathcal{P} = \frac{\mathcal{E}}{\Delta t} \text{ (réponse **b**)}.$$

3 La loi d'Ohm indique qu'un conducteur ohmique parcouru par un courant d'intensité I présente, entre ses bornes, une tension :

$$U_{AB} = R \times I.$$

Il reçoit alors une puissance électrique :

$$\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = U_{AB} \times I = RI^2$$

qu'il dissipe intégralement sous forme thermique. Donc, la puissance dissipée par effet Joule vaut :

$$\mathcal{P}_{\text{Joule}} = RI^2 \text{ (réponse **d**)}.$$

4 Le moteur réalise une conversion d'énergie :

- il reçoit une puissance électrique $\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = U_{AB} \times I$;
- il dissipe une puissance thermique $\mathcal{P}_{\text{Joule}} = rI^2$;
- il délivre une puissance, sous forme mécanique : $\mathcal{P}_{\text{méca}} = E \times I$.

Le principe de conservation de l'énergie stipule alors que :

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} &= \mathcal{P}_{\text{Joule}} + \mathcal{P}_{\text{méca}} \Rightarrow U_{AB} \times I = rI^2 + E \times I \\ \Rightarrow U_{AB} &= rI + E \text{ (réponse **b**)}. \end{aligned} \quad (15)$$

5 De même, un générateur électrique réalise aussi une conversion d'énergie :

- il produit (à l'aide d'une source chimique, mécanique,...) une puissance $\mathcal{P}_{\text{générée}} = E \times I$;
- il dissipe, par effet Joule, une puissance $\mathcal{P}_{\text{Joule}} = rI^2$;
- il fournit au circuit une puissance, sous forme électrique :

$$\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})} = U_{PN} \times I.$$

À nouveau, le principe de conservation de l'énergie impose :

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_{\text{générée}} &= \mathcal{P}_{\text{Joule}} + \mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})} \Rightarrow E \times I = rI^2 + U_{PN} \times I \\ \Rightarrow E &= rI + U_{PN} \\ \Rightarrow U_{PN} &= E - rI \text{ (réponse **a**)}. \end{aligned}$$

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES • CHAP. 5

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 6** De ce qui précède, il ressort que le moteur délivre une puissance mécanique $\mathcal{P}_{\text{méca}} = E \times I$ alors qu'il reçoit une puissance électrique $\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = U_{AB} \times I$. Son rendement vaut alors :

$$\eta_{\text{moteur}} = \frac{\mathcal{P}_{\text{méca}}}{\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})}} = \frac{E \times I}{U_{AB} \times I} = \frac{E}{U_{AB}}$$

c'est-à-dire, compte tenu du résultat (15) :

$$\eta_{\text{moteur}} = \frac{E}{rI + E} \text{ (réponse [a])}.$$

- 7** Dans un système qui échange une puissance P pendant un temps Δt , l'énergie échangée $\mathcal{E}$ est donnée par $\mathcal{E} = P \times \Delta t$. Or, la puissance P reçue est $P = U \times I$. Finalement :

$$\mathcal{E} = P \times \Delta t = U \times I \times \Delta t.$$

Avant de faire le calcul, il faut d'abord convertir Δt en secondes : $\Delta t = 120$ s.
Le calcul donne :

$$\mathcal{E} = 6,0 \times 0,5 \times 120 = 360 \text{ J (réponse [a])}.$$

- 8** La puissance du récepteur est donnée par :

$$P = U \times I.$$

Le calcul donne :

$$I = \frac{P}{U} = \frac{50}{230} \approx 0,22 \text{ A (réponse [a])}.$$

- 9** Le générateur fournit une énergie électrique $\mathcal{E}_{\text{utile}}$ mais il a reçu une énergie chimique $\mathcal{E}_{\text{reçue}}$. Son rendement vaut alors :

$$\eta = \frac{\mathcal{E}_{\text{utile}}}{\mathcal{E}_{\text{reçue}}} = \frac{1,8}{2,5} = 0,72 = 72\% \text{ (réponse [b])}.$$

- 10** Le rendement du moteur est connu d'après la formule :

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{reçue}}}.$$

Donc,

$$P_{\text{utile}} = \eta \times P_{\text{reçue}} = 0,80 \times 1\,200 \text{ W} = 960 \text{ W (réponse [d])}.$$

2 Conversion d'énergie électrique

Énoncé
p. 137

Lycée Saint-Dominique, Herblain

- 1** Le conducteur, de résistance R et traversé par un courant d'intensité I , reçoit une puissance :

$$P = RI^2 < P_{\text{max}} \Rightarrow I^2 < \frac{P_{\text{max}}}{R} \Rightarrow I < \sqrt{\frac{P_{\text{max}}}{R}}.$$

Ainsi, l'intensité I ne doit pas dépasser la valeur maximale :

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{P_{\max}}{R}} = \sqrt{\frac{0,5}{100}} \Rightarrow I_{\max} \approx 7,1 \cdot 10^{-2} \text{ A} = 71 \text{ mA}$$

sans quoi la puissance reçue par ce conducteur ne peut plus être évacuée par effet Joule : sa température augmente jusqu'à sa détérioration.

- 2** La loi d'Ohm relie la tension U aux bornes du dipôle à l'intensité I : $U = RI$. Notamment, l'inégalité $I < I_{\max}$ montre que :

$$U = RI < RI_{\max}$$

c'est-à-dire que U admet aussi une valeur maximale :

$$U_{\max} = RI_{\max} \approx 100 \times 7,1 \cdot 10^{-2} \Rightarrow U_{\max} \approx 7,1 \text{ V}.$$

3 Conversion d'énergie électrique

Énoncé
p. 137

Lycée Saint-Dominique, Herblain

- 1** Lorsque l'électrolyseur est parcouru par un courant d'intensité $I = 0,1 \text{ A}$, la tension à ses bornes vaut :

$$U_{AB} = 3,5 + 5 \times 0,1 \Rightarrow U_{AB} = 4 \text{ V}.$$

- 2** La puissance électrique reçue par un dipôle (récepteur), traversé par un courant d'intensité I et soumis à une tension U_{AB} , vaut :

$$P_{\text{élec. reçue}} = U_{AB} \times I = 4 \times 0,1 = 0,40 \text{ W}.$$

Donc, pendant la durée :

$$\Delta t = 10 \text{ min} = 10 \times 60 = 600 \text{ s}$$

ce dipôle reçoit l'énergie électrique :

$$\mathcal{E}_{\text{élec. reçue}} = P_{\text{élec. reçue}} \times \Delta t = 0,4 \times 600 \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{élec. reçue}} = 2,4 \cdot 10^2 \text{ J}.$$

- 3** L'expression de la tension $U_{AB} = 3,5 + 5,0 \times I$ révèle la valeur de la force électromotrice E de l'électrolyseur et celle de sa résistance interne r :

$$U_{AB} = E + rI \text{ avec } E = 3,5 \text{ V et } r = 5,0 \Omega.$$

Donc, ce dipôle reçoit une puissance électrique :

$$P_{\text{élec. reçue}} = U_{AB} \times I = EI + rI^2,$$

c'est-à-dire une énergie électrique, pendant Δt :

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{élec. reçue}} &= P_{\text{élec. reçue}} \times \Delta t = EI \Delta t + rI^2 \Delta t \\ &\Rightarrow \mathcal{E}_{\text{élec. reçue}} = \mathcal{E}_{\text{chimique}} + \mathcal{E}_{\text{Joule}}. \end{aligned}$$

Cette relation montre que l'énergie électrique reçue par l'électrolyseur s'est transformée :

- en énergie chimique (l'électrolyse est une réaction chimique) :

$$\mathcal{E}_{\text{chimique}} = EI \Delta t = 3,5 \times 0,1 \times 600 = 2,1 \cdot 10^2 \text{ J};$$

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES • CHAP. 5

- et en énergie thermique (c'est l'effet Joule) :

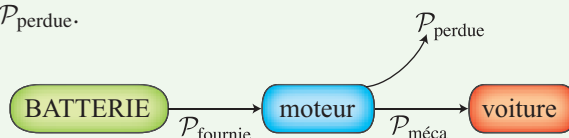
$$\mathcal{E}_{\text{Joule}} = r I^2 \Delta t = 5 \times (0,1)^2 \times 600 = 30 \text{ J.}$$

4 Conversion d'énergie

Énoncé
p. 138

Lycée Lumière, Luxeuil

- 1 La batterie fournit une énergie au moteur, de puissance $\mathcal{P}_{\text{fournie}}$. Le moteur, quant à lui, transforme cette énergie :
- d'une part en énergie mécanique (de puissance $\mathcal{P}_{\text{méca}}$) fournie à la voiture pour son déplacement ;
 - d'autre part en perte (sous forme de frottements, chaleur, ...), de puissance $\mathcal{P}_{\text{perdue}}$.



- 2 (a) Pendant $\Delta t = 1 \text{ s}$, l'énergie perdue par le moteur vaut :

$$\mathcal{E}_{\text{perdue}} = 1,2 \text{ MJ} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ J} \Rightarrow \mathcal{P}_{\text{perdue}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{perdue}}}{\Delta t} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ W}$$

tandis que la combustion du gaz fournit au moteur l'énergie :

$$\mathcal{E}_{\text{fournie}} = 7,9 \text{ MJ} = 7,9 \cdot 10^6 \text{ J} \Rightarrow \mathcal{P}_{\text{fournie}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{fournie}}}{\Delta t} = 7,9 \cdot 10^6 \text{ W.}$$

La loi de conservation de l'énergie impose alors :

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_{\text{fournie}} &= \mathcal{P}_{\text{méca}} + \mathcal{P}_{\text{perdue}} \Rightarrow \mathcal{P}_{\text{méca}} = \mathcal{P}_{\text{fournie}} - \mathcal{P}_{\text{perdue}} \\ \Rightarrow \mathcal{P}_{\text{méca}} &= 7,9 \cdot 10^6 - 1,2 \cdot 10^6 = 6,7 \cdot 10^6 \text{ W.} \end{aligned}$$

- (b) Le moteur est conçu pour transformer le *maximum* d'énergie reçue (de puissance $\mathcal{P}_{\text{fournie}}$) en énergie mécanique (de puissance $\mathcal{P}_{\text{méca}}$). C'est pourquoi son rendement est défini par :

$$\eta = \frac{\mathcal{P}_{\text{méca}}}{\mathcal{P}_{\text{fournie}}} = \frac{6,7 \cdot 10^6}{7,9 \cdot 10^6} \Rightarrow \eta \approx 0,85 = 85\%.$$

5 Batterie électrique

Énoncé
p. 138

Lycée Colbert, Lorient

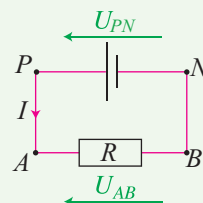
- 1 En l'absence de résistance interne, la tension aux bornes de la batterie vaut :

$$U_{PN} = E = 12 \text{ V.}$$

quelle que soit la valeur de l'intensité I du courant qui circule dans le circuit.

Quant à la loi d'Ohm, elle indique que la résistance est soumise à une tension $U_{AB} = RI$ et qu'elle dissipe, par effet Joule, une puissance

$$\mathcal{P}_{\text{Joule}} = \frac{U_{AB}^2}{R},$$



COURS

INTERROS

CORRIGÉS

avec :

$$U_{AB} = U_{PN} = E \Rightarrow \mathcal{P}_{\text{Joule}} = \frac{E^2}{R}.$$

Donc, pendant une durée Δt , la résistance dissipe, par effet Joule, une énergie :

$$\mathcal{E} = \mathcal{P}_{\text{Joule}} \times \Delta t = \frac{E^2}{R} \times \Delta t. \quad (16)$$

Cette relation montre que $\mathcal{E}$ est maximale lorsque R est le plus petit possible, c'est-à-dire pour :

$$R = R_3 = 2 \, \Omega.$$

Enfin, puisque la puissance $\mathcal{P}_{\text{elec}}$, libérée par le générateur dans le circuit, se répartit entre tous les dipôles du circuit (ici la résistance), il s'ensuit que :

$$\mathcal{P}_{\text{elec}} = \mathcal{P}_{\text{Joule}} \Rightarrow \mathcal{P}_{\text{elec}} = \frac{E^2}{R}. \quad (17)$$

Avec $R = 2 \, \Omega$, on trouve ainsi :

$$\mathcal{P}_{\text{elec}} = \frac{(12)^2}{2} \Rightarrow \mathcal{P}_{\text{elec}} = 72 \, \text{W}.$$

- 2** La relation (16) montre aussi que l'énergie dissipée par effet Joule est minimale lorsque R prend la plus grande valeur possible, c'est-à-dire lorsque :

$$R = R_1 = 4 \, \Omega.$$

La puissance disponible aux bornes du générateur est alors donnée par l'identité (17) :

$$\mathcal{P}_{\text{elec}} = \frac{E^2}{R_1} = \frac{(12)^2}{4} \Rightarrow \mathcal{P}_{\text{elec}} = 36 \, \text{W}.$$

6 Conversion d'énergie électrique

Énoncé
p. 138

Lycée Branly, Nogent-sur-Marne

- 1** Pendant $\Delta t = 1 \, \text{h} = 3\,600 \, \text{s}$, le moteur reçoit une énergie électrique :

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{elec}}^{(\text{reçue})} &= \mathcal{P}_{\text{elec}}^{(\text{reçue})} \times \Delta t = 1\,500 \times 3\,600 \\ &= 5,40 \cdot 10^6 \, \text{J} \end{aligned}$$

qu'il convertit :

- sous forme mécanique, d'énergie :

$$\mathcal{E}_{\text{méca}} = 4,32 \cdot 10^6 \, \text{J};$$

- en énergie thermique, dans les conducteurs ohmiques (effet Joule) :

$$\mathcal{E}_{\text{Joule}} = Q = 7,20 \cdot 10^5 \, \text{J};$$

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES • CHAP. 5

- en pertes par frottements, rayonnement, ..., dont la valeur $\mathcal{E}_{\text{autres pertes}}$ vérifie :

$$\mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = \mathcal{E}_{\text{méca}} + \mathcal{E}_{\text{Joule}} + \mathcal{E}_{\text{autres pertes}}$$

c'est-à-dire :

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{\text{autres pertes}} &= \mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} - \mathcal{E}_{\text{méca}} - \mathcal{E}_{\text{Joule}} \\ &= 5,40 \cdot 10^6 - 4,32 \cdot 10^6 - 7,2 \cdot 10^5 \\ &\Rightarrow \mathcal{E}_{\text{autres pertes}} = 3,6 \cdot 10^5 \text{ J.}\end{aligned}$$

- 2** Le moteur a été conçu pour convertir l'énergie électrique qu'il reçoit, sous forme mécanique. C'est pourquoi son rendement est défini par :

$$\eta = \frac{\mathcal{E}_{\text{méca}}}{\mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})}} = \frac{4,32 \cdot 10^6}{5,40 \cdot 10^6} \Rightarrow \eta \approx 0,80 = 80\%.$$

7 Charge d'une voiture électrique

→ Énoncé
p. 138

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1** La batterie a une capacité utile de $1,87 \times 10^8 \text{ J}$. Pour compenser les pertes, l'énergie réelle à prélever sur le réseau est calculée comme suit.

- Pour la charge domestique (92% de rendement) :

$$\mathcal{E}_{\text{réelle}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{batterie}}}{\eta_{\text{dom}}} = \frac{1,87 \times 10^8}{0,92} \approx 2,03 \cdot 10^8 \text{ J.}$$

- Pour la charge rapide (85% de rendement) :

$$\mathcal{E}_{\text{réelle}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{batterie}}}{\eta_{\text{rap}}} = \frac{1,87 \times 10^8}{0,85} \approx 2,20 \cdot 10^8 \text{ J.}$$

- 2** Le prix est alors le suivant :

- Pour la charge domestique,

$$2,03 \cdot 10^8 \times 0,05 \cdot 10^{-6} = 10,15 \text{ €}.$$

- Pour la charge rapide sur autoroute,

$$2,2 \cdot 10^8 \times 0,12 \cdot 10^{-6} = 26,40 \text{ €}.$$

8 Différentes lampes

→ Énoncé
p. 139

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1** Calcul de la puissance électrique nécessaire pour obtenir un flux lumineux de 1 500 lm.

- Pour la lampe halogène :

$$\mathcal{P}_{\text{halogène}} = \frac{1\,500}{25} = 60 \text{ W}.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- Pour la lampe LED :

$$\mathcal{P}_{\text{led}} = \frac{1\,500}{100} = 15 \text{ W.}$$

- 2** L'énergie consommée sur 30 jours est donnée par la formule $\mathcal{E} = \mathcal{P} \times \Delta t$, avec Δt la durée totale en secondes.

- Pour la lampe halogène, cela donne :

$$\mathcal{E}_{\text{halogène}} = 60 \times 30 \times 5 \times 3\,600 = 32,4 \text{ MJ.}$$

- Pour la lampe LED, cela donne :

$$\mathcal{E}_{\text{led}} = 15 \times 30 \times 5 \times 3\,600 = 8,1 \text{ MJ.}$$

- 3** Calcul du coût pour 30 jours d'utilisation.

- Pour la lampe halogène :

$$32,4 \times 0,05 = 1,62 \text{ €.}$$

- Pour la lampe LED :

$$8,1 \times 0,05 = 1,40 \text{ €.}$$

Remarque : la lampe LED consomme 4 fois moins d'énergie que la lampe halogène pour le même flux lumineux. De plus, la durée de vie d'une lampe LED est bien supérieure à celle d'une halogène.

9 Moteur électrique

→ Énoncé
p. 139

Lycée Jacques Monod, Clamart

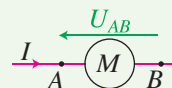
- 1** Le moteur, alimenté par une tension $U_{AB} = 220 \text{ V}$ et par un courant d'intensité I , est caractérisé par sa force contre-électromotrice E et par sa résistance interne $r = 20 \, \Omega$.

La puissance électrique qu'il reçoit :

$\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = U_{AB} \times I$ est transformée en puissance mécanique : $\mathcal{P}_{\text{méca}} = E \times I$ et en puissance thermique (effet Joule) : $\mathcal{P}_J = rI^2$;

ce bilan se traduit par la relation :

$$\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = \mathcal{P}_{\text{méca}} + \mathcal{P}_J. \quad (18)$$



- 2** Lorsque le moteur est calé, il ne peut plus fournir d'énergie mécanique ; la relation précédente devient :

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = \mathcal{P}_J &\Rightarrow U_{AB} \times I = rI^2 \Rightarrow U_{AB} = rI \\ &\Rightarrow I = \frac{U_{AB}}{r} = \frac{220}{20} = 11 \text{ A.} \end{aligned}$$

Pendant $\Delta t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$, le moteur dégage alors, sous forme exclusivement thermique, l'énergie :

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_J &= \mathcal{P}_J \times \Delta t = rI^2 \times \Delta t = 20 \times (11)^2 \times 60 \\ &\Rightarrow \mathcal{E}_J = 1,452 \cdot 10^5 \text{ J} = 145,2 \text{ kJ.} \end{aligned}$$

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES • CHAP. 5

- 3 (a)** La puissance thermique dissipée par effet Joule : $\mathcal{P}_J = rI^2$ donne l'énergie thermique $\mathcal{E}_J = 7\,500\text{ J}$ pendant $\Delta t = 1\text{ min} = 60\text{ s}$:

$$\mathcal{E}_J = \mathcal{P}_J \times \Delta t = rI^2 \Delta t \Rightarrow I = \sqrt{\frac{\mathcal{E}_J}{r \Delta t}} = \sqrt{\frac{7\,500}{20 \times 60}} = 2,5\text{ A}.$$

- (b)** La puissance électrique reçue par le moteur : $\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = U_{AB} \times I$ donne l'énergie qu'il reçoit pendant la durée Δt :

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} &= \mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} \times \Delta t = U_{AB} \times I \times \Delta t = 220 \times 2,5 \times 60 \\ \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} &= 3,3 \cdot 10^4\text{ J}.\end{aligned}$$

Or, cette énergie se répartit sous forme mécanique ($\mathcal{E}_{\text{méca}}$) et sous forme thermique (effet Joule : $\mathcal{E}_J$), en conséquence de quoi :

$$\mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} = \mathcal{E}_{\text{méca}} + \mathcal{E}_J \Rightarrow \mathcal{E}_{\text{méca}} = \mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} - \mathcal{E}_J.$$

En conclusion, de l'énergie $\mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})}$ que reçoit le moteur, seule $\mathcal{E}_{\text{méca}}$ est transformée sous forme mécanique. C'est pourquoi le rendement du moteur vaut :

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\mathcal{E}_{\text{méca}}}{\mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})} - \mathcal{E}_J}{\mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})}} = 1 - \frac{\mathcal{E}_J}{\mathcal{E}_{\text{élec}}^{(\text{reçue})}} \\ &= 1 - \frac{7\,500}{3,3 \cdot 10^4} \Rightarrow \eta \approx 0,77 = 77\%.\end{aligned}$$

10 Charge d'un téléphone

Énoncé
p. 140

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1** La tension U aux bornes du générateur vaut $U = E - r \times I$. De plus, la tension aux bornes du téléphone est $U = R \times I$. Donc,

$$E - r \times I = R \times I.$$

Donc,

$$I = \frac{E}{r + R} = \frac{5}{0,2 + 4,8} = 1,0\text{ A}.$$

- 2** La tension aux bornes du téléphone vaut :

$$U = R \times I = 4,8 \times 1 = 4,8\text{ V}.$$

- 3** L'énergie électrique $\mathcal{E}$ fournie au téléphone est 2 heures est :

$$\mathcal{E} = \mathcal{P} \times \Delta t = U \times I \times \Delta t = 4,8 \times 1,0 \times 7\,200 = 3,46 \cdot 10^4\text{ J}.$$

- 4** Le coût de la charge est :

$$3,46 \cdot 10^4 \times 4 \cdot 10^{-8} = 0,001\,38\text{ €} \approx 0,14\text{ centimes d'euros}.$$

- 5** La quantité de charge électrique Q traversant le téléphone en deux heures est :

$$Q = I \times \Delta t = 1,0 \times 7\,200 = 7\,200\text{ C}.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 6 Le nombre d'électrons correspondant est de :

$$N = \frac{Q}{q_e} = \frac{7\,200}{1,6 \times 10^{-19}} = 4,5 \times 10^{22} \text{ électrons.}$$

- 7 Si on refait les calculs avec $r = 0,5 \, \Omega$, on aurait :

$$I = \frac{E}{r + R} = \frac{5}{0,5 + 4,8} = 0,94 \text{ A.}$$

Et la tension aux bornes du téléphone serait :

$$U = R \times I = 4,8 \times 0,94 = 4,5 \text{ V.}$$

En conclusion, la tension aux bornes du téléphone diminue lorsque la résistance interne r augmente. Ceci réduit l'efficacité du chargeur et ralentit la charge.

11 Conversion d'énergie électrique

Énoncé
p. 140

Lycée Saint-Exupéry, Mantes-la-Jolie

- 1 (a) Deux dipôles associés en parallèle présentent les mêmes tensions entre leurs bornes :

$$U_{AB} = U_{CD}. \quad (19)$$

- (b) Les puissances P_1 et P dissipées par effet Joule à travers C_1 et C valent :

$$P_1 = \frac{U_{AB}^2}{R_1} \text{ et } P = \frac{U_{CD}^2}{R}.$$

- (c) Des deux relations précédentes, il ressort que :

$$U_{AB}^2 = R_1 P_1 \text{ et } U_{CD}^2 = R P$$

c'est-à-dire, en tenant compte de l'identité (19) :

$$R_1 P_1 = R P \Rightarrow P_1 = \frac{R}{R_1} \times P. \quad (20)$$

- 2 (a) La puissance $P_{\text{élec}}$ fournie par le générateur au circuit se répartit entre les dipôles du circuit, ce qui se traduit par :

$$P_{\text{élec}} = P + P_1.$$

- (b) Compte tenu du résultat (20), l'équation précédente s'écrit :

$$P_{\text{élec}} = P + \frac{R}{R_1} P = P \times \frac{R + R_1}{R_1} \Rightarrow P = \frac{R_1}{R + R_1} P_{\text{élec}}.$$

Le rendement η de ce montage, dans lequel le générateur fournit une puissance électrique $P_{\text{élec}}$ pour alimenter le conducteur C (qui dissipe une puissance P), vaut alors :

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{élec}}} = \frac{R_1}{R + R_1} = \frac{750}{750 + 250} = 0,75 = 75\%.$$

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES • CHAP. 5

12 Transfert d'énergie électrique

Énoncé
p. 141

Lycée Claude Bernard, Paris

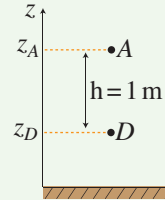
- 1 Soit D le point de départ de la charge et soit A son point d'arrivée, d'altitudes respectives z_D et z_A .

Lorsque la charge se trouve en ces points, son énergie potentielle de pesanteur vaut respectivement :

$$E_{pp}(D) = mgz_D + E_0 \text{ et } E_{pp}(A) = mgz_A + E_0$$

où E_0 est une constante qu'on ne déterminera pas.

Lorsque la charge s'élève d'une hauteur $h = z_A - z_D = 1 \text{ m}$, son énergie potentielle de pesanteur s'accroît de la quantité :



$$\begin{aligned} \Delta E_{pp} &= E_{pp}(A) - E_{pp}(D) = mgz_A - mgz_D = mg(z_A - z_D) = mgh \\ \Rightarrow \Delta E_{pp} &= 2 \times 9,81 \times 1 = 19,6 \text{ J.} \end{aligned}$$

En outre, puisque cet accroissement d'énergie s'effectue pendant $\Delta t = 2,5 \text{ s}$, il correspond à une puissance reçue par la charge, définie par :

$$\mathcal{P}_{\text{charge}} = \frac{\Delta E_{pp}}{\Delta t} = \frac{19,62}{2,5} \quad (21)$$

c'est-à-dire :

$$\mathcal{P}_{\text{charge}} = \frac{19,62}{2,5} = 7,85 \text{ W.}$$

- 2 Le générateur, aux bornes duquel règne une tension $U_{PN} = E = 24 \text{ V}$ et qui délivre un courant d'intensité $I = 416 \text{ mA} = 0,416 \text{ A}$, fournit au circuit une puissance électrique :

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})} &= E \times I = 24 \times 0,416 \\ \Rightarrow \mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})} &= 9,98 \text{ W.} \end{aligned}$$

- 3 Le conducteur ohmique, de résistance $R_p = 10 \Omega$, dissipe par effet Joule une puissance thermique :

$$\mathcal{P}_J(R_p) = R_p \times I^2 = 10 \times (0,416)^2 \approx 1,73 \text{ W.}$$

- 4 Le moteur ayant une résistance interne $r = 10 \Omega$ il dissipe par effet Joule une puissance thermique :

$$\mathcal{P}_J(\text{moteur}) = r \times I^2 = 10 \times (0,416)^2 \approx 1,73 \text{ W.}$$

- 5 Le générateur délivre une puissance $\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})}$ qui se répartit entre les deux récepteurs qui composent le circuit :

- le conducteur ohmique dissipe la puissance $\mathcal{P}_J(R_p)$ par effet Joule ;
- le moteur reçoit une puissance $\mathcal{P}_{\text{moteur}}^{(\text{reçue})}$ qu'il convertit d'une part sous forme de puissance mécanique $\mathcal{P}_{\text{méca}}$ et d'autre part sous forme de puissance thermique $\mathcal{P}_J(\text{moteur})$:

$$\mathcal{P}_{\text{moteur}}^{(\text{reçue})} = \mathcal{P}_{\text{méca}} + \mathcal{P}_J(\text{moteur}). \quad (22)$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Le principe de conservation de l'énergie impose que toute la puissance fournie par le générateur soit reçue par l'ensemble des récepteurs :

$$\begin{aligned}\mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})} &= \mathcal{P}_J(R_p) + \mathcal{P}_{\text{moteur}}^{(\text{reçue})} \\ \Rightarrow \mathcal{P}_{\text{moteur}}^{(\text{reçue})} &= \mathcal{P}_{\text{élec}}^{(\text{fournie})} - \mathcal{P}_J(R_p) = 9,984 - 1,731 \\ \Rightarrow \mathcal{P}_{\text{moteur}}^{(\text{reçue})} &= 8,253 \text{ W}.\end{aligned}$$

La relation (22) donne alors la puissance que le moteur fournit, sous forme mécanique :

$$\mathcal{P}_{\text{méca}} = \mathcal{P}_{\text{moteur}}^{(\text{reçue})} - \mathcal{P}_J(\text{moteur}) = 8,253 - 1,731 = 6,522 \text{ W}.$$

Par conséquent, ce moteur a pour rendement :

$$\eta_{\text{moteur}} = \frac{\mathcal{P}_{\text{méca}}}{\mathcal{P}_{\text{moteur}}^{(\text{reçue})}} = \frac{6,522}{8,253} = 0,79 = 79\%.$$

- 6** D'après les calculs précédents, le moteur libère une puissance mécanique $\mathcal{P}_{\text{méca}} = 6,522 \text{ W}$, tandis que la montée de la charge requiert, dans les conditions où elle est effectuée, une puissance $\mathcal{P}_{\text{charge}} = 7,848 \text{ W}$. Ce faisant, l'inégalité :

$$\mathcal{P}_{\text{charge}} > \mathcal{P}_{\text{méca}}$$

montre que, dans ces conditions, le moteur ne peut pas assurer la montée de la charge.

En revanche, pour que cette montée soit possible, il faudrait que soit vérifiée la relation :

$$\mathcal{P}_{\text{méca}} \geq \mathcal{P}_{\text{charge}}$$

où $\mathcal{P}_{\text{charge}}$ vérifie l'équation (21) :

$$\begin{cases} \mathcal{P}_{\text{charge}} = \frac{19,62}{\Delta t} \\ \mathcal{P}_{\text{méca}} = 6,522 \text{ W} \end{cases} \Rightarrow 6,522 \geq \frac{19,62}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t \geq \frac{19,62}{6,522} = 3 \text{ s}.$$

Ondes mécaniques

Plan du chapitre

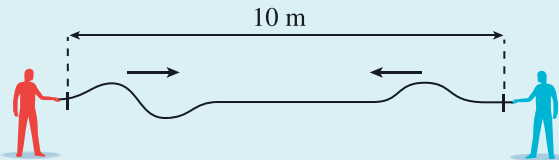
1. Introduction
2. Notion d'onde mécanique
3. Propriétés générales des ondes
4. Ondes progressives à une dimension
5. Ondes progressives périodiques

1 Introduction

Exercice type

Lycée Hector Berlioz, Vincennes

On considère la corde tendue ci-dessous. À chacune de ses extrémités se trouve un opérateur, qui vient de secouer la corde. La tension de la corde est $T = 50 \text{ N}$, et sa masse est $m = 10 \text{ kg}$. La corde est homogène. Représenter l'aspect de la corde une seconde plus tard.



Indication : la célérité des ondes se propageant le long d'une corde tendue de tension T et de masse linéique μ est :

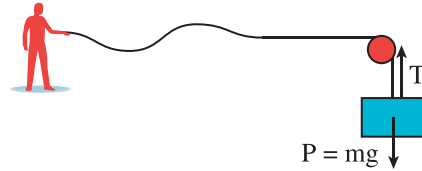
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}.$$

Voir corrigé page 159

Le but de ce chapitre est d'étudier les ondes mécanique et leurs propriétés.

2 Notion d'onde mécanique

Considérons l'expérience ci-dessous, où un opérateur agite une corde tendue (sa tension est réalisée par le poids $P = mg$ de la masse m accrochée à la corde de l'autre côté de la poulie).



Les déformations, ou *perturbations*, par rapport à l'état d'équilibre (quasiment rectiligne) de la corde tendue, se *propagent* le long de celle-ci.

- Cette propagation induit un transport d'énergie le long de la corde. En effet, on peut très bien imaginer, si le système qui retient la poulie est « fragile » et/ou si les perturbations imposées à la corde sont importantes, que ces perturbations arrivent à rompre le système d'accrochage de la poulie. Ceci ne peut se faire sans dépenser de l'énergie, qui est celle fournie par l'opérateur, et qui s'est propagée le long de la corde.
- Cette propagation, en revanche, se fait sans transport de matière. En effet, si l'on repère avec un ruban adhésif de couleur vive une partie de la corde, on verra celui-ci osciller verticalement, mais il ne se déplacera pas avec la perturbation.

Ces perturbations correspondent à ce que l'on appelle de manière plus générale des ondes mécaniques.

Définition 1

On appelle onde mécanique le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu sans transport de matière. Cette propagation s'accompagne toujours en revanche d'un transport d'énergie.

3 Propriétés générales des ondes

Définition 2

La vitesse à laquelle se propage le profil de perturbation associé à une onde est appelée sa célérité.

Exemple : Les ondes sonores dans l'air se propagent avec une célérité :

$$c_s = 20,05\sqrt{T},$$

où c_s est en m.s^{-1} , et T est la température absolue (en kelvin). La température absolue se déduit de la température ϑ mesurée en degrés Celsius par la relation :

$$T = 273,15 + \vartheta.$$

Ainsi, à 20 °C, la vitesse du son dans l'air vaut :

$$c_s = 20,05 \times \sqrt{273,15 + 20} \approx 343 \text{ m.s}^{-1}.$$

ONDES MÉCANIQUES • CHAP. 6

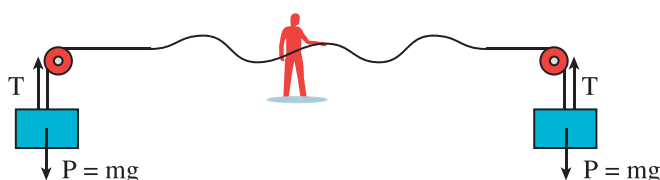
COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Une onde se propage dans toutes les directions qui lui sont offertes.

- Ainsi, une pierre qui tombe dans l'eau excite des ondes de surfaces qui se propagent dans toutes les directions offertes, à savoir ici sur toute la surface de l'eau : les lignes d'égale perturbation (crête ou creux, par exemple) sont des cercles centrés sur l'endroit où est tombée la pierre.
- Dans le cas de la corde, la seule direction offerte est vers la droite. En revanche, si on modifie l'expérience, en tendant la corde à ses deux extrémités et en plaçant l'opérateur au milieu, il excite des ondes qui se propagent à la fois vers la droite et vers la gauche.



- Si on place un haut-parleur dans l'air, on peut entendre le son où que l'on soit (au-dessus, à « droite », devant ou derrière le haut-parleur, etc.) pourvu que l'on en soit suffisamment proche, bien évidemment.

La célérité des ondes dans un milieu est une caractéristique du milieu. Elle ne dépend pas de l'amplitude des ondes qui s'y propagent.

Exemple : lorsqu'on compte le délai qui sépare l'éclair du bruit du tonnerre pour déterminer la distance à laquelle est tombée la foudre, on multiplie toujours le délai (exprimé en secondes) par 340 m.s^{-1} , qui est la célérité du son dans l'air. Le résultat est la distance recherchée en mètres. On ne se soucie pas de savoir s'il s'agissait d'un très fort coup de tonnerre ou au contraire d'un coup de tonnerre plus faible : le résultat n'en dépend pas, la célérité du son est toujours la même.

Deux ondes peuvent se croiser sans se perturber.

Exemple : c'est le cas de la situation présentée à l'exercice type, que nous reverrons lors de sa correction.

4 Ondes progressives à une dimension

Une onde à une dimension est une onde où la perturbation à un instant donné ne dépend que d'une variable.

Lorsque l'on connaît la forme de la perturbation associée à une onde à une dimension dans un milieu matériel à un instant donné, il est possible de la prévoir à tout instant ultérieur. Cela est assez intuitif : le « profil perturbé » se propage sans « déformation » avec la célérité de l'onde, dans la direction de sa propagation.

De manière plus formelle, on fait appel à la notion de *retard*.

➔ À RETENIR

La perturbation au point M à l'instant t est celle qui existait auparavant en un point M' , à l'instant $t' = t - \tau$, où τ est le retard et vaut MM'/v , v étant la célérité de l'onde.

Ce résultat appelle plusieurs remarques :

- cela permet simplement de « remonter » la propagation du profil perturbé et d'identifier sans autre calcul l'amplitude de la perturbation, car on sait que le profil perturbé ne se déforme pas ;
- il existe une ambiguïté sur la position du point M' : celle-ci doit bien évidemment être prise « en amont » du point M (au sens de la propagation de l'onde). Ainsi, si l'onde se propage vers la gauche, le point M' doit être le point situé à droite de M qui vérifie la relation donnée ci-dessus, et vice-versa.

Le résultat énoncé plus haut est très utile pour calculer soit des distances, soit des célérités, comme nous aurons l'occasion de le revoir en exercice. Il est particulièrement utile de remarquer l'analogie formelle entre la relation :

$$\text{distance} = \text{temps} \times \text{vitesse}$$

vérifiée par les systèmes matériels en déplacement, et la relation :

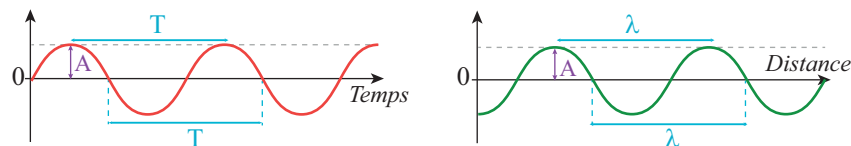
$$\text{distance} = \text{retard} \times \text{célérité}.$$

5 Ondes progressives périodiques

5.1 Périodicité spatiale et temporelle d'une onde

5.1.1 - Ondes sinusoïdales

Une onde sinusoïdale est une oscillation régulière, comme le mouvement d'un ressort ou le signal électrique d'une prise de courant. Sa forme lisse et répétitive permet de modéliser des phénomènes variés, des vagues de l'océan aux signaux radio. Les ondes sinusoïdales sont des ondes périodiques dont la forme rappelle celle d'une fonction mathématique appelée *sinus*.



ONDES MÉCANIQUES • CHAP. 6



simuler la propagation d'une onde sinuïdale

```
import math
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.animation import FuncAnimation
# Paramètres de l'onde (vitesse: de propagation)
amplitude, periode, vitesse = 1.0, 2.0, 0.5
# Domaine spatial (x) et temporel (t)
x_min, x_max, t_min, t_max = 0, 10, 0, 10
pas_x, pas_t = 0.05, 0.1
# Génération des listes x et t
x = [i * pas_x for i in range(int(x_max / pas_x) + 1)]
t = [i * pas_t for i in range(int(t_max / pas_t) + 1)]
# Création de la figure
fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 5))
ax.set_title("Simulation de la propagation d'une onde
sinusoidale")
ax.set_xlabel("Position (x)")
ax.set_ylabel("Amplitude")
ax.set_xlim(x_min, x_max)
ax.set_ylim(-2, 2)
ax.grid(True)
# Initialisation de la ligne de l'onde
line, = ax.plot([], [], 'b-', lw=2)
# Fonction pour calculer l'onde à un instant t
def onde(x_list, t_val, amplitude, periode, vitesse):
    y = []
    for pos in x_list:
        y.append(amplitude * math.sin(2 * math.pi * (pos -
vitesse * t_val) / periode))
    return y
# Initialisation de l'animation
def init():
    line.set_data([], [])
    return line,
# Mise à jour de l'animation à chaque frame
def update(frame):
    y = onde(x, frame, amplitude, periode, vitesse)
    line.set_data(x, y)
    ax.set_title(f"Propagation de l'onde (t = {frame:.1f} s
)")
    return line,
# Création de l'animation
ani = FuncAnimation(fig, update, frames=t, init_func=init,
blit=True, interval=50)
plt.show()
```

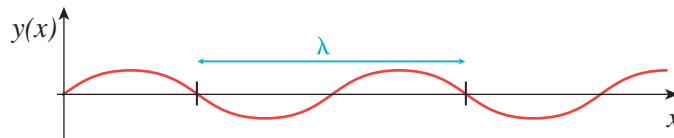
COURS

INTERROS

CORRIGÉS

5.1.2 - Périodicité spatiale et longueur d'onde

On envisage une onde mécanique qui à un instant t se traduit par le profil de perturbation ci-après.



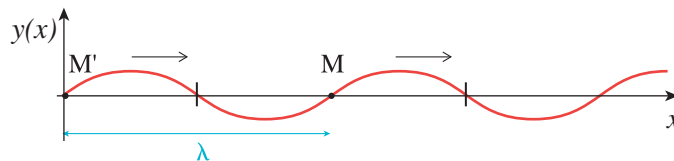
La perturbation $y(x)$ est une fonction périodique de x . On appelle longueur d'onde, et on note λ , la période de cette fonction. On a, à un instant t donné :

$$\forall x, y(x + \lambda, t) = y(x, t).$$

La longueur d'onde est homogène à une longueur.

5.1.3 - Périodicité temporelle, période et fréquence

Supposons à présent que la célérité de cette onde est v , et qu'elle se propage vers la droite.



Le point M va par conséquent descendre, arriver à un minimum, puis remonter, passer par zéro, atteindre un maximum, et revenir à zéro. Il aura exécuté ceci quand la perturbation, qui est actuellement au point M' , aura atteint le point M . Le *retard* du point M sur le point M' est :

$$\tau = \frac{MM'}{v} = \frac{\lambda}{v}.$$

Ce retard est aussi, comme on vient de le voir, la période temporelle des oscillations du point M , puisqu'ensuite il recommencera la même oscillation.

Par conséquent, entre la période temporelle T de l'onde (qui est la période des oscillations d'un objet matériel soumis au passage de l'onde) et la longueur d'onde λ , la relation est :

$$T = \frac{\lambda}{v}.$$

On peut également utiliser la fréquence ν de l'onde au lieu de sa période temporelle, les deux étant liées par :

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

On a, en un point x donné :

$$\forall t, y(x, t + T) = y(x, t).$$

ONDES MÉCANIQUES • CHAP. 6

À RETENIR

Les égalités ci-dessous entre longueur d'onde λ , célérité v , fréquence ν et période T sont toujours vérifiées, quel que soit le type d'onde :

$$v = \lambda \nu \quad , \quad T = \frac{\lambda}{v} \quad , \quad \lambda = vT \quad \text{et} \quad \lambda = \frac{v}{\nu}.$$

La longueur d'onde est homogène à une longueur et donc s'exprime en mètres (m) et ses multiples ou sous-multiples, la période est homogène à un temps et donc s'exprime en secondes (s) ou ses multiples ou sous-multiples, et la fréquence s'exprime en hertz (Hz), ou ses multiples ou sous-multiples. On a $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$.

On pourra, lorsque l'on n'est pas sûr de la relation, utiliser l'analyse dimensionnelle pour s'assurer qu'elle est correcte.

Solution de l'exercice type

Lycée Hector Berlioz, Vincennes

On a :

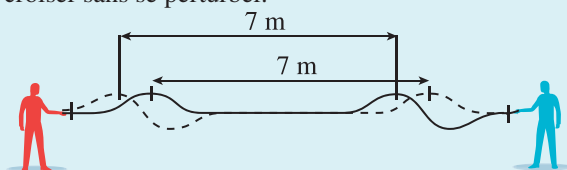
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{50}{1}} \approx 7,1 \text{ m.s}^{-1},$$

car la masse linéique de la corde est $\mu = m/l = 10/10 = 1 \text{ kg.m}^{-1}$.

La distance sur laquelle les profils se propagent pendant une seconde est donc de 7 m.

Le profil perturbé de droite, excité par l'opérateur de droite, se propage vers la gauche, alors que le profil perturbé de gauche, excité par l'opérateur de gauche, se propage vers la droite.

Cela nous permet de donner l'allure de la corde à l'instant demandé. On a représenté en pointillés l'aspect initial. On a utilisé le fait que deux ondes peuvent se croiser sans se perturber.



Voir énoncé page 153

COURS

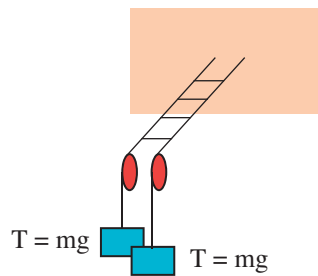
INTERROS

CORRIGÉS

1 QCM Testez vos connaissances

30 min **Corrigé**
p. 165

- 1** À une hauteur donnée par rapport au sol, les ondes se propagent plus vite sur la corde :
☐ **a** la plus légère ☐ **b** la plus lourde ☐ **c** ni l'une ni l'autre
- 2** On considère une corde lisse homogène accrochée au plafond d'un gymnase. Son extrémité inférieure est libre. Les ondes mécaniques qui se propagent le long de cette corde lorsque l'on agite son extrémité inférieure se propagent plus vite :
☐ **a** en haut ☐ **b** en bas ☐ **c** ni l'un ni l'autre
- 3** Les ondes sonores peuvent-elles se propager dans le vide ?
☐ **a** oui ☐ **b** non
- 4** On considère deux cordes tendues, identiques, parallèles et proches l'une de l'autre de masse linéique μ et de tension T chacune, comme représenté ci-dessous. La célérité des ondes mécaniques est donc $v = \sqrt{T/\mu}$.



On les rend solidaires l'une de l'autre en les liant en plusieurs endroits par des cordelettes de masse négligeable, comme représenté ci-dessus. L'ensemble se comporte donc comme une corde unique. À quelle célérité s'y propagent les ondes mécaniques ?

- ☐ **a** $v/2$ ☐ **b** $\frac{v}{\sqrt{2}}$ ☐ **c** v
☐ **d** $\sqrt{2}v$ ☐ **e** $2v$ ☐ **f** v^2
- 5** Lorsque l'on augmente la fréquence d'une onde, à célérité fixée, on :
☐ **a** augmente ☐ **b** diminue
sa longueur d'onde.
- 6** Les sons aigus ont une fréquence plus
☐ **a** petite ☐ **b** grande
que les sons graves.
- 7** La longueur d'onde des sons graves est plus
☐ **a** petite ☐ **b** grande
que celle des sons aigus.

ONDES MÉCANIQUES • CHAP. 6

- 8** Si on multiplie par deux la fréquence d'un son, on multiplie sa longueur d'onde par
- a** $\frac{1}{2}$ **b** 2
c 4 **d** elle ne change pas
- 9** Une chauve-souris émet des ultrasons de fréquence $f = 34$ kHz pour se repérer dans l'espace. Quelle est leur longueur d'onde ?
- a** 1 m **b** 1 cm
c 10 cm **d** 1 mm
- 10** Une onde sinusoïdale se propage à une célérité $v = 2$ m/s avec une fréquence $\nu = 5$ Hz. Quelle est sa longueur d'onde λ ?
- a** $\lambda = 0,4$ m **b** $\lambda = 2,5$ m
c $\lambda = 10$ m **d** $\lambda = 0,2$ m

2 Étude du mascaret



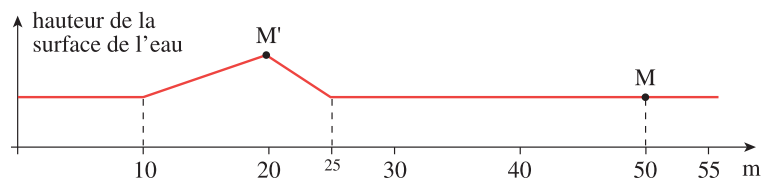
10 min

Corrigé
p. 165

Lycée Lavoisier, Paris

Le mascaret est une vague qui remonte l'estuaire de certains fleuves lorsque la marée monte. Sa hauteur dépend du fleuve, du coefficient de marée, et dans certain cas cette vague peut être particulièrement destructrice. Nous admettons que sa célérité est : $v = 25$ km.h⁻¹.

On représente l'aspect de la surface de l'eau vue en coupe le long du fleuve à un instant $t_0 = 0$ sur la figure ci-après. Les abscisses positives sont orientées vers la source du fleuve.



On cherche à savoir quelle sera la perturbation au point M à l'instant $t_1 = 5,04$ s. Quel point N se trouve avoir la même perturbation à l'instant t_0 ?

- 1** En quel point N' la perturbation qui existe au point M' à l'instant t_0 arrivera-t-elle à l'instant t_1 ?
- 2** En déduire l'allure de la surface de l'eau à l'instant t_1 .

3 Étude de la houle



10 min

Corrigé
p. 166

Lycée Claude Bernard, Paris

Un pêcheur observe que les vagues (houle) arrivent sur la plage toutes les 8 secondes. Il mesure que la distance entre deux crêtes successives est de 50 mètres.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 1 Calculer la célérité des vagues.
- 2 Si le vent change et que la période des vagues devient 6 secondes, que devient la longueur d'onde si la célérité reste constante ?

4 Étude d'un sismogramme



15 min

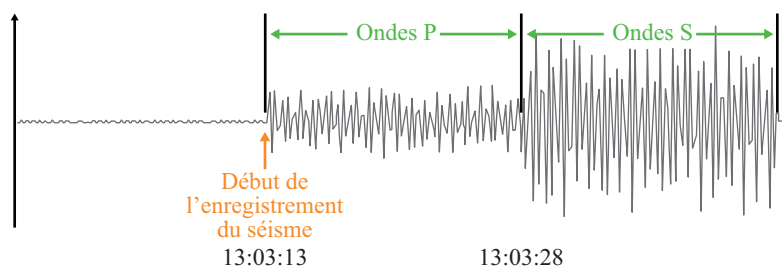
Corrigé
p. 166

Lycée Claude Bernard, Paris

Lors d'un séisme, deux types d'ondes sont détectées par le sismographe : les ondes P et les ondes S . Les ondes P sont détectées en premier car elles ont une célérité de propagation supérieure à celle des ondes S .

La célérité des ondes P est de $v_P = 6 \text{ km.s}^{-1}$ et celle des ondes S est de $v_S = 3,5 \text{ km.s}^{-1}$.

Voici le relevé sismographique d'une station sismique :



- 1 Par lecture graphique, donner le décalage $t_S - t_P$ entre l'enregistrement des ondes P et celui des ondes S .
- 2 En fixant l'origine des temps au moment de déclenchement du séisme et en appelant d la distance entre l'épicentre et la station sismique, exprimer t_P en fonction de v_P et de d . Puis exprimer t_S en fonction de v_S et de d .
- 3 En déduire une relation entre $t_S - t_P$ et v_P , v_S et d .
- 4 Calculer d .

5 Tsunamis



15 min

Corrigé
p. 167

Lycée Henri IV, Paris



Retrouvez le corrigé de cet exercice en vidéo.

On s'intéresse dans cet exercice aux *tsunamis*. Les tsunamis sont des vagues extrêmement destructrices créées, par exemple, par des séismes sous-marins. Ces vagues se propagent à la surface de l'océan et arrivent aux côtes où elles peuvent occasionner des dommages considérables.

ONDES MÉCANIQUES • CHAP. 6

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 1 Des observateurs rapportent que lors du passage d'un tsunami, on vit déferler 7 énormes vagues, et que deux vagues successives étaient séparées par un intervalle de 20 minutes. Quelle est la fréquence de l'onde de houle associée au tsunami ?
- 2 Quelle est la célérité d'un tsunami en plein océan ? Quelle est sa longueur d'onde en plein océan ?
- 3 On admettra que la quantité vH^2 est conservée lorsque le tsunami se propage, où v est sa célérité et H la hauteur de la houle. Si la hauteur d'un tsunami en plein océan est 1 m, quelle est la hauteur de la déferlante sur des côtes peu profondes, où la profondeur moyenne de l'eau est de 4 m ?
- 4 Un tsunami est-il détectable en plein océan ?

Données :

- On supposera qu'en plein océan la profondeur est uniforme et vaut $d = 10$ km.
- Intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.

Indication :

On admettra que la célérité v de la houle est donnée par les formules suivantes :

Dans le cas peu profond où la profondeur d est inférieure à la longueur d'onde :

$$v = \sqrt{gd}.$$

Dans le cas profond où la profondeur d est supérieure à la longueur d'onde λ , on a :

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}.$$

6 Analyse spectrale

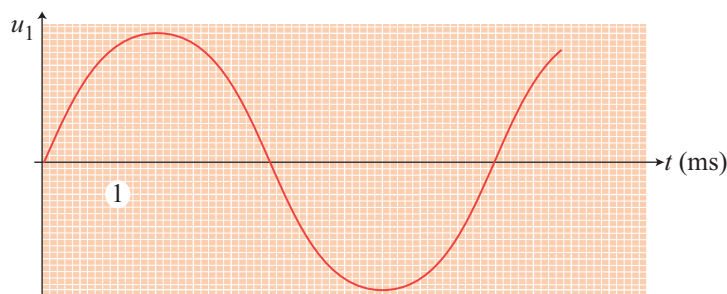


30 min

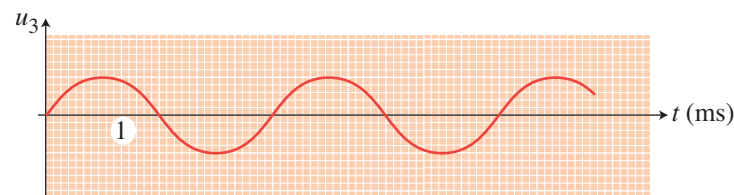
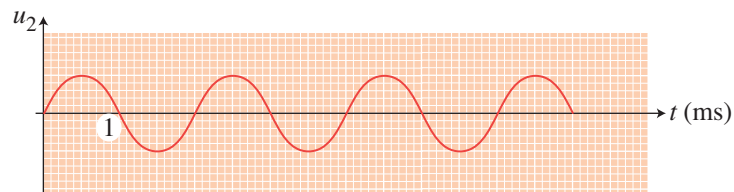
Corrigé
p. 168

Lycée Claude Bernard, Paris

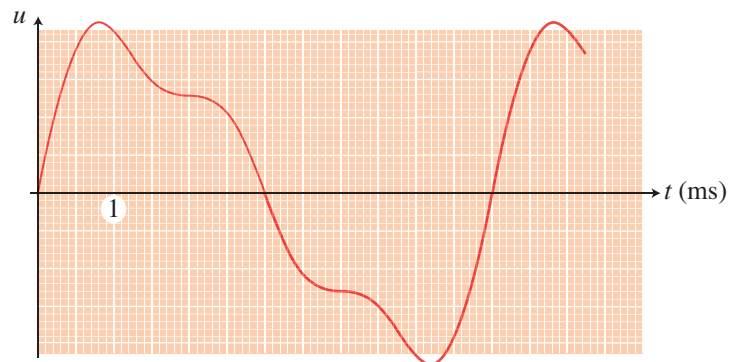
Un haut-parleur produit successivement trois sons qui sont enregistrés par un ordinateur équipé d'un microphone et dont peut visualiser les tensions u_1 , u_2 et u_3 :



INTERROS



- 1 Déterminer graphiquement les périodes T_1 , T_2 et T_3 de ces sons.
- 2 Déterminer les fréquences f_1 , f_2 et f_3 correspondantes.
- 3 On réalise, grâce à l'ordinateur, la somme des trois tensions précédentes : $u = u_1 + u_2 + u_3$ et on visualise ce nouveau signal à l'écran d'un oscilloscope :



Déterminer la période T et la fréquence f de la tension u .

Données : la gamme de fréquences audibles s'étend de 20 Hz à 20kHz.

ONDES MÉCANIQUES • CHAP. 6

1 **QCM** Testez vos connaissances

Énoncé
p. 160

- 1 Réponse **c**. En effet, la tension est proportionnelle au poids de la partie de la corde qui est située au-dessous, laquelle est proportionnelle à la masse linéique. Le quotient T/μ ne dépend donc pas de la masse linéique, et la célérité non plus.
- 2 Réponse **a**. La tension est en effet plus grande en haut de la corde (en vertu de la première réponse à la question 9), et la célérité des ondes mécaniques est également plus grande.
- 3 Réponse **b**. Les ondes sonores se propagent de proche en proche suite à des compressions et détentes successives de tranches d'air (ou d'un gaz quelconque). Elles ne peuvent donc pas se propager dans le vide.
- 4 Réponse **c**. La tension de l'ensemble vaut en effet $2mg$, et la masse linéique vaut 2μ . Le fait que les deux cordes soient rendues solidaires n'a pas d'importance, elles bougent simplement de concert et les ondes s'y propagent donc à la célérité v . Le choix **f** est absurde : la grandeur suggérée n'a pas les dimensions d'une vitesse !
- 5 Réponse **b**. En effet on a : $\lambda = \frac{v}{\nu}$.
- 6 Réponse **b**. Les sons aigus ont une fréquence plus grande que les sons graves.
- 7 Réponse **b**. Les sons graves ont donc une longueur d'onde plus grande que les sons aigus.
- 8 Réponse **a**.
- 9 Réponse **b**. Il suffit d'utiliser la relation $\lambda = \frac{v}{\nu}$, où v est la vitesse du son dans l'air ($v = 340 \text{ m.s}^{-1}$).
- 10 Réponse **a**. Il suffit d'utiliser la formule de la longueur d'onde :

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{2}{5} = 0,4 \text{ m.}$$

2 Étude du mascaret

Énoncé
p. 161

Lycée Lavoisier, Paris

- 1 On applique le même genre de raisonnement. Le point N' est tel que le retard $\tau = (x_{N'} - x_{M'})/v$ est égal à $t_1 - t_0$, donc :

$$x_{N'} - x_{M'} = x_M - x_N ,$$

où le choix du signe est imposé par la direction de propagation du mascaret. On en déduit :

$$x_{N'} = 20 + 35 = 55 \text{ m.}$$

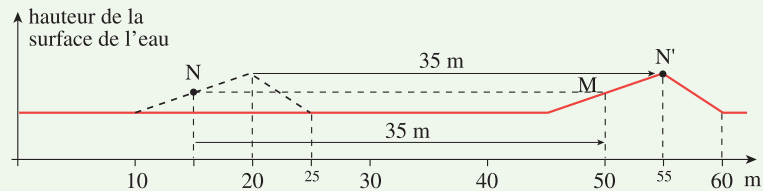
À l'instant t_1 le point N' a donc une elongation égale à la hauteur du mascaret.

- 2 On reporte sur le schéma page suivante l'allure du mascaret à la date t_1 (en pointillés on a reporté l'allure de la surface à la date t_0).

COURS

INTERROS

CORRIGÉS



3 Étude de la houle

Énoncé
p. 161

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1 La célérité v d'une onde périodique est donnée par :

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{50}{8} = 6,25 \text{ m.s}^{-1}.$$

La célérité des vagues est de $6,25 \text{ m.s}^{-1}$.

- 2 Si la célérité reste la même, mais que la période T est remplacée par une autre période T' , on peut calculer la nouvelle longueur d'onde λ' ainsi :

$$\lambda' = v \times T' = 6,25 \times 6 = 37,5 \text{ m}.$$

4 Étude d'un sismogramme

Énoncé
p. 162

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1 On peut lire graphiquement que $t_S - t_P = 15 \text{ s}$.
2 Les ondes S se propagent à la vitesse v_S , donc :

$$t_S = \frac{d}{v_S}.$$

De même, les ondes P se propagent à la vitesse v_P donc :

$$t_P = \frac{d}{v_P}.$$

- 3 Donc :

$$t_S - t_P = \frac{d}{v_S} - \frac{d}{v_P} = d \times \left(\frac{1}{v_S} - \frac{1}{v_P} \right).$$

- 4 Finalement,

$$d = \frac{t_S - t_P}{\frac{1}{v_S} - \frac{1}{v_P}} = \frac{15}{\frac{1}{3,5} - \frac{1}{6}} = 126 \text{ km}.$$

L'épicentre du séisme est situé à 126 km du sismographe.

ONDES MÉCANIQUES • CHAP. 6

5 Tsunamis

Énoncé
p. 162

Lycée Henri IV, Paris



- 1 La fréquence de la houle associée aux tsunamis est simplement celle mentionnée par les observateurs, soit 1 vague pour 20 minutes, ou encore :

$$\nu = \frac{1}{20 \times 60} \approx 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ Hz.}$$

- 2 Pour déterminer célérité et longueur d'onde d'un tsunami en plein océan, il faut savoir s'il faut se placer dans le cas profond ou dans le cas peu profond. On va donc supposer successivement chaque cas, puis on verra si la longueur d'onde obtenue vérifie la supposition.

- (a) On suppose que l'on est dans le cas profond. Alors la célérité s'écrit :

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}},$$

donc on peut écrire :

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}},$$

ce qui donne :

$$\lambda^2 = \frac{1}{\nu^2} \frac{g\lambda}{2\pi},$$

d'où l'on déduit :

$$\lambda = \frac{g}{2\pi\nu^2}.$$

L'application numérique donne :

$$\lambda = \frac{10}{2\pi \times (8,3 \cdot 10^{-4})^2} \approx 2,3 \cdot 10^6 \text{ m.}$$

On voit que l'on aboutit à une contradiction, puisque cette longueur d'onde est plus grande que la profondeur de l'océan, donc on ne peut pas être dans le régime profond.

- (b) On suppose à présent que l'on est dans le cas peu profond. Alors la célérité s'écrit :

$$v = \sqrt{gd}$$

et donc :

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{\sqrt{gd}}{\nu}.$$

L'application numérique donne :

$$\lambda = \frac{\sqrt{10 \times 10^4}}{8,3 \cdot 10^{-4}} \approx 3,8 \cdot 10^5 \text{ m} \approx 380 \text{ km.}$$

Cette longueur d'onde est bien supérieure à la profondeur de l'océan donc l'hypothèse est vérifiée est l'on est bien dans le cas peu profond.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

On peut en déduire la célérité simplement par :

$$v = \sqrt{10 \times 10^4} \approx 320 \text{ m.s}^{-1} \approx 1\,140 \text{ km.h}^{-1}.$$

Les tsunamis ont donc une très grande longueur d'onde (presque la moitié du « diamètre » de la France dans le cas étudié) et se propagent à une très grande célérité. Certains peuvent traverser tout l'océan Pacifique en une dizaine d'heures.

3 On écrit que vH^2 se conserve, donc :

$$v_{\text{océan}} H_{\text{océan}}^2 = v_{\text{côte}} H_{\text{côte}}^2.$$

On connaît $v_{\text{océan}}$, $H_{\text{océan}}$, et on veut déterminer $H_{\text{côte}}$, donc il faut au préalable calculer $v_{\text{côte}}$. On l'obtient par :

$$v_{\text{côte}} = \sqrt{gd} = \sqrt{10 \times 4} = 6,3 \text{ m.s}^{-1}$$

donc :

$$H_{\text{côte}} = H_{\text{océan}} \sqrt{\frac{v_{\text{océan}}}{v_{\text{côte}}}} = 1 \times \sqrt{\frac{320}{6,3}} \approx 7,1 \text{ m}.$$

En fait la hauteur du tsunami lorsqu'il déferle dépend considérablement du profil de la côte, de l'endroit de déferlement, etc., et ce calcul simple ne peut donner au mieux qu'un ordre de grandeur de la hauteur de la vague. Certains tsunamis ont atteint des hauteurs de 30 mètres.

4 Un tsunami est indétectable en plein océan, puisqu'il correspond à un soulèvement peu important de la surface sur une très grande distance. En particulier les bateaux ne peuvent pas détecter la présence d'un tsunami qui se propage à la surface.

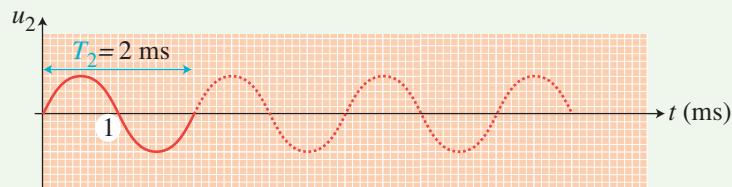
6 Analyse spectrale

Lycée Claude Bernard, Paris

Énoncé
p. 163

1 La période d'un signal désigne le plus petit temps au bout duquel le signal se reproduit identiquement à lui-même :

$$T_1 = 6.10^{-3} \text{ s}, T_2 = 2.10^{-3} \text{ s et } T_3 = 3.10^{-3} \text{ s}.$$

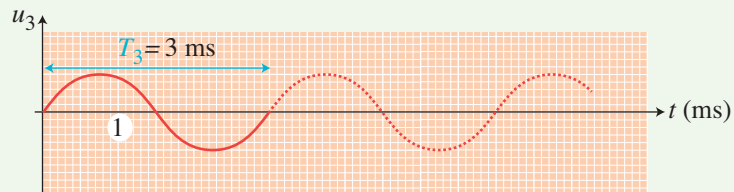
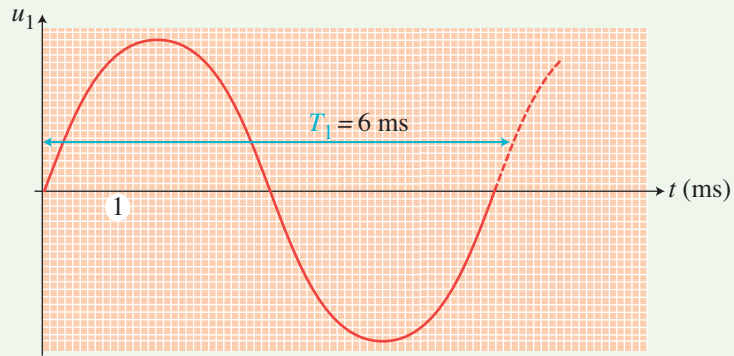


ONDES MÉCANIQUES • CHAP. 6

COURS

INTERROS

CORRIGÉS



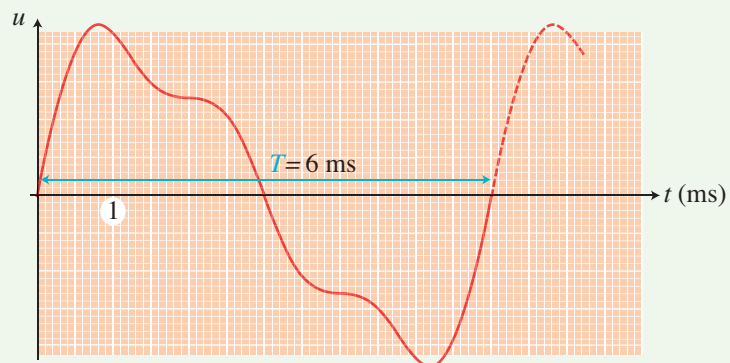
2 En appliquant la formule $f = \frac{1}{T}$, on obtient :

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = 167 \text{ Hz},$$

$$f_2 = \frac{1}{T_2} = 500 \text{ Hz},$$

$$f_3 = \frac{1}{T_3} = 333 \text{ Hz}.$$

3 À nouveau, la période de u désigne le plus petit temps T au bout duquel la tension u se reproduit identiquement à elle-même :



À cette période $T = 6.10^{-3} \text{ s}$ est alors associée la fréquence :

$$f = \frac{1}{T} = 167 \text{ Hz}.$$

CORRIGÉS

- 4 La gamme de fréquences audibles s'étend de 20 Hz à 20kHz. La fréquence du son émis (167 Hz) est donc dans cette gamme. Le son est donc audible.

Chapitre

7

Images et couleurs

Plan du chapitre

1. Introduction
2. Couleurs, vision, images
3. Sources de lumière colorée

1 Introduction

Ce chapitre explore les principes physiques et perceptifs liés aux images et aux couleurs. Nous verrons tout d'abord la nature de la lumière et sa perception par l'œil humain. Enfin nous nous concentrerons sur les origines physiques de la lumière colorée.

2 Couleurs, vision, images

Exercice type 1

Lycée Alexandre Dumas, Saint-Cloud

Un œil normal est capable de voir correctement un objet situé entre l'infini et 25,0 cm. Un œil hypermétrope ne peut pas voir net de près. L'objet le plus proche qu'il peut voir (appelé *punctum proximum*) est situé à une distance supérieure à 25 cm. Dans le cas d'un œil hypermétrope, dont le cristallin est situé à 14,8 mm de la rétine, le *punctum proximum* est situé à 40,0 cm de l'œil.

- 1 Calculer la distance focale et la vergence de l'œil hypermétrope lorsqu'il accommode au maximum c'est-à-dire lorsque l'objet est situé au *punctum proximum*.
- 2 Que devrait être cette vergence pour que cet œil puisse voir à 25,0 cm (*punctum proximum* à 25 cm) ?
- 3 L'œil est ensuite corrigé : on place devant celui-ci une lentille mince. On admet qu'on peut assimiler deux lentilles minces, de vergences C_1 et C_2 , placées à la suite l'une de l'autre, par une seule lentille mince de vergence C égale à la somme des vergences C_1 et C_2 . Quelle doit être la vergence des lentilles de corrections ?

Voir corrigé page 177

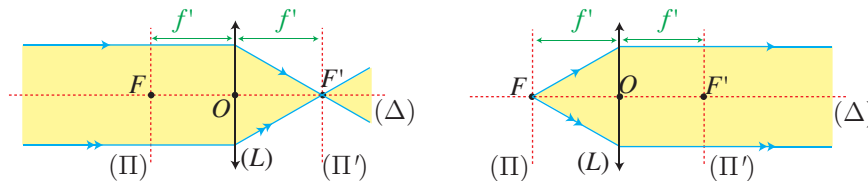
2.1 Lentilles minces convergentes

2.1.1 - Définitions

Les lentilles minces convergentes sont des objets transparents, plus épais en leur centre qu'à leurs bords, que l'on suppose symétriques par rapport à un axe appelé *axe optique*. Elles sont caractérisées par :

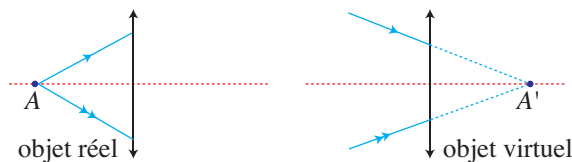
- leur *centre optique*, intersection de la lentille avec l'axe optique ;
- leur *foyer image* F' , point où convergent les rayons qui arrivent sur la lentille parallèlement à l'axe optique ;
- le *foyer objet* F , symétrique de F' par rapport à O , d'où partent les rayons qui ressortent de la lentille parallèlement à l'axe optique ;
- la *distance focale image* $f' = \overline{OF'}$;
- le *plan focal image* (Π') , qui passe par F' perpendiculairement à l'axe optique ;
- le *plan focal objet* (Π) , qui passe par F perpendiculairement à l'axe optique.

La lentille convergente (L) est symbolisée par une double flèche.



Définition 1

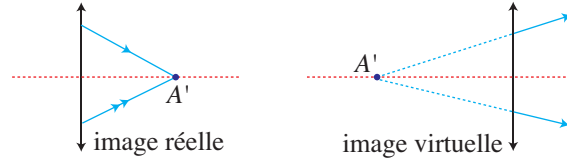
Un *objet* A est un point d'intersection des rayons qui se dirigent vers la lentille. Lorsque les rayons peuvent réellement se rencontrer, l'objet est *réel* ; lorsque seuls les prolongements des rayons se rencontrent, l'objet est *virtuel*.



Définition 2

Une *image* A' est un point d'intersection des rayons qui émergent de la lentille. À nouveau, l'image est *réelle* si les rayons convergent vraiment en A' ; l'image est *virtuelle* si seuls les prolongements des rayons se coupent en A' .

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

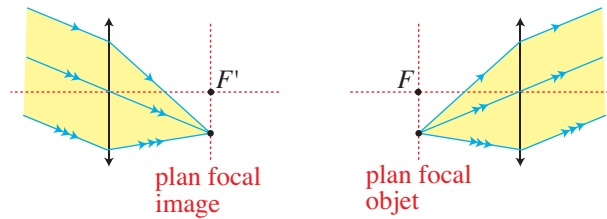


Définition 3

On dira qu'un objet (ou une image) se trouve à l'infini si les rayons dirigés vers ce point sont parallèles les uns aux autres.

Définition 4

Le *plan focal image* est le plan qui contient toutes les images des objets situés à l'infini, tandis que le *plan focal objet* est le plan qui contient tous les objets qui fournissent des images à l'infini.



Définition 5

La *vergence* C d'une lentille est l'opposée de sa distance focale f' :

$$C = \frac{1}{f'}$$

Lorsque f' est exprimée en mètre, C est exprimée en dioptrie (δ).

2.1.2 - Constructions graphiques

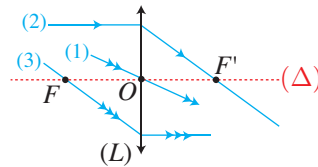
Parmi tous les rayons qui traversent une lentille mince L , trois sont remarquables :

- le rayon (1) qui traverse (L) en son centre optique n'est pas dévié ;
- le rayon (2) qui arrive sur (L) parallèlement à l'axe optique (Δ) en ressort en passant par le foyer image F' ;
- le rayon (3) qui arrive sur la lentille après être passé par le foyer objet F ressort de (L) parallèlement à l'axe optique.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS



Ces trois rayons peuvent être utilisés pour repérer la position de l'image B' d'un objet B n'appartenant pas à l'axe optique.

Remarque : dans la pratique, deux des rayons remarquables suffisent, sauf précision contraire de l'énoncé. C'est ce point de vue qui sera adopté dans la suite de cette section.

MÉTHODE

Pour obtenir l'image B' d'un point B situé hors de l'axe optique :

- tracer le rayon (1), issu de B , qui traverse (L) en O sans être dévié ;
- tracer le rayon (2), issu de B , qui arrive sur (L) parallèlement à l'axe optique. Ce rayon ressort de (L) en passant par F' ;
- l'intersection des deux rayons émergeant de (L) coïncide avec l'image B' ; soit B' est réelle (ces deux rayons se croisent derrière (L)), soit B' est virtuelle (il faut tracer les prolongements de ces rayons pour qu'il se croisent, en avant de (L)).

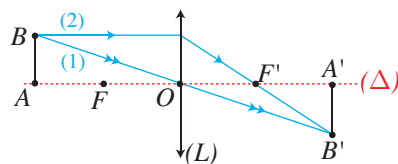


Image B' réelle

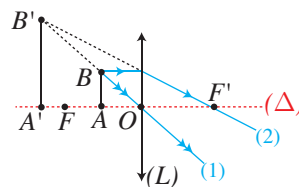


Image B' virtuelle

ATTENTION

Cette méthode est inopérante pour un point A appartenant à l'axe optique, dont on cherche la localisation de l'image A' . Dans ce cas, on procède de la manière suivante :

- tracer un segment AB passant par A , perpendiculairement à (Δ) ;
- chercher l'image B' de B , par la méthode graphique décrite précédemment ;
- la projection orthogonale de B' sur (Δ) coïncide avec le point A' cherché.

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

2.1.3 - Relations de conjugaison

Les positions et sens des objets et images sont en général obtenus à l'aide de valeurs algébriques, dont il convient de rappeler ici les conventions :

- On convient que, la lumière se déplaçant de la gauche vers la droite, les valeurs algébriques seront définies positivement dans ce sens, pour les grandeurs horizontales. Par exemple sur les schémas précédents : $\overline{OF'} > 0$, $\overline{OA'} > 0$ et $\overline{OF} < 0$.
- Les grandeurs algébriques verticales sont définies positivement vers le haut. Par exemple $\overline{AB} > 0$, tandis que $\overline{A'B'} < 0$ lorsque $A'B'$ est une image réelle.

Selon ces conventions, les positions des objets et images peuvent être calculées à l'aide de la relation de conjugaison de Descartes :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}.$$

La taille et le sens de l'image $A'B'$, relativement à AB , sont obtenus à l'aide du grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

qui peut être calculé en localisant les points par rapport à O :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

2.2 Couleur des objets

La lumière est une onde électromagnétique dont la longueur d'onde (λ) détermine la couleur.



La lumière blanche contient tous les rayonnements visibles ($400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$), c'est-à-dire toutes les couleurs. Elle peut être recomposée en associant des faisceaux de lumières rouge, verte et bleue ; ces trois couleurs sont appelées *couleurs primaires*.



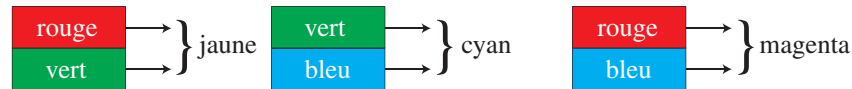
COURS

INTERROS

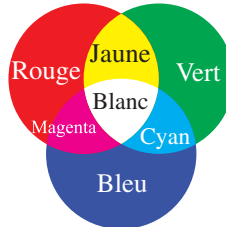
CORRIGÉS

2.2.1 - Synthèse additive

La technique consistant à associer des faisceaux de diverses couleurs est appelée *synthèse additive*. La synthèse additive de deux couleurs primaires produit une *couleur secondaire*.



La synthèse additive peut être réalisée à l'aide de filtres colorés (c'est d'ailleurs par ce moyen que sont obtenues les couleurs des écrans plats des ordinateurs et des téléphones portables). Un tel filtre absorbe tous les rayonnements lumineux sauf ceux dont la longueur d'onde correspond à la longueur d'onde du filtre ; l'onde électromagnétique est alors transmise par le filtre.



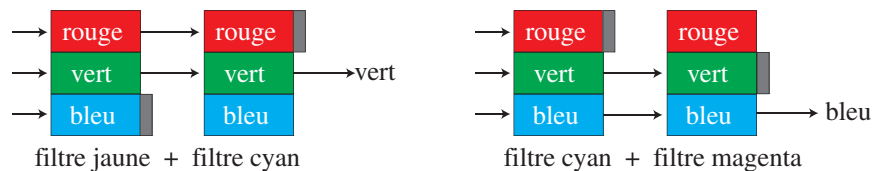
Les trois couleurs primaires sont figurées par trois cercles. Par synthèse additive de deux couleurs primaires (par exemple vert+rouge), on obtient la couleur secondaire, intermédiaire située entre les deux cercles correspondants (par exemple le jaune).

2.2.2 - Synthèse soustractive

La juxtaposition de plusieurs filtres permet de réaliser la synthèse soustractive (car chaque filtre absorbe des rayonnements) :

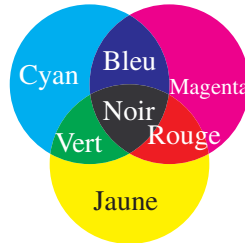
$$\begin{cases} \text{jaune} + \text{cyan} = \text{vert} \\ \text{jaune} + \text{magenta} = \text{rouge} \\ \text{cyan} + \text{magenta} = \text{bleu} \end{cases}$$

Les couleurs obtenues par synthèse soustractive peuvent être prévues à l'aide des modèles précédents des filtres :



IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

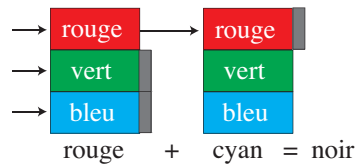
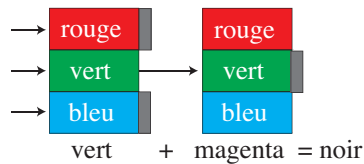
ou à l'aide du cercle des couleurs :



Les trois couleurs secondaires sont figurées par trois cercles.

La synthèse soustractive de deux couleurs secondaires (par exemple cyan+magenta) fournit une couleur, intermédiaire entre les deux sommets correspondants (par exemple bleu).

Enfin, remarquons que des couleurs opposées sont dites *complémentaires* : leur synthèse soustractive ne transmet pas la lumière (par exemple : vert + magenta = noir et rouge + cyan = noir).

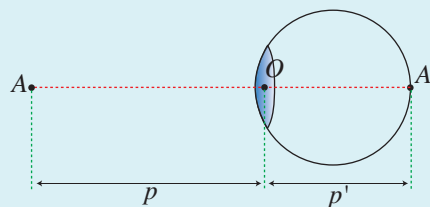


Remarque : un mélange de pigments réalisé en peinture correspond à une synthèse soustractive car chaque pigment absorbe un rayonnement déterminé par sa couleur ; la couleur diffusée par le mélange correspond à celle qui n'est absorbée par aucun des pigments d'origine.

➔ Solution de l'exercice type 1

Lycée Alexandre Dumas, Saint-Cloud

- Assimilons le cristallin de l'œil à une lentille convergente de centre O , de distance focale image f' , située à une distance constante $p' = 14,8 \text{ mm} = 1,48 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ de la rétine. Lorsqu'il accommode au maximum, l'œil hypermétrope observe un objet A situé à $p_h = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$ de O et son cristallin adopte une distance focale f'_h (c'est-à-dire une vergence $C_h = \frac{1}{f'_h}$) qui forme l'image A' de A sur la rétine :



➔ Solution de l'exercice type 1 (suite)

Lycée Alexandre Dumas, Saint-Cloud

En posant $\overline{OA'} = p'$ et $\overline{OA} = -p_h$, la relation de conjugaison de Descartes s'écrit :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \Rightarrow C_h = \frac{1}{f'_h} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{p_h} = \frac{1}{1,48 \cdot 10^{-2}} + \frac{1}{0,4} \quad (1)$$

$$\Rightarrow C_h \approx 70,1 \delta$$

Il s'ensuit que :

$$f'_h = \frac{1}{C_h} \approx 1,43 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 1,43 \text{ cm}.$$

- 2 S'il était normal, cet œil pourrait observer l'objet A à une distance $p_n = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$, auquel cas sa vergence vérifierait la relation (1) :

$$C_n = \frac{1}{p'} + \frac{1}{p_n} = \frac{1}{1,48 \cdot 10^{-2}} + \frac{1}{0,25} \Rightarrow C_n \approx 71,6 \delta.$$

- 3 Soit C_ℓ la vergence que devrait avoir la lentille correctrice qui, associée au cristallin de l'œil hypermétrope (de vergence C_h) lui redonnerait la vue de près d'un œil normal (de vergence C_n) :

$$C_\ell + C_h = C_n \Rightarrow C_\ell = C_n - C_h = 71,6 - 70,1 = 1,5 \delta.$$

Voir énoncé page 171

3 Sources de lumière colorée

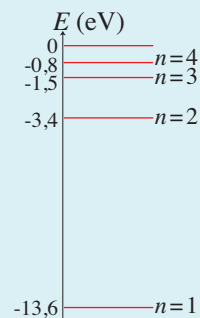
Exercice type 2

Lycée Pierre d'Ailly, Compiègne

La grande nébuleuse d'Orion comporte quatre étoiles très chaudes qui émettent un rayonnement riche en ultraviolets au sein d'un nuage de gaz interstellaire constitué en majorité d'atomes d'hydrogène.

Le diagramme ci-contre présente les premiers niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.

- 1 Comment appelle-t-on l'état $n = 1$?
- 2 Comment appelle-t-on les autres états ($n = 1, 2, 3, \dots$) ?
- 3 Comment peut-on faire passer un électron d'un niveau inférieur à un niveau supérieur ?
- 4 Un atome d'hydrogène, dans son état fondamental $n = 1$ peut-il être excité par une radiation de longueur $\lambda = 110 \text{ nm}$?



IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

Exercice type 2 (suite)

Lycée Pierre d'Ailly, Compiègne

Sous l'effet du rayonnement UV reçu, le gaz de la nébuleuse est partiellement ionisé. Les électrons se recombinent avec des noyaux d'hydrogène pour former des atomes excités qui se dés excitent progressivement avec émission de photons.

- 6** Quelle est la longueur d'onde de la radiation émise lors de la transition des atomes d'hydrogène du niveau 3 au niveau 2 ? Cette radiation est-elle visible ?

Données numériques :

- constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- $1 \text{ eV} = 1,61 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Voir corrigé page 185

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

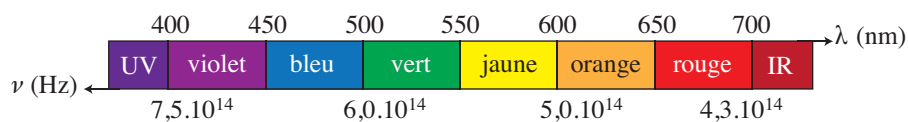
3.1 Caractéristiques d'une source

3.1.1 - Spectre d'émission

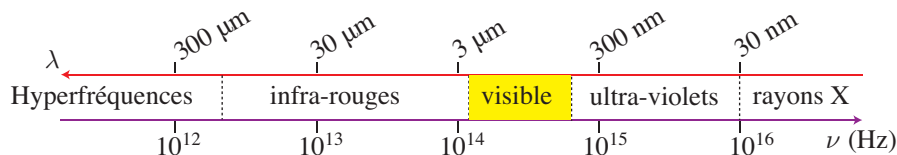
Définition 6

Une *source lumineuse* est un système physique capable de transformer une forme d'énergie (thermique, électrique, ...) en énergie lumineuse.

Les longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 700 nm sont spécifiques au rayonnement lumineux visible par l'œil humain.



Le spectre d'une onde électromagnétique peut cependant être beaucoup plus étendu :



Remarque : on trouve, dans certains ouvrages, les longueurs d'onde exprimées en *angstrom* : $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$.

À RETENIR : Conversions

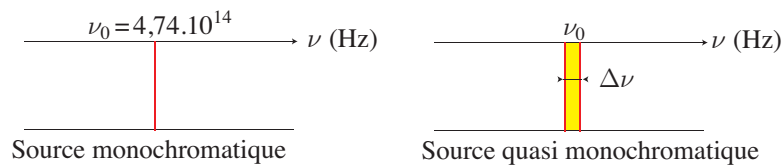
On retiendra les conversions suivantes, fréquemment utilisées pour exprimer les longueurs d'onde :

Unités	Conversion
micromètre	$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} \Leftrightarrow 1 \text{ m} = 10^6 \mu\text{m}$
nanomètre	$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} \Leftrightarrow 1 \text{ m} = 10^9 \text{ nm}$

Définition 7

Une *source monochromatique* émet un rayonnement composé d'une seule longueur d'onde.

Dans la réalité, une source ne peut pas être rigoureusement monochromatique (son spectre ne comporterait qu'une seule fréquence ν_0). Par exemple, un laser hélium-néon, supposé émettre une lumière rouge de longueur d'onde $\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$, et donc de fréquence $\nu_0 = 4,74 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, émet en fait des rayonnements dont les fréquences sont très voisines de ν_0 , à $\Delta\nu = 1,5 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ près. La *largeur spectrale* de la source n'est pas nulle mais vaut $\Delta\nu$ et la source est dite *monochromatique*.



Définition 8

Une *source polychromatique* est une source qui émet un rayonnement composé de plusieurs longueurs d'onde.

Par exemple :

- une source jaune monochromatique peut émettre un rayonnement de longueur d'onde $\lambda_0 = 580 \text{ nm}$;
- une source jaune polychromatique peut émettre des rayonnements de longueurs d'onde $\lambda_1 = 520 \text{ nm}$ (vert) et $\lambda_2 = 680 \text{ nm}$ (rouge).

3.1.2 - Exemples de sources

- *Les étoiles* : ce sont des sources polychromatiques, qui transforment l'énergie nucléaire en rayonnement.
- *Les lampes à incandescence* : sources polychromatiques qui transforment l'énergie thermique (un filament de tungstène est porté à $2\,800 \text{ K}$) en rayonnement.

- *Les lampes à iode* (aussi appelées lampes à halogène) : sources qui utilisent le même principe que les lampes à incandescence mais remplie d'iode, qui ralentit l'usure du filament (le filament peut ainsi être porté à des températures plus élevées).
- *Les tubes luminescents* (ou tubes au néon) : sources polychromatiques qui transforment l'énergie électrique (un arc électrique se forme dans le tube) en rayonnement.
- *Les diodes électroluminescentes (DEL)* : sources qui transforment l'énergie électrique en rayonnements polychromatiques (par exemple les DEL blanches) ou quasi monochromatiques (par exemple les DEL jaunes : $570 \text{ nm} < \lambda < 590 \text{ nm}$).
- *Le feu* : source polychromatique qui transforme l'énergie thermique en rayonnement.

3.2 Interaction lumière-matière

3.2.1 - Énergie d'un photon

La propagation de la lumière peut être interprétée comme :

- la propagation d'une onde électromagnétique, caractérisée par sa longueur d'onde λ (en mètre), responsable de sa couleur, ou par sa fréquence ν (en Hz), avec :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

où $c \approx 3.10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ est la célérité de la lumière dans le vide.

- le déplacement de corpuscules, les *photons*, dont l'énergie individuelle (ε) est proportionnelle à la fréquence ν (en Hz) :

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \text{ (en joule)}$$

où $h = 6,62.10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ est la *constante de Planck*.

Remarque : une lumière de fréquence ν ne peut véhiculer que des énergies qui sont multiples de $h\nu$, car les photons sont insécables.

➔ À RETENIR : Conversion

L'énergie est parfois exprimée en électron-volt (eV), avec pour convention :

$$1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19} \text{ J}$$

On reconnaît, dans cette expression, la valeur numérique de la charge élémentaire ($e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$). C'est pourquoi on pourra aussi convertir l'énergie en eV ou en J, grâce à la relation :

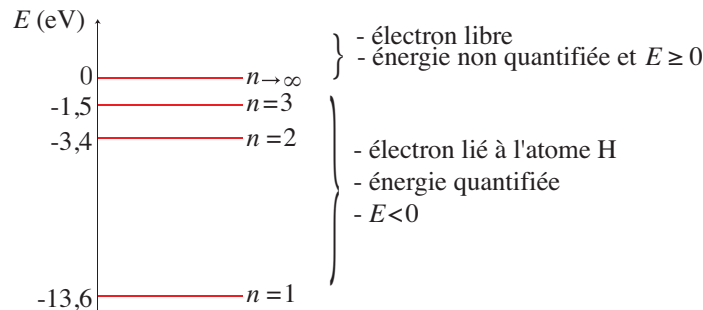
$$E_{\text{eV}} = e \times E_{\text{J}}$$

3.2.2 - Niveaux d'énergie dans la matière

Lorsqu'un électron est lié au noyau d'hydrogène, son énergie est négative et ne peut pas prendre n'importe quelle valeur négative. Par exemple, elle peut valoir $-13,6$ eV, $-3,4$ eV, $-1,5$ eV, ..., mais pas $-13,5$ eV. Cette énergie est *quantifiée* par la loi :

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ (eV)} \quad (23)$$

où n est un entier strictement positif qui définit un *niveau d'énergie* ou encore un *état*. En revanche, lorsque l'électron est libre (n'appartenant pas à un atome), son énergie peut prendre toute valeur positive.



⚠ ATTENTION

La formule (23) permet de calculer E_n en eV. Or, dans de nombreux calculs numériques, il conviendra d'exprimer E_n en joule :

$$E_n = -\frac{13,6 \times 1,6 \cdot 10^{-19}}{n^2} \approx -\frac{2,18 \cdot 10^{-18}}{n^2} \text{ (J)}.$$

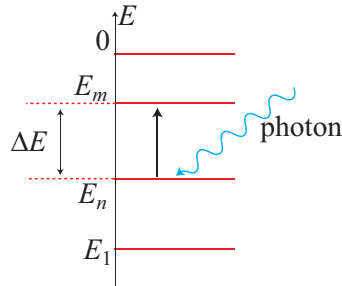
Définition 9

On appelle *état fondamental* l'état d'un atome de plus basse énergie. Par exemple, pour l'atome d'hydrogène, il s'agit de l'état $n = 1$, d'énergie $-13,6$ eV.

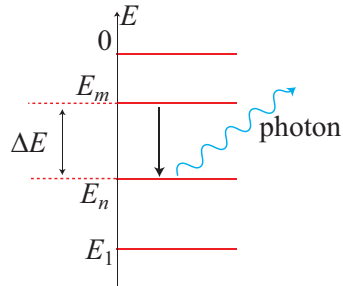
Un électron peut passer d'un niveau d'énergie E_n à un niveau d'énergie $E_m > E_n$ en recevant de l'énergie (thermique, électrique, électromagnétique, ...). Cette transition peut s'opérer par absorption d'un photon dont l'énergie $\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ correspond exactement à l'écart $\Delta E = E_m - E_n$. De même, un photon d'énergie $\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ peut être émis lors de la transition d'un électron d'un niveau E_m vers un niveau d'énergie $E_n < E_m$. Il y a *désexcitation* de l'atome, avec :

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7



Absorption d'un photon



Emission d'un photon

⚠ ATTENTION

Pour qu'un photon soit absorbé, il doit véhiculer une énergie ε qui correspond exactement à l'écart énergétique ΔE entre deux états ; le photon ne peut pas céder qu'une partie de son énergie à l'électron qui reste lié à l'atome : il cède tout ou rien !

Définition 10

Un atome d'hydrogène est *excité* lorsque son électron n'occupe pas l'état fondamental.

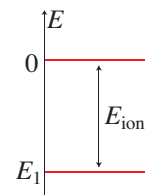
Remarque : l'électron de l'atome d'hydrogène a tendance à revenir à son état fondamental, où il est le plus stable ; c'est la désexcitation de l'atome.

Définition 11

L'énergie d'ionisation d'un atome est l'énergie E_{ion} qu'il faut lui fournir pour que l'électron passe du niveau fondamental d'énergie E_1 au niveau d'énergie $E_{\infty} = 0$ eV lui permettant de se soustraire à l'attraction du noyau.

Dans le cas de l'atome d'hydrogène, l'énergie d'ionisation vaut :

$$E_{\text{ion}} = E_{\infty} - E_1 = 0 - (-13,6) = 13,6 \text{ eV}$$



Remarque : on peut fournir à l'électron une énergie E supérieure à E_{ion} ; son ionisation est toujours assurée et son excédent d'énergie $E - E_{\text{ion}}$ est susceptible d'être transformée au cours d'autres processus physico-chimiques.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

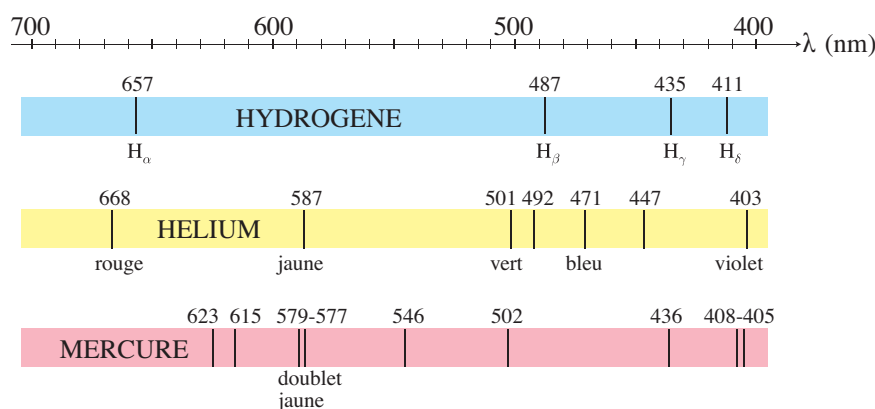
3.2.3 - Spectres d'émission ou d'absorption

Définition 12

On appelle *spectre* d'un rayonnement l'ensemble des fréquences ou des longueurs d'onde qui composent ce rayonnement.

Dans la pratique, pour obtenir le spectre d'un rayonnement lumineux, il suffit de le faire passer à travers un *prisme* transparent ou un *réseau* (constitué de traits très fins et très serrés). Le *spectre d'émission* est le spectre du rayonnement émis par une source. Il peut être continu (comme le spectre solaire) ou composé de bandes correspondant à des transitions électroniques dans la source.

Chaque type d'atome présente un spectre d'émission qui lui est spécifique ; c'est en quelque sorte la signature de l'élément :



Définition 13

Le *spectre d'absorption* décrit les longueurs d'onde qu'un matériau peut absorber ; ces longueurs d'onde apparaissent généralement sous forme de raies noires sur un fond continu.

Les raies du spectre d'absorption sont disposées comme celles du spectre d'émission.

Remarque : pour obtenir le spectre d'émission d'un matériau, on analyse la lumière directement produite par celui-ci lors de son excitation (par apport d'énergie électrique, thermique, ...).

En revanche, pour obtenir le spectre d'absorption d'un matériau, on l'éclaire avec de la lumière blanche (qui contient toutes les longueurs d'onde du spectre visible) et on analyse la lumière transmise par ce matériau.

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

➔ Solution de l'exercice type 2

Lycée Pierre d'Ailly, Compiègne

- 1 L'état $n = 1$ est appelé *état fondamental*.
- 2 Les autres états sont les *états excités*.
- 3 Pour faire passer un électron d'un niveau inférieur à son niveau supérieur, il suffit de lui fournir de l'énergie (par exemple sous forme de photon). L'absorption de cette énergie ne se réalisera qu'à condition qu'elle corresponde à la différence d'énergie des deux niveaux (inférieur et supérieur).
- 4 Un photon de longueur d'onde λ (en mètres) présente une énergie $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$ (en joules), où $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ est la constante de Planck et $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ est la célérité de la lumière dans le vide. En général, on exprime plutôt cette énergie en électrons-volts, avec la conversion :

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \Rightarrow 1 \text{ J} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$$

D'après cette formule, un photon de longueur d'onde $\lambda = 110 \text{ nm} = 110 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ possède une énergie :

$$\begin{aligned} \varepsilon = \frac{hc}{\lambda} &= \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{110 \cdot 10^{-9}} \approx 1,81 \cdot 10^{-18} \text{ J} \\ &= \frac{1,81 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 11,3 \text{ eV}. \end{aligned}$$

Si l'électron, depuis son état fondamental, absorbait cette énergie, il acquerrait l'énergie :

$$E_{\text{finale}} = E_1 + \varepsilon = -13,6 + 11,3 = -2,3 \text{ eV}$$

qui ne correspond à aucune énergie du diagramme. Donc, cette radiation ne peut pas exciter l'électron.

- 5 Lorsque l'électron de l'atome d'hydrogène passe du niveau 3 au niveau 2, il perd une énergie :

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_3 - E_2 = -1,5 + 3,4 = 1,9 \text{ eV} \\ &= 1,9 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,0 \cdot 10^{-19} \text{ J}. \end{aligned}$$

Il peut alors émettre un photon d'énergie $\varepsilon = \Delta E$ qui correspond à une radiation de longueur d'onde λ telle que :

$$\begin{aligned} \Delta E = \frac{hc}{\lambda} &\Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{-19}} \\ &\Rightarrow \lambda \approx 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 660 \text{ nm}. \end{aligned}$$

Cette radiation est visible (de couleur rouge).

Voir énoncé page 178

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

1 QCM Testez vos connaissances

30 min **Corrigé**
p. 197

Parmi les réponses suivantes, choisir celles qui vous paraissent correctes (une seule bonne réponse par proposition).

- 1** Pour une lentille mince convergente (L), un objet virtuel est :
 - ☐ **a** le point d'intersection des rayons qui arrivent sur (L);
 - ☐ **b** le point d'intersection des rayons qui sortent de (L);
 - ☐ **c** le point d'intersection des prolongements des rayons qui arrivent sur (L);
 - ☐ **d** le point d'intersection des prolongements des rayons qui sortent de (L).
- 2** Une lentille mince convergente forme l'image d'un objet réel situé à l'infini :
 - ☐ **a** nécessairement dans son plan focal image;
 - ☐ **b** parfois dans son plan focal objet;
 - ☐ **c** nécessairement au foyer image;
 - ☐ **d** parfois au foyer objet.
- 3** La vergence d'une lentille mince convergente caractérise :
 - ☐ **a** le degré de polissage de la lentille;
 - ☐ **b** la taille et le sens de l'image d'un objet;
 - ☐ **c** la position du foyer objet.
- 4** La relation de conjugaison de Descartes d'une lentille convergente de distance focale f' s'écrivent :

☐ a $\frac{1}{OA'} + \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$;	☐ b $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$;
☐ c $\frac{1}{OA} - \frac{1}{OA'} = \frac{1}{f'}$;	☐ d $\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA'} = \frac{1}{f'}$.
- 5** Le grandissement γ d'une lentille mince vérifie :

☐ a $\gamma = -\frac{OA'}{OA}$;	☐ b $\gamma = \frac{OA}{OA'}$;
☐ c $\gamma = \frac{OA'}{OA}$;	☐ d $\gamma = -\frac{OA}{OA'}$.
- 6** Parmi les couples de couleurs suivantes, quelles sont celles qui sont complémentaires ?
 - ☐ **a** le vert et le pourpre sont complémentaires;
 - ☐ **b** le cyan et le jaune sont complémentaires;
 - ☐ **c** le bleu et le rouge sont complémentaires.

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

- 7** En synthèse soustractive :
- a** un mélange de vert et de rouge donne du blanc ;
 - b** un mélange de cyan et de rouge donne du blanc ;
 - c** un mélange de cyan et de jaune donne du bleu ;
 - d** un mélange de cyan et de magenta donne du bleu.
- 8** L'énergie d'un atome :
- e** est quantifiée ;
 - f** peut prendre n'importe quelle valeur ;
 - g** est positive.
- 9** Depuis son état fondamental :
- a** un atome peut émettre un photon ;
 - b** un atome peut absorber un photon.
- 10** Un atome d'hydrogène, dans son état fondamental :
- a** peut absorber un photon d'énergie non quantifiée ;
 - b** peut absorber n'importe quel photon d'énergie supérieure à son énergie d'ionisation ;
 - c** peut émettre certains photons seulement.
- 11** Lors de la désexcitation d'un atome :
- a** les photons émis ont des énergies quantifiées ;
 - b** un photon peut être émis avec n'importe quelle énergie.
- 12** De la lumière blanche traverse une solution verte de chlorophylle. Après cette solution, son spectre :
- a** contient des raies sombres dans les domaines rouge et bleu ;
 - b** contient une raie sombre dans le domaine vert.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Lentilles minces convergentes

2

Image d'une lentille mince convergente ★

10 min

→ Corrigé
p. 198

Lycée Jeanne d'Albret, Saint-Germain-en-Laye

Un objet AB , de hauteur 1,0 cm, est placé à 15,0 cm d'une lentille mince convergente L , de centre optique O et de distance focale $f' = 10$ cm. A est sur l'axe optique.

- 1** Déterminer graphiquement la position de l'image $A'B'$ donnée par la lentille de l'objet AB , ainsi que sa grandeur et son sens.
- 2** Retrouver les résultats précédents par le calcul.

3 Calcul d'une distance focale



10 min

Corrigé
p. 199

Lycée Jeanne d'Albret, Saint-Germain-en-Laye

On souhaite trouver la valeur de la distance focale f' d'une lentille mince. Pour cela, on utilise le montage suivant sur un banc d'optique : un objet AB , de hauteur 1,0 cm, est placé perpendiculairement à l'axe optique de la lentille L , A étant sur l'axe optique. On déplace lentille et écran de telle façon que l'image $A'B'$ donnée par la lentille soit inversée et de même taille que l'objet. On mesure la distance $D = \overline{AA'} = 40,0$ cm.

- 1 Exprimer le grandissement et calculer sa valeur algébrique.
- 2 En déduire une relation entre $\overline{OA}$ et $\overline{OA'}$.
- 3 Exprimer D en fonction de $\overline{OA}$.
- 4 Exprimer $\overline{OA}$ en fonction de f' .
- 5 Exprimer f' en fonction de D . Calculer f' .

4 Lentille mince convergente



15 min

Corrigé
p. 200

Lycée Paul Bert, Paris

Une lentille mince convergente L , de centre optique O , donne d'un objet AB , de hauteur 5,0 cm et situé à 120,0 cm en avant de la lentille, une image $A'B'$ située à 60 cm après la lentille. AB est perpendiculaire à l'axe optique de la lentille et A est situé sur cet axe.

- 1 Déterminer la vergence de la lentille et sa distance focale, par calcul puis graphiquement.
- 2 Déterminer, par le calcul, le grandissement et la grandeur de l'image $A'B'$, puis vérifier le résultat sur le schéma. Caractériser l'image.
- 3 On approche AB à 10 cm de la lentille. Caractériser l'image.
Quel est le rôle de cette lentille ? Où placer l'œil de l'observateur ?

5 Construction de l'image d'une lentille



10 min

Corrigé
p. 201

Lycée Blanche de Castille, Villemomble

On dispose d'une lentille convergente de 5,0 cm de diamètre et de 4,0 cm de distance focale. On place, devant cette lentille, à 3,0 cm du centre optique O , un objet AB de 1,0 cm de hauteur. Le point A est sur l'axe optique.

- 1 Quelle est la vergence de la lentille ?
- 2 Construire l'image $A'B'$ et mesurer sa hauteur.
- 3 Peut-on recevoir cette image sur un écran ?
- 4 Retrouver la position et la taille de l'image par le calcul. Ces résultats sont-ils compatibles avec la construction géométrique ?

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

6 Calcul d'une distance focale



15 min

Corrigé
p. 202

Lycée Hoche, Versailles

Un objet rectiligne AB et un écran E sont fixés parallèlement, à $D = 80$ cm l'un de l'autre. En plaçant entre eux une lentille convergente L , dont l'axe est perpendiculaire à AB , on trouve une seule position de L donnant une image nette sur l'écran et, pour cette position de L , l'image a même grandeur que l'objet; en déduire la distance focale de L .

7 Lentille mince



30 min

Corrigé
p. 203

Lycée Claude Bernard, Paris

On dispose d'une lentille mince convergente (L), de distance focale $f' = 10$ cm, de centre optique O , de foyer image F' et de foyer objet F ; on note (Δ) son axe optique.

- 1 Un point A , situé sur (Δ) à gauche de (L) , forme une image A' située à droite de O' , à une distance de 20 cm.
Indiquer si A est à gauche ou à droite de O et à quelle distance.
- 2 Sachant que A est l'extrémité d'un objet de taille 5 cm, calculer la taille de l'image $A'B'$ de cet objet et précise si cette image est inversée par rapport à AB ou pas.
- 3 Où faut-il placer l'objet AB pour obtenir une image $A'B'$ réelle à l'infini ?
- 4 Un objet AB (réel) se trouve à l'infini. Les rayons émis par B arrivent sur (L) inclinés d'un angle $\alpha = 10^\circ$ par rapport à (Δ) . Calculer la taille de l'image $A'B'$ de AB .
- 5 Quelle est la nature (réelle ou virtuelle) et le sens (droit ou inversé) de l'image $A'B'$ lorsque l'objet AB est placé à gauche du foyer objet F ?

Couleur des objets

8 Couleur des objets

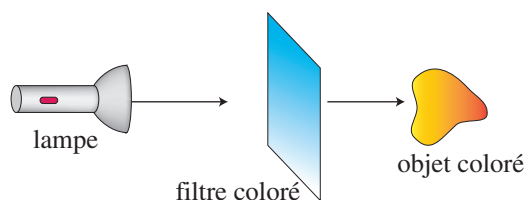


5 min

Corrigé
p. 204

Lycée Notre Dame du Grandchamp, Versailles

Dans le montage suivant, on utilise une source de lumière blanche, un filtre cyan et un objet jaune en lumière blanche.



COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 1 Tracer les rayons de lumière en faisant apparaître les composantes RVB présentes après chaque étape.
- 2 Quelle est la couleur de l'objet perçue par l'observateur ?

9 Couleur d'un arbre



5 min

Corrigé
p. 205

Lycée Bertioz, Vincennes

L'arbre du voyageur est une plante originaire de Madagascar : ses graines présentent la particularité d'être d'un bleu éclatant lorsqu'elles sont éclairées en lumière blanche.

- 1 Indiquer la couleur d'une graine éclairée en lumière jaune.
- 2 Même question que la précédente à l'aide d'une lumière magenta.

10 Projecteurs colorés



5 min

Corrigé
p. 205

Lycée Picasso, Fontenay-Sous-Bois

Trois projecteurs de lumières colorées rouge, verte et bleue, sont utilisés pour l'éclairage d'une scène. Ils permettent de reproduire toutes les couleurs.

- 1 Quel est le type de synthèse mise en jeu ici ?
- 2 Quels projecteurs faut-il utiliser pour obtenir un éclairage jaune ? un éclairage cyan ?
- 3 Comment peut-on obtenir un éclairage blanc ?

11 Drapeaux filtrés

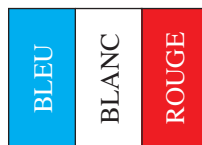


5 min

Corrigé
p. 205

Lycée Guynemer, Compiègne

À travers quel filtre faut-il regarder le drapeau français pour voir le drapeau belge ? Justifier la couleur de chaque bande du drapeau français observée à travers le filtre.



drapeau français



drapeau belge

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

L'œil

12 Œil et loupe



15 min

Corrigé
p. 206

Lycée Marie Curie, Sceaux

Jacques est un philatéliste ; sa vision est normale et il peut voir nettement des objets placés à plus de 25 cm de son œil. Il observe, avec une loupe de vergence $C = 25 \delta$, un timbre dont l'un des côtés a une largeur de 1,5 cm. Jacques place son œil à 4,0 cm de la loupe.

- 1 Quelle distance maximale sépare le timbre de la loupe si Jacques voit nettement l'image (faire un schéma) ?
- 2 Quelle est la distance minimale entre le timbre et la loupe ?
- 3 Quelle est la distance permettant l'observation la plus confortable ?

13 Vieillesse du cristallin



20 min

Corrigé
p. 207

Lycée Charlemagne, Paris

On peut réduire un œil à un système optique constitué d'un diaphragme, d'une lentille convergente et d'un écran, la distance du centre O de la lentille à l'écran étant environ $d = 17$ mm.

L'œil accommode en faisant varier la vergence C de son cristallin entre deux valeurs $C_{\min}$ et $C_{\max}$.

- 1 À 30 ans : $59 \delta \leq C \leq 65 \delta$.
 - (a) Quelle grandeur reste constante quel que soit l'âge ? À quelle distance correspond-elle dans le modèle optique ?
 - (b) Où se forme l'image A' d'un objet situé très loin, c'est-à-dire « à l'infini » ? Donner la valeur $\overline{OA'}$. Est-ce que le cristallin doit accommoder ? Quelle est la valeur de sa vergence ?
 - (c) À quelle distance se situe l'objet le plus proche qu'une personne de 30 ans peut voir nettement ?
- 2 Une personne de 50 ans n'accommode plus aussi bien car son cristallin devient plus rigide avec l'âge. Par exemple à 50 ans : $59 \delta \leq C' \leq 61 \delta$.
 - (a) La vision de loin est-elle modifiée ?
 - (b) À quelle distance se situe l'objet le plus proche qu'une personne de 50 ans peut voir ?

14 Niveaux d'énergie de l'hydrogène



10 min

Corrigé
p. 208

Lycée Saint-Exupéry, Mantes-la-Jolie

Sur le diagramme représenté par la figure ci-dessous, figurent quelques niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.

- 1 À quoi correspond le niveau d'énergie $E = 0$ eV ?

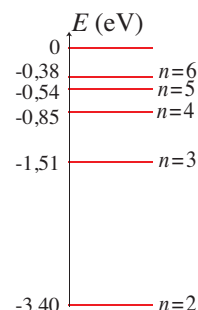
COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 2** (a) Représenter, par des flèches sur ce diagramme, les transitions électroniques de la série de Balmer, qui se produisent lors du retour de l'électron excité au niveau $n = 2$. Indiquer l'énergie correspondant à chacune de ces transitions.
- (b) Quelle est la plus petite longueur d'onde correspondant à une radiation émise lorsqu'un électron excité revient sur le niveau $n = 2$?
Cette radiation est-elle visible ?



Voir données page suivante.

Données :

- constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- conversion : $1 \text{ eV} = 1,61 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

15 Niveaux d'énergie du sodium



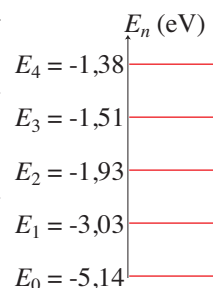
15 min

Corrigé
p. 210

Lycée Bertioz, Vincennes

À la surface de nombreuses étoiles, on trouve entre autres du sodium. On considère une raie de longueur d'onde $\lambda = 589 \text{ nm}$ émise par cet atome.

- 1** Calculer, en eV, l'énergie transportée par ce photon.
- 2** Indiquer, sur le diagramme ci-contre, la transition correspondante.
- 3** L'atome de sodium est maintenant dans l'état d'énergie E_1 . Il reçoit une radiation lumineuse dont le *quantum* d'énergie a pour valeur $1,30 \text{ eV}$. Cette radiation peut-elle être absorbée par l'atome de sodium dans cet état ? Justifier.



Données numériques :

- Constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Conversion : $1 \text{ eV} = 1,61 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

16 Étude documentaire : « Lumières d'étoiles »



30 min

Corrigé
p. 210

Lycée Pablo Picasso, Fontenay-Sous-Bois

Voici un extrait du livre d'André Brahic *Lumières d'étoiles* :

La lumière blanche mélange toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. Comme on passe continûment d'une couleur à une autre en changeant graduellement de

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

nuance, on dit que la lumière blanche possède un spectre continu. C'est le cas de la lumière émise par un corps chaud qui contient toutes les couleurs à des doses différentes. Plus la température est forte, plus la couleur dominante se déplace du micro-onde vers les X.

Mais les astronomes ont remarqué dès le XVIII^{ème} siècle la présence de fines bandes noires dans la lumière solaire. Il manque des couleurs très précises et spécifiques, comme si elles ne nous étaient pas parvenues. Après quelques tâtonnements, ils ont compris que ces raies sombres trahissaient la présence d'éléments chimiques sur le trajet des rayons lumineux. Joseph von Fraunhofer fut le premier, en 1814, à observer ces disparitions de lumière et à les attribuer à un phénomène d'absorption par un gaz situé entre la source d'émission et l'observateur[...]

Pour résoudre ce problème, il faut faire appel à la nature ondulatoire de l'électron et ranger l'onde de chaque électron autour du noyau comme des livres sur une étagère d'une bibliothèque. Chaque étage correspond à une énergie spécifique pour laquelle l'électron est stable. Un livre ne peut pas être entre deux étagères, sinon il tombe, de même les électrons peuvent avoir certaines énergies bien définies, mais ils ne peuvent pas se trouver dans un état intermédiaire. Pour passer d'un niveau à un autre plus élevé, un électron absorbe un photon lumineux qui lui apporte l'énergie supplémentaire dont il a besoin pour « grimper » sur une autre étagère. Inversement, quand il redescend, il rend cette énergie sous forme d'un photon. Dans cette bibliothèque particulièrement riche, chaque atome est unique et caractéristique. On peut donc à distance reconnaître la présence d'un atome aux couleurs des photons qu'il émet ou absorbe lorsque ses électrons changent d'étagères. Données :

- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- $1 \text{ eV} = 1,61 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

1 D'après le texte : *Plus la température est forte, plus la couleur dominante se déplace du micro-onde vers les X.*

- (a) Donner les valeurs limites des longueurs d'onde dans le vide du spectre visible, en précisant les couleurs concernées.
- (b) Quelle est la relation entre la longueur d'onde dans le vide d'une radiation monochromatique et sa fréquence ? On précisera les unités.
- (c) On donne les fréquences des micro-ondes et des rayons X :

$$\nu_{\text{micro-ondes}} = 3,0 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \quad \nu_{\text{X}} = 3,0 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$$

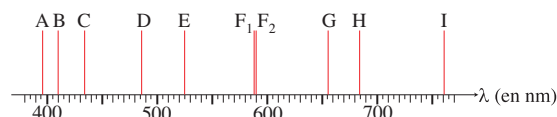
Calculer alors la valeur des longueurs d'onde correspondantes dans le vide.

- (d) Indiquer, en justifiant, laquelle de ces deux radiations est la plus énergétique.

INTERROS

- 2 D'après le texte : *Joseph von Fraunhofer fut le premier, en 1814, à observer ces disparitions de lumière.*

Voici un extrait du spectre qu'il a observé, où l'on peut observer des raies noires sur un fond coloré continu, nommées A, B, C, D, E, F₁, F₂, G, H et I.



- (a) Les raies observées ci-dessus sont-elles des raies d'émission ou d'absorption ?
(b) On donne des longueurs d'onde d'émission de quelques éléments :

Élément chimique	Longueurs d'onde λ en nm de certaines raies					
Hydrogène H	410,1	434,0	486,1	656,3		
Hélium He	447,2	471,3	492,2	501,6	587,6	667,8
Sodium Na	589,0	589,6				

Quels sont les éléments que l'on peut retrouver dans les couches superficielles du Soleil ? Justifier la réponse.

- 3 On donne ci-dessous le diagramme de l'énergie de l'hydrogène. On rappelle que l'état fondamental d'un atome correspond à l'état dans lequel il possède le moins d'énergie.

- (a) Quel est le niveau d'énergie de l'état fondamental de l'atome d'hydrogène ?

- (b) Calculer la variation d'énergie lorsque l'atome d'hydrogène passe de $E_6 = -0,37$ eV à $E_2 = -3,39$ eV.

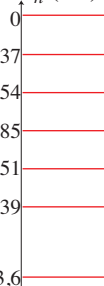
- (c) Convertir en joules la variation d'énergie calculée dans la question précédente.

- (d) Sur le diagramme ci-dessus, représenter cette transition par une flèche.

- (e) Calculer la fréquence du photon correspondant à cette variation d'énergie.

- (f) Ce photon est-il émis ou absorbé par l'atome d'hydrogène ?

E_n (eV)



17 Atome d'hydrogène



20 min

Corrigé
p. 211

Lycée Saint-Exupéry, Mantes-la-Jolie

Les niveaux d'énergie, quantifiés, de l'atome d'hydrogène sont donnés par la relation : $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$, avec E_n en eV et n un nombre entier supérieur ou égal à 1.

- 1 Quelle est l'énergie d'ionisation d'un atome d'hydrogène ?

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

- 2 Quelle est l'énergie minimale d'un électron capable de provoquer, par choc, l'excitation d'un atome d'hydrogène de son niveau fondamental ($n = 1$) à son premier état excité ($n = 2$) ?
- 3 L'atome d'hydrogène précédemment cité revient à l'état fondamental ($n = 1$), avec émission d'une onde électromagnétique. Quelle est sa longueur d'onde ?
- 4 Établir la relation littérale donnant la fréquence des ondes lumineuses émises lorsque les atomes d'hydrogène, préalablement excités, passent d'un état d'énergie caractérisé par n à l'état d'énergie caractérisé par $n = 2$.

Données :

- constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;
- charge élémentaire : $e = 1,61 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

18 Spectre du mercure



15 min

Corrigé
p. 212

Lycée Guynemer, Compiègne

Voici quelques niveaux d'énergie de l'atome de mercure :

$$E_2 = 4,90 \text{ eV} \quad E_3 = 5,45 \text{ eV} \quad E_4 = 6,71 \text{ eV} \quad E_5 = 7,72 \text{ eV}.$$

- 1 Calculer la longueur d'onde de la raie du spectre du mercure, correspondant à la transition du niveau 2 au niveau fondamental d'énergie $E_1 = 0 \text{ eV}$.
- 2 Le spectre visible du mercure contient une raie verte de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 546 \text{ nm}$. Identifier la transition responsable de cette raie.

Données numériques :

- Constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Conversion : $\text{eV} = 1,61 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

19 La lumière



20 min

Corrigé
p. 213

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1 Un faisceau de photons, correspondant à une radiation de fréquence $\nu = 10^{14} \text{ Hz}$. Calculer l'énergie (en joule) transportée par un photon de cette radiation. Quelle est l'énergie totale du faisceau si celui-ci contient 20 000 photons ?
- 2 Un rayonnement électromagnétique est caractérisé par sa longueur d'onde λ . Pour chaque cas ci-dessous, indique à quel domaine (visible, infra-rouge, ultraviolet) appartient le rayonnement :
 - $\lambda = 650 \text{ nm}$;
 - $\lambda = 350 \text{ nm}$;
 - $\lambda = 1\,500 \text{ nm}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 3 La raie α de l'hydrogène est caractérisée par la longueur d'onde $\lambda = 6\,563\text{ Å}$. Convertir cette valeur en nanomètres (nm).
- 4 La raie γ de l'hydrogène correspond à la longueur d'onde $\lambda = 4\,102\text{ Å}$. Convertir cette valeur en nanomètres (nm).
- 5 Rappeler la relation mathématique qui lie la longueur d'onde (λ), la fréquence (ν) et la célérité de la lumière (c).
- 6 Un rayonnement de longueur d'onde λ (et de fréquence ν) est associé à un photon d'énergie $\mathcal{E}$. Exprimer $\mathcal{E}$ en fonction de h , c et λ .
- 7 L'énergie du niveau fondamental de l'atome d'hydrogène et celle de son premier état excité sont différentes de $\Delta E = 1,632 \cdot 10^{-18}\text{ J}$. Un photon d'énergie $\varepsilon = 10,5\text{ eV}$ rencontre cet atome.

Convertir ΔE en eV puis expliquer ce qu'il se passe (absorption, émission, etc.) en justifiant par un calcul.

Données numériques :

- constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34}\text{ J} \cdot \text{s}$;
- conversions : $1\text{ Å} = 10^{-10}\text{ m}$ et $1\text{ eV} = 1,61 \cdot 10^{-19}\text{ J}$.

20 Spectre du mercure



20 min

Corrigé
p. 214

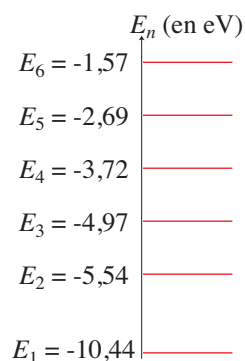
Lycée Charlemagne, Paris



Retrouvez le corrigé de cet exercice en vidéo.

Le spectre d'émission du mercure contient trois raies intenses : jaune, vert et bleu-indigo, de longueurs d'onde respectives $\lambda_j = 579,2\text{ nm}$, $\lambda_v = 546,2\text{ nm}$ et $\lambda_b = 436,0\text{ nm}$.

- 1 Calculer l'énergie, en eV, des photons de longueurs d'onde λ_j , λ_v et λ_b .
- 2 Le diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de mercure est donné ci-contre.
 - (a) Quelle raie d'émission du mercure correspond à la désexcitation des atomes de mercure des niveaux d'énergie E_6 à E_4 ?
 - (b) À quelles désexcitations correspondent les deux autres raies ?
 - (c) Reproduire le diagramme et représenter par des flèches les trois désexcitations évoquées dans l'exercice.



Données :

- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J} \cdot \text{s}$
- $1\text{ eV} = 1,61 \cdot 10^{-19}\text{ J}$

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

1 QCM Testez vos connaissances

Énoncé
p. 186

- 1 Par définition un objet est le point d'intersection des rayons qui arrivent sur (L) ; cet objet est de surcroît virtuel si seuls les prolongements de ces rayons se croisent (réponse **c**).
- 2 Un objet situé à l'infini forme nécessairement une image dans le plan focal image (réponse **a**) et parfois au foyer image (si l'objet se trouve sur l'axe optique).
- 3 La vergence C d'une lentille mince est l'inverse de sa distance focale f' ($C = \frac{1}{f'}$), laquelle désigne la distance qui sépare les foyers de la lentille ; elle caractérise ainsi la position des foyers (réponse **c**).
En revanche, la taille et le sens d'une image sont décrits par le grandissement $\gamma = \frac{A'B'}{AB}$.
- 4 Les relations de conjugaison d'une lentille mince s'écrivent :

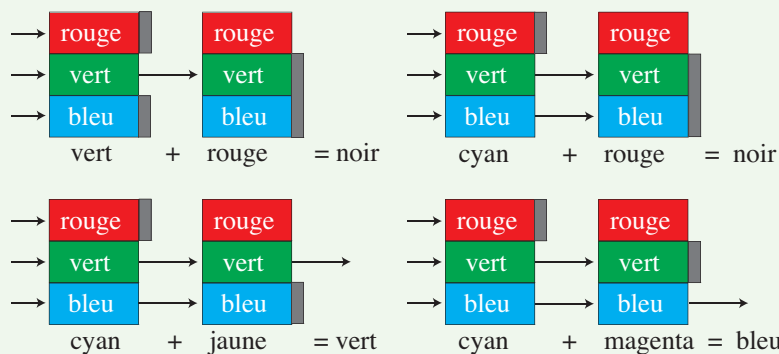
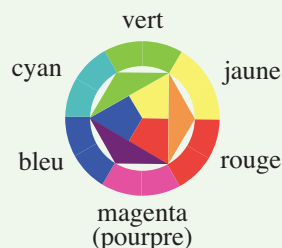
$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} \text{ (réponse b).}$$

- 5 Le grandissement d'une lentille mince vérifie :

$$\gamma = \frac{OA'}{OA} \text{ (réponse c).}$$

C'est d'ailleurs de cette identité qu'est issue la deuxième relation de conjugaison de la question précédente.

- 6 Sur le cercle des couleurs, les couleurs complémentaires sont diamétralement opposées. Par suite, le vert et le pourpre sont des couleurs complémentaires (réponse **a**).
- 7 Le cyan, le jaune et le magenta sont des couleurs secondaires obtenues par synthèse additive de deux couleurs primaires (voir page suivante).



COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Ces schémas révèlent que la synthèse soustractive du cyan et du magenta donne du bleu (réponse **d**).

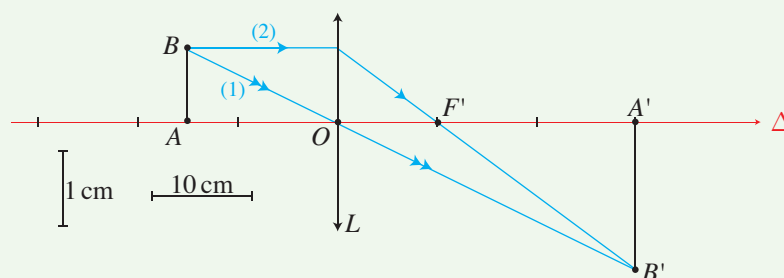
- 8 Dans un atome, l'énergie d'un électron est quantifiée (réponse **a**).
- 9 L'état fondamental d'un atome est son état de plus faible énergie, à partir duquel il ne peut en céder davantage même sous forme de photon). En revanche, un photon peut être absorbé (réponse **b**).
- 10 On peut fournir à l'atome d'hydrogène une énergie $\mathcal{E}$ supérieure à son énergie d'ionisation. L'ionisation est alors assurée (réponse **b**).
- 11 La désexcitation d'un atome consiste en une transition électronique d'un niveau d'énergie vers un niveau d'énergie inférieure ; puisque ces énergies sont quantifiées, l'énergie du photon émis l'est aussi (réponse **a**).
- 12 La chlorophylle transmet la lumière verte. Cette transmission traduit :
- soit l'existence d'une raie lumineuse verte dans le spectre d'émission de la chlorophylle ;
 - soit l'existence, dans le spectre, de raies sombres dans les parties rouge et bleue (réponse **a**) qui sont les couleurs complémentaires du vert.

2 Image d'une lentille mince convergente

Énoncé
p. 187

Lycée Jeanne d'Albret, Saint-Germain-en-Laye

- 1 Pour trouver l'image B' de B , il suffit d'utiliser deux des trois rayons remarquables issus de B :
- le rayon (1) traverse L en O sans être dévié ;
 - le rayon (2), qui arrive sur L parallèlement à l'axe optique (Δ) ressort de L en passant par le foyer image F' , tel que $\overline{OF'} = f' = 10$ cm.



L'intersection de ces deux rayons émergeant de L coïncide avec B' , dont la projection sur Δ donne A' . On trouve ainsi les caractéristiques de l'image $A'B'$:

- $A'B'$ se trouve à la distance $\overline{OA'} = 30$ cm de L ;
- $A'B' = 2$ cm.

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

- 2 La relation de conjugaison de L impose :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} = -\frac{1}{0,15} + \frac{1}{0,1} \Rightarrow \overline{OA'} = 0,30 \text{ m}$$

tandis que le grandissement γ du montage vérifie :

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{0,3}{-0,15} = -2 \\ \Rightarrow \overline{A'B'} &= -2 \times \overline{AB} = -2,0 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Ces deux résultats confirment alors ceux de la question précédente.

3 Calcul d'une distance focale

Énoncé
p. 188

Lycée Jeanne d'Albret, Saint-Germain-en-Laye

- 1 En choisissant $\overline{AB} = 1 \text{ cm}$, les informations de l'énoncé conduisent à $\overline{A'B'} = -1 \text{ cm}$. Par suite, le grandissement du montage vaut :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -1.$$

- 2 Le grandissement s'exprime aussi en fonction de $\overline{OA'}$ et de $\overline{OA}$:

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -1 \Rightarrow \overline{OA'} = -\overline{OA}. \quad (24)$$

- 3 Par définition :

$$D = \overline{AA'} = \overline{AO} + \overline{OA'} = -\overline{OA} + \overline{OA'}$$

où le résultat (24) fournit :

$$\overline{OA'} = -\overline{OA} \Rightarrow D = -2\overline{OA}.$$

- 4 En tenant compte du résultat (24), la relation de conjugaison du montage s'écrit :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} = -\frac{2}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \overline{OA} = -2f'.$$

- 5 Des deux résultats précédents, il découle que :

$$\begin{aligned} D &= -2\overline{OA} = -2 \times (-2f') = 4f' \Rightarrow f' = \frac{D}{4} \\ \Rightarrow f' &= \frac{40}{4} = 10 \text{ cm.} \end{aligned}$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

4 Lentille mince convergente

Énoncé
p. 188

Lycée Paul Bert, Paris

- 1 Soit C la vergence de L et soit $f' = \frac{1}{C}$ sa distance focale ; la relation de conjugaison de L indique que :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} = C$$

où :

$$\begin{cases} \overline{OA} = -1,2 \text{ m (AB en avant de L)} \\ \overline{OA'} = 0,6 \text{ m (A'B' après L)} \end{cases}$$

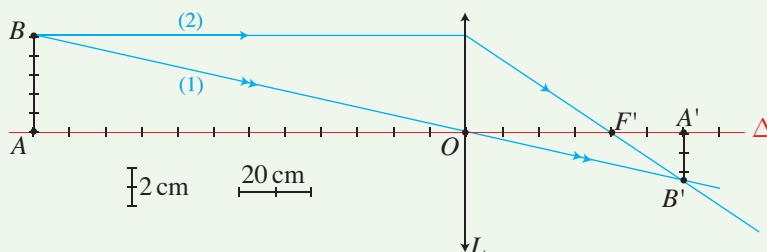
conduisent à :

$$C = \frac{1}{0,6} + \frac{1}{1,2} = \frac{1}{0,4} \Rightarrow C = 2,5 \delta \Rightarrow f' = 0,4 \text{ m} = 40 \text{ cm}.$$

Graphiquement, il est possible de localiser directement les points O , A et A' sur l'axe optique Δ de L , grâce aux données fournies par l'énoncé.

De tous les rayons émis par B , deux au moins sont remarquables :

- le rayon (1) qui passe par O n'est pas dévié et ressort de L en passant par B' , dont la projection sur Δ coïncide avec A' . Ce rayon permet ainsi de localiser B' ;
- le rayon (2), qui arrive sur L parallèlement à Δ , ressort de L en passant par B' mais aussi par le foyer image F' .



Par ce moyen, on retrouve graphiquement la valeur de la distance focale :

$$f' = \overline{OF'} = 40 \text{ cm}.$$

- 2 Le grandissement du montage vaut :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{0,6}{-1,2} \Rightarrow \gamma = -0,5$$

tandis qu'il est défini par le rapport :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \Rightarrow \overline{A'B'} = \gamma \times \overline{AB} = -0,5 \times 5 \Rightarrow \overline{A'B'} = -2,5 \text{ cm}.$$

Ce résultat montre que l'image $A'B'$ mesure 2,5 cm et que cette image est en sens contraire par rapport à l'objet ($\overline{A'B'} < 0$ avec $\overline{AB} > 0$) ; ces deux résultats sont confirmés par la représentation graphique précédente.

- 3 Lorsque AB se trouve à 10 cm, en avant de la lentille : $\overline{OA} = -0,1$ m conduit à :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} = -\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,4}$$

$$\Rightarrow \overline{OA'} \approx -0,13 \text{ m} \approx -13 \text{ cm.}$$

Le signe obtenu pour $\overline{OA'}$ montre que l'image $A'B'$ est virtuelle (elle se trouve à gauche de O), avec un grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{-13}{-10} = 1,3 \Rightarrow \overline{A'B'} = 1,3 \times \overline{AB} = 1,3 \times 5$$

$$\Rightarrow \overline{A'B'} = 6,5 \text{ cm}$$

ce qui révèle que l'image $A'B'$ a une hauteur de 6,5 cm et est orientée dans le même sens que l'objet AB ($\overline{AB}$ et $\overline{A'B'}$ ont le même signe).

Puisque l'image $A'B'$ est virtuelle, elle peut être observée par l'œil situé à droite de L auquel cas L peut servir de loupe (même si le grandissement $\gamma = 1,3$ est faible).

5 Construction de l'image d'une lentille

Énoncé
p. 188

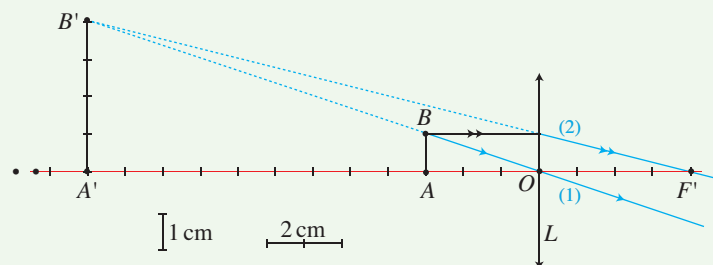
Lycée Blanche de Castille, Villemomble

- 1 La vergence C d'une lentille est définie comme l'inverse de sa distance focale f' :

$$C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0,04} \Rightarrow C = 25 \text{ dioptries.}$$

- 2 Soit F' le foyer image de la lentille L , tel que $\overline{OF'} = f' = 4$ cm. Parmi tous les rayons issus du point B (hors de l'axe optique), au moins deux sont remarquables :

- le rayon (1) qui passe par O n'est pas dévié ;
- le rayon (2) qui arrive sur L parallèlement à l'axe optique (Δ) émerge de L en passant par F' .



En sortant de L ces deux rayons divergent, c'est pourquoi il faut tracer leurs prolongements (en pointillé), afin de trouver leur point d'intersection B' , dont la projection sur Δ coïncide avec A' .

Cette construction graphique montre que :

$$\overline{OA'} = -12 \text{ cm et } \overline{A'B'} = 4 \text{ cm.} \quad (25)$$

3 L'image B' est virtuelle car les rayons ne convergent pas réellement vers B' (seuls les prolongements passent par B'). Par conséquent, cette image ne peut pas être formée sur un écran.

4 La relation de conjugaison du dispositif indique que :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} &= \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} = -\frac{1}{0,03} + \frac{1}{0,04} \\ \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} &= -\frac{0,01}{12 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \overline{OA'} = -12 \cdot 10^{-2} \text{ m} = -12 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Par conséquent, le grandissement γ du montage vaut :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{-12}{-3} = 4$$

c'est-à-dire, compte tenu de la définition de γ :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = 4 \Rightarrow \overline{A'B'} = 4 \overline{AB} = 4 \times 1 \Rightarrow \overline{A'B'} = 4,0 \text{ cm.}$$

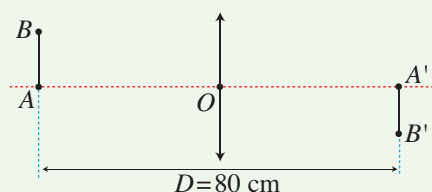
Ces deux résultats sont compatibles avec les valeurs (25) trouvées ci-dessus.

6 Calcul d'une distance focale

Énoncé
p. 189

Lycée Hoche, Versailles

Soit O la position du centre optique de la lentille L , qui forme de AB une image nette $A'B'$ sur l'écran.



Puisque l'image a la même taille que l'objet, le grandissement γ du système vérifie :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \Rightarrow |\gamma| = \frac{A'B'}{AB} = 1$$

avec :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \Rightarrow |\gamma| = \frac{OA'}{OA} = 1 \Rightarrow OA' = OA$$

d'où il ressort que :

$$OA' + OA = D \Rightarrow 2 OA = D \Rightarrow OA' = OA = \frac{D}{2}. \quad (26)$$

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Ainsi, la relation de conjugaison du montage fournit la distance focale f' de L :

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OA'}} + \frac{1}{\overline{OA}}$$

car :

$$\overline{OA'} > 0 \Rightarrow \overline{OA'} = OA' \text{ et } \overline{OA} < 0 \Rightarrow \overline{OA} = -OA.$$

La relation (26) conduit alors à :

$$\frac{1}{f'} = \frac{2}{D} + \frac{2}{D} = \frac{4}{D} \Rightarrow f' = \frac{D}{4} = \frac{80}{4} = 20 \text{ cm.}$$

7 Lentille mince

Énoncé
p. 189

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1 La relation de conjugaison de Descartes indique :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} &= \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{f'} \\ &\Rightarrow \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{20} - \frac{1}{10} = -\frac{1}{20} \\ &\Rightarrow \overline{OA} = -20 \text{ cm} \end{aligned}$$

ce qui montre que le point A se situe à gauche de O , à une distance de 20 cm.

- 2 Quant au grandissement du montage, il est donné par :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{20}{-20} = -1$$

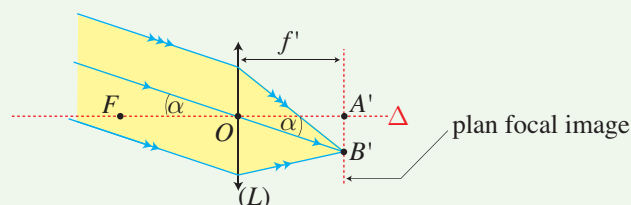
et il est défini par :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -1 \Rightarrow \overline{A'B'} = -\overline{AB} = -5 \text{ cm.}$$

Ce résultat montre que $A'B'$ mesure 5 cm et est inversé par rapport à AB .

- 3 Une image $A'B'$, située à l'infini, provient d'un objet AB nécessairement placé dans le plan focal objet de (L) , c'est-à-dire à gauche et à 10 cm de (L) .

- 4 Parmi tous les rayons émis par B (rayons parallèles car B est situé à l'infini, et inclinés d'un angle α par rapport à Δ), traçons celui qui traverse (L) en O , sans être dévié.



Or, l'image B' de B se trouve nécessairement dans le plan focal image de (L) et sur ce rayon lumineux ; il s'agit donc de l'intersection de ce rayon avec le plan focal image de (L) . Quant à l'image A' de A elle se déduit de B' par une projection orthogonale sur Δ (A' et F' sont confondus). On peut désormais calculer, dans le triangle $(OF'B')$:

$$\tan \alpha = \frac{A'B'}{f'} \Rightarrow A'B' = f' \tan \alpha = 10 \times \tan(10^\circ) \\ \Rightarrow A'B' \approx 1,8 \text{ cm.}$$

5 La relation de conjugaison de Descartes indique que :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{\overline{AO}}.$$

L'objet étant à gauche de F :

$$\overline{AO} > f' \Rightarrow \frac{1}{\overline{AO}} < \frac{1}{f'} \\ \Rightarrow \frac{1}{f'} + \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{\overline{AO}}.$$

Donc $\frac{1}{\overline{OA'}} > 0 \Rightarrow \overline{OA'} > 0$: l'image A' se trouve à droite de F' ; elle est réelle.

Quant au grandissement $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$, il vaut alors :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \text{ avec } \overline{OA'} > 0 \text{ et } \overline{OA} < 0.$$

Soit $\gamma < 0$. D'où $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} < 0$. L'image est donc inversée.

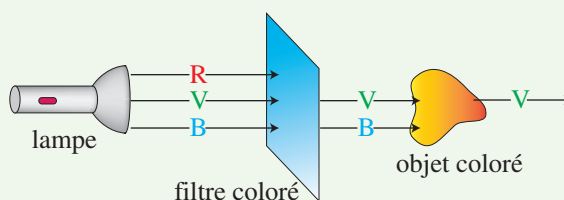
8 Couleur des objets

➔ Énoncé
p. 189

Lycée Notre Dame du Grandchamp, Versailles

1 La lumière blanche contient les trois couleurs primaires : rouge (R), vert (V) et bleu (B). Le filtre cyan absorbe le rouge (afin de laisser passer le cyan, composé des couleurs verte et bleue).

Quant au jaune, il absorbe la couleur bleue (car, en lumière blanche, l'objet restitue les couleurs rouge et verte qui composent le jaune) ; voir schéma page suivante.



IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

- 2 Le schéma précédent révèle que l'objet coloré apparaîtra alors vert.

9 Couleur d'un arbre

➔ Énoncé
p. 190

Lycée Bertioz, Vincennes

- 1 Puisque la graine paraît bleue lorsqu'elle est éclairée en lumière blanche, c'est qu'elle absorbe les deux autres couleurs primaires qui composent le blanc (rouge : R et vert : V).



Donc, lorsque la graine est éclairée avec une lumière jaune (composée de rouge et de vert), elle paraît noire car elle absorbe ces deux couleurs.

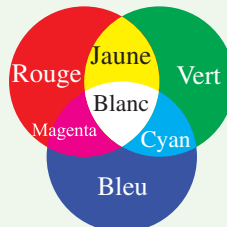
- 2 En revanche, éclairée en lumière magenta (composée de rouge et de bleu), elle paraît bleue (le rouge étant absorbé).

10 Projecteurs colorés

➔ Énoncé
p. 190

Lycée Picasso, Fontenay-Sous-Bois

- 1 La composition de lumière provenant de plusieurs sources produit une synthèse additive des couleurs, dont on peut d'ailleurs rappeler le cercle :



- 2 Le cercle précédent rappelle rapidement comment obtenir :
- un éclairage jaune à partir de projecteurs vert et rouge ;
 - un éclairage cyan à partir de projecteurs vert et bleu.
- 3 Enfin, l'éclairage blanc s'obtient en réalisant la synthèse additive des trois couleurs primaires : le vert, le rouge et le bleu.

11 Drapeaux filtrés

➔ Énoncé
p. 190

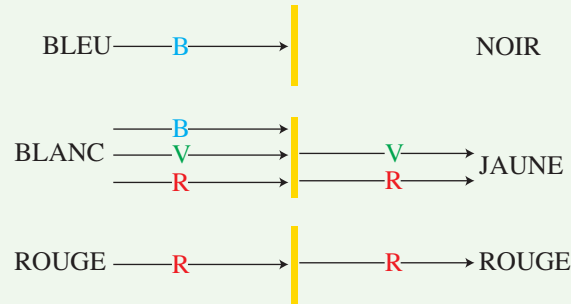
Lycée Guynemer, Compiègne

Il faut utiliser un filtre qui transforme la bande centrale blanche en bande jaune, c'est-à-dire un filtre jaune, qui absorbe la couleur bleue, mais transmet les deux autres couleurs primaires (vert : V et rouge R) : voir illustration page suivante.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS



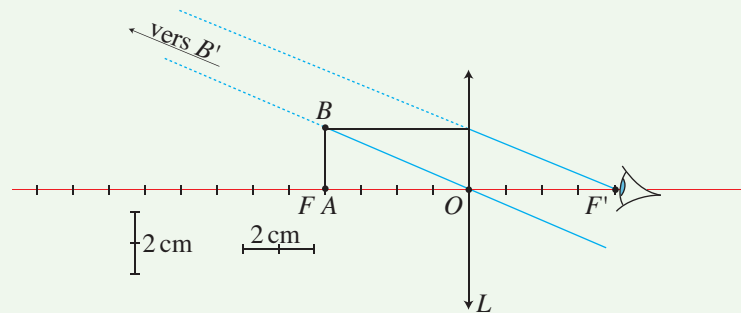
À travers ce filtre, les bandes bleue, blanche et rouge du drapeau français apparaîtront alors respectivement noire, jaune et rouge.

12 Œil et loupe

Énoncé
p. 191

Lycée Marie Curie, Sceaux

- 1 Un œil normal peut voir nettement des objets qui se trouvent à l'infini, notamment l'image $A'B'$ que la loupe L (lentille convergente de centre optique O) forme du timbre AB . Or, $A'B'$ est rejeté à l'infini si AB est dans le plan focal objet de L , c'est-à-dire si la distance OA s'identifie à la distance focale $f' = \frac{1}{C} = 0,04 \text{ m}$ (soit $f' = 4 \text{ cm}$) : $OA_{\max} = 4 \text{ cm}$.



Remarque : il s'agit de la valeur maximale de la distance OA car l'œil ne peut observer que l'image virtuelle $A'B'$ de AB , ce qui impose la localisation de A entre O et le foyer objet F .

- 2 L'image $A'B'$ vue par l'œil étant virtuelle, le point A' (ainsi que le point A) se trouve à gauche de L , en conséquence de quoi :

$$\begin{cases} \overline{OA'} < 0 \\ \overline{OA} < 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \overline{OA'} = -OA' \\ \overline{OA} = -OA \end{cases}$$

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Quant à la distance séparant l'œil (en F') et l'image $A'B'$ fournie par L , elle vaut :

$$\begin{aligned} F'A' &= F'O + OA' = f' + OA' \geq 25 \text{ cm} \\ \Rightarrow OA' &\geq 25 - f' = 25 - 4 = 21 \text{ cm} = 0,21 \text{ m} \\ \Rightarrow \frac{1}{OA'} &\leq \frac{1}{0,21} \text{ dioptries.} \end{aligned}$$

La relation de conjugaison du montage impose alors :

$$\begin{aligned} \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} &= \frac{1}{f'} \Rightarrow -\frac{1}{OA'} + \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} \\ \Rightarrow \frac{1}{OA} &= \frac{1}{f'} + \frac{1}{OA'} \leq \frac{1}{0,04} + \frac{1}{0,21} \approx 29,76 \text{ m}^{-1} \\ \Rightarrow OA &\geq 3,36 \cdot 10^{-2} \text{ m} \approx 3,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

ce qui donne la valeur minimale de OA :

$$OA_{\min} \approx 3,4 \text{ cm.}$$

- 3** C'est lorsqu'il n'accomode pas que l'œil fatigue le moins et cette situation se produit lors d'une observation au PR de l'œil, c'est-à-dire ici, lorsque $A'B'$ est à l'infini. Donc, l'observation de AB à 4 cm de L est la plus confortable.

13 Vieillessement du cristallin

Énoncé
p. 191

Lycée Charlemagne, Paris

- 1** (a) Sauf accident, la distance qui sépare le cristallin de la rétine ne change pas avec l'âge d'une personne adulte. Dans le modèle optique cette distance correspond à d .
- (b) Un objet très éloigné forme une image A' au foyer image f' de la lentille c'est-à-dire telle que $\overline{OA'} = f'_{\min} = \frac{1}{C_{\min}}$ où $C_{\min} = 59 \text{ δ}$ correspond à la valeur minimale de C (celle pour laquelle la lentille est la moins convergente).

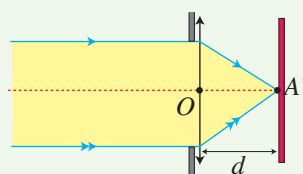


figure 1

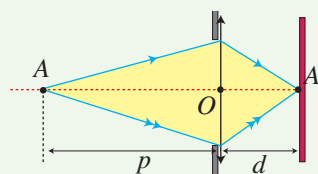


figure 2

Numériquement, on trouve ainsi :

$$\overline{OA'} = \frac{1}{59} \approx 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ m} \Rightarrow \overline{OA'} \approx d = 1,7 \text{ cm.}$$

On remarque non seulement que :

$$\frac{1}{d} = C_{\min} = 59 \delta \quad (27)$$

mais également (cf. figure 1) que l'image A' se forme sur l'écran (car $\overline{OA'} = d$), ce qui signifie aussi que le cristallin n'a pas besoin d'accommoder.

- (c) Pour qu'un objet A , situé à une distance p finie de la lentille, soit associé à une image nette A' sur l'écran (cf. figure 2), la lentille doit adopter une vergence C qui respecte la relation de conjugaison de Descartes :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} &= \frac{1}{f'} = C \text{ avec } \overline{OA'} = d \text{ et } \overline{OA} = -p \\ \Rightarrow \frac{1}{d} + \frac{1}{p} &= C \Rightarrow \frac{1}{p} = C - \frac{1}{d} \end{aligned}$$

où la relation (27) fournit :

$$\frac{1}{d} = C_{\min} \Rightarrow \frac{1}{p} = C - C_{\min}.$$

La plus petite valeur de p est alors atteinte lorsque $C = C_{\max}$, c'est-à-dire :

$$\frac{1}{p} = C_{\max} - C_{\min} = 65 - 59 = 6 \delta \Rightarrow p \approx 0,167 \text{ m} = 17 \text{ cm}. \quad (28)$$

- 2** (a) Pour la personne de 50 ans, $C'_{\min} = C_{\min}$ montre que la vision de loin n'est pas modifiée (A' se forme à une distance $\overline{OA'} = \frac{1}{C'_{\min}}$ qui correspond à la taille d de l'œil).
- (b) En revanche, la distance minimale p' de vision nette de cet œil est donnée grâce à la relation (28) :

$$\frac{1}{p'} = C'_{\max} - C'_{\min} = 61 - 59 = 2 \delta \Rightarrow p' = \frac{1}{2} \approx 0,5 \text{ m} = 50 \text{ cm}.$$

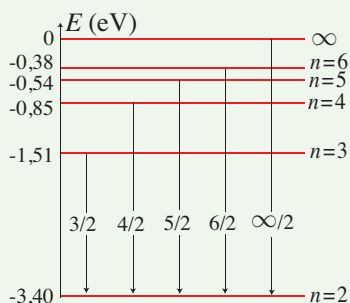
14 Niveaux d'énergie de l'hydrogène

Énoncé
p. 191

Lycée Saint-Exupéry, Mantes-la-Jolie

- 1** Le niveau d'énergie $E = 0 \text{ eV}$ correspond à l'énergie à partir de laquelle un électron n'est plus lié au noyau de l'atome d'hydrogène.
- 2** (a) À partir des niveaux d'énergie fournis par l'énoncé, il est possible d'envisager cinq transitions électroniques du niveau i au niveau 2 (notés $3/2$, $4/2$, $5/2$, $6/2$ et $\infty/2$ sur le diagramme page suivante).

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7



Soit E_i l'énergie du niveau i et soit $E_2 = -3,40$ eV celle du niveau $n = 2$. Chacune des transitions $i/2$ représentée sur le diagramme s'accompagne de la libération d'une énergie :

$$\Delta E_i = E_i - E_2,$$

c'est-à-dire, compte tenu des valeurs numériques de ces énergies :

$$\begin{array}{l|l} \Delta E_{3/2} = 1,89 \text{ eV} & \Delta E_{6/2} = 3,02 \text{ eV} \\ \Delta E_{4/2} = 2,55 \text{ eV} & \Delta E_{\infty/2} = 3,40 \text{ eV} \\ \Delta E_{5/2} = 2,86 \text{ eV} & \end{array}$$

- (b) La libération d'une énergie $\Delta E_{i/2}$ se traduit par l'émission d'un photon de longueur d'onde $\lambda_{i/2}$ de même énergie $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda_{i/2}}$:

$$\varepsilon = \Delta E_{i/2} \Rightarrow \frac{hc}{\lambda_{i/2}} = \Delta E_{i/2} \Rightarrow \lambda_{i/2} = \frac{hc}{\Delta E_{i/2}}.$$

Remarque : dans cette relation, $\Delta E_{i/2}$ doit être exprimée en joule. Or, sachant que $1 \text{ eV} = 1,61 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, il est possible d'utiliser les valeurs numériques de $\Delta E_{i/2}$, obtenues en eV dans la question précédente, à condition d'effectuer l'opération :

$$\lambda_{i/2} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{1,61 \cdot 10^{-19} \times \Delta E_{i/2} \text{ (en eV)}}. \quad (29)$$

On obtient ainsi :

$$\begin{array}{l|l} \lambda_{3/2} = 6,57 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 657 \text{ nm} & \lambda_{6/2} = 4,11 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 411 \text{ nm} \\ \lambda_{4/2} = 4,87 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 487 \text{ nm} & \lambda_{\infty/2} = 3,65 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 365 \text{ nm} \\ \lambda_{5/2} = 4,34 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 434 \text{ nm} & \end{array}$$

Ces valeurs numériques montrent que la plus petite longueur d'onde ($\lambda_{\infty/2} = 365 \text{ nm}$) correspond à la transition électronique de plus grande énergie. Or, puisque $\lambda_{\infty/2} < 400 \text{ nm}$, cette radiation n'est pas visible (elle appartient aux ultra-violets).

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

15 Niveaux d'énergie du sodium

Énoncé
p. 192

Lycée Bertioz, Vincennes

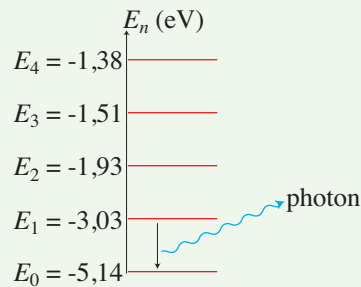
- 1 Un rayonnement de longueur d'onde λ est associé à un photon d'énergie :

$$\begin{aligned}\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} &= \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{589 \cdot 10^{-9}} = 3,37 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{3,37 \cdot 10^{-19}}{1,61 \cdot 10^{-19}} = 2,11 \text{ eV}.\end{aligned}$$

- 2 La différence d'énergie entre les niveaux d'énergie E_1 et E_0 vaut :

$$\begin{aligned}E_1 - E_0 &= -3,03 + 5,14 \\ &= 2,11 \text{ eV}\end{aligned}$$

et, puisqu'elle s'identifie à ε , cela signifie que ce photon a été émis par l'atome alors qu'il passait du niveau d'énergie E_1 au niveau d'énergie E_0 .



- 3 En recevant une énergie de 1,30 eV depuis son niveau d'énergie $E_1 = -3,03$ eV, l'atome devrait posséder l'énergie :

$$E' = E_1 + 1,30 = -3,03 + 1,30 = -1,73 \text{ eV}.$$

Cependant, il n'en fera rien car E' ne correspond à aucune énergie du spectre ; ce photon ne sera pas absorbé par l'atome de sodium.

16 Étude documentaire : « Lumières d'étoiles »

Énoncé
p. 192

Lycée Pablo Picasso, Fontenay-Sous-Bois

- 1 (a) Le spectre visible est composé de radiations dont les longueurs d'onde sont comprises entre 400 nm (violet) et 700 nm (rouge).
(b) La longueur d'onde λ (en mètres) d'une radiation de fréquence ν (en hertz) vaut :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

- (c) Compte tenu de la réponse précédente, les micro-ondes et les rayons X ont pour longueurs d'onde respectives dans le vide :

$$\lambda_{\text{micro-ondes}} = \frac{c}{\nu_{\text{micro-ondes}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{14}} = 10^{-6} \text{ m} = 1\,000 \text{ nm}$$

et :

$$\lambda_X = \frac{c}{\nu_X} = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{18}} = 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}.$$

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- (d) L'énergie ε d'un photon est proportionnelle à la fréquence de la radiation associée : $\varepsilon = h\nu$, en raison de quoi les rayons X sont plus énergétiques que les micro-ondes.

- 2 (a) Le Soleil émet, initialement, un spectre continu (sans raies noires). Ce sont ses couches superficielles qui, en absorbant certains rayonnements, provoquent leur disparition du spectre comme il nous parvient sur Terre. Ce sont donc des raies d'absorption.

- (b) On repère facilement, dans le spectre fourni, les raies d'absorption :

- de l'hydrogène :

λ (nm)	410,1	434,0	486,1	656,3
raie	B	C	D	G

- du sodium : raies F₁ (589,0 nm) et F₂ (589,6 nm).

De cette analyse, on conclut que la surface du Soleil contient de l'hydrogène et du sodium, mais pas d'hélium.

- 3 (a) L'état fondamental est celui qui possède la plus petite énergie, en l'occurrence $-13,6$ eV pour l'atome d'hydrogène.

- (b) Lorsque l'atome d'hydrogène passe du niveau d'énergie $E_6 = -0,37$ eV au niveau d'énergie $E_2 = -3,39$ eV, son énergie varie de la quantité :

$$\Delta E_{\text{atome}} = E_2 - E_6 = -3,39 + 0,37 = -3,02 \text{ eV}.$$

- (c) Puisque $1 \text{ eV} = 1,61 \cdot 10^{-19} \text{ eV}$:

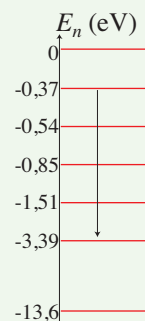
$$\Delta E_{\text{atome}} = -3,02 \times 1,61 \cdot 10^{-19} = -4,83 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

- (d) La transition proposée se présente schématiquement de la manière ci-contre.

- (e) À l'énergie $\varepsilon = 4,83 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ est associé un photon dont la fréquence ν vérifie la loi :

$$\begin{aligned} \varepsilon = h\nu &\Rightarrow \nu = \frac{\varepsilon}{h} = \frac{4,83 \cdot 10^{-19}}{6,62 \cdot 10^{-34}} \\ &= 7,30 \cdot 10^{14} \text{ Hz}. \end{aligned}$$

- (f) Puisque l'atome perd de l'énergie ($\Delta E < 0$), cette énergie s'échappe de l'atome ainsi devenu émetteur de photon.



17 Atome d'hydrogène

Énoncé
p. 194

Lycée Saint-Exupéry, Mantes-la-Jolie

- 1 L'énergie d'ionisation E_{ion} d'un atome d'hydrogène est l'énergie que doit recevoir un électron pour passer de son niveau d'énergie fondamental $E_1 = -13,6$ eV au niveau d'énergie $E_{\infty} = 0$ eV, c'est-à-dire :

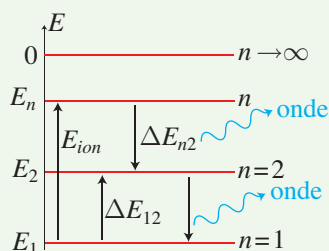
$$E_{\text{ion}} = E_{\infty} - E_1 \Rightarrow E_{\text{ion}} = 13,6 \text{ eV}.$$

- 2 Lorsqu'un électron passe du niveau $n = 1$ au niveau $n = 2$, son énergie s'accroît de la quantité :

$$\Delta E_{12} = E_2 - E_1 = -\frac{13,6}{4} + \frac{13,6}{1} = 10,2 \text{ eV}.$$

Cette énergie peut avoir diverses origines, notamment le choc d'un autre électron, qui doit lui-même posséder l'énergie :

$$\mathcal{E}_{\min} = 10,2 \text{ eV}.$$



- 3 Lorsque l'électron se désexcite du niveau $n = 2$ au niveau $n = 1$, il perd l'énergie $\Delta E_{12} = 10,2 \text{ eV}$, qui peut être évacuée sous forme d'onde électromagnétique, dont la longueur λ d'onde vérifie :

$$\begin{aligned} \Delta E_{12} = \frac{hc}{\lambda} &\Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E_{12}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{10,2 \times 1,61 \cdot 10^{-19}} \\ &\Rightarrow \lambda = 122 \text{ nm}. \end{aligned}$$

- 4 Lorsque les électrons passent d'un niveau n au niveau $n = 2$, leur énergie diminue de la quantité :

$$\begin{aligned} \Delta E_{n2} &= E_n - E_2 = -\frac{13,6}{n^2} + \frac{13,6}{4} \\ &= 13,6 \times \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ (en eV)} \\ &= 13,6 e \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ (en J)}. \end{aligned}$$

Cette énergie peut alors être transformée en rayonnement, dont la fréquence ν vérifie :

$$h\nu = \Delta E_{n2} \Rightarrow \nu = \frac{\Delta E_{n2}}{h} = \frac{13,6 e}{h} \times \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right).$$

18 Spectre du mercure

Énoncé
p. 195

Lycée Guynemer, Compiègne

- 1 Lorsque l'atome de mercure passe du niveau 2 au niveau fondamental, il perd l'énergie :

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_2 - E_1 = 4,90 - 0 = 4,90 \text{ eV} \\ &= 4,90 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 7,84 \cdot 10^{-19} \text{ J}. \end{aligned}$$

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Cette énergie peut être évacuée sous forme de photon associé à la longueur d'onde λ telle que :

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{7,84 \cdot 10^{-19}}$$

$$\Rightarrow \lambda = 2,53 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 253 \text{ nm.}$$

- 2** Au rayonnement de longueur d'onde $\lambda = 546 \text{ nm} = 546 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ est associé un photon d'énergie :

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3 \cdot 10^8}{546 \cdot 10^{-9}} \approx 3,64 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$= \frac{3,64 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,27 \text{ eV.}$$

À l'aide des valeurs numériques fournies, on remarque également que la transition de l'atome de mercure des niveaux d'énergie E_5 et E_3 s'accompagne d'une perte d'énergie :

$$\Delta E = E_5 - E_3 = 7,72 - 5,45 = 2,27 \text{ eV.}$$

Puisque $\Delta E = \varepsilon$, c'est cette transition qui est responsable de la raie verte.

19 La lumière

→ Énoncé
p. 195

Lycée Claude Bernard, Paris

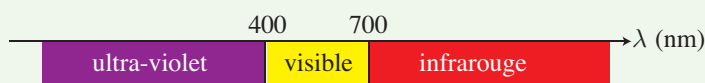
- 1** À une radiation de fréquence $\nu = 10^{14} \text{ Hz}$ est associé un photon d'énergie :

$$\varepsilon = h\nu = 6,62 \cdot 10^{-34} \times 10^{14} = 6,62 \cdot 10^{-20} \text{ J.}$$

Ainsi, l'énergie totale du faisceau est :

$$E_{\text{totale}} = 20\,000 \times 6,62 \times 10^{-20} = 1,324 \times 10^{-15} \text{ J.}$$

- 2** La lumière visible n'occupe qu'une fraction du spectre électromagnétique :



Ainsi,

- $\lambda = 650 \text{ nm} \rightarrow$ Visible ;
- $\lambda = 350 \text{ nm} \rightarrow$ Ultraviolet ;
- $\lambda = 1\,500 \text{ nm} \rightarrow$ Infrarouge.

- 3** Puisque $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$, la raie H_α a pour longueur d'onde :

$$\lambda = 6\,563 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 656,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$\Rightarrow \lambda = 656,3 \text{ nm.}$$

CORRIGÉS

- 4 De la même manière, la raie H_γ a pour longueur d'onde :

$$\lambda = 4102 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,4102 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\Rightarrow \lambda \approx 0,41 \mu \text{ m}.$$

- 5 La longueur d'onde λ et la fréquence ν d'un rayonnement sont liées par la loi :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

- 6 L'énergie ε d'un photon associé à un rayonnement vaut :

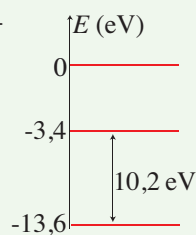
$$\varepsilon = h\nu \text{ avec } \nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{hc}{\lambda}.$$

- 7 La différence d'énergie entre les deux états de l'hydrogène :

$$\Delta E = 1,632 \cdot 10^{-18} \text{ J} = \frac{1,632 \cdot 10^{-18}}{1,61 \cdot 10^{-19}} = 10,2 \text{ eV}$$

ne correspond pas à l'énergie $\varepsilon = 10,5 \text{ eV}$ véhiculée par le photon, lequel n'est donc pas absorbé, même partiellement.



Remarque : un photon d'énergie supérieure à 13,6 eV aurait pu être absorbé, entraînant l'ionisation de l'atome d'hydrogène ; le supplément d'énergie aurait été attribué à l'électron ainsi libéré.

20 Spectre du mercure

Lycée Charlemagne, Paris

Énoncé
p. 196



- 1 À chaque radiation de longueur d'onde λ est associé un photon d'énergie

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}, \text{ c'est-à-dire, pour les trois raies intenses du mercure :}$$

$$\varepsilon_j = 3,43 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{3,43 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 2,14 \text{ eV};$$

$$\varepsilon_v = 3,64 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{3,64 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 2,27 \text{ eV};$$

$$\varepsilon_b = 4,56 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{4,56 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 2,85 \text{ eV}.$$

IMAGES ET COULEURS • CHAP. 7

- 2 (a)** Lorsque l'atome passe du niveau d'énergie E_6 au niveau d'énergie E_4 , il perd l'énergie :

$$|\Delta E_{6 \rightarrow 4}| = |E_4 - E_6| = |-3,72 + 1,57| = 2,15 \text{ eV}$$

qui s'identifie à ε_j ; l'atome émet alors la raie jaune.

- (b)** Parmi toutes les transitions possibles, remarquons que :

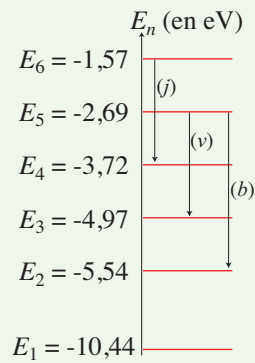
$$|\Delta E_{5 \rightarrow 3}| = |E_3 - E_5| = |-4,97 + 2,69| = 2,28 \text{ eV}$$

et :

$$|\Delta E_{5 \rightarrow 2}| = |E_2 - E_5| = |-5,54 + 2,69| = 2,85 \text{ eV}.$$

L'identification de ces valeurs avec ε_v et ε_b permet d'affirmer que c'est à l'issue des transitions $5 \rightarrow 3$ et $5 \rightarrow 2$ que sont émises respectivement les raies verte et bleue.

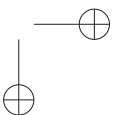
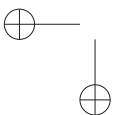
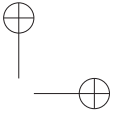
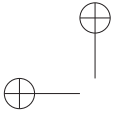
- (c)** L'émission des trois raies intenses du spectre de l'atome de mercure se produit consécutivement à trois désexcitations de l'atome, représentées ci-dessous.



COURS

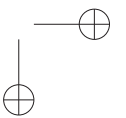
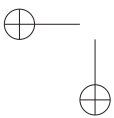
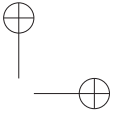
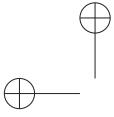
INTERROS

CORRIGÉS



Deuxième partie

CHIMIE



Chapitre

8

Détermination de la composition d'un système chimique

Plan du chapitre

1. Introduction
2. Concentration d'une espèce en solution
3. Spectrophotométrie et avancement d'un système chimique
4. Oxydo-réduction

1 Introduction

Ce chapitre traite des méthodes permettant de déterminer la composition d'un système chimique puis explore les réactions d'oxydo-réduction.

Pour cela, nous commencerons par rappeler trois notions fondamentales :

- *Soluté, solvant et solution* : une solution est un mélange homogène obtenu en dissolvant une espèce chimique (le soluté) dans un liquide (le solvant). Par exemple, dans l'eau sucrée, le sucre est le soluté et l'eau le solvant.
- *Concentration en masse* : elle est le rapport de la masse de soluté dissout avec le volume de la solution, souvent exprimé en grammes par litre.
- *La mole* : unité de la quantité de matière. Une mole contient toujours le même nombre d'entités élémentaires (atomes, molécules ou ions), appelé nombre d'Avogadro, noté N_A , et valant $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

2 Concentration d'une espèce en solution

Exercice type 1

Lycée Lakanal, Sceaux

On introduit 2,5 g de saccharose, de formule $C_{12}H_{22}O_{11}$, dans de l'eau afin d'obtenir 5,0 mL de solution.

On ajoute ensuite de l'acide chlorique concentré à la solution, et il se forme alors un volume $V = 2,1 \text{ L}$ de dioxyde de carbone à 25°C .

...

Exercice type 1 (suite)

Lycée Lakanal, Sceaux

- 1 Calculer la masse molaire du saccharose.
- 2 Quelle était la concentration en quantité de matière de saccharose de la solution aqueuse obtenue avant d'avoir ajouté l'acide chlorique ?
- 3 Quelle est la quantité de dioxyde de carbone qui a ainsi été formée ?

Données :

- $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$.
- $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$.
- $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$.
- $V_m(25^\circ\text{C}) = 24 \text{ L.mol}^{-1}$

Voir corrigé page 223

Le but de cette section est de savoir déterminer les quantités de matière des différents constituants d'un mélange. C'est en effet un prérequis indispensable pour pouvoir, par la suite, étudier l'évolution d'un système chimique. Il faut pour cela maîtriser les notions de masse molaire, de volume molaire et de concentration en quantité de matière. Ces notions viendront compléter celles de composition massique et de concentration en masse vues en classe de seconde.

2.1 Masse molaire

Définition 1

La *masse molaire* d'une entité correspond à la masse d'une mole de cette entité.

Elle s'exprime généralement en grammes par mole (g.mol^{-1}), et est notée M .

Exemple : la masse molaire du carbone 12 vaut exactement 12 g.mol^{-1} (par définition de la mole).

Plus généralement, la masse molaire d'un élément, exprimée en grammes par mole, est toujours très proche de son nombre de masse, ce qui justifie ici son appellation.

La notion de masse molaire peut également s'appliquer à un composé moléculaire.

À RETENIR

La masse molaire d'un composé moléculaire peut se calculer en additionnant les masses molaires atomiques de tous les atomes qui composent la molécule.

Exemple : la masse molaire de l'eau s'obtient en additionnant les masses molaires des atomes constituant une molécule d'eau. Ainsi :

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \times M(\text{H}) + M(\text{O}).$$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

Comme $M(H) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$ et $M(O) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$, on trouve :

$$M(H_2O) = 2 \times 1 + 16 = 18 \text{ g.mol}^{-1}.$$

Il est important de savoir que l'on peut déterminer la quantité de matière d'un échantillon si l'on connaît la masse de l'échantillon et la masse molaire de l'entité.

À RETENIR

La quantité de matière n d'un échantillon d'une espèce chimique de masse m et de masse molaire M est :

$$n = \frac{m}{M}$$

où n est en mol, m en g et M en g.mol^{-1} .

Notons enfin que l'on peut retrouver la masse m_{molec} d'une molécule à partir de la masse molaire M (et réciproquement) grâce à la constante d'Avogadro N_A :

$$M = m_{molec} \times N_A$$

où N_A vaut toujours $6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

2.2 Volume molaire

Définition 2

Le *volume molaire* d'une entité correspond au volume occupé par une mole de cette entité.

Il s'exprime généralement en litre par mole (L.mol^{-1}), et est noté V_m .

Le volume molaire d'un gaz à la température de 0°C et à la pression atmosphérique standard est égal à $22,4 \text{ L.mol}^{-1}$. Ce volume est *indépendant* de la nature du gaz.

À la pression atmosphérique standard et pour une température de 25°C , le volume molaire d'un gaz (indépendamment de sa nature) est 24 L.mol^{-1} .

Il est important de savoir que l'on peut déterminer la quantité de matière présente dans un gaz si l'on connaît le volume occupé par ce gaz et le volume molaire dans les conditions de l'expérience.

À RETENIR

La quantité de matière n présente dans un gaz occupant un volume V est lié au volume molaire V_m :

$$n = \frac{V}{V_m}$$

où n est en mol, V en L et V_m en L.mol^{-1} .

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

2.3 Concentration en quantité de matière

Définition 3

La concentration en quantité de matière d'une espèce moléculaire dissoute est la quantité de matière de cette espèce présente par unité de volume de la solution.

La concentration en quantité de matière est le plus fréquemment exprimée en mol.L^{-1} .

Supposons que l'on dissolve 1 mol de diiode I_2 dans un litre d'eau. Alors bien évidemment dans ce cas nous obtenons une mole de diiode dissous par litre d'eau : la concentration de la solution est $c = 1 \text{ mol.L}^{-1}$. On peut également noter la concentration d'une espèce dissoute en mettant le nom de l'espèce entre crochets :

$$[\text{I}_{2\text{aq}}] = 1 \text{ mol.L}^{-1}.$$

Ici l'indice *aq* signifie que l'espèce moléculaire I_2 est en solution aqueuse.

À RETENIR

Si on dissout une quantité de matière n d'une espèce moléculaire et que l'on obtient une solution de volume V , alors la concentration molaire de l'espèce moléculaire dissoute est :

$$c = \frac{n}{V}.$$

Exemples

- Dans l'exemple précédent la concentration molaire s'obtient simplement par $c = \frac{1}{1} = 1 \text{ mol.L}^{-1}$.
- Supposons que l'on dissolve 0,1 mol de diiode dans 2 L d'eau. Alors la concentration molaire en diiode est $\frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ mol.L}^{-1}$.

Notons que l'on ne peut pas augmenter indéfiniment la concentration d'une solution en y rajoutant du soluté. À partir d'une certaine concentration qui dépend du couple (solvant, soluté), la solution est dite *saturée* et les molécules de soluté qui sont rajoutées après saturation ne sont plus dissoutes.

Les résultats énoncés précédemment ne s'appliquent qu'aux solutions non saturées.

ATTENTION

Malgré la ressemblance des formules, il ne faut pas confondre la concentration en masse C_M (qui s'exprime en g.L^{-1}) et la concentration en quantité de matière c (qui s'exprime en mol.L^{-1}).

On peut néanmoins passer d'une grandeur à l'autre si on connaît la masse molaire M de l'entité, car

$$c = \frac{C_M}{M}.$$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

➔ Solution de l'exercice type 1

Lycée Lakanal, Sceaux

- 1** La masse molaire de la molécule s'obtient en additionnant les masses molaires des atomes la constituant :

$$M(C_{12}H_{22}O_{11}) = 12 \times M(C) + 22 \times M(H) + 11 \times M(O)$$

$$M(C_{12}H_{22}O_{11}) = 12 \times 12 + 22 \times 1 + 11 \times 16$$

$$M(C_{12}H_{22}O_{11}) = 342 \text{ g.mol}^{-1}.$$

- 2** Calculons d'abord la quantité de matière de saccharose introduite :

$$n = \frac{m}{M(C_{12}H_{22}O_{11})}$$

$$n = \frac{2,5}{342} = 7,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

On en déduit la concentration en saccharose de la solution :

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

$$c = \frac{7,31 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} = 1,5 \text{ mol.L}^{-1}.$$

- 3** Pour connaître la quantité de dioxyde de carbone, on utilise le volume molaire à 25°C :

$$n = \frac{V}{V_m} = \frac{2,1}{24} = 8,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

Voir énoncé page 219

COURS

INTERROS

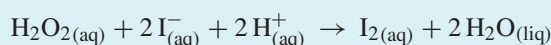
CORRIGÉS

3 Spectrophotométrie et avancement d'un système chimique

Exercice type 2

Lycée Jean-Pierre Vernant, Pins-Justaret

L'eau oxygénée $H_2O_{2(aq)}$ se décompose lentement en présence d'ions iode $I_{(aq)}^-$ et d'ions hydrogène $H_{(aq)}^+$ selon la réaction modélisée par l'équation :



Cette réaction produit une espèce colorée, le diiode $I_{2(aq)}$ de couleur orange. L'apparition du diiode est suivie par spectrophotométrie.

- 1** *Courbe d'étalonnage du spectrophotomètre.*

On dispose d'une solution mère S_0 de diiode $I_{2(aq)}$, de concentration molaire $C_0 = 10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. À partir de S_0 , on fabrique quatre solutions filles S_1 , S_2 , S_3 et S_4 de concentration $C(I_2)$ qui serviront à étalonner le spectrophotomètre. Leurs absorbances, mesurées à 500 nm, sont données page suivante.

Exercice type 2 (suite)

Lycée Jean-Pierre Vernant, Pins-Justaret

Solution	Eau distillée	S_1	S_2	S_3	S_4
$C(I_2)$ en $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	0	0,50	1,0	2,0	?
A	0	0,12	0,22	0,51	0,65

- Tracer la courbe d'étalonnage A en fonction de C . Justifier le fait que l'absorbance A et la concentration C sont liées par la relation $A = k \times C(I_2)$. En déduire la valeur numérique de k .
- Déterminer, par un calcul, la concentration molaire de la solution S_4 .

2 *Suivi de la réaction.*

À la date $t = 0$ s, on mélange un volume $V_1 = 20,0$ mL d'une solution acidifiée contenant des ions iodure $I_{(aq)}^-$ de concentration $C_1 = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, avec un volume $V_2 = 2,0$ mL d'eau oxygénée de concentration $C_2 = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On ajoute un volume $V_3 = 8,0$ mL d'eau.

- Dresser le tableau d'avancement (x) de la réaction entre l'eau oxygénée et les ions iodure.
- Le mélange est-il stœchiométrique ?
- Déterminer l'avancement maximal x_{max} .
- Calculer les quantités de réactif et de produit présents en fin de réaction.
- En déduire la concentration molaire du diiode $I_{2(aq)}$ dans le mélange, en fin de réaction.
- Déterminer l'absorbance du mélange en fin de réaction.

Voir corrigé page 233

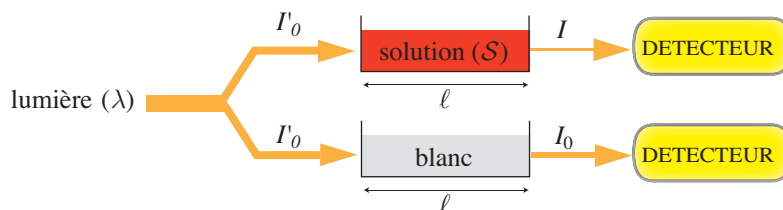
Dans ce paragraphe, nous présenterons tout d'abord une technique permettant de déterminer la concentration d'une espèce colorée en solution : la spectrophotométrie. Nous aborderons ensuite une notion essentielle en chimie : l'avancement d'une réaction. Le fait de savoir écrire un tableau d'avancement est en effet indispensable pour pouvoir étudier simplement l'évolution d'une réaction chimique.

3.1 Spectrophotométrie

3.1.1 - Principe d'un spectrophotomètre

Un spectrophotomètre envoie de la lumière, de longueur d'onde λ connue, à travers deux cuves de longueur ℓ connue : l'une contenant une solution (S) avec une substance colorée et l'autre (appelée *blanc*) contenant la même solution dépourvue de la substance colorée.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8



Les faisceaux incidents qui arrivent sur les cuves ont la même intensité I'_0 et deux détecteurs mesurent simultanément les intensités I et I_0 des faisceaux qui ont traversé respectivement la solution (S) et le blanc. Un dispositif permet alors le calcul de la transmittance : $T = \frac{I}{I_0}$, encore appelée *facteur de transmission*.

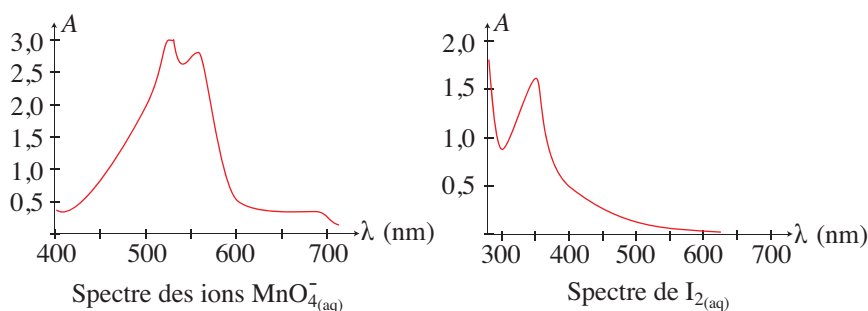
Définition 4

L'*absorbance* (ou *densité optique*) est l'exposant A permettant d'écrire : $T = 10^{-A}$; il s'agit d'un nombre sans dimension.

En général, les spectrophotomètres fournissent les absorbances plutôt que les transmittances.

3.1.2 - Spectre d'absorption et couleur d'une solution

La courbe donnant A en fonction de λ est spécifique à chaque substance colorée et peut ainsi servir de signature.

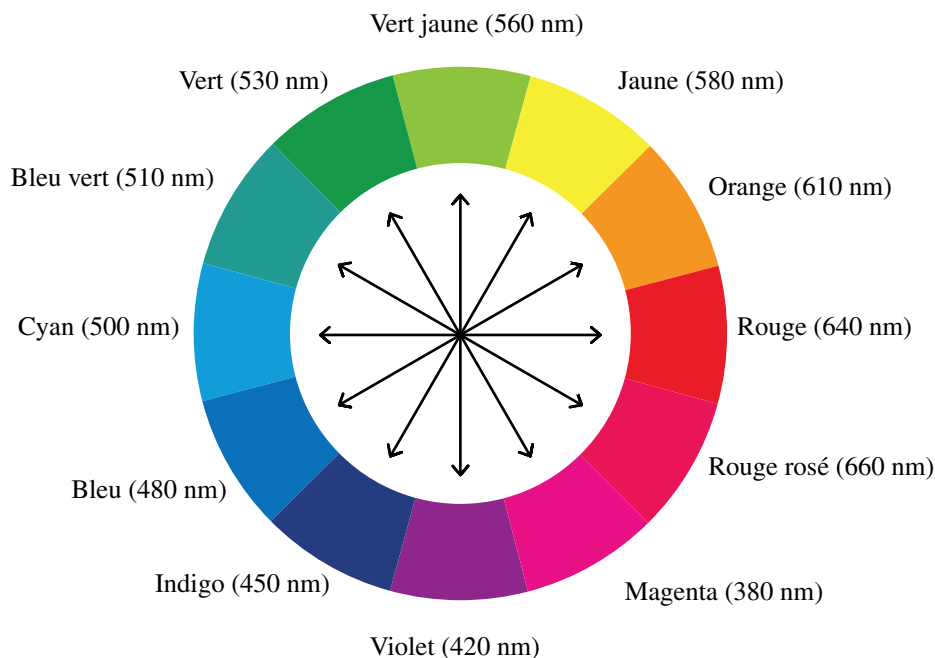


Ce type de courbe permet de prévoir la couleur d'une solution : on regarde tout d'abord la longueur d'onde λ correspondant au maximum d'absorbance. La valeur en nanomètre nous permet de trouver la couleur qui est la plus absorbée par la solution.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS



La couleur perçue est alors la couleur diamétralement opposée à celle de la longueur d'onde la plus absorbée. C'est sa couleur complémentaire.

Par exemple, pour les ions MnO_4^- , l'absorbance est maximale autour de 525 nm. Cette longueur d'onde correspond au vert. La solution est donc perçue magenta, c'est-à-dire la couleur complémentaire du vert.

3.1.3 - Loi de Beer-Lambert



Retrouvez cette partie du cours en vidéo.

La loi de Beer-Lambert précise que, pour une concentration C en espèce colorée pas trop élevée, l'absorbance est proportionnelle à C :

$$A = \varepsilon \ell C$$

où ℓ est la longueur (en cm) de la cuve traversée par la lumière et ε est :

- le *coefficient d'extinction molaire* (en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) si C est exprimée en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;
- le *coefficient d'extinction spécifique* (en $\text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) si C est exprimée en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Lorsqu'une solution contient plusieurs substances colorées, d'absorbances individuelles $A_1, A_2, \dots$, l'absorbance totale est la somme des absorbances :

$$A = A_1 + A_2 + \dots$$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

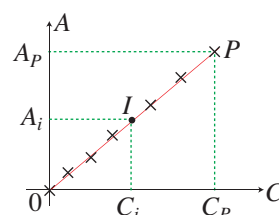
Remarque : dans la pratique, on travaille à une longueur d'onde λ_i pour laquelle le coefficient ε_i d'une espèce est *maximum*, les autres coefficients étant beaucoup plus faibles. Dans ce cas, l'expression de l'absorbance de la solution se simplifie et suit la loi de Beer-Lambert :

$$A = \varepsilon_1 \ell C_1 + \varepsilon_2 \ell C_2 + \dots + \varepsilon_i \ell C_i + \dots \approx \varepsilon_i \ell C_i.$$

La loi de Beer-Lambert sert fréquemment aux dosages des espèces colorées.

Pour cela :

- on procède au tracé de la courbe d'étalonnage : pour une longueur d'onde λ_0 donnée (correspondant généralement au *maximum* d'absorbance de l'espèce X étudiée), on mesure l'absorbance de solutions contenant X à des concentrations C connues, puis on trace la courbe $A = f(C)$. Si la courbe est linéaire, la loi de Beer-Lambert est vérifiée :



$$A = \varepsilon \ell \times C$$

où $\varepsilon \ell$ s'identifie au coefficient directeur de la droite (la connaissance des coordonnées d'un point P de cette courbe permet de connaître ce coefficient :

$$\varepsilon \ell = \frac{A_P}{C_P};$$

- on introduit, dans le spectrophotomètre, la solution contenant X à une concentration C_i inconnue. La mesure de son absorbance A_i est réalisée dans les mêmes conditions expérimentales que celles ayant servi à l'étalonnage (même longueur d'onde λ_0 , même longueur ℓ de cuve, ...). Deux méthodes permettent alors de déterminer C_i :
 - le point I , d'ordonnée A_i , est représenté sur la courbe d'étalonnage ; son abscisse C_i est alors lue directement sur le graphe.
 - selon la loi de Beer-Lambert :

$$\varepsilon \ell = \frac{A_i}{C_i} = \frac{A_P}{C_P} \Rightarrow C_i = \frac{A_i}{A_P} \times C_P.$$

3.2 Tableaux d'avancement

3.2.1 - Notion d'avancement

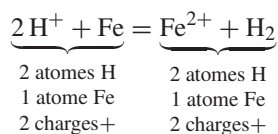
Une réaction chimique est décrite par une *équation-bilan*, dans laquelle apparaissent les formules chimiques des espèces qui réagissent ainsi que des coefficients stœchiométriques qui décrivent les proportions des espèces qui réagissent ou qui se forment. Ces coefficients sont introduits de manière à équilibrer l'équation chimique (conservation des éléments et des charges).

COURS

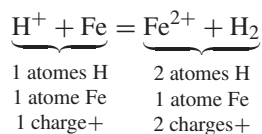
INTERROS

CORRIGÉS

Par exemple, l'équation chimique :



est équilibrée, contrairement à l'équation :



Définition 5

L'*avancement d'une réaction*, généralement notée x , est une grandeur exprimée en mole qui permet de décrire l'évolution d'un système chimique.

Grâce à cette grandeur, il est possible de déterminer facilement la quantité de chaque réactif et de chaque produit dans un état donné.

L'évolution du système chimique peut être suivie à l'aide d'un *tableau d'avancement* dans lequel apparaissent : l'équation chimique équilibrée de la réaction (avec la formule des espèces X_i et leurs coefficients stœchiométriques a_i), les quantités initiales de matière (n_i^0) connues et l'avancement x de la réaction. À tout instant, les quantités de matière n_i peuvent s'exprimer en fonction de x :

$$\begin{cases} n_i = n_i^0 - a_i \times x \text{ pour les réactifs (à gauche de l'équation)} \\ n_i = n_i^0 + a_i \times x \text{ pour les produits (à droite de l'équation)} \end{cases}$$

Remarque : en début de réaction, l'avancement est généralement nul.

	avancement	$a_1X_1 + a_2X_2 \rightarrow a_3X_3 + a_4X_4$			
Initiale	$x = 0$	n_1	n_2	0	0
Intermédiaire	$x \neq 0$	$n_1 - a_1x$	$n_2 - a_2x$	a_3x	a_4x
Finale	x_f	$n_1 - a_1x_f$	$n_2 - a_2x_f$	a_3x_f	a_4x_f

⚠ ATTENTION

Ne faire apparaître, dans le tableau d'avancement, que les quantités de matière connues (par exemple, on ignore en général les quantités de solvant $\text{H}_2\text{O}_{(\text{liq})}$ ou d'ions $\text{H}^+_{(\text{aq})}$ introduits pour acidifier le milieu).

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

3.2.2 - Réactions totales

Définition 6

Une réaction est dite *totale* lorsqu'elle n'a lieu que dans un seul sens. La réaction a lieu jusqu'à ce qu'un des réactifs ait complètement disparu. La transformation est alors indiquée par une simple flèche $\rightarrow$.

Considérons l'exemple du dosage, en milieu acide, de l'éthanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$) par des ions dichromate ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$). Au cours de cette réaction, les seules espèces qui colorent la solution sont les ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$ (oranges) et $\text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})}$ (verts).

Plusieurs cas peuvent se présenter :

- *L'éthanol est en excès*, ce qui signifie que, si la réaction est totale, elle cesse par disparition de l'espèce en défaut ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$), l'espèce en excès demeurant dans le milieu.

	$2 \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})} + 3 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})} + 16 \text{H}^+_{(\text{aq})} \rightarrow 11 \text{H}_2\text{O}_{(\text{liq})} + 4 \text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})} + 3 \text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$			
	orange		vert	
$x = 0$	1	2	0	0
$x \neq 0$	$1 - 2x$	$2 - 3x$	$4x$	$3x$

La réaction cesse lorsque x prend une valeur :

- x_f telle que $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$ disparaît :

$$n_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}} = 1 - 2x_f = 0 \Rightarrow x_f = \frac{1}{2} = 0,50 \text{ mol}$$

- ou x'_f telle que $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$ disparaît :

$$n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 2 - 3x'_f = 0 \Rightarrow x'_f = \frac{2}{3} = 0,67 \text{ mol}.$$

Puisque $x_f < x'_f$, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$ disparaît en premier, ce qui confirme que $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$ est en excès ; on dit aussi que $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$ est le réactif *limitant* de la réaction.

En fin de réaction, le milieu devient vert car seuls les ions $\text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})}$ contribuent à cette coloration.

- Les réactifs sont introduits dans les *proportions stœchiométriques*, ce qui signifie qu'ils disparaissent simultanément :

	$2 \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})} + 3 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})} + 16 \text{H}^+_{(\text{aq})} \rightarrow 11 \text{H}_2\text{O}_{(\text{liq})} + 4 \text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})} + 3 \text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$			
	orange		vert	
$x = 0$	$n_1 = 1,34$	$n_2 = 2$	0	0
$x \neq 0$	$n_1 - 2x$	$n_2 - 3x$	$4x$	$3x$

Puisque les deux réactifs disparaissent simultanément, x prend une valeur x_f telle que :

$$n_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}} = n_1 - 2x_f = 0 \Rightarrow x_f = \frac{n_1}{2} = \frac{1,34}{2} = 0,67 \text{ mol}$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

et :

$$n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = n_2 - 3x_f = 0 \Rightarrow x_f = \frac{n_2}{3} = \frac{2}{3} = 0,67 \text{ mol.}$$

On s'assurera que, dans les deux cas, x_f prend la même valeur et que, dans cette situation, les quantités initiales de matière sont liées aux coefficients stœchiométriques :

$$\frac{n_1}{2} = \frac{n_2}{3} \text{ ou encore : } \frac{n_1}{a_1} = \frac{n_2}{a_2}.$$

Dans le cas d'un dosage, cet état est appelé *l'équivalence*.

Définition 7

Un mélange est dit *stœchiométrique* quand tous les réactifs disparaissent simultanément. Les réactifs sont présents dans les proportions stœchiométriques.

- *L'éthanol est en défaut*, ce qui se traduit par sa disparition en fin de réaction (totale) :

	$2 \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})} + 3 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})} + 16 \text{H}^+_{(\text{aq})} \rightarrow 11 \text{H}_2\text{O}_{(\text{liq})} + 4 \text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})} + 3 \text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$	
	orange	vert
$x = 0$	2	0
$x \neq 0$	$2 - 2x$	$4x$
	$2 - 3x$	$3x$

Si la réaction est totale, elle cesse dès que x prend une valeur :

- x_f qui assure la disparition de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$:

$$n_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}} = 2 - 2x_f = 0 \Rightarrow x_f = \frac{2}{2} = 1,0 \text{ mol}$$

- ou x'_f qui assure la disparition de $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{aq})}$:

$$n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 2 - 3x'_f = 0 \Rightarrow x'_f = \frac{2}{3} = 0,67 \text{ mol.}$$

L'inégalité $x'_f < x_f$ confirme que $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ est en défaut.

Dans ces conditions, le milieu réactionnel contient simultanément des ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$ (oranges) et $\text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})}$ (verts) ; elle prend la couleur obtenue par synthèse soustractive : vert-kaki.

Lorsque la réaction est totale, il est possible d'automatiser les procédures de calcul pour déterminer la composition d'un système dans l'état final à partir de l'état initial du système. En classe de première, il est important de savoir comprendre (voire réaliser) un programme de ce type en python (voir page ci-contre).

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8



Détermination de la composition à partir d'un tableau d'avancement

```
print("On considère la réaction totale a.A+b.B->c.C+d.D")
# Entrée des paramètres initiaux
a= float(input("Valeur de a (1 par défaut): ") or "1")
b= float(input("Valeur de b (1 par défaut): ") or "1")
c= float(input("Valeur de c (1 par défaut): ") or "1")
d= float(input("Valeur de d (1 par défaut): ") or "1")
n0A= float(input("Quantité initiale de A en mol: "))
n0B= float(input("Quantité initiale de B en mol: "))
n0C= float(input("Quantité initiale de C en mol(0 par défaut):") or "0")
n0D= float(input("Quantité initiale de D en mol(0 par défaut):") or "0")

#On fait les deux hypothèses pour l'avancement final
xf1=n0A/a #Hypothèse 1 : A est le réactif limitant
xf2=n0B/b #Hypothèse 2 : B est le réactif limitant

#On détermine laquelle des deux hypothèses est la bonne
#On détermine alors le réactif limitant et on l'affiche
if xf1<xf2 :
    xf=xf1
    print("A est le réactif limitant")
elif xf1==xf2 :
    xf=xf1
    print("A et B ont été introduits dans les proportions stoechiométriques")
else :
    xf=xf2
    print("B est le réactif limitant")

#On calcule les quantités de réactifs et de produits dans l'état final
nfA=n0A-a*xf
nfB=n0B-b*xf
nfC=n0C+c*xf
nfD=n0D+d*xf

#On affiche la composition de l'état final
print("Composition de l'état final:\n", "nf(A)="+str(nfA)+" mol\n", "nf(B)="+str(nfB)+" mol\n", "nf(C)="+str(nfC)+" mol\n", "nf(D)="+str(nfD)+" mol")
```

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

3.2.3 - Réactions non totales

Une réaction est dite « non totale » ou limitée lorsque les réactifs et les produits coexistent à l'état final. Une telle réaction est notée avec un "double harpon" $\rightleftharpoons$ indiquant que la réaction a lieu simultanément dans les deux sens jusqu'à atteindre un état d'équilibre.

En toute rigueur, il existe quatre symboles qui peuvent apparaître dans une équation bilan :

- $\rightarrow$ indique que la réaction est totale et ne se fait que dans le sens indiqué par la flèche.
- $\rightleftharpoons$ indique que la réaction est un équilibre : elle se fait simultanément dans les deux sens indiqués par la flèche.
- $\rightleftharpoons$ indique que la transformation est « renversible », c'est à dire qu'elle peut avoir lieu dans un sens ou dans l'autre en fonction des conditions expérimentales.
- $=$ indique que les coefficients stœchiométriques sont équilibrés sans préciser le sens dans lequel la réaction a lieu.

Mais dans certains énoncés, les notations $\rightleftharpoons$ et $\rightleftharpoons$ sont utilisées indifféremment pour désigner une réaction non totale. Il conviendra donc de ne pas attacher trop d'importance à la distinction entre ces deux notations en classe de première.

Le symbole $=$ peut quant-à-lui être utilisé lorsqu'on ne veut pas indiquer si une réaction est totale ou non.

Pour savoir si une réaction est totale ou non, il faut calculer l'avancement maximal x_{max} de la réaction, c'est-à-dire l'avancement qui serait l'avancement final si la réaction était totale, et comparer cet avancement à l'avancement final réel x_f de la transformation.

- Si $x_f = x_{max}$ la réaction est totale.
- Si $x_f < x_{max}$ la réaction est limitée (non totale).

Prenons l'exemple simple où l'acide éthanóique CH_3COOH réagit avec l'eau pour donner des ions éthanóate CH_3COO^- et des ions hydronium H_3O^+ . Supposons que l'on ait initialement 0,1 mol de CH_3COOH en solution et que dans l'état final, nous ayons $1,3 \cdot 10^{-4}$ mol d'ions H_3O^+ .

Le tableau d'avancement s'écrit :

	$\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$	+	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$	$\rightleftharpoons$	$\text{CH}_3\text{COO}^-_{(\text{aq})}$	+	$\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$
$x = 0$	n_0				0		0
$x \neq 0$	$n_0 - x$				x		x

Calculons l'avancement maximal x_{max} .

Si le réactif limitant (ici l'acide éthanóique) disparaissait totalement, l'avancement serait :

$$x_{max} = n_0 = 0,10 \text{ mol.}$$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

L'avancement final (réel) x_f est donné par la quantité d'ion H_3O^+ dans l'état final : $[x_f] = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$.

Le fait que $x_f < x_{\max}$ confirme que la réaction est limitée.

Définition 8

On définit le *taux d'avancement* d'une réaction comme le rapport de l'avancement final à l'avancement maximal :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}}.$$

Cette grandeur est sans unité.

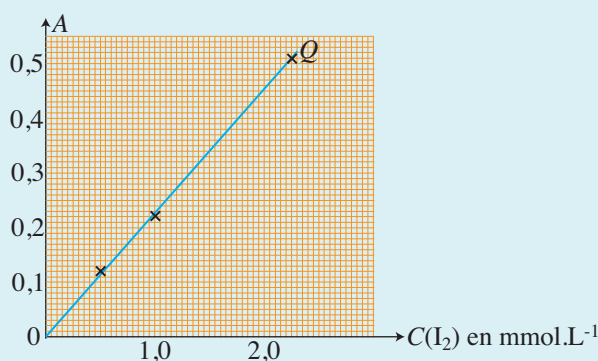
Dans notre exemple, le taux d'avancement vaut $\tau = \frac{1,3 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 1,3 \cdot 10^{-3}$.

➔ Solution de l'exercice type 2

Lycée Jean-Pierre Vernant, Pins-Justaret

1 Courbe d'étalonnage du spectrophotomètre.

- (a) La courbe d'étalonnage A en fonction de C , représentée page ci-contre, est une droite qui passe par l'origine. Il existe donc une constante k telle que $A = k \times C(\text{I}_2)$.



Puisque le point Q appartient à cette droite, ses coordonnées $A = 0,51$ et $C(\text{I}_2) = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ vérifient la relation de linéarité :

$$k = \frac{A}{C(\text{I}_2)} = \frac{0,51}{2,25 \cdot 10^{-3}} \approx 227 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

- (b) D'après ce qui précède, la solution S_4 d'absorbance $A = 0,65$ présente une concentration :

$$C(\text{I}_2) = \frac{A}{k} = \frac{0,65}{227} \approx 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 2,9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

➔ Solution de l'exercice type 2

Lycée Jean-Pierre Vernant, Pins-Justaret

2 Suivi d'une réaction.

(a) Initialement, (lorsque l'avancement x est nul) le milieu réactionnel a été constitué par :

- un volume $V_1 = 20 \cdot 10^{-3}$ L d'une solution d'ions $\text{I}_{(\text{aq})}^-$ de concentration $C_1 = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, c'est-à-dire :

$$n_1 = C_1 \times V_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol d'ions } \text{I}_{(\text{aq})}^-;$$

- un volume $V_2 = 2 \cdot 10^{-3}$ L d'une solution d'eau oxygénée de concentration $C_2 = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, soit encore :

$$n_2 = C_2 \times V_2 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol de } \text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}.$$

ainsi que de l'eau et de l'acide (en quantités inconnues mais supposées largement excédentaires).

Le tableau d'avancement (en mol) de la réaction s'écrit donc :

	$\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$	$+ 2 \text{I}_{(\text{aq})}^-$	$+ 2 \text{H}^+_{(\text{aq})}$	$\rightarrow$	$\text{I}_{2(\text{aq})} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{liq})}$
$x = 0$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$			0
$x \neq 0$	$0,2 \cdot 10^{-3} - x$	$2 \cdot 10^{-3} - 2x$			x

(b) Les molécules $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$ seront totalement consommées pour un avancement x_2 tel que :

$$0,2 \cdot 10^{-3} - x_2 = 0 \Rightarrow x_2 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

tandis que les ions $\text{I}_{(\text{aq})}^-$ auront disparu du milieu réactionnel lorsque l'avancement x prendra la valeur x_1 telle que :

$$2 \cdot 10^{-3} - 2x_1 = 0 \Rightarrow 2x_1 = 2 \cdot 10^{-3} \Rightarrow x_1 = 10^{-3} \text{ mol}.$$

L'inégalité $x_1 \neq x_2$ rend compte de la non stœchiométrie de ce mélange.

(c) La valeur maximale réellement prise par l'avancement x est celle qui assure la première disparition d'un des réactifs. C'est donc la plus petite des deux valeurs x_1 et x_2 :

$$x_{\text{max}} = x_2 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

(d) Compte tenu du tableau d'avancement, lorsque x prend la valeur x_{max} , les quantités de réactifs et de produits valent :

espèces	$\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$	$\text{I}_{(\text{aq})}^-$	$\text{I}_{2(\text{aq})}$
expression	$0,2 \cdot 10^{-3} - x_{\text{max}}$	$2 \cdot 10^{-3} - 2 x_{\text{max}}$	x_{max}
valeur	0 mol	$1,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$	$0,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

➔ Solution de l'exercice type 2 (suite)

Lycée Jean-Pierre Vernant, Pins-Justaret

(e) À la quantité finale de diiode $n_{I_2} = 0,2 \cdot 10^{-3}$ mol contenue dans le volume :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 20 + 2 + 8 = 30 \text{ mL} = 0,03 \text{ L de solution}$$

est associée la concentration :

$$C(I_2) = \frac{n_{I_2}}{V} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,03} \Rightarrow C(I_2) = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

(f) Cette solution doit présenter une absorbance :

$$A = k \times C(I_2) = 227 \times 6,7 \cdot 10^{-3} \approx 1,51.$$

Voir énoncé page 223

4 Oxydo-réduction

Exercice type 3

Lycée Jacques Amyot, Auxerre

On considère 50 mL d'une solution S_1 contenant des ions Fe^{2+} . On souhaite doser cette solution grâce à une solution de permanganate de potassium ($\text{K}^+, \text{MnO}_4^-$) de concentration $C(\text{MnO}_4^-) = 0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

- 1 Écrire, en milieu acide, les demi-équations des deux couples qui entrent en jeu : $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$ et $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$.
- 2 En déduire l'équation du dosage des ions Fe^{2+} par les ions MnO_4^- .
- 3 Il a fallu introduire un volume $V_{eq} = 22 \text{ mL}$ pour atteindre l'équivalence.
 - (a) Comment a-t-on su que l'équivalence était atteinte ?
 - (b) Déterminer la concentration initiale de la solution S_1 en ions Fe^{2+} .

Données (couleur des ions) :

- Mn^{2+} : incolore
- MnO_4^- : rose-violet
- Fe^{2+} : vert pâle (presque incolore)
- Fe^{3+} : jaune pâle (presque incolore)

Voir corrigé page 241

Les réactions d'oxydo-réduction caractérisent les transformations chimiques pour lesquelles il se produit un transfert d'électron entre les réactifs. Dans ce chapitre nous présenterons d'abord le principe général d'une oxydo-réduction. Puis, nous verrons comment il est possible de suivre l'avancement d'une réaction ou de réaliser un titrage en utilisant des réactions d'oxydo-réduction faisant intervenir des réactifs ou des produits colorés.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

4.1 Réactions d'oxydo-réduction

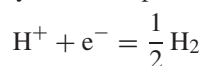
4.1.1 - Définitions

Définition 9

Un *oxydant* est une espèce chimique susceptible de capturer un ou plusieurs électrons.

Un *réducteur* est une espèce chimique susceptible de libérer un ou plusieurs électrons

Par exemple, l'ion H^+ est un oxydant car il peut capturer un électron :



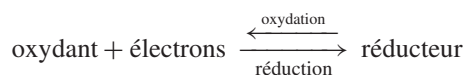
tandis que H_2 est un réducteur, susceptible de libérer des électrons :



Définition 10

Une *oxydation* est une transformation au cours de laquelle une espèce chimique perd un ou plusieurs électrons ; cette espèce est *oxydée* au cours de la transformation.

Une *réduction* est une transformation au cours de laquelle une espèce chimique gagne un ou plusieurs électrons ; cette espèce est alors *réduite* au cours de la transformation.



Définition 11

Un *couple oxydant/réducteur* (ou *couple redox*) est un ensemble de deux espèces chimiques, ayant en commun au moins un élément chimique, dont l'une est oxydante et l'autre est réductrice.

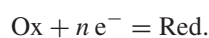
Dans la notation d'un tel couple, l'oxydant est toujours présenté avant le réducteur (Ox/Red).

Par exemple, H^+/H_2 est un couple redox, dont H^+ est l'oxydant et H_2 le réducteur, car c'est en capturant des électrons que H^+ se transforme en H_2 .

4.1.2 - Demi-équation

Définition 12

Une *demi-équation* est une équation chimique dans laquelle apparaissent l'oxydant et le réducteur d'un même couple redox, ainsi que les électrons capturés par l'oxydant :



DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

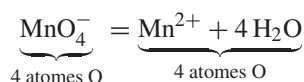
Remarque : dans une demi-équation, les électrons se trouvent toujours dans le même membre que l'oxydant.

Pour équilibrer une demi-équation en milieu acide :

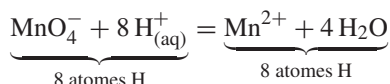
- 1 équilibrer les éléments autres que l'oxygène ou l'hydrogène. Par exemple pour le couple $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$:



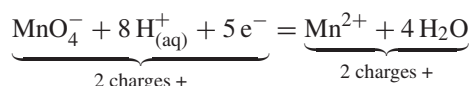
- 2 équilibrer l'élément oxygène à l'aide de H_2O .



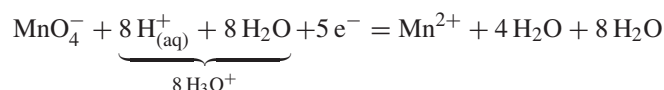
- 3 équilibrer l'élément hydrogène à l'aide de $\text{H}_{(\text{aq})}^+$:



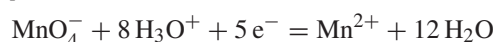
- 4 équilibrer les charges en ajoutant des électrons (e^-) :



Remarque : certains énoncés exigent que la demi-équation soit équilibrée avec H_3O^+ plutôt qu'avec $\text{H}_{(\text{aq})}^+$. Dans ce cas, il convient de procéder comme précédemment puis d'ajouter, dans la demi-équation obtenue, autant de molécules d'eau (dans les deux membres) qu'il y a d'ions $\text{H}_{(\text{aq})}^+$:

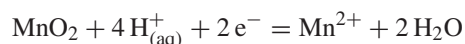


L'association $\text{H}_{(\text{aq})}^+ + \text{H}_2\text{O}$ peut alors être remplacée par H_3O^+ :

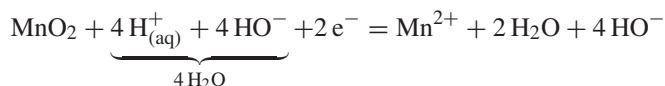


En milieu basique, on procède comme précédemment, puis on poursuit avec les étapes supplémentaires suivantes :

- 5 ajouter, dans les deux membres de la demi-équation, autant d'ions HO^- qu'il y a d'ions $\text{H}_{(\text{aq})}^+$ et associer $\text{H}_{(\text{aq})}^+ + \text{HO}^-$ en molécules d'eau. Par exemple, en milieu acide, la demi-équation associée au couple s'écrit : $\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}$ s'écrit :



Pour l'écrire en milieu basique, on ajoute 4 HO^- de chaque côté :

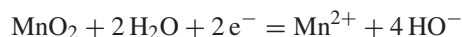


COURS

INTERROS

CORRIGÉS

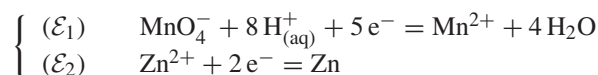
- 6 simplifier les deux membres de la demi-équation par les espèces redondantes :



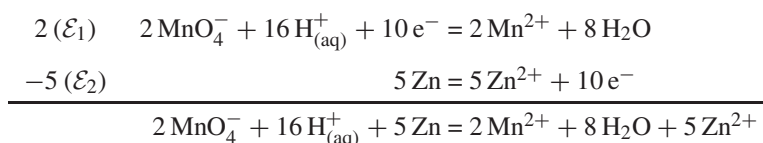
4.1.3 - Équation d'oxydo-réduction

Une équation d'oxydo-réduction montre comment l'oxydant d'un couple redox peut réagir avec le réducteur d'un autre couple (une telle réaction rend compte d'un transfert d'électrons). Pour obtenir une telle équation :

- écrire les demi-équations relatives aux couples redox mis en jeu ; par exemple, pour les couples $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ et Zn^{2+}/Zn , en milieu acide :



- faire une combinaison de ces deux demi-équations de manière, d'une part, à présenter les réactifs dans le membre de gauche et, d'autre part, à présenter la même quantité d'électrons dans les deux membres de l'équation ; par exemple, pour la réaction des ions permanganate MnO_4^- avec le zinc Zn :



4.2 Suivi colorimétrique d'une réaction d'oxydo-réduction

Certaines substances n'ont pas la même couleur lorsqu'elles sont sous forme d'oxydant ou de réducteur. Ces substances peuvent alors être utilisées en tant qu'*indicateurs colorés d'oxydo-réduction*, parfois appelés plus simplement *indicateurs redox*.

Cette propriété va pouvoir être utilisée pour suivre l'avancement d'une réaction ou pour déterminer la fin d'une réaction.

4.2.1 - Suivi spectrophotométrique de la transformation chimique

Si la substance colorée est l'un des réactifs ou un produit, la couleur va permettre de déterminer la concentration de cette substance en solution. On pourra donc suivre, grâce à un spectrophotomètre, l'avancement de la réaction. Exemple : avancement de la réaction en fonction du volume versé.

Remarque : il est également possible de réaliser un suivi temporel de l'avancement si la réaction n'est pas trop rapide et que le spectrophotomètre utilisé est suffisamment performant.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

4.2.2 - Titrage par changement de couleur du milieu réactionnel

4.2.2.1 - Principe général d'un titrage

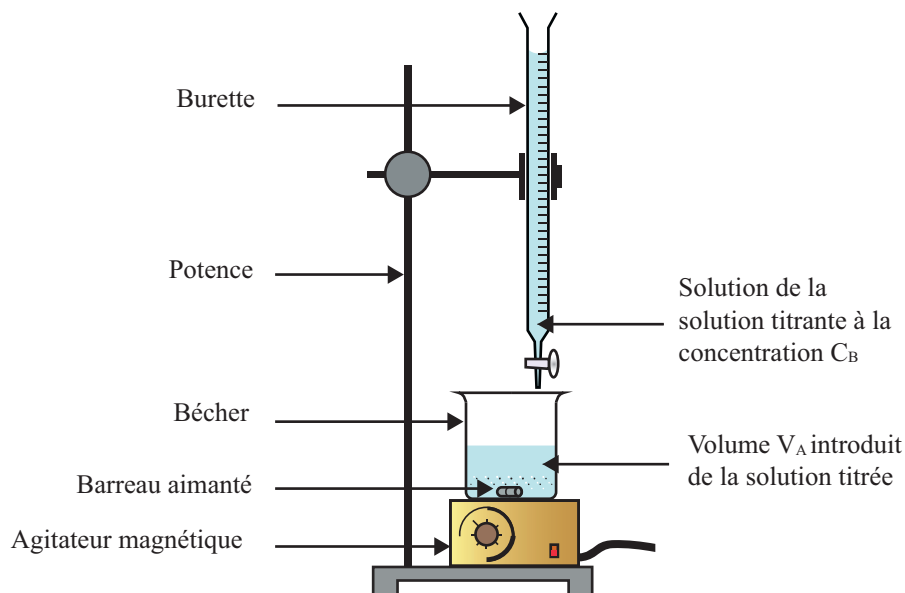
Effectuer un dosage consiste à déterminer la quantité de matière (ou la concentration) d'une entité particulière en solution.

Un *titrage* est un type de dosage porté par une transformation chimique qui doit être totale et rapide. On utilise une solution contenant un réactif de concentration connu (appelée *solution titrante*) et on mesure le volume de solution titrante à introduire pour que les réactifs aient été introduits dans les proportions stœchiométriques. Ce volume est appelé *volume équivalent*.

Le volume équivalent va permettre de déterminer l'avancement de la réaction à l'équivalence et donc d'en déduire la quantité de matière initialement présente dans la solution à doser.

Le principe d'un titrage est donc le suivant :

- on prélève un volume V_A connu de la solution à doser que l'on place dans un bécher ;
- on introduit la solution titrante de concentration C_B connue dans une *burette* ;
- on mesure, grâce à la burette, le volume équivalent V_{eq} .



La réaction qui a lieu peut s'écrire $aA + bB \rightarrow cC + dD$, où A est le réactif à titrer et B le réactif titrant.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Il est alors possible d'écrire le tableau d'avancement de la réaction :

	aA	$+ bB$	$\rightarrow$	$cC + dD$
État Initial	$n_0(A)$	$n_0(B)$		0 0
État Final	$n_0(A) - a.x_{eq}$	$n_0(B) - b.x_{eq}$		$c.x_{eq} d.x_{eq}$

⚠ ATTENTION

La subtilité de ce tableau d'avancement réside dans le fait que $n_0(B)$ correspond à la quantité de solution B introduite et non à la quantité initialement présente en solution !

Donc, comme $n_0(A) = C_A \cdot V_A$ et que $n_0(B) = C_B \cdot V_{eq}$, le tableau d'avancement nous permet d'écrire, à l'équivalence,

$$x_{eq} = \frac{C_A \cdot V_A}{a} \text{ et } x_{eq} = \frac{C_B \cdot V_{eq}}{b}.$$

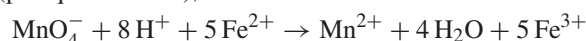
➡ À RETENIR : Équivalence

On retiendra qu'à l'équivalence : $\frac{C_A \cdot V_A}{a} = \frac{C_B \cdot V_{eq}}{b}.$

4.2.2.2 - Titrage avec suivi colorimétrique

Lors d'un titrage colorimétrique, l'équivalence est repérée par un changement de coloration au sein du mélange réactionnel. On parle de *virage coloré*.

Supposons que nous souhaitions doser les ions fer (II) dans une solution de Sel de Mohr. Nous allons pouvoir effectuer le titrage grâce à une solution d'ions permanganate MnO_4^- contenus dans une solution de concentration connue. Les ions permanganate de couleur violette réagissent avec les ions fer (II) qui sont vert pâle (presque incolore), pour donner des ions manganèse (incolore) et des ions fer (III), jaune pâle (presque incolore), selon la réaction :



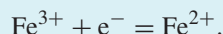
Avant l'équivalence, à chaque goutte versée, le liquide violet va donc se décolorer au contact de la solution à doser car les ions permanganate se transforment en ions manganèse. Lorsque tous les ions fer(II) auront réagi, les ions permanganate ne seront plus transformés et lorsque l'on verse une goutte supplémentaire de solution de permanganate de potassium, le mélange prend une teinte rose. On a alors atteint l'équivalence (à la goutte près). La lecture du volume versé sur la burette permet alors de connaître le volume équivalent.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

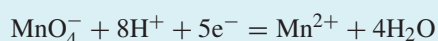
➔ Solution de l'exercice type 3

Lycée Jacques Amyot, Auxerre

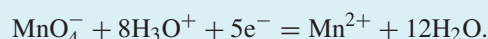
- 1** La demi-équation correspondant au couple $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$ s'écrit :



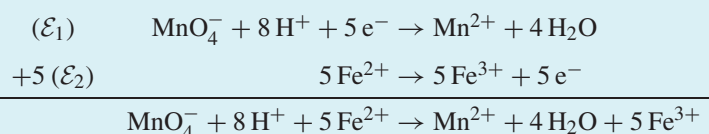
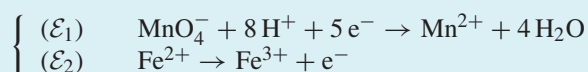
Pour équilibrer la demi-équation en milieu acide du couple $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$, on vérifie que l'élément manganèse est bien équilibré, puis on équilibre l'élément oxygène en ajoutant $4\text{H}_2\text{O}$ du côté de Mn^{2+} . On équilibre ensuite l'élément hydrogène en ajoutant 8H^+ du côté de MnO_4^- . Et enfin on équilibre les charges en ajoutant les électrons. On obtient donc la demi-équation :



ou, si l'on équilibre avec H_3O^+ :



- 2** Les deux demi-équations se combinent pour donner la réaction globale du dosage :



- 3** (a) Tant que l'équivalence n'est pas atteinte, les ions MnO_4^- introduits réagissent avec les ions Fe^{2+} et se décolorent. Lorsqu'on atteint l'équivalence, il n'y a plus d'ions Fe^{2+} pour réagir avec les ions permanganate et la solution prend alors une teinte rose-violette.
(b) À l'équivalence :

$$\frac{C_0(\text{Fe}^{2+}) \cdot V_0}{5} = \frac{C(\text{MnO}_4^-) \cdot V_{eq}}{1}.$$

Donc :

$$C_0(\text{Fe}^{2+}) = \frac{5C(\text{MnO}_4^-) \cdot V_{eq}}{5V_0}$$

soit :

$$C_0(\text{Fe}^{2+}) = \frac{5 \times 0,20 \times 22 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-3}} = 0,44 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Voir énoncé page 235

COURS

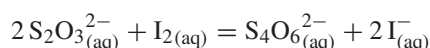
INTERROS

CORRIGÉS

1 QCM Testez vos connaissances

20 min **Corrigé**
p. 263

- 1** Pour une solution diluée, située dans une cuve de longueur ℓ et contenant une seule espèce absorbant la lumière, l'absorbance A est :
 - ☐ a proportionnelle à la température ;
 - ☐ b inversement proportionnelle à ℓ ;
 - ☐ c proportionnelle à la concentration de l'espèce absorbant la lumière ;
 - ☐ d proportionnelle à la longueur d'onde λ de la lumière absorbée.
- 2** Une solution colorée est introduite dans un spectrophotomètre. « Faire le blanc » signifie :
 - ☐ a mesurer l'absorbance d'une solution dépourvue d'espèce colorée ;
 - ☐ b envoyer de la lumière blanche sur une substance colorée ;
 - ☐ c diluer la solution pour faire cesser toute réaction chimique.
- 3** La relation entre la transmittance T d'une solution et son absorbance A est :
 - ☐ a $T = 10^A$
 - ☐ b $A = 10^T$
 - ☐ c $T = 10^{-A}$
 - ☐ d $A = 10^{-T}$
- 4** On introduit, dans un spectrophotomètre, une solution aqueuse de diiode ($I_{2(aq)}$).
 - ☐ a L'absorbance est l'inverse de la transmittance ;
 - ☐ b La solution a une transmittance de 85% et une absorbance de 0,07 ;
 - ☐ c La solution a une transmittance de 7% et une absorbance de 0,85.
- 5** Pour effectuer le dosage d'une solution aqueuse de $I_{2(aq)}$ par les ions thiosulfate ($S_2O_3^{2-}$) selon l'équation bilan :



- ☐ a on rajoute un indicateur coloré : le permanganate de potassium ($K^+ + MnO_4^-$) ;
 - ☐ b on acidifie le milieu réactionnel ;
 - ☐ c on ajoute de l'empois d'amidon.
- 6** Dans une solution acidifiée contenant n_2 moles d'éthanol ($C_2H_5OH_{(aq)}$), on introduit n_1 moles d'ions dichromate ($Cr_2O_7^{2-}$) qui réagissent selon l'équation-bilan :
- $$2 Cr_2O_7^{2-}(aq) + 16 H^+(aq) + 3 C_2H_5OH_{(aq)} = 4 Cr^{3+}(aq) + 11 H_2O_{(liq)} + 3 CH_3COOH_{(aq)}$$
- Quand les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques :
- ☐ a $2n_1 = 3n_2$; $Cr_2O_7^{2-}$ et C_2H_5OH disparaissent simultanément ;
 - ☐ b $2n_1 = 3n_2$; Cr^{3+} et CH_3COOH apparaissent simultanément ;
 - ☐ c $\frac{n_1}{2} = \frac{n_2}{3}$; $Cr_2O_7^{2-}$ et C_2H_5OH disparaissent simultanément.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

- 7** Une réaction d'oxydo-réduction est une réaction chimique faisant intervenir un transfert :
- ☐ **d** de protons ;
 - ☐ **e** de neutrons ;
 - ☐ **f** d'électrons ;
 - ☐ **g** de photons.
- 8** Tous les oxydants peuvent :
- ☐ **a** capter des électrons ;
 - ☐ **b** céder des électrons ;
 - ☐ **c** capter de l'oxygène ;
 - ☐ **d** céder de l'oxygène.
- 9** On considère le couple Zn^{2+}/Zn :
- ☐ **a** C'est un couple Oxydant/Réducteur ;
 - ☐ **b** C'est un couple redox ;
 - ☐ **c** Zn^{2+} est le réducteur ;
 - ☐ **d** Zn^{2+} est l'oxydant.
- 10** Au cours d'une réaction, le fer métallique se transforme en ion fer (II). Quelles sont les propositions exactes :
- ☐ **a** Le fer métallique est oxydé ;
 - ☐ **b** le fer métallique est réduit ;
 - ☐ **c** Il s'agit d'une oxydation ;
 - ☐ **d** Il s'agit d'une réduction.
- 11** On considère la demi-équation suivante : $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+} + \text{e}^- = \text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$. L'oxydant est :
- ☐ **a** $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$;
 - ☐ **b** e^- ;
 - ☐ **c** $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Concentration d'une espèce en solution

2 Volume molaire



5 min

→ Corrigé
p. 264

Lycée Claude Bernard Paris

Un élève affirme :

« Une mole d'hélium gazeux est plus lourde qu'une mole de dihydrogène gazeux. Pourtant, dans les mêmes conditions de température et de pression, une mole d'hélium occupe le même volume qu'une mole de dihydrogène. »

Expliquer cette affirmation.

3 Masses molaires



10 min

Corrigé
p. 265

Lycée Albert Sorel, Honfleur

Calculer la masse molaire des corps composés suivants :

- 1 Le dioxyde de carbone CO_2 .
- 2 Le trioxyde soufre SO_3 .
- 3 Le glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

Données : $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$
 $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(\text{S}) = 32,1 \text{ g.mol}^{-1}$

4 Solution de diiode



10 min

Corrigé
p. 265

Lycée Sainte-Anne, Brest

On mélange une solution de diiode de concentration $C = 0,50 \text{ mol.L}^{-1}$ et de volume $V = 100 \text{ mL}$ et une solution de diiode de concentration $C' = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ et de volume $V' = 500 \text{ mL}$.
Quelle est la concentration de la solution obtenue ?

5 Paracétamol



10 min

Corrigé
p. 265

Lycée Paul Langevin, Suresnes

On introduit le contenu d'un sachet de masse $m = 500 \text{ mg}$ de paracétamol dans un verre contenant $V = 150 \text{ mL}$ d'eau.

- 1 Quelle est la concentration massique C_m de la solution aqueuse de paracétamol obtenue après agitation ? On suppose que le mélange se fait sans variation de volume.
- 2 Quelle est la concentration molaire correspondante ?
- 3 S'agit-il d'une dilution ou d'une dissolution ?

Données : $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$
 $M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(\text{N}) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$
 • Formule brute du paracétamol : $\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$.

6 Dichlorométhane



10 min

Corrigé
p. 266

Lycée Alexandre Dumas, Saint Cloud

Le dichlorométhane, de formule brute CH_2Cl_2 est un solvant non miscible à l'eau, souvent utilisé en chromatographie.

- 1 La masse d'un volume $V = 25,0 \text{ mL}$ de dichlorométhane est $m = 33,3 \text{ g}$. Déterminer la densité du dichlorométhane.
- 2 On souhaite isoler une masse $m' = 55,0 \text{ g}$ de dichlorométhane. On ne dispose pas d'une balance, mais d'une éprouvette graduée. Quel volume de solvant doit-on mesurer ?

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

7 Molécule de nicotine



10 min

Corrigé
p. 266

Lycée Henri IV, Paris

La molécule de nicotine a pour formule brute $C_{10}H_{14}N_2$.

- 1 Quelle est la masse molaire moléculaire de la nicotine ?
- 2 Une cigarette contient $m = 12$ mg de nicotine. Le fumeur en absorbe le quart. Combien de molécules de nicotine passent dans son organisme ?

Données :

- $M(C) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$
- $M(H) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$
- $M(N) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

8 Tétrachlorométhane



10 min

Corrigé
p. 266

Lycée Charlemagne, Paris

On considère un volume $V = 100 \text{ mL}$ de tétrachlorométhane CCl_4 liquide.

- 1 Quelle quantité de matière en tétrachlorométhane cela représente-t-il ?
- 2 Quel est le nombre d'atomes de chlore correspondant ?

Données :

- La densité du tétrachlorométhane est $d = 1,60$.
- La constante d'Avogadro est : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
- Masse molaire atomique du carbone : $M(C) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$.
- Masse molaire atomique du chlore : $M(Cl) = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$.

9 Mélange de deux gaz



10 min

Corrigé
p. 267

Lycée Montalembert, Nogent-sur-Marne

On considère $m_{O_2} = 100$ grammes de dioxygène et $m_{CO_2} = 100$ grammes de dioxyde de carbone.

- 1 Calculer les masses molaires moléculaires de chacun de ces deux gaz.
- 2 On les mélange à l'intérieur d'une enceinte. Dans cette enceinte, quelle est la quantité de matière :
 - (a) en atomes de carbone ?
 - (b) en atomes d'oxygène ?

Données :

- $M(C) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$
- $M(O) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$

10 Préparation d'une solution sucrée



15 min

Corrigé
p. 268

Lycée Claude Bernard Paris

- 1 Donner une relation liant la concentration en quantité de matière C d'une solution, son volume V et la quantité de matière n .

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 2** On réalise un volume $V = 2,0 \text{ L}$ de solution en dissolvant $m = 20 \text{ g}$ de sucre dont la masse molaire est $M = 342,3 \text{ g.mol}^{-1}$.
- Calculer la concentration en masse C_m de la solution.
 - Calculer la quantité de matière n introduite.
 - Calculer la concentration en quantité de matière C de la solution.
- 3** On considère la solution précédente comme étant la solution mère de concentration en quantité de matière C_0 et de volume V_0 et une solution fille, obtenue par dilution de la solution mère de concentration C_1 et de volume V_1 .
- Donner la relation reliant C_0 , V_0 , C_1 et V_1 .
- 4** On cherche à préparer 1 L de solution fille de concentration $C_1 = 2,9 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.
- Calculer le volume de solution mère à prélever.

11 Identifier une molécule



5 min

Corrigé
p. 268

Lycée International Stendhal, Grenoble

Une molécule a pour masse molaire 44 g.mol^{-1} . Quelle est sa formule brute sachant qu'elle est composée d'atomes d'hydrogène et de trois atomes de carbone ?

Données : • $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$ • $M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$

12 Vapeur d'eau



10 min

Corrigé
p. 268

Lycée Talensac, Nantes

On considère de la vapeur d'eau à 100°C et à la pression atmosphérique (dans ces conditions, une mole de molécules d'eau occupe un volume $V = 30,6 \text{ L}$). Quel volume d'eau liquide obtient-on si on condense $61,2 \text{ L}$ de cette vapeur d'eau ?

Données : • $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$ • $M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$

13 Préparation d'une solution



10 min

Corrigé
p. 269

Lycée Jules Ferry, Paris

On désire préparer $V = 100 \text{ mL}$ d'une solution de sulfate de cuivre de concentration $c = 0,100 \text{ mol.L}^{-1}$.

- Quelle masse de sulfate de cuivre pentahydraté $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ doit-on peser ?
- Quelle serait la masse de sulfate de cuivre anhydre qu'il faudrait peser pour réaliser la même solution ?

Données : • $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g.mol}^{-1}$ • $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$
• $M(\text{S}) = 32,1 \text{ g.mol}^{-1}$ • $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

14 Molécule inconnue



15 min

Corrigé
p. 269

Lycée Saint-Louis, Paris

On considère une molécule dont la masse molaire est $45,0 \text{ g.mol}^{-1}$. Son atomicité (nombre total d'atomes dans la molécule) est égal à 10.

- 1 Quelle est sa formule brute, sachant qu'elle ne contient que des atomes de carbone, d'azote et d'hydrogène ?
- 2 Proposer deux formules semi-développées possibles pour cette molécule.

Données : $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(\text{N}) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$
 $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$

On rappelle que le carbone est tétravalent, l'azote trivalent et l'hydrogène monovalent.

15 Plus léger que l'air



15 min

Corrigé
p. 270

Lycée Marie Curie, Sceaux

Dans les conditions ordinaires (17 degrés Celsius et 1,013 bar) le volume molaire de n'importe quel gaz vaut $V_M = 23,8 \text{ L.mol}^{-1}$.

- 1 Pour les gaz suivants : H_2 , CO_2 , O_2 , N_2 , He
 - (a) Calculer la masse molaire.
 - (b) Calculer la densité par rapport à l'eau.
- 2 Sachant que, dans les mêmes conditions la densité de l'air est $d_{\text{air}} = 1,2 \times 10^{-3}$, en déduire quels sont les gaz utilisables pour gonfler un dirigeable. Justifier la réponse.

Données : $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(\text{He}) = 4,0 \text{ g.mol}^{-1}$
 $M(\text{N}) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$
 $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$

16 Mélange de deux solutions



15 min

Corrigé
p. 271

Lycée Charles Péguy, Gorges

On considère un volume V_1 d'une solution aqueuse d'une espèce moléculaire X de concentration C_1 , et un volume V_2 d'une solution aqueuse de l'espèce moléculaire X de concentration C_2 ($C_2 > C_1$). On mélange entre elles les deux solutions.

- 1 Montrer que la concentration C de la solution obtenue est comprise entre C_1 et C_2 (on admettra que le volume V du mélange est donné par $V = V_1 + V_2$).
- 2 En déduire que si on mélange deux solutions de diode de teintes différentes, alors la solution obtenue a une teinte intermédiaire entre les deux teintes de départ (c'est-à-dire qu'elle ne peut pas être plus claire que la solution initiale la plus claire, ni plus foncée que la solution initiale la plus foncée).

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

17 Quantités de matière



20 min

Corrigé
p. 272

Institut de la Tour, Paris

- 1 Quelles quantités de matière y a-t-il dans :
 - (a) 36 grammes d'eau ?
 - (b) 48 grammes de carbone ?
 - (c) 31 grammes de plomb ?
- 2 Quelles quantités de matière y a-t-il dans $5,0 \text{ cm}^3$:
 - (a) d'eau
 - (b) d'ammoniac liquide NH_3 à $-33,4^\circ\text{C}$ (densité 0,68).
 - (c) de benzène C_6H_6 (densité 0,88).

Données : • $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$ • $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$
 • $M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$ • $M(\text{N}) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$
 • $M(\text{Pb}) = 207 \text{ g.mol}^{-1}$

18 Dissolution, dilution et homéopathie



20 min

Corrigé
p. 273

Lycée Corneille, La Cote Saint-Cloud

On s'intéresse dans cet exercice à la dissolution et à la dilution de l'aspirine.

- 1 L'aspirine a pour formule brute $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$.
 - (a) Calculer la masse molaire moléculaire de l'aspirine M_{aspirine} .
 - (b) Calculer la quantité de matière d'aspirine dans un comprimé contenant $m = 500 \text{ mg}$ d'aspirine.
- 2 On dissout ce comprimé dans 100 mL d'eau. On obtient une solution (S). On dilue dix fois cette solution (S) (facteur de dilution 10) pour obtenir 100 mL d'une solution diluée (D).
 - (a) Donner le protocole de la *dissolution* du comprimé au laboratoire en nommant la verrerie d'après vos connaissances. Préciser le volume de la verrerie si nécessaire.
 - (b) Donner le protocole de la *dilution* au laboratoire en nommant la verrerie. Préciser les volumes de chaque instrument utilisé.
 - (c) Calculer la concentration *massique* d'aspirine dans la solution (S).
 - (d) Calculer la concentration *molaire* dans la solution (D).
- 3 Une solution homéopathique d'aspirine à 15CH notée (H) est supposée avoir une concentration $10^{-30} \text{ mol.L}^{-1}$.
 - (a) Dans quel volume V_{eau} faudrait-il diluer $V' = 1 \text{ mL}$ de la solution (D) pour obtenir la solution (S) ?
 - (b) Déterminer la quantité de matière puis le nombre de molécules d'aspirine dans 1 L de solution homéopathique à 15CH. Interpréter le résultat : peut-on diluer indéfiniment une solution ?

Données : • $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$ • $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$
 • $M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$ • $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

19 Élaboration d'une solution



25 min

Corrigé
p. 275

Lycée Clémenceau, Nantes

On dissout une masse $m = 31,0$ g de cristaux de diiode hydratés dans 1,00 L d'eau distillée. On obtient une solution de concentration $1,00 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$. Les cristaux sont hydratés car chaque molécule de diiode est entourée d'un certain nombre n de molécules d'eau H_2O : le corps dissous a pour formule brute $\text{I}_{2,n}(\text{H}_2\text{O})$.

- 1 Déterminer la quantité de matière en diiode hydraté que l'on a introduit dans la solution.
- 2 En déduire la masse molaire du diiode hydraté.
- 3 Déterminer la valeur de n .

Données : • $M(\text{I}) = 127$ • $M(\text{H}) = 1$ • $M(\text{O}) = 16$

Réaction chimique et avancement

20 Réaction à base d'ion dichromate



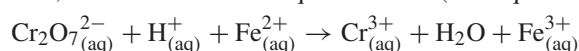
10 min

Corrigé
p. 275

Lycée Lacordaire, Marseille

L'ion dichromate $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$, de couleur jaune orangée, peut se transformer en ion chrome III $\text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})}$, de couleur verte.

Quand on verse une solution acidifiée (présence d'ions $\text{H}^+_{(\text{aq})}$) de sulfate de fer II ($\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$) en excès dans une solution de dichromate de potassium ($2 \text{K}^+_{(\text{aq})} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$), on observe un changement de couleur de la solution initiale, lié à une réaction d'équation-bilan (non équilibrée) :



- 1 Déduire le changement de couleur de la solution.
- 2 Équilibrer l'équation-bilan de la réaction qui se produit.

21 Chlorate de Potassium



15 min

Corrigé
p. 276

Lycée Saint Thomas D'Aquin, Paris

Le chlorate de potassium KClO_3 est une poudre utilisée dans les feux d'artifice pour obtenir des étincelles violettes. Sa réaction avec du carbone donne du dioxyde de carbone gazeux et du chlorure de potassium (KCl) solide.

- 1 Écrire l'équation chimique de la réaction.
- 2 On réalise la transformation chimique à partir de 25 g de KClO_3 et de 40 g de carbone solide.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- Calculer les quantités de matière initiales des réactifs.
- Construire le tableau d'avancement de la réaction.
- Déterminer l'avancement maximal de la réaction.
- En déduire le réactif limitant de cette réaction.
- Indiquer les quantités de matière de chaque espèce à l'état final.
- Calculer les masses des produits obtenus.

Données :

- $M_K = 39,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $M_O = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $M_{Cl} = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $M_C = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

22 Transformation cuivre-argent



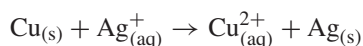
30 min

Corrigé
p. 277

Lycée Guy de Maupassant, Colombes

On plonge un morceau de cuivre, de masse $m_1 = 63,5 \text{ g}$ dans $V = 250 \text{ mL}$ d'une solution incolore de nitrate d'argent ($\text{Ag}_{(\text{aq})}^+ + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$), de concentration $C = 9,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

- Équilibrer l'équation-bilan de la réaction :



- Expliquer la coloration progressive de la solution.
- Présenter le tableau d'avancement de la réaction.
- Pour un avancement x de la réaction, la masse d'argent obtenue vaut $m = 7,0 \text{ g}$.

En vous référant au tableau d'avancement, calculer x et en déduire les concentrations en ions Cu^{2+} et Ag^+ , ainsi que la masse de métal cuivre restante.

Données : $M_{\text{Ag}} = 108 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M_{\text{Cu}} = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Spectrophotométrie

23 Loi de Beer-Lambert



5 min

Corrigé
p. 278

Lycée Victor Hugo, Colomiers

Pour doser par spectrophotométrie une solution jaune de dichromate de potassium, on a placé cinq solutions de concentrations C différentes. La mesure de leur absorbance A , pour une longueur d'onde de 400 nm , donne les résultats suivants :

$C \text{ (mmol} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
A	0,31	0,59	0,9	1,24	1,48

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

- 1 Tracer la courbe d'étalonnage $A = f(C)$.
- 2 La loi de Beer-Lambert s'écrit : $A = \varepsilon \ell C$, où A est l'absorbance de la solution, ℓ est la longueur de la cuve en cm, C est la concentration de la solution en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et ε un coefficient restant constant tout au long de l'expérience (en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$). Cette loi est-elle vérifiée ? Justifier la réponse.
- 3 Une solution de dichromate de potassium de concentration inconnue C' a, dans les mêmes conditions de mesure, une absorbance $A' = 1,12$. En déduire, en détaillant la réponse, la valeur de la concentration C' de la solution.

24 Dilution d'une solution de diiode



15 min

Corrigé
p. 279

Lycée Van Gogh, Ermont

On dispose d'une solution décimolaire de diiode I_2 , à partir de laquelle on désire préparer $V_1 = 100 \text{ mL}$ de solution de concentration $C_1 = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

- 1 Après justification, calculer le volume V_0 de solution mère à prélever.
- 2 Par dilutions successives, on prépare des solutions dont les concentrations sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Pour chacune de ces solutions, on a mesuré l'absorbance A qui caractérise sa capacité à absorber la lumière (A est une grandeur sans dimension).

$C \text{ (mmol} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}$	0	1,0	2,0	5,0	10	15
A	0	0,10	0,25	0,60	1,1	1,7

- (a) Tracer le graphe $A = f(C)$; le choix d'échelle simple est laissé à l'initiative de l'élève.
- (b) En déduire précisément la relation entre A et C .
- (c) Pour une solution de concentration inconnue, on a mesuré une absorbance $A = 0,8$. En déduire la valeur de la concentration de cette solution.

25 Eau de Dakin



10 min

Corrigé
p. 280

Lycée Alexandre Dumas, Saint-Cloud

L'eau de Dakin est un antiseptique utilisé pour le lavage des plaies et des muqueuses. Le principe actif est le permanganate de potassium KMnO_4 , qui donne également sa couleur à la solution.

On prépare 100 mL d'une solution aqueuse contenant 158 mg de permanganate de potassium. Le spectre d'absorption est donné ci-dessous.

- 1 Calculer la concentration molaire de cette solution.

COURS

INTERROS

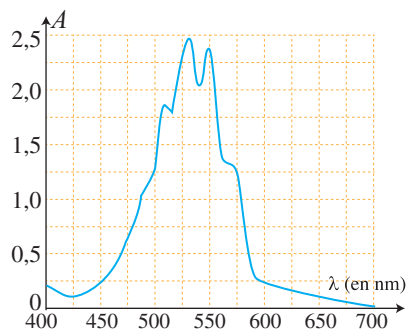
CORRIGÉS

INTERROS

- 2 Quelle est la couleur du permanganate de potassium ? Justifiez en vous servant des principes de synthèse soustractive.
- 3 Après avoir rappelé la loi de Beer-Lambert, déterminer le coefficient k (en $L \cdot mol^{-1}$), pour une longueur d'onde de $\lambda = 530$ nm.

Données :

- $M_K = 39,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $M_{Mn} = 54,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $M_O = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$



26 Suivi de réaction



10 min

Corrigé
p. 281

Lycée Saint-Exupéry, Lyon

On considère la réaction dont l'équation-bilan est la suivante :



À $t = 0$, on a les quantités de matière suivantes :

$$n_{\text{BrO}_3^-} = 2,0 \text{ mol} \quad , \quad n_{\text{Br}^-} = 12 \text{ mol} \quad , \quad n_{\text{H}^+} = 12 \text{ mol}.$$

Effectuer un bilan de matière aux instants $t = 0$, $t_f \rightarrow +\infty$ et $t = t_{1/2}$ (qui correspond à l'instant où $x = \frac{x_{\max}}{2}$).

On justifiera les calculs à l'aide d'un tableau d'avancement.

27 Solution d'hélianthine



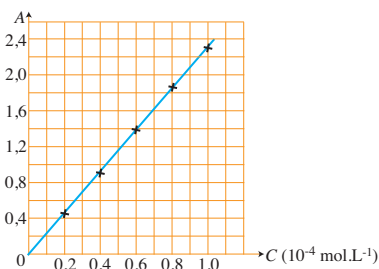
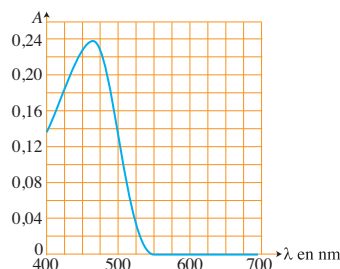
15 min

Corrigé
p. 281

Lycée Charlemagne, Paris

L'hélianthine est un indicateur coloré, c'est-à-dire une espèce chimique dont la couleur en solution aqueuse dépend du pH de celle-ci. Ainsi, pour $\text{pH} < 3,1$ l'hélianthine est rouge et pour $\text{pH} > 4,4$ elle est jaune. L'hélianthine est orange entre ces deux valeurs.

- 1 La courbe spectrale d'une solution d'hélianthine de $\text{pH} = 5,5$, placée dans une cuve de $1,0 \text{ cm}$ est donnée sur la figure ci-dessous.



DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

À quelle longueur d'onde est-il judicieux de tracer une courbe d'étalonnage ? Justifier la réponse.

2 À quelle couleur correspond $\lambda_{\max}$? Est-ce cohérent avec les données de l'énoncé ?

3 La courbe d'étalonnage ci-dessus $A = f(C)$ a été réalisée pour $\lambda = \lambda_{\max}$ avec des solutions d'hélianthine diluées réalisées à partir d'une solution mère de concentration $C_m = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Mesurée dans les mêmes conditions, l'absorbance d'une solution d'hélianthine de concentration inconnue C vaut $A = 1,51$. Déterminer graphiquement C .

4 Confirmer par le calcul la valeur numérique trouvée précédemment pour C .

28 Bleu de méthylène



20 min

Corrigé
p. 282

Lycée Charlemagne, Paris

1 Énoncer la loi de Beer-Lambert. Donner une définition simple de l'absorbance.

2 À partir d'une solution mère bleu-vert de bleu de méthylène, on prépare une échelle de teintes, puis on mesure au spectrophotomètre l'absorbance de chacune des solutions filles. On obtient le tableau de mesures de la page suivante.

Concentrations massiques ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Absorbance	0,053	0,128	0,243	0,388	0,491	0,648

Construire le graphe donnant l'absorbance en fonction de la concentration. Déterminer l'équation de ce graphe.

3 Pour ces mesures, le spectrophotomètre a été réglé à 650 nm. En expliquant le lien avec la couleur de la solution de bleu de méthylène, prévoir à quelle couleur correspond cette longueur d'onde.

4 Une solution pharmaceutique destinée à soigner une infection des yeux contient du bleu de méthylène. L'absorbance de la solution diluée 100 fois vaut 0,314. Quelle est la concentration de la solution pharmaceutique ?

29 Teneur en ion Fer d'un médicament



30 min

Corrigé
p. 283

Lycée Notre-Dame du Grandchamp, Versailles

1 On souhaite vérifier la teneur en ions fer (II) d'un médicament en comprimés. La notice indique la composition d'un comprimé : « 80 mg d'ions Fe^{2+} ».

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

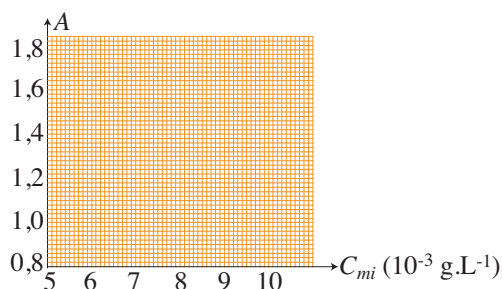
À partir d'une solution mère S d'ion $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$, de concentration massique $C_m = 20,0 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, on prépare cinq solutions filles de 50,0 mL diluées avec de l'eau distillée.

Les volumes V_i de solution S diluée sont indiqués dans le tableau ci-dessous. On mesure ensuite l'absorbance A de chaque solution obtenue :

Solution	1	2	3	4	5	6
V_i (en mL)	25,0	22,5	20,0	17,5	15,0	12,5
A	1,80	1,60	1,45	1,25	1,05	0,90

- Calculer la concentration massique C_{m1} en ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ de la solution 1. Faire de même pour les autres solutions en mettant les valeurs obtenues dans un tableau.
- Compléter le graphique page suivante représentant l'absorbance A en fonction de la concentration massique C_{mi} .

Donner la relation numérique entre ces deux grandeurs, en précisant les unités.



- On introduit un comprimé dans une fiole jaugée de 1,00 L puis on complète avec de l'eau distillée et on homogénéise. On note S_0 la solution obtenue. On réalise ensuite un mélange contenant 5,00 mL de solution S_0 et on mesure son absorbance A :

Volume de la solution S_0	5,00 mL
Volume total	50,0 mL
Absorbance	1,35

- En utilisant le graphe ou la relation établie à la question 1.(b), déterminer la concentration massique C'_m en ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ dans le mélange.
- En déduire la valeur C''_m de la concentration massique en ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ dans la solution S_0 .
- Calculer la masse d'ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ contenue dans un comprimé et préciser l'écart relatif :

$$\frac{\text{valeur indiquée} - \text{valeur expérimentale}}{\text{valeur indiquée}}$$

entre le résultat expérimental et l'indication du fabricant.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

30 Dosage spectrophotométrique



35 min

Corrigé
p. 285

Lycée Janson de Sailly, Paris

Un chimiste désire doser deux espèces X et Y dans une solution, en utilisant un spectrophotomètre. Le spectre d'absorption de ces deux espèces est présenté sur la figure 8.1 ci-dessous.

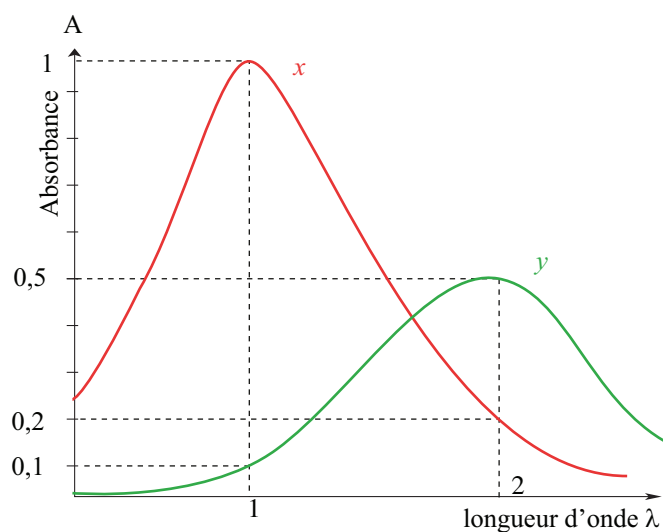


Figure 8.1 – Spectre d'absorption de ces deux espèces.

Le chimiste commence par procéder à l'étalonnage du spectrophotomètre à la longueur d'onde λ_1 , à l'aide de solutions d'espèce X de concentration connue. Il obtient les données de la figure 8.2 ci-dessous.

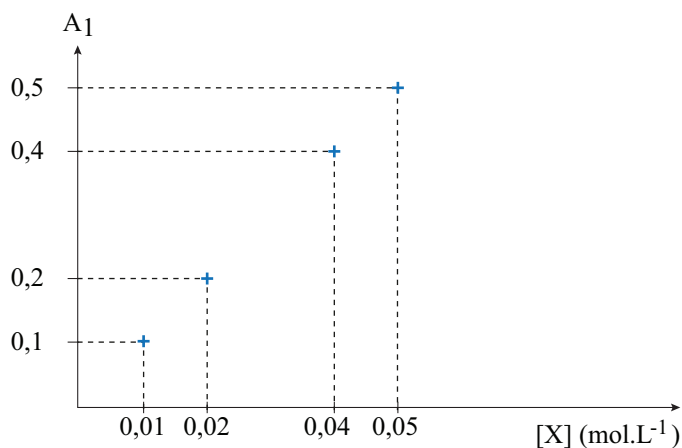


Figure 8.2 – Résultats de l'étalonnage.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 1 Quelle loi ces données de calibration illustrent-elles ?
- 2 Montrer que l'on peut écrire la relation suivante entre l'absorbance A_1 et la concentration de l'espèce X :

$$A_1 = k_{x,1}[X].$$

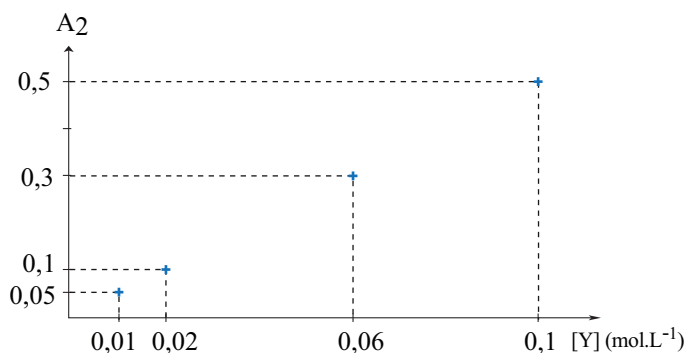
Déterminer la valeur de $k_{x,1}$ et préciser son unité.

- 3 Si le chimiste avait décidé, pour étudier l'espèce X, de régler le spectrophotomètre sur la longueur d'onde λ_2 , on aurait obtenu une autre loi du type :

$$A_2 = k_{x,2}[X],$$

où A_2 désigne l'absorbance à la longueur d'onde λ_2 . En s'aidant du spectre de l'espèce X, déterminer la valeur de $k_{2,x}$.

- 4 Le chimiste étudie une solution de concentration inconnue contenant exclusivement l'espèce X. Il mesure une absorbance $A_1 = 0.38$. Quelle est sa concentration ?
- 5 Le chimiste étudie à présent l'espèce Y, et étalonne pour ce faire son spectrophotomètre à la longueur d'onde λ_2 . Il obtient les données de calibration représentées ci-après.



Montrer que ces résultats peuvent s'écrire sous la forme

$$A_2 = k_{2,y}[Y]$$

et donner la valeur et l'unité de la constante $k_{2,y}$.

- 6 Le chimiste étudie pour terminer une solution contenant simultanément les espèces X et Y. À la longueur d'onde λ_1 il mesure une absorbance $A_1 = 0,26$ et à la longueur d'onde λ_2 il mesure une absorbance $A_2 = 0,34$. À la longueur d'onde λ_2 , une partie des photons est absorbée par l'espèce X, et une autre partie par l'espèce Y. On admettra que l'absorbance est alors donnée par :

$$A_2 = k_{2,x}[X] + k_{2,y}[Y],$$

c'est-à-dire qu'elle est la somme des absorbances que l'on obtiendrait si les espèces X et Y étaient considérées séparément.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

- (a) Écrire une relation similaire pour l'absorbance A_1 à la longueur d'onde λ_1 et donner la valeur numérique des constantes qui y figurent.
- (b) Déterminer les concentrations $[X]$ et $[Y]$ des deux espèces en solution. On montrera que ces deux concentrations sont solution d'un système de deux équations linéaires à deux inconnues, que l'on résoudra.
- (c) Comment se comparent ces solutions précises aux solutions approchées que l'on aurait obtenues en supposant que seule l'espèce X absorbe à la longueur d'onde λ_1 et seule l'espèce Y absorbe à la longueur d'onde λ_2 ?

Oxydo-réduction

31 Réactions d'oxydo-réduction



10 min

Corrigé
p. 287

Lycée Janson de Sailly, Paris

- 1 Pour chaque demi-équation, écrire le couple oxydant/réducteur correspondant :
 - (a) $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e}^- = 2\text{SO}_4^{2-}$
 - (b) $2\text{I}^- = \text{I}_2 + 2\text{e}^-$
 - (c) $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+ = \text{HSO}_4^-$
- 2 Écrire les demi-équations correspondant aux couples redox suivants :
 - (a) $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$
 - (b) Cl_2/Cl^-
- 3 (a) Écrire la demi-équation du couple oxydant/réducteur I_2/I^- .
 (b) En déduire l'équation de la réaction entre les ions Fe^{3+} et les ions I^- .

32 Réactions d'oxydo-réduction

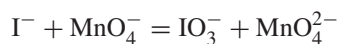


20 min

Corrigé
p. 288

Lycée Janson de Sailly, Paris

- 1 Établir l'équation d'oxydo-réduction relative à l'oxydation des ions chlorure par les ions dichromate, en milieu acide (les couples oxydant/réducteur mis en jeu sont $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$ et Cl_2/Cl^-).
- 2 En utilisant les demi-équations électroniques, compléter l'équation de la réaction d'oxydo-réduction :



qui se produit en milieu basique.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

33 Avancement maximal et final



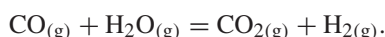
15 min

Corrigé
p. 289

Lycée Lakanal, Sceaux

On s'intéresse à la réaction entre le monoxyde de carbone et l'eau en phases gazeuses. La réaction a lieu dans une enceinte de volume V constant à une température de 1100 K.

L'équation de la réaction est :



- 1 Indiquer les couples oxydant/réducteur qui entrent en jeu.
- 2 On introduit dans le réacteur 2,50 mol de CO et 3,20 mol d'eau. Calculer l'avancement maximal de la réaction.
- 3 Au bout d'un certain temps, on constate que la composition du système n'évolue plus et qu'il reste 2,02 mol d'eau dans l'enceinte.
 - (a) Calculer l'avancement final de la réaction ainsi que la composition du mélange dans l'état final.
 - (b) Que peut-on en conclure en comparant l'avancement final et l'avancement maximal ?

34 Réactions d'oxydo-réduction



20 min

Corrigé
p. 290

Lycée Jeanne d'Albret, Saint-Germain-en-Laye



Retrouvez le corrigé de cet exercice en vidéo.

On introduit une masse $m_1 = 0,27$ g de grenaille d'aluminium dans un volume $V_2 = 24,0$ mL de solution d'acide chlorhydrique ($\text{H}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)}$), de concentration $c_2 = 1,00$ mol $\cdot$ L $^{-1}$. Il se forme des ions aluminium (III) et du dihydrogène.

- 1
 - (a) Quels sont les réactifs ? Quels sont les produits ?
 - (b) Écrire les couples mis en jeu.
 - (c) Écrire les demi-équations correspondantes.
 - (d) Écrire l'équation chimique de la réaction qui s'est produite.
- 2 Déterminer la composition finale, en quantité de matière, du système considéré.

Donnée : masse molaire de l'aluminium : $M_{\text{Al}} = 27,0$ g $\cdot$ mol $^{-1}$.

35 Réactions d'oxydation



20 min

Corrigé
p. 291

Lycée Jacques Monod, Clamart

On dispose d'une solution de chlorure d'étain (II), $\text{Sn}^{2+} + 2 \text{Cl}^-$, que l'on répartit dans trois béchers.

Dans le premier, on ajoute quelques gouttes d'une solution d'hydroxyde de sodium ; un précipité blanc se forme.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

Dans le deuxième, on plonge une lame de fer ; un dépôt noir apparaît progressivement.

Dans le troisième, on ajoute de la limaille de fer et on agite. Après quelques minutes, on cesse d'agiter et on ajoute quelques gouttes de la solution d'hydroxyde de sodium ; un précipité vert se forme.

Dans un quatrième bécher, qui contient une solution de chlorure de fer (II), $\text{Fe}^{2+} + 2\text{Cl}^-$, on ajoute quelques gouttes d'une solution d'hydroxyde de sodium ; un précipité vert se forme.

- 1 Les ions chlorure n'interviennent pas. Quelle conclusion peut-on tirer de la première et de la quatrième expérience ? Écrire les équations des réactions.
- 2 Quelle est la nature du dépôt noir observé dans la deuxième expérience ? Quels sont les ions caractérisés à la fin de la troisième expérience ? En déduire ce qui se passe lorsque la limaille de fer est ajoutée à la solution de chlorure d'étain (II). Écrire l'équation de la réaction correspondante.
- 3 Quel est le rôle joué par les ions étain (II) dans cette réaction ? Sont-ils oxydés ou réduits ? Donner le couple oxydant/réducteur mis en jeu et la demi-équation correspondante.

36 Réactions d'oxydo-réduction



30 min

Corrigé
p. 292

Lycée Fermat, Toulouse

On considère le couple $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} / \text{Cr}^{3+}$, dans lequel l'ion dichromate $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$ est de couleur orangée et l'ion chrome (III) $\text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})}$ de couleur verte.

- 1 Écrire la demi-équation de ce couple.
- 2 Les ions dichromate réagissent avec les ions fer (II) en les oxydant en ions fer (III). Écrire l'équation de la réaction.
- 3 On verse 7,0 mL de la solution de dichromate de potassium, de concentration $0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, dans 50 mL d'une solution de sulfate de fer (II), de concentration $1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. La solution prend une couleur verte.
 - (a) Quelle conclusion peut-on en tirer ?
 - (b) Construire le tableau d'avancement de la réaction.
 - (c) Dans les conditions expérimentales proposées, les ions fer (II) sont-ils tous transformés ?
 - (d) Calculer les concentrations des ions présents dans la solution en fin de réaction.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

37 Titrage d'eau oxygénée



20 min

Corrigé
p. 295

Lycée Lakanal, Sceaux

Dans un bécher, on introduit 5,0 mL d'une solution d'eau oxygénée, de l'acide sulfurique à $2,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, de l'eau distillée. Le volume de la solution obtenue est 10 mL.

On réalise un dosage avec une solution de permanganate de potassium de concentration $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. L'équivalence est obtenue lorsqu'on a versé 15,2 mL de solution.

Les couples oxydant-réducteur pouvant intervenir sont :

- le couple eau oxygénée H_2O_2 / eau H_2O
- le couple dioxygène O_2 / eau oxygénée H_2O_2
- le couple ion permanganate MnO_4^- / ion manganèse Mn^{2+}

L'acide sulfurique H_2SO_4 est un diacide : une molécule libère deux ions H^+ .

- 1 Écrire les demi-équations d'oxydoréduction correspondant aux couples précédents.
- 2 Écrire l'équation-bilan de la réaction de dosage, qui correspond à la réaction entre l'eau oxygénée et les ions permanganate en milieu acide. Comment décèle-t-on l'équivalence ?
- 3 Calculer le volume minimal de solution d'acide sulfurique à introduire dans le bécher.
- 4 Calculer la concentration de l'eau oxygénée.
- 5 Écrire l'équation-bilan de la décomposition (dismutation) de l'eau oxygénée.
- 6 Donner le titre de la solution en « volumes », c'est-à-dire le volume de dioxygène (en litres) dégagé par la décomposition d'un litre de solution dans les conditions normales de température et de pression (CNTP, $V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$).

38 Spectrophotométrie

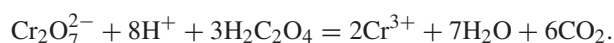


25 min

Corrigé
p. 296

Lycée Jean Rostand, Villepinte

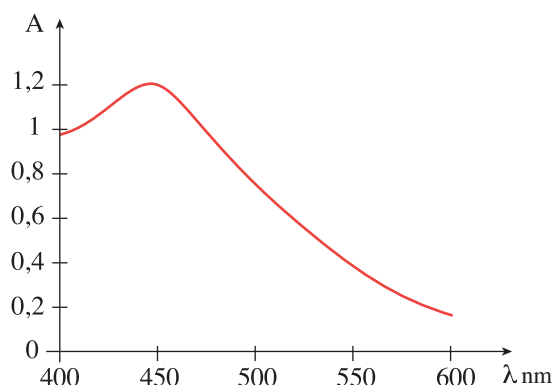
- 1 L'ion dichromate $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ appartient au couple oxydant/réducteur $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$. L'acide oxalique appartient au couple $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$. L'ion dichromate et l'acide oxalique réagissent ensemble selon la réaction suivante :



Écrire les demi équations associées aux couples et retrouver l'équation bilan.

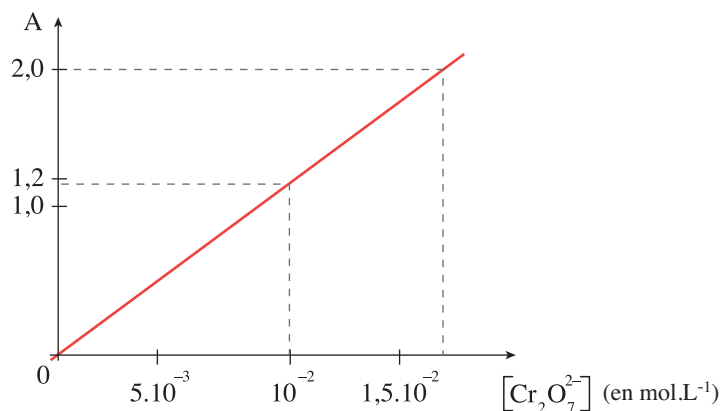
DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

- 2 Pour suivre la transformation, on décide d'utiliser une méthode spectrophotométrique. Pour cela on commence par tracer la courbe $A = f(\lambda)$ pour une solution de dichromate de potassium.



À quelle longueur d'onde faut-il se placer pour déterminer le plus précisément la concentration des ions dichromate ? Justifier la réponse.

- 3 Le spectrophotomètre, relié à l'ordinateur, permet d'obtenir la courbe $A = f(t)$. On dispose par ailleurs de la représentation graphique, donnée ci-dessous, de $A = f([\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}])$.



- (a) Justifier l'utilité de cette représentation graphique.
(b) Déterminer son équation. Avec quelle loi est-elle en accord ?

- 4 À la date $t = 0$ on réalise le mélange suivant :
- $V_1 = 10$ mL d'une solution S_1 d'acide oxalique de concentration $C_1 = 0,40$ mol.L⁻¹.
 - $V_2 = 10$ mL d'une solution S_2 acidifiée de dichromate de potassium de concentration $C_2 = 2,0 \cdot 10^{-2}$ mol.L⁻¹.

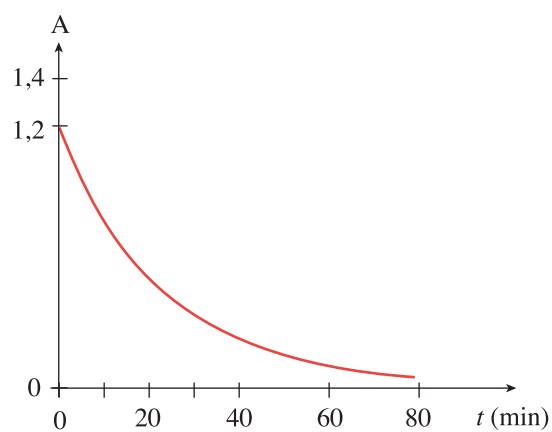
COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

On agite, et très rapidement on place une partie du mélange dans une cuve que l'on place dans le spectrophotomètre. On relève $A = f(t)$, donnée page suivante.



- (a) Dresser le tableau d'évolution du système réactionnel.
- (b) Trouver la relation entre la quantité de matière initiale de dichromate, l'avancement et l'absorbance.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

1 QCM Testez vos connaissances

Énoncé
p. 242

- 1 Lorsqu'une cuve de longueur ℓ contient une solution de concentration C absorbant de la lumière à la longueur d'onde λ , la loi de Beer-Lambert indique que l'absorbance vaut :

$$A = \varepsilon \ell C$$

ce qui montre que A est proportionnelle à C (réponse **c**).

- 2 Lorsqu'une solution (d'absorbance A_{solution}) contient une espèce colorée (d'absorbance $A_{\text{espèce}}$) et d'autres espèces non colorées (d'absorbance A_{autres}), son absorbance vaut :

$$\begin{aligned} A_{\text{solution}} &= A_{\text{espèce}} + A_{\text{autres}} \\ \Rightarrow A_{\text{espèce}} &= A_{\text{solution}} - A_{\text{autres}} \end{aligned}$$

Cette relation montre que pour connaître l'absorbance d'une espèce colorée présente dans une solution, il faut mesurer l'absorbance de la solution (introduite dans une cuve) et mesurer aussi l'absorbance des autres espèces non colorées (introduites dans une autre cuve); cette dernière opération est appelée « faire le blanc » (réponse **a**).

- 3 La relation entre la transmittance T et l'absorbance A d'une solution s'écrit :

$$T = 10^{-A} \text{ (réponse c).}$$

- 4 La relation précédente montre que l'absorbance n'est pas l'inverse de la transmittance (sans quoi on écrirait : $A = \frac{1}{T}$).

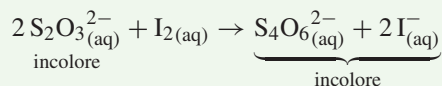
Une solution d'absorbance 0,07 présente une transmittance :

$$T = 10^{-0,07} = 0,85 = 85\% \text{ (réponse b)}$$

tandis qu'une solution d'absorbance 0,85 a une transmittance :

$$T = 10^{-0,85} = 0,14 \neq 7\%.$$

- 5 L'empois d'amidon forme avec $I_{2(aq)}$ un composé bleu qui est alors la seule espèce colorée du milieu réactionnel, dans lequel se déroule la réaction du dosage, d'équation-bilan :



Deux cas peuvent alors se présenter :

- avant l'équivalence, la quantité de $S_2O_3^{2-}_{(aq)}$ introduite dans le milieu n'est pas suffisante pour consommer la totalité de $I_{2(aq)}$; le diiode restant forme avec l'empois d'amidon un composé bleu ;
- à partir de l'équivalence, $S_2O_3^{2-}$ est introduit en excès : $I_{2(aq)}$ ayant disparu du milieu réactionnel, celui-ci devient incolore.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Par conséquent, l'introduction de l'empois d'amidon facilite le repérage de l'équivalence (réponse **[c]**) : à l'équivalence, la solution devient incolore.

6 Soit x l'avancement de la réaction :

	$2 \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 3 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{aq}) + 16 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow 11 \text{H}_2\text{O}(\text{liq}) + 4 \text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$			
$x = 0$	n_1	n_2	0	0
$x \neq 0$	$n_1 - 2x$	$n_2 - 3x$	$4x$	$3x$

Lorsque les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques, si la réaction est totale, l'avancement x prend une valeur finale x_f qui assure la disparition simultanée des réactifs, ce qui se traduit alors par :

$$n_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}} = n_1 - 2x_f = 0 \Rightarrow 2x_f = n_1 \Rightarrow x_f = \frac{n_1}{2}$$

et :

$$n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = n_2 - 3x_f = 0 \Rightarrow 3x_f = n_2 \Rightarrow x_f = \frac{n_2}{3}$$

d'où il découle que :

$$\frac{n_1}{2} = \frac{n_2}{3} \text{ (réponse [c])}.$$

7 Une oxydo-réduction fait intervenir un transfert d'électrons (**[c]**).

8 Tous les oxydants peuvent capter des électrons (**[a]**). Certains oxydants sont susceptibles de céder de l'oxygène, mais ce n'est pas le cas de tous les oxydants.

9 La meilleure dénomination pour le couple Zn^{2+}/Zn est "couple Oxydant/Réducteur" (**[a]**). Il peut également être appelé couple redox (**[b]**), mais cette terminologie peut être trompeuse car elle peut laisser penser que Zn^{2+} est le réducteur et Zn l'oxydant alors que Zn^{2+} est l'oxydant (**[d]**) (dans ce type de notation l'oxydant est toujours indiqué en premier).

10 La réaction $\text{Fe}_{(\text{s})} \rightarrow \text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+} + 2 \text{e}^-$ est du type $\text{Red} \rightarrow \text{Ox} + n \text{e}^-$. Le fer solide est donc oxydé (**[a]**) et il s'agit d'une oxydation (**[c]**).

11 La réaction est du type $\text{Ox} + n \text{e}^- \rightarrow \text{Red}$.

L'oxydant est donc $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+}$ (**[c]**). Notons que les électrons ne sont jamais ni des oxydants, ni des réducteurs.

2 Volume molaire

Lycée Claude Bernard Paris

Énoncé
p. 243

Dans les mêmes conditions de température et de pression, une mole de gaz occupe toujours le même volume ($V_m = 22,4 \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ pour une pression de 1 atm, à une température de 0 °C, c'est le volume molaire).

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

3 Masses molaires

Énoncé
p. 244

Lycée Albert Sorel, Honfleur

- La masse molaire de la molécule de dioxyde de carbone est égale à la somme des masses molaires de chacun des atomes présents, multipliées par le nombre d'atomes correspondants dans la molécule :

$$M_{\text{CO}_2} = M(\text{C}) + 2M(\text{O}) = 12,0 + 16,0 \times 2 = 12,0 + 32,0 = 44,0 \text{ g.mol}^{-1}.$$
- De la même manière :

$$M_{\text{SO}_3} = M(\text{S}) + 3M(\text{O}) = 32,1 + 16,0 \times 3 = 32,1 + 48,0 = 80,1 \text{ g.mol}^{-1}.$$
- Enfin, la masse molaire moléculaire du glucose est donnée par :

$$M_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = 6M(\text{C}) + 12M(\text{H}) + 6M(\text{O}) = 12 \times 6 + 12 \times 1 + 6 \times 16 = 180 \text{ g.mol}^{-1}.$$

4 Solution de diiode

Énoncé
p. 244

Lycée Sainte-Anne, Brest

La quantité de matière en diiode dans la première solution est donnée par :

$$n = C \times V = 0,5 \times 0,1 = 0,05 \text{ mol.}$$

On notera qu'il ne faut pas oublier de convertir les millilitres (mL) en litres (L) avant d'effectuer l'application numérique. De la même manière, la quantité de matière en diiode dans la seconde solution est :

$$n' = C' \times V' = 0,1 \times 0,5 = 0,05 \text{ mol.}$$

Dans le mélange, la quantité de matière totale en diiode est donc : $n_t = n + n'$, soit $n_t = 0,1 \text{ mol}$. En outre, le volume du mélange est $V_t = V + V'$.

La concentration du diiode est donc :

$$[\text{I}_2] = \frac{n_t}{V_t} = \frac{0,1}{0,1 + 0,5} \approx 0,17 \text{ mol.L}^{-1}.$$

5 Paracétamol

Énoncé
p. 244

Lycée Paul Langevin, Suresnes

- La concentration massique est donnée par :

$$C_m = \frac{m}{V} = \frac{500}{150} = 3,3 \text{ mg.mL}^{-1} = 3,30 \text{ g.L}^{-1}.$$

- On commence par évaluer la masse molaire M du paracétamol. Elle vaut :

$$M = 8M(\text{C}) + 9M(\text{H}) + M(\text{N}) + 2M(\text{O}) = 8 \times 12 + 9 \times 1 + 14 + 2 \times 16 = 151 \text{ g.mol}^{-1}.$$

On en déduit la concentration molaire en paracétamol :

$$c = \frac{C_m}{M} = \frac{3,3}{151} = 2,20 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 3 Il s'agit d'une dissolution.

6 Dichlorométhane

Énoncé
p. 244

Lycée Alexandre Dumas, Saint Cloud

- 1 La densité du dichlorométhane est donnée par :

$$d = \frac{m}{V} = \frac{33,3}{25,0} = 1,33 \text{ g.mL}^{-1} = 1,33.$$

- 2 On utilise la densité pour déterminer le volume correspondant. Nous avons :

$$V = \frac{m}{d} = \frac{55,0}{1,33} = 41,4 \text{ cm}^3 = 41,4 \text{ mL}.$$

Il nous faut prélever 41,4 mL du solvant.

7 Molécule de nicotine

Énoncé
p. 245

Lycée Henri IV, Paris

- 1 La masse molaire moléculaire de la nicotine est donnée par :

$$M = 10M(\text{C}) + 14M(\text{H}) + 2M(\text{N}) = 10 \times 12 + 14 \times 2 + 2 \times 14 = 162 \text{ g.mol}^{-3}.$$

- 2 La quantité de matière en nicotine présente dans la cigarette est :

$$n = \frac{m}{M},$$

donc la quantité de matière absorbée par le fumeur est

$$n' = \frac{n}{4} = \frac{m}{4 \times M},$$

qui représente au total un nombre de molécules N égal à :

$$N = \mathcal{N}_A \times n' = \mathcal{N}_A \times \frac{m}{4 \times M} = 6,02 \times 10^{23} \times \frac{12 \times 10^{-3}}{4 \times 162} = 1,1 \times 10^{19}.$$

8 Tétrachlorométhane

Énoncé
p. 245

Lycée Charlemagne, Paris

- 1 On commence par calculer la masse de tétrachlorométhane. Elle vaut :

$$m = V \times d.$$

MÉTHODE

Le volume étant ici en mL (ou cm^3 , cela revient au même), on obtient la masse en grammes.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

Nous avons :

$$m = 100 \times 1,6 = 160 \text{ g.}$$

Maintenant que nous avons la masse, nous pouvons calculer la quantité de matière à partir de la masse molaire. Celle-ci vaut :

$$M = M(\text{C}) + 4M(\text{Cl}) = 12 + 4 \times 35,5 = 154 \text{ g.mol}^{-1}.$$

La quantité de matière en tétrachlorométhane est donc :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{160}{154} \approx 1,04 \text{ mol.}$$

- 2** La quantité de matière en atomes de chlore est $4n$ (il y a quatre atomes de chlore pour une entité « tétrachlorométhane »). Le nombre d'atomes correspondant est :

$$N = 4n \times \mathcal{N}_A = 4 \times 1,04 \times 6,02 \times 10^{23} \approx 2,50 \times 10^{24}.$$

9 Mélange de deux gaz

Énoncé
p. 245

Lycée Montalembert, Nogent-sur-Marne

- 1** Les masses molaires moléculaires s'évaluent de la manière suivante :

$$M(\text{O}_2) = 2 \times 16,0 = 32,0 \text{ g.mol}^{-1},$$

$$M(\text{CO}_2) = 12,0 + 2 \times 16,0 = 44,0 \text{ g.mol}^{-1}.$$

- 2** Les quantités de matière respectives des deux molécules dans l'enceinte sont :

$$n_{\text{O}_2} = \frac{m_{\text{O}_2}}{M_{\text{O}_2}} = \frac{100}{32,0} = 3,13 \text{ mol}$$

et

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} = \frac{100}{44,0} = 2,27 \text{ mol.}$$

- (a) On en déduit la quantité de matière en atomes de carbone. Elle vaut simplement :

$$n_{\text{C}} = n_{\text{CO}_2} = 2,27 \text{ mol,}$$

puisque l'on a une mole d'atomes de carbone par mole de molécules de dioxyde de carbone.

- (b) La quantité de matière en atomes d'oxygène s'en déduit par :

$$n_{\text{O}} = 2n_{\text{O}_2} + 2n_{\text{CO}_2} = 2 \times 3,13 + 2 \times 2,27 = 10,8 \text{ mol,}$$

puisque l'on a deux moles d'atomes d'oxygène par mole de molécules de dioxygène, et deux moles d'atomes d'oxygène par mole de molécules de dioxyde de carbone.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

10 Préparation d'une solution sucrée

Énoncé
p. 245

Lycée Claude Bernard Paris

- 1 Par définition $C = \frac{n}{V}$. Cette formule est équivalente à $V = \frac{n}{C}$ ou encore à $n = C \times V$. Cette dernière formule est à connaître.
- 2 (a) Comme $C_m = \frac{m}{V}$, on a : $C_m = 10 \text{ g.mol}^{-1}$.
(b) La quantité de matière introduite est $n = \frac{m}{M}$, soit $n = 0,058 \text{ mol}$.
(c) La concentration en quantité de matière de la solution est donnée par la formule : $C = \frac{n}{V}$. On trouve donc ici $C = 0,029 \text{ mol.L}^{-1}$.
- 3 Lors d'une dilution, la quantité de matière se conserve. Donc $n_0 = n_1$.
On en déduit que $C_0 \times V_0 = C_1 \times V_1$. On peut aussi écrire $\frac{C_0}{V_1} = \frac{C_1}{V_0}$.
- 4 Nous avons $V_1 = 1 \text{ L}$, $C_0 = 0,029 \text{ mol.L}^{-1}$, et $C_1 = 2,9 \text{ mol.L}^{-1}$. V_0 peut donc se calculer avec la relation de la question précédente :

$$V_0 = \frac{C_1 \times V_1}{C_0} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \times 1}{0,029} = 0,1 \text{ L} = 100 \text{ mL}.$$

11 Identifier une molécule

Énoncé
p. 246

Lycée International Stendhal, Grenoble

La formule brute de la molécule est *a priori*, d'après les données de l'énoncé, C_3H_x , et donc sa masse molaire est :

$$M = 3M(\text{C}) + xM(\text{H}) = 3 \times 12 + 1 \times x = 36 + x \text{ g.mol}^{-1}.$$

Or on sait que $M = 44 \text{ g.mol}^{-1}$, donc :

$$36 + x = 44,$$

ce qui donne $x = 8$. La formule brute de la molécule est donc C_3H_8 . Il s'agit d'une molécule de propane.

12 Vapeur d'eau

Énoncé
p. 246

Lycée Talensac, Nantes

On constate que le volume à condenser est égal au double du volume occupé par une mole, donc nous condensons $n = 2 \text{ mol}$ de molécules d'eau.

La masse molaire de l'eau est $M = M(\text{O}) + 2M(\text{H}) = 18,0 \text{ g.mol}^{-1}$, donc cela représente une masse d'eau égale à :

$$m = M \times n = 18,0 \times 2 = 36 \text{ g}.$$

Cela représente donc en définitive 36 cm^3 d'eau, puisque la densité de l'eau vaut 1,00 par définition.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

13 Préparation d'une solution

Énoncé
p. 246

Lycée Jules Ferry, Paris

- 1 Calculons la quantité de matière n en sulfate cuivre que l'on doit introduire. Elle est donnée par :

$$n = c \times V.$$

Application numérique :

$$n = 100 \times 10^{-3} \times 0,100 = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

Calculons à présent la masse molaire M du sulfate de cuivre pentahydraté :

$$\begin{aligned} M &= M(\text{Cu}) + M(\text{S}) + 9M(\text{O}) + 10M(\text{H}) \\ &= 63,5 + 32,1 + 9 \times 16,0 + 10 \times 1,0 = 249,6 \text{ g.mol}^{-1}. \end{aligned}$$

La masse m de sulfate de cuivre pentahydraté qu'il faut introduire est donc :

$$m = M \times n = 249,6 \times 1,00 \times 10^{-2} = 2,496 \text{ g} \approx 2,50 \text{ g.}$$

- 2 Le sulfate de cuivre anhydre a pour formule brute CuSO_4 . Sa masse molaire est donc :

$$\begin{aligned} M' &= M(\text{Cu}) + M(\text{S}) + 4M(\text{O}) \\ &= 63,5 + 32,1 + 4 \times 16,0 = 159,6 \text{ g.mol}^{-1}. \end{aligned}$$

La masse m' de sulfate de cuivre anhydre à peser pour obtenir une solution de même concentration par conséquent :

$$m' = M' \times n = 159,6 \times 1,00 \times 10^{-2} = 1,596 \text{ g} \approx 1,60 \text{ g.}$$

Nous avons donné ces résultats avec trois chiffres significatifs. C'est un maximum compte-tenu de la précision des données de l'énoncé. Toutefois comme l'obtention de la solution fait intervenir plusieurs sources d'erreurs potentielles (erreur de mesure de la pesée, erreur du volume d'eau ajouté, etc.) il est préférable de ne pas introduire d'erreur supplémentaire en arrondissant à un nombre de chiffres significatifs trop bas la valeur de la masse à peser.

14 Molécule inconnue

Énoncé
p. 247

Lycée Saint-Louis, Paris

- 1 On note $\text{C}_x\text{N}_y\text{H}_z$ la formule brute, où x , y et z sont des inconnues entières, telles que :

$$x + y + z = 10$$

d'une part (en utilisant l'information sur l'atonicité), et

$$12x + 14y + z = 45$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

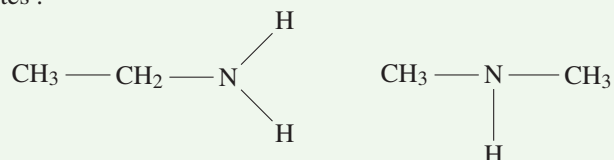
d'autre part (en utilisant l'information sur la masse molaire). En soustrayant la première équation de la seconde, nous obtenons :

$$11x + 13y = 35,$$

ce qui nous permet d'éliminer l'inconnue z . Il nous faut trouver une (ou des) solution(s) entière(s) à cette dernière équation. Pour ce faire, nous essayons différentes valeurs entières de x (inférieures à 10, atomicité de la molécule) et cherchons pour quelle(s) valeur(s) nous obtenons une valeur entière de y . Nous constatons que la seule solution pour laquelle x et y sont tous deux entiers est : $x = 2$ et $y = 1$. On en déduit $z = 10 - 2 - 1 = 7$, donc la formule brute de la molécule est :



- 2 Deux formules semi-développées possibles pour cette molécule sont les suivantes :



On vérifie bien que la valence du carbone est quatre, celle de l'azote est trois et celle de l'hydrogène est un.

15 Plus léger que l'air

Énoncé
p. 247

Lycée Marie Curie, Sceaux

- 1 (a) Les masses molaires de ces différents gaz sont :

$$M(\text{H}_2) = 2M(\text{H}) = 2,0 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M(\text{CO}_2) = M(\text{C}) + 2M(\text{O}) = 44,0 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M(\text{O}_2) = 2M(\text{O}) = 32,0 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M(\text{N}_2) = 2M(\text{N}) = 28,0 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M(\text{He}) = 4,0 \text{ g.mol}^{-1}.$$

- (b) La densité par rapport à l'eau est la masse (en kilogramme) d'un volume d'un litre. On connaît la masse d'une mole M et le volume occupé par une mole V_M , donc : $\mu = \frac{M}{V_M}$.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

On en déduit les différentes densités :

$$\rho_{\text{H}_2} = \frac{M(\text{H}_2)}{V_M} = 8,4 \times 10^{-5}$$

$$\rho_{\text{CO}_2} = \frac{M(\text{CO}_2)}{V_M} = 1,85 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{\text{O}_2} = \frac{M(\text{O}_2)}{V_M} = 1,34 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{\text{N}_2} = \frac{M(\text{N}_2)}{V_M} = 1,18 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{\text{He}} = \frac{M(\text{He})}{V_M} = 1,7 \times 10^{-4}$$

- 2** Un dirigeable s'élève dans les airs grâce à la poussée de la force d'Archimède de l'air environnant, qui est égale au poids de l'air déplacé. Pour que cette force d'Archimède, dirigée vers le haut, soit supérieure au poids du dirigeable (condition *sine qua non* du décollage), il faut que le gaz remplaçant l'air dans le ballon soit de densité inférieure à celle de l'air (on néglige le poids de l'enveloppe).

En regardant les résultats de la question précédente, on constate que cela est le cas avec le dihydrogène, l'hélium et le diazote.

Toutefois, étant donnée la faible différence entre la densité du diazote et celle de l'air, il est irréaliste de vouloir faire fonctionner un dirigeable avec de l'azote. D'autre part, le dihydrogène est un gaz dangereux, car il réagit violemment au contact du dioxygène de l'air pour donner de l'eau.

En revanche, l'hélium est chimiquement inerte, car c'est un gaz noble.

16 Mélange de deux solutions

Lycée Charles Péguy, Gorges

Énoncé
p. 247

- 1** La quantité de matière en X présente dans la solution 1 est donnée par :

$$n_1 = C_1 \times V_1.$$

De même, la quantité de matière présente dans la solution 2 est donnée par :

$$n_2 = C_2 \times V_2.$$

La quantité de matière dans le mélange est donc : $n = n_1 + n_2$. Puisque le volume du mélange est $V = V_1 + V_2$, on en déduit :

$$C = \frac{n}{V} = \frac{C_1 \times V_1 + C_2 \times V_2}{V_1 + V_2}.$$

Montrons dans un premier temps que cette concentration est supérieure à C_1 .

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Pour cela, on évalue $C - C_1$ et on montre que cette grandeur est positive. On a :

$$C - C_1 = \frac{C_1 \times V_1 + C_2 \times V_2}{V_1 + V_2} - C_1.$$

En réduisant au même dénominateur, on obtient :

$$C - C_1 = \frac{C_1 \times V_1 + C_2 \times V_2}{V_1 + V_2} - \frac{C_1 \times (V_1 + V_2)}{V_1 + V_2} = \frac{(C_2 - C_1) \times V_2}{V_1 + V_2}.$$

Or la quantité $C_2 - C_1$ est positive, puisque par hypothèse, on a : $C_2 > C_1$ (voir l'énoncé). Donc $C - C_1 > 0$ et donc $C > C_1$.

Montrons à présent que $C < C_2$. Les calculs à effectuer sont du même genre que précédemment. On a :

$$C - C_2 = \frac{C_1 \times V_1 + C_2 \times V_2}{V_1 + V_2} - \frac{C_2 \times (V_1 + V_2)}{V_1 + V_2} = \frac{(C_1 - C_2) \times V_1}{V_1 + V_2}.$$

Or $C_1 - C_2 < 0$ donc $C - C_2 < 0$, c'est-à-dire que : $C < C_2$.

On a donc en définitive le résultat :

$$C_1 < C < C_2.$$

- 2** La teinte d'une solution de diiode dépend de sa concentration. Une solution peu concentrée est claire, une solution très concentrée est foncée. Si deux solutions ont des teintes différentes, alors elles ont des concentrations différentes. Leur mélange, d'après la question précédente, a une concentration intermédiaire entre les concentrations de départ. La teinte est donc elle aussi intermédiaire :

- Plus foncée que la plus claire des deux solutions de départ : $C > C_1$;
- Plus claire que la plus foncée des deux solutions de départ : $C < C_2$.

17 Quantités de matière

Énoncé
p. 248

Institut de la Tour, Paris

- 1** Dans cette partie, il suffit de diviser les masses données par la masse molaire du corps correspondant.

- (a) La masse molaire moléculaire de l'eau est $M = 2M(\text{H}) + M(\text{O})$, soit $M = 18 \text{ g.mol}^{-1}$. Dans 36 g d'eau, il y a donc :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{36}{18} = 2,0 \text{ mol}$$

de molécules d'eau.

- (b) La masse molaire du carbone est $M = 12 \text{ g.mol}^{-1}$, donc dans 48 g de carbone, nous avons :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{48}{12} = 4,0 \text{ mol}$$

d'atomes de carbone.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- (c) De la même manière, dans 31 g de plomb nous avons :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{31}{207} = 0,15 \text{ mol}$$

d'atomes de plomb.

- 2** Dans cette partie, il faut évaluer au préalable la masse du corps, en multipliant le volume ($V = 5,0 \text{ cm}^3$) par la densité. Le volume étant en cm^3 , nous obtenons la masse en gramme.

- (a) L'eau a une densité de 1,0, donc la masse d'eau considérée est $m = 5,0 \text{ g}$, et la quantité de matière recherchée est :

$$n = \frac{5,0}{18} = 0,28 \text{ mol.}$$

- (b) La masse d'ammoniac liquide est :

$$m_{\text{NH}_3} = V \times d_{\text{NH}_3} = 3,4 \text{ g.}$$

Par ailleurs la masse molaire moléculaire de l'ammoniac est :

$$M = M(\text{N}) + 3M(\text{H}) = 14 + 3 = 17 \text{ g.mol}^{-1}$$

et la quantité de matière recherchée est donc :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{3,4}{17} = 0,20 \text{ mol.}$$

- (c) De manière similaire on évalue la masse du benzène considéré. Elle vaut :

$$m = d \times v = 0,88 \times 5 = 4,4 \text{ g.}$$

La masse molaire moléculaire du benzène, quant à elle, est

$$M = 6M(\text{C}) + 6M(\text{H}) = 6 \times 12 + 6 = 78 \text{ g.mol}^{-1},$$

et la quantité de matière recherchée est :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{4,4}{78} = 5,6 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

18 Dissolution, dilution et homéopathie

→ Énoncé
p. 248

Lycée Corneille, La Celle Saint-Cloud

- 1** (a) La masse molaire moléculaire de l'aspirine est :

$$M_{\text{aspirine}} = 9M(\text{C}) + 8M(\text{H}) + 4M(\text{O}) = 9 \times 12 + 8 \times 1 + 4 \times 16 = 180 \text{ g.mol}^{-1}.$$

- (b) La quantité de matière recherchée est :

$$n = \frac{m}{M_{\text{aspirine}}} = \frac{0,5}{180} = 2,80 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

- 2** (a) Pour dissoudre le comprimé dans 100 mL d'eau, on utilise une fiole jaugée de 100 mL. On y introduit le comprimé et on ajoute de l'eau distillée environ jusqu'aux deux tiers du volume souhaité.

On agite, puis on complète en ajoutant de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On termine en homogénéisant la solution.

- (b) Pour diluer dix fois la solution (S), on utilise une pipette jaugée de 10,0 mL pour prélever 10,0 mL de la solution (S), que l'on introduit dans une fiole jaugée de 100 mL. On complète avec de l'eau distillée jusqu'aux deux-tiers du trait de jauge, environ, et l'on agite la solution. Enfin, on complète jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.
- (c) La concentration massique de la solution (S) est donnée par :

$$C_m = \frac{m}{V} = \frac{0,5}{0,1} = 5,00 \text{ g.L}^{-1}.$$

- (d) La concentration massique de la solution (D) est par conséquent

$$C'_m = \frac{C_m}{10} = 0,500 \text{ g.L}^{-1}.$$

On en déduit la concentration molaire c' par :

$$c' = \frac{C'_m}{M_{\text{aspirine}}} = \frac{0,500}{180} = 2,78 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}.$$

- 3** (a) Calculons le facteur de dilution souhaité. La solution (D) a pour concentration $c' = 2,78 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$, et la solution homéopathique a pour concentration $c'' = 10^{-30} \text{ mol.L}^{-1}$. Le facteur de dilution est :

$$f = \frac{c'}{c''} = 2,78 \times 10^{27}.$$

On a donc $V_{\text{eau}} = V'' - V' = fV' - V' = 2,78 \times 10^{27} \text{ mL}$.

Convertissons ce volume très important en mètres cube. On a

$$1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ L} = 10^6 \text{ mL}$$

donc :

$$v' = 2,78 \times 10^{21} \text{ m}^3.$$

Il est bien entendu exclu de procéder à une telle dilution en une seule fois. Il faudrait procéder par dilutions successives, jusqu'à atteindre la concentration désirée.

- (b) Puisque la concentration de la solution est $10^{-30} \text{ mol.L}^{-1}$, un litre de solution homéopathique à 15CH contient 10^{-30} mol de molécules d'aspirine.

Le nombre n de molécules correspondant est obtenu en multipliant cette quantité de matière par le nombre d'Avogadro :

$$N = n \times \mathcal{N}_A = 10^{-30} \times 6,02 \times 10^{23} = 6,02 \times 10^{-7} \text{ molécules}.$$

$$f = \frac{c'}{c''} = \frac{V''}{V'}$$

soit :

$$V'' = fV' = V' + V_{\text{eau}}.$$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

Ce nombre est très inférieur à un, alors que le nombre de molécules contenu dans la solution doit bien entendu être un entier. Il est donc hautement probable que la solution ne contienne plus une seule molécule d'aspirine. On ne peut pas diluer indéfiniment une solution.

19 Élaboration d'une solution

Énoncé
p. 249

Lycée Clémenceau, Nantes

- 1 La quantité de matière en diiode hydraté introduite est :

$$n = c \times V = 1,00 \times 10^{-1} \times 1,00 = 0,1 \text{ mol.}$$

- 2 La masse introduite est $m = 31 \text{ g}$ donc la masse molaire du corps dissous est :

$$M = \frac{m}{n} = \frac{31,0}{1,00 \times 10^{-1}} = 310 \text{ g.mol}^{-1}.$$

- 3 D'un autre côté, cette masse molaire peut s'écrire :

$$M = 2M(I) + 2nM(H) + nM(O) = 254 + 18n$$

On a donc :

$$254 + 18n = 310 \text{ soit : } n = \frac{310 - 254}{18} = 3,1.$$

On a déduit que $n = 3$: chaque molécule de diiode est entourée de trois molécules d'eau.

20 Réaction à base d'ion dichromate

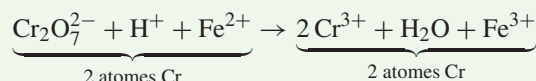
Énoncé
p. 249

Lycée Lacordaire, Marseille

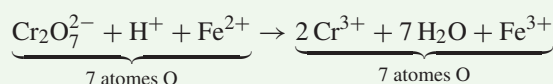
- 1 Initialement, le milieu contient des ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (jaune-orangé), H^+ (incolore) et Fe^{2+} . Lorsque tous les ions dichromate ont réagi (Fe^{2+} est introduit en excès) la solution contient des ions Cr^{3+} (vert) et Fe^{3+} . Par conséquent, au cours de la réaction, la solution passe du jaune-orangé au vert.

- 2 Afin d'écrire l'équation-bilan de la réaction, il convient :

- d'équilibrer l'élément chrome :



- d'équilibrer l'élément oxygène, en ajustant la quantité de H_2O :



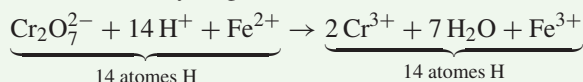
COURS

INTERROS

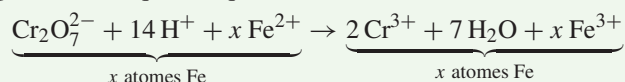
CORRIGÉS

CORRIGÉS

- d'équilibrer l'élément hydrogène, à l'aide de H^+ :



- d'équilibrer l'élément fer, en introduisant autant d'ions Fe^{2+} (quantité x) à gauche de l'équation que d'ions Fe^{3+} à droite :



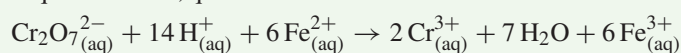
- d'ajuster la valeur de x de manière à assurer la conservation de la charge :

$$\underbrace{14 + 2x - 2}_{\text{charge à gauche}} = \underbrace{6 + 3x}_{\text{charge à droite}}$$

Il convient donc de choisir x tel que :

$$12 + 2x = 6 + 3x \Rightarrow x = 6$$

de manière à assurer la présence de 24 charges $+e$ de part et d'autre de l'équation-bilan, qui s'écrit finalement :

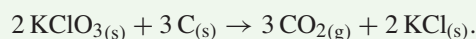


21 Chlorate de Potassium

Énoncé
p. 249

Lycée Saint Thomas D'Aquin, Paris

- 1 L'équation équilibrée de la réaction est :



- 2 (a) Les masses molaires de $KClO_3$ et de C sont :

$$\begin{aligned} M(KClO_3) &= M(K) + M(Cl) + 3 M(O) \\ &= 39,1 + 35,5 + 3 \times 16 = 122,6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \\ \text{et } M(C) &= 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}. \end{aligned}$$

Comme $n = \frac{m}{M}$, on en déduit :

$$\begin{aligned} n(KClO_3) &= \frac{25}{122,6} = 0,20 \text{ mol} \\ \text{et } n(C) &= \frac{40}{12} = 3,3 \text{ mol}. \end{aligned}$$

- (b) Le tableau d'avancement s'écrit :

	$2 KClO_{3(s)}$	$+ 3 C_{(s)}$	$\rightarrow$	$3 CO_{2(g)}$	$+ 2 KCl_{(s)}$
$x = 0$	0,2 mol	3,33 mol		0	0
$x \neq 0$	$0,2 - 2 x$	$3,33 - 3 x$		$3 x$	$2 x$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

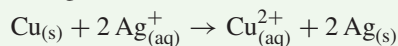
- (c) Hypothèse 1 : KClO_3 limitant. Alors $x_{\max 1} = \frac{0,2}{2} = 0,10 \text{ mol}$.
Hypothèse 2 : C limitant. Alors $x_{\max 2} = \frac{3,33}{3} = 1,1 \text{ mol}$.
Comme $x_{\max 1} < x_{\max 2}$, l'hypothèse 1 est la bonne et donc :
 $x_{\max} = 0,1 \text{ mol}$.
- (d) Le réactif limitant est donc KClO_3 .
- (e) Dans l'état final :
 $n(\text{KClO}_3) = 0$ (réactif limitant);
 $n(\text{C}) = 3,33 - 3 \times 0,1 = 3,0 \text{ mol}$;
 $n(\text{CO}_2) = 3 \times 0,1 = 0,30 \text{ mol}$;
 $n(\text{KCl}) = 2 \times 0,1 = 0,20 \text{ mol}$.
- (f) Les masses de produits dans l'état final se calcule grâce à la formule $m = n \times M$.
Donc dans l'état final :
 $m(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \times M(\text{CO}_2) = 0,3 \times (12 + 2 \times 16) = 13 \text{ g}$.
 $m(\text{KCl}) = n(\text{KCl}) \times M(\text{KCl}) = 0,2 \times (39,1 + 35,5) = 15 \text{ g}$.

22 Transformation cuivre-argent

Énoncé
p. 250

Lycée Guy de Maupassant, Colombes

- 1 L'équation-bilan de cette réaction s'écrit, après en avoir équilibré les charges et l'élément argent :



- 2 La solution contient les ions $\text{Ag}_{(aq)}^+$, incolores, et $\text{Cu}_{(aq)}^{2+}$, bleus (les métaux $\text{Cu}_{(s)}$ et $\text{Ag}_{(s)}$ demeurent sous forme solide). Aussi, au fur et à mesure que la réaction produit des ions $\text{Cu}_{(aq)}^{2+}$, elle devient de plus en plus bleue.

- 3 Initialement, le milieu réactionnel contient :

- une quantité n_1 de cuivre métallique, telle que :

$$m_1 = n_1 M_{\text{Cu}} \Rightarrow n_1 = \frac{m_1}{M_{\text{Cu}}} = \frac{63,5}{63,5} = 1 \text{ mol de Cu}_{(s)};$$

- une quantité n d'ions $\text{Ag}_{(aq)}^+$, dont la concentration est définie par :

$$C = \frac{n}{V} \Rightarrow n = CV = 9.10^{-1} \times 0,25 = 0,23 \text{ mol d'ions Ag}_{(aq)}^+.$$

Le tableau d'avancement de la réaction s'écrit donc :

	$\text{Cu}_{(s)} +$	$2 \text{Ag}_{(aq)}^+$	$\rightarrow \text{Cu}_{(aq)}^{2+}$	$+ 2 \text{Ag}_{(s)}$
$x = 0$	1	0,23	0	0
$x \neq 0$	$1 - x$	$0,23 - 2x$	x	$2x$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 4 Compte tenu de ce tableau, la masse $m_{\text{Ag}} = 7 \text{ g}$ de $\text{Ag}_{(\text{s})}$ est associée à une quantité de matière $n_{\text{Ag}} = 2x$ telle que :

$$m_{\text{Ag}} = n_{\text{Ag}} M_{\text{Ag}} \Rightarrow n_{\text{Ag}} = \frac{m_{\text{Ag}}}{M_{\text{Ag}}} \Rightarrow 2x = \frac{7}{108}$$

$$\Rightarrow x = \frac{7}{108 \times 2} \approx 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

Ainsi, le tableau d'avancement permet de connaître la composition du milieu réactionnel lorsque $x = 3,24 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$:

	$\text{Cu}_{(\text{s})} +$	$2 \text{Ag}_{(\text{aq})}^{+}$	$\rightarrow \text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$	$+ 2\text{Ag}_{(\text{s})}$
$n \text{ (mol)}$	0,968	0,16	$3,24 \cdot 10^{-2}$	$6,48 \cdot 10^{-2}$

d'où se déduisent les concentrations :

$$[\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}] = \frac{3,24 \cdot 10^{-2}}{0,25} = 0,13 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad [\text{Ag}_{(\text{aq})}^{+}] = \frac{0,16}{0,25} = 0,64 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

ainsi que la masse de cuivre restante :

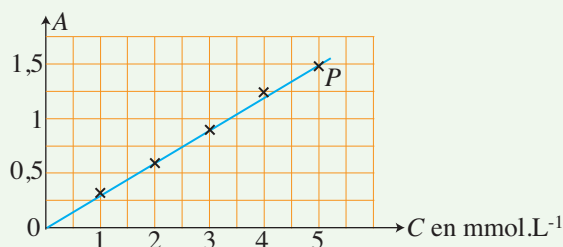
$$m_{\text{Cu}} = n_{\text{Cu}} \times M_{\text{Cu}} = 0,968 \times 63,5 \Rightarrow m_{\text{Cu}} = 61,5 \text{ g.}$$

23 Loi de Beer-Lambert

Énoncé
p. 250

Lycée Victor Hugo, Colomiers

- 1 La courbe d'étalonnage $A = f(C)$ se déduit des valeurs numériques fournies par l'énoncé.



- 2 L'alignement de ces points montre que la courbe d'étalonnage s'apparente à un segment de droite qui passe par l'origine. Il existe donc un coefficient k (coefficient directeur de la droite) permettant de poser :

$$A = k \times C. \quad (30)$$

À condition que $k = \varepsilon \ell$, cette relation confirme la loi de Beer-Lambert : $A = \varepsilon \ell \times C$.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

- 3** Puisque le point P , de coordonnées $C_P = 5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $A_P = 1,48$ appartient à la droite d'étalonnage, il vérifie la relation (30), au même titre que les grandeurs C' et $A' = 1,12$:

$$\begin{aligned} \begin{cases} A' = k \times C' \\ A_P = k \times C_P \end{cases} &\Rightarrow \frac{A'}{A_P} = \frac{C'}{C_P} \Rightarrow C' = C_P \times \frac{A'}{A_P} \\ &\Rightarrow C' = 5 \cdot 10^{-3} \times \frac{1,12}{1,48} \\ &\Rightarrow 3,78 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 3,78 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}. \end{aligned}$$

24 Dilution d'une solution de diiode

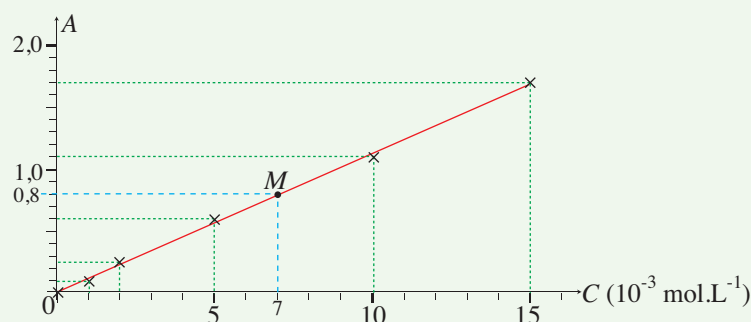
Énoncé
p. 251

Lycée Van Gogh, Ermont

- 1** Soit $n_{\text{I}_2} = C_0 V_0$ la quantité de matière de I_2 prélevée dans le volume V_0 de solution mère décimolaire (de concentration $C_0 = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$). Cette quantité de matière est introduite dans une solution dont le volume est ramené à $V_1 = 100 \text{ mL}$. La concentration en I_2 de cette dernière solution vaut alors :

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{n_{\text{I}_2}}{V_1} \Rightarrow C_1 V_1 = n_{\text{I}_2} = C_0 V_0 \\ &\Rightarrow V_0 = \frac{C_1}{C_0} V_1 = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{0,1} \times 100 \Rightarrow V_0 = 20 \text{ mL}. \end{aligned}$$

- 2** (a) Les valeurs numériques fournies par l'énoncé conduisent au tracé de la courbe d'étalonnage $A = f(C)$:



- (b) Ce graphe montre que la courbe $A = f(C)$ est une droite qui passe par l'origine. Il existe donc une constante K permettant d'écrire :

$$A = K \times C.$$

La valeur numérique de $K = \frac{A}{C}$ peut se déduire directement de la courbe ou du calcul de ce rapport pour les différentes valeurs numériques fournies par l'énoncé : voir page suivante.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

C (en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	0	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,010	0,015
A	0	0,10	0,25	0,60	1,1	1,7
A/C (en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$)	?	100	125	120	110	113

Donc, en moyenne, on trouve : $K \approx 114 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- (c) De ce qui précède, il ressort qu'une solution d'absorbance $A = 0,8$ présente une concentration C telle que :

$$A = K \times C \Rightarrow C = \frac{A}{K} = \frac{0,8}{114} \Rightarrow C \approx 7 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Remarque : cette valeur pouvait directement s'obtenir à l'aide de la courbe d'étalonnage qui montre que le point M d'absorbance $A = 0,8$ a pour abscisse $C = 7 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

25 Eau de Dakin

Énoncé
p. 251

Lycée Alexandre Dumas, Saint-Cloud

- 1 La masse molaire du permanganate de potassium (KMnO_4) valant :

$$M = M_{\text{K}} + M_{\text{Mn}} + 4M_{\text{O}} = 39,1 + 54,9 + 4 \times 16 = 158 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

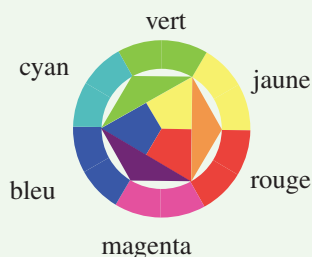
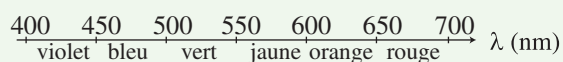
un échantillon de masse $m = 158 \text{ mg} = 158 \cdot 10^{-3} \text{ g}$ et de volume $V = 0,1 \text{ L}$ contient la quantité de matière :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{158 \cdot 10^{-3}}{158} = 10^{-3} \text{ mol}$$

à laquelle est associée la concentration :

$$C = \frac{n}{V} = \frac{10^{-3}}{0,1} = 1,00 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

- 2 L'absorbance étant maximale pour une longueur d'onde $\lambda = 530 \text{ nm}$, le permanganate de potassium absorbe essentiellement le vert.



Le cercle des couleurs montre alors que la solution doit paraître magenta.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

- 3** La loi de Beer-Lambert établit la proportionnalité entre l'absorbance A et la concentration C de la solution :

$$A = k \times C \Rightarrow k = \frac{A}{C}.$$

Notamment, pour une longueur d'onde $\lambda = 530$ nm, la courbe fournie par l'énoncé présente un maximum $A_{\max} = 2,45$, ce qui affecte à la constante k la valeur :

$$k = \frac{A_{\max}}{C} = \frac{2,45}{10^{-2}} = 245 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

26 Suivi de réaction

➔ Énoncé
p. 252

Lycée Saint-Exupéry, Lyon

On dresse un tableau d'avancement de la réaction, où l'on appelle x l'avancement.

État	5Br^-	+	BrO_3^-	+	6H^+	→	3Br_2	+	$3\text{H}_2\text{O}$
Initial	12		2		12		0		solvant
Arbitraire	$12 - 5x$		$2 - x$		$12 - 6x$		$3x$		solvant

L'épuisement du milieu réactionnel en ions bromure se produirait pour $x = 12/5$ soit $x = 2,4$ mol, l'épuisement en ions bromate (BrO_3^-) pour $x = 2$ mol et l'épuisement en ions H^+ pour $x = 12/6 = 2$ mol. Ce sont donc les ions bromate et hydrogène qui sont les réactifs limitants. L'avancement maximal est $x_{\max} = 2$ mol, et l'avancement à l'instant de demi-réaction est $x_{1/2} = 1$ mol.

On est donc en mesure à présent d'écrire les bilans de matière en moles aux différents instants :

t	5Br^-	+	BrO_3^-	+	6H^+	→	3Br_2	+	$3\text{H}_2\text{O}$
0	12		2		12		0		solvant
$t_{1/2}$	$12 - 1 \times 5$ = 7 mol		$2 - 1$ = 1 mol		$12 - 1 \times 6$ = 6 mol		1×3 = 3 mol		solvant
$+\infty$	$12 - 2 \times 5$ = 2 mol		$2 - 2$ = 0 mol		$12 - 2 \times 6$ = 0 mol		2×3 = 6 mol		solvant

27 Solution d'hélianthine

➔ Énoncé
p. 252

Lycée Charlemagne, Paris

- 1** La courbe spectrale montre que l'hélianthine absorbe au mieux les rayonnements de longueur d'onde $\lambda_{\max} = 465$ nm. C'est aussi à cette longueur d'onde que la courbe d'étalonnage sera tracée afin d'avoir les plus grandes variations possibles de A .

- 2** Dans le spectre de la lumière visible, la longueur d'onde $\lambda_{\max} = 465$ nm correspond au bleu (cf. disque des couleurs).

Le cercle des couleurs révèle alors qu'en absorbant le bleu, l'hélianthine paraît orange, conformément aux indications de l'énoncé pour $\text{pH} = 5,5$.

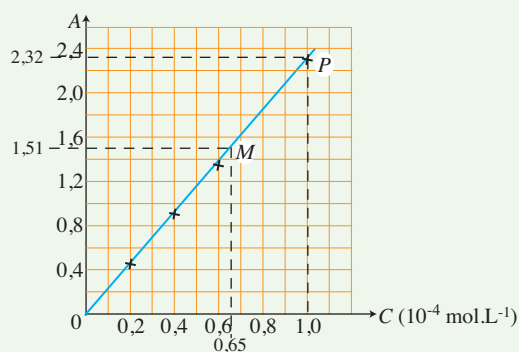
COURS

INTERROS

CORRIGÉS

CORRIGÉS

- 3 Graphiquement, il suffit de placer sur la courbe d'étalonnage le point M de coordonnées $A = 1,51$. Une lecture sur l'axe des abscisses révèle alors que $C \approx 0,65 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.



- 4 La courbe d'étalonnage étant un segment de droite passant par l'origine, elle confirme la loi de Beer-Lambert, c'est-à-dire la proportionnalité de A et de C (la constante k étant alors le coefficient directeur de la courbe) :

$$A = k \times C. \quad (31)$$

Puisque le point P (de coordonnées $C_P = 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $A_P = 2,32$) appartient à la droite d'étalonnage, il vérifie la loi (31), au même titre que le point M (de coordonnées C et $A = 1,51$) :

$$\begin{cases} A = k \times C \\ A_P = k \times C_P \end{cases} \Rightarrow \frac{A}{A_P} = \frac{C}{C_P} \Rightarrow C = C_P \times \frac{A}{A_P}$$

$$\Rightarrow C = 10^{-4} \times \frac{1,51}{2,32} = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

La compatibilité des valeurs numériques obtenues pour C par les deux méthodes est alors assurée.

28 Bleu de méthylène

Lycée Charlemagne, Paris

Énoncé
p. 253

- 1 La loi de Beer-Lambert précise que l'absorbance A d'une solution colorée est proportionnelle à sa concentration C . Il existe donc une constante k telle que :

$$A = k \times C. \quad (32)$$

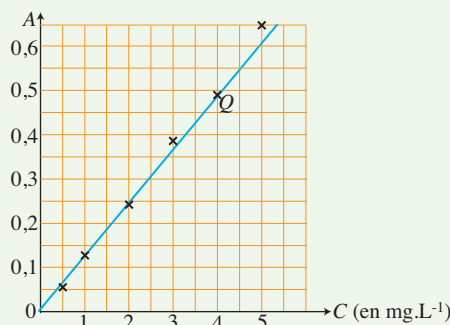
Si I_0 désigne l'intensité lumineuse qui arrive sur un échantillon de solution colorée et si I désigne l'intensité lumineuse qui en sort, l'absorbance représente l'exposant A selon lequel :

$$\frac{I_0}{I} = 10^A \text{ ou encore : } \frac{I}{I_0} = 10^{-A}.$$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

Plus l'absorbance d'une solution est importante, moins cette solution est transparente.

- 2 Les résultats de mesure consignés dans l'énoncé sont reportés dans une courbe d'étalonnage :



Cette courbe représentant une droite qui passe par l'origine, son équation est celle donnée par la loi de Beer-Lambert (32) dans laquelle la valeur numérique du coefficient directeur k doit rendre compte du passage de la courbe par le point Q de coordonnées $C = 4,00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ et $A = 0,491$:

$$A = k \times C \Rightarrow k = \frac{A}{C} = \frac{0,491}{4} \approx 0,123 \text{ L} \cdot \text{mg}^{-1}.$$

- 3 Puisque la solution apparaît bleu-verdâtre c'est qu'elle absorbe les radiations rouge-rosé (cf. disque des couleurs).

Le maximum d'absorbance de cette solution doit alors correspondre à cette couleur, ce qui justifie le réglage du spectrophotomètre à 650 nm (rouge-rosé).

- 4 La solution analysée présente une absorbance $A = 0,314$ et donc une concentration C donnée par la loi de Beer-Lambert : auquel cas la solution pharmaceutique, 100 fois plus concentrée, est de concentration :

$$C_0 = 100 \times C \approx 255 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}.$$

29 Teneur en ion Fer d'un médicament

Énoncé
p. 253

Lycée Notre-Dame du Grandchamp, Versailles

- 1 (a) En prélevant un volume V_i de solution S (de concentration C_m), on obtient un échantillon qui contient une masse $m_{\text{Fe}^{2+}}$ d'ions Fe^{2+} telle que :

$$C_m = \frac{m_{\text{Fe}^{2+}}}{V_i} \Rightarrow m_{\text{Fe}^{2+}} = C_m \times V_i.$$

La solution fille provient de la mise en solution de cette masse et présente un volume $V = 50 \text{ mL}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

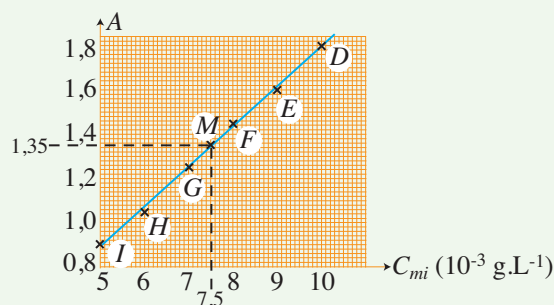
Par suite, sa concentration massique vaut :

$$\begin{aligned} C_{mi} = \frac{m_{\text{Fe}^{2+}}}{V} &= C_m \times \frac{V_i}{V} = 20.10^{-3} \times \frac{V_i}{50} \quad (33) \\ &= 20.10^{-3} \times \frac{25}{50} = 10.10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}. \end{aligned}$$

Les autres solutions (i) provenant du même protocole, leurs concentrations se calculent de la même manière à l'aide de l'expression (33) :

Solution	1	2	3	4	5	6
V_i (mL)	25,0	22,5	20,0	17,5	15,0	12,5
A	1,80	1,60	1,45	1,25	1,05	0,90
C_{mi} ($10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)	10	9	8	7	6	5
Points	D	E	F	G	H	I

- (b) Le graphique représentant l'absorbance A en fonction de la concentration massique C_{mi} devient accessible (le point M ne servira qu'à une question ultérieure) :



La linéarité de cette courbe suggère qu'elle vérifie la loi de Beer-Lambert : $A = k \times C_{mi}$, où la constante k tient compte de l'appartenance du point G (de coordonnées $C_G = 7.10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ et $A_G = 1,25$) à la droite :

$$\begin{aligned} k &= \frac{A_G}{C_G} = \frac{1,25}{7.10^{-3}} \approx 179 \text{ L} \cdot \text{g}^{-1} \\ \Rightarrow A &\approx 179 \times C_{mi} \quad (C_{mi} \text{ en } \text{g} \cdot \text{L}^{-1}). \quad (34) \end{aligned}$$

- 2** (a) L'absorbance de la solution diluée valant $A = 1,35$, sa concentration se déduit rapidement de la courbe précédente : en reportant sur la droite d'étalonnage le point M d'ordonnée $A = 1,35$ la lecture de son abscisse donne immédiatement une évaluation de la concentration cherchée :

$$C'_m \approx 7,5.10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

Cette valeur peut du reste être confirmée à l'aide de la relation (34) :

$$C'_m = \frac{A}{179} = \frac{1,35}{179} \approx 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

- (b) En prélevant un volume $V_0 = 5 \text{ mL}$ de solution S_0 à la concentration C''_m (inconnue), on constitue un échantillon contenant une masse d'ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ telle que :

$$C''_m = \frac{m_0}{V_0} \Rightarrow m_0 = C''_m V_0.$$

La dilution de cet échantillon jusqu'à un volume $V' = 50 \text{ mL}$ a permis de réaliser la solution S' dont la concentration $C'_m = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ a été mesurée par spectrophotométrie. Or, comme la solution a été obtenue à partir d'une masse m_0 d'ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$, sa concentration vaut :

$$\begin{aligned} C'_m &= \frac{m_0}{V'} \Rightarrow m_0 = C'_m V' = C''_m V_0 \\ \Rightarrow C''_m &= \frac{C'_m V'}{V_0} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3} \times 50}{5} = 75 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}. \end{aligned}$$

- (c) La fiole de 1,00 L de solution contenait donc une masse de 75 mg d'ions fer II introduits avec le comprimé. L'écart relatif avec l'indication du fabricant vaut alors :

$$\varepsilon = \frac{m_{\text{indiquée}} - m_{\text{exp.}}}{m_{\text{indiquée}}} = \frac{80 - 75}{80} = 6 \cdot 10^{-2} = 6\%.$$

30 Dosage spectrophotométrique

→ Énoncé
p. 255

Lycée Janson de Sailly, Paris

- Ces résultats illustrent la loi de Beer-Lambert, qui dit, en autres, que l'absorbance d'une solution est proportionnelle à la concentration du soluté. En effet, on voit que les points de mesure sont alignés sur une droite passant par l'origine.
- Puisque l'on a une relation de proportionnalité entre A_1 et $[X]$, on peut écrire :

$$A_1 = k_{x,1}[X],$$

où $k_{x,1}$ est la pente de la droite joignant les points de mesure. Dans les unités de l'énoncé, on voit que la valeur numérique de cette constante est $k_{x,1} = 10$. Puisque l'absorbance n'a pas d'unité, et que la concentration est donnée en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, l'unité de cette constante est l'inverse de celle de la concentration. En définitive :

$$k_{x,1} = 10 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

- L'espèce X, ainsi qu'on le voit sur son spectre, est 5 fois moins absorbante à la longueur d'onde λ_2 qu'à la longueur d'onde λ_1 . On aurait donc obtenu :

$$k_{x,2} = \frac{k_{x,1}}{5} = 2,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 4 On utilise la relation $A_1 = k_{x,1}[X]$ qui nous donne :

$$[X] = \frac{A_1}{k_{x,1}} = \frac{0,38}{10} = 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

On peut également reporter cette absorbance sur la courbe d'étalonnage relative à l'espèce X, en ordonnée, et lire en abscisse la concentration correspondante.

- 5 Le raisonnement est identique à celui que nous avons développé pour l'espèce X. Nous mesurons la pente de la droite du graphe de A_2 en fonction de $[Y]$, et nous obtenons :

$$k_{y,2} = 5 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

- 6 (a) À la longueur d'onde λ_1 , les deux espèces X et Y absorbent. Prise séparément, l'absorbance de X a déjà été déterminée dans les questions antérieures et vaut :

$$A_1 = k_{x,1}[X] \quad \text{avec :} \quad k_{x,1} = 10 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

De la même manière, l'espèce Y prise séparément absorbe à la longueur d'onde λ_1 . On voit sur son spectre qu'elle absorbe cinq fois moins à cette longueur d'onde qu'à son pic d'absorbance, donc on peut écrire une relation du type :

$$A_1 = k_{y,1}[Y] \quad \text{avec :} \quad k_{y,1} = \frac{k_{2,y}}{5} = 1 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Lorsque les deux espèces sont présentes simultanément, nous avons :

$$A_1 = k_{x,1}[X] + k_{y,1}[Y] = 10[X] + [Y],$$

où la dernière écriture suppose que $[X]$ et $[Y]$ sont en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

- (b) Nous avons en définitive :

$$A_1 = k_{x,1}[X] + k_{y,1}[Y]$$

$$A_2 = k_{2,x}[X] + k_{2,y}[Y]$$

soit ici, en exprimant les concentrations en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$:

$$0,26 = 10[X] + [Y]$$

$$0,34 = 2[X] + 5[Y]$$

On multiplie la seconde égalité par 5 et on retranche la première. On obtient :

$$0,34 \times 5 - 0,26 = 24[Y] \quad \text{soit :} \quad [Y] = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

On multiplie la première égalité par cinq et on retranche la seconde. Cela donne :

$$0,26 \times 5 - 0,34 = 50[X] - 2[X] \quad \text{soit :} \quad [X] = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

- (c) Si l'on avait fait l'hypothèse simplificatrice que seule l'espèce X absorbe à la longueur d'onde λ_1 , nous aurions écrit :

$$A_1 \approx k_{x,1}[X] \quad \text{soit :} \quad [X] \approx \frac{A_1}{k_{x,1}} \approx \frac{0,26}{10} = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

De manière similaire pour Y nous aurions écrit :

$$A_2 \approx k_{y,2}[Y] \quad \text{soit :} \quad [Y] \approx \frac{A_2}{k_{y,2}} \approx \frac{0,34}{5} = 6,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

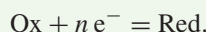
Ces valeurs sont respectivement 30 % et 11 % au-dessus des valeurs plus précises obtenues précédemment.

31 Réactions d'oxydo-réduction

Énoncé
p. 257

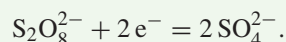
Lycée Janson de Sailly, Paris

- 1 Dans une demi-équation correspondant au couple oxydant/réducteur Ox/Red, les électrons sont toujours situés du même côté de l'équation que l'oxydant :



C'est pourquoi on peut déduire ce qui suit.

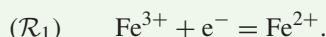
- (a) $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$ est le couple associé à la demi-équation :



- (b) I_2/I^- est le couple associé à la demi-équation : $2 \text{I}^- = \text{I}_2 + 2 e^-$.

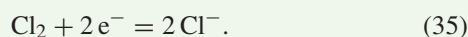
- (c) La demi-équation : $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+ = \text{HSO}_4^-$ ne décrit pas un échange d'oxydo-réduction ; on ne peut pas lui associer de couple redox.

- 2 (a) La demi-équation relative au couple $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ est spontanément équilibrée dès que l'on place l'oxydant (Fe^{3+}) et l'électron (e^-) dans le même membre de l'équation :

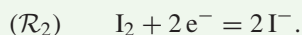


- (b) La demi-équation correspondant au couple Cl_2/Cl^- doit :

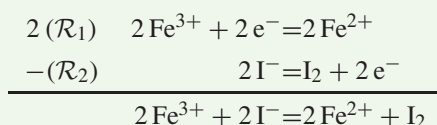
- être équilibrée à l'égard de l'élément chlore : $\text{Cl}_2 = 2 \text{Cl}^-$;
- assurer la conservation de la charge (à l'aide de e^-) :



- 3 (a) Le couple I_2/I^- étant semblable au couple Cl_2/Cl^- , sa demi-équation ressemble aussi à l'équation (35) :



- (b) L'équation décrivant l'action des ions Fe^{3+} sur les ions I^- s'obtient facilement en combinant les demi-équations $(\mathcal{R}_1)$ et $(\mathcal{R}_2)$ de manière qu'il y ait autant d'électrons de part et d'autre de l'équation (ici 2 électrons) :



COURS

INTERROS

CORRIGÉS

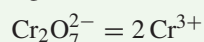
32 Réactions d'oxydo-réduction

Énoncé
p. 257

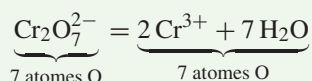
Lycée Janson de Sailly, Paris

1 Pour écrire la demi-équation relative au couple $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$, il convient :

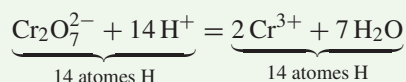
- d'équilibrer l'équation à l'égard de l'élément chrome (Cr) :



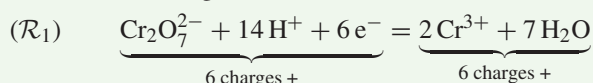
- d'introduire H_2O afin d'équilibrer l'élément oxygène :



- d'introduire les ions H^+ afin d'équilibrer l'élément hydrogène :

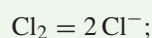


d'équilibrer enfin les charges :

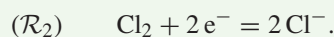


De même, la demi-équation relative au couple Cl_2/Cl^- doit être équilibrée :

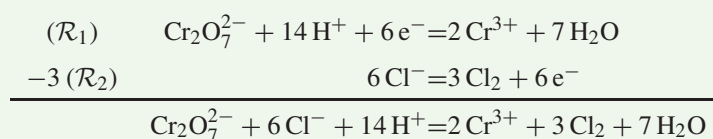
- d'abord à l'égard de l'élément chlore (Cl) :



- puis à l'égard des charges :

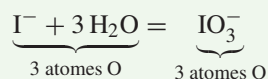


La combinaison des demi-équations $(\mathcal{R}_1)$ et $(\mathcal{R}_2)$ doit aboutir à une équation-bilan, qui présente autant d'électrons dans ses deux membres (ici 6e^-) et qui rend compte de l'action des ions dichromate ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) sur les ions chlorure.

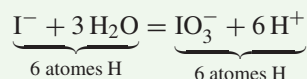


2 L'élément iode (I) intervient dans les structures I^-/IO_3^- , liées par une demi-équation qui doit être équilibrée :

- à l'égard de l'élément oxygène, en ajoutant H_2O :

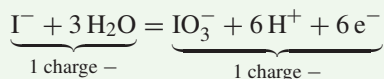


- à l'égard de l'hydrogène, en ajoutant H^+ :

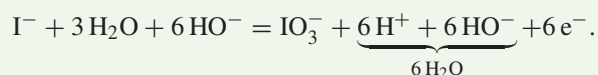


DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

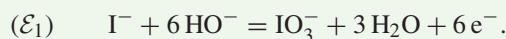
- à l'égard des charges, en ajoutant $6 e^-$ dans le membre de droite :



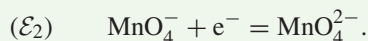
Cependant, cette demi-équation présente des ions H^+ caractéristiques des milieux acides. En milieu basique, il convient alors d'ajouter $6 HO^-$ dans les deux membres de cette équation :



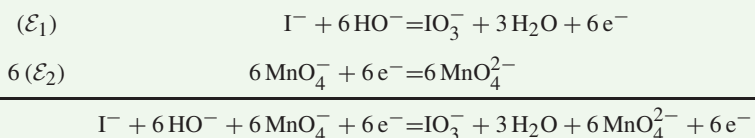
En regroupant $6 H^+ + 6 HO^-$ en $6 H_2O$, puis en simplifiant par $3 H_2O$, on obtient finalement la demi-équation associée au groupe IO_3^-/I^- en milieu basique :



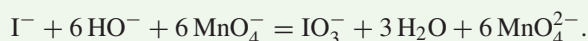
Quant à la demi-équation associée au couple MnO_4^-/MnO_4^{2-} , elle est immédiatement équilibrée en assurant la conservation des charges :



La combinaison des deux demi-équations précédentes, réalisée de manière à faire apparaître autant d'électrons (ici $6 e^-$) de part et d'autre de l'équation :



conduit à l'équation-bilan de la réaction, après simplification par $6 e^-$:



33 Avancement maximal et final

Énoncé
p. 258

Lycée Lakanal, Sceaux

- Les deux couples d'oxydo-réduction qui entrent en jeu sont : $CO_{2(g)}/CO_{(g)}$ et $H_2O_{(g)}/H_{2(g)}$.
- Le tableau d'avancement de la réaction est :

	$CO_{(g)}$	+	$H_2O_{(g)}$	=	$CO_{2(g)}$	+	$H_{2(g)}$
$x = 0$	2,5 mol		3,2 mol		0		0
$x \neq 0$	$2,5 - x$		$3,2 - x$		x		x

L'avancement maximal correspond à l'avancement pour lequel un des réactifs a totalement disparu. On en déduit que $x_{max} = 2,5 \text{ mol}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- (a) L'avancement final est tel que $3,2 - x_f = 2,02$ mol.
On en déduit que $x_f = 1,18$ mol.
D'où la composition de l'état final :
- $$n_f(\text{CO}) = 2,5 - x_f = 1,32 \text{ mol};$$
- $$n_f(\text{H}_2\text{O}) = 2,02 \text{ mol};$$
- $$n_f(\text{CO}_2) = x_f = 1,18 \text{ mol};$$
- $$n_f(\text{H}_2) = x_f = 1,18 \text{ mol}.$$
- (b) Le fait que l'avancement maximal soit supérieur à l'avancement final permet d'affirmer que la réaction n'est pas totale. Il s'agit d'un équilibre chimique.

34 Réactions d'oxydo-réduction

Énoncé
p. 258

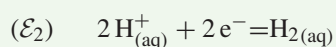
Lycée Jeanne d'Albret, Saint-Germain-en-Laye



- 1 (a) D'après l'énoncé, les réactifs sont :
- l'aluminium métallique, Al, introduit en quantité n_1 telle que :

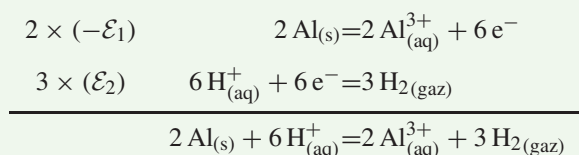
$$n_1 = \frac{m_1}{M_{\text{Al}}} = \frac{0,27}{27} = 0,01 \text{ mol};$$
 - les ions $\text{H}_{(\text{aq})}^+$ (les seuls qui peuvent produire le dihydrogène), introduits en quantité :

$$n_2 = c_2 V_2 = 1 \times 24 \cdot 10^{-3} = 0,024 \text{ mol}.$$
- Quant aux produits, d'après l'énoncé, il s'agit de $\text{Al}_{(\text{aq})}^{3+}$ et de $\text{H}_{2(\text{gaz})}$.
- (b) Compte tenu de ce qui précède, les couples oxydant/réducteur mis en jeu sont :
- $$\text{Al}_{(\text{aq})}^{3+} / \text{Al}_{(\text{s})} \text{ et } \text{H}_{(\text{aq})}^+ / \text{H}_{2(\text{gaz})}.$$
- (c) Les demi-équations correspondant à ces couples s'équilibrent immédiatement :
- $$(\mathcal{E}_1) \quad \text{Al}_{(\text{aq})}^{3+} + 3 \text{e}^- = \text{Al}_{(\text{s})}$$
- $$(\mathcal{E}_2) \quad 2 \text{H}_{(\text{aq})}^+ + 2 \text{e}^- = \text{H}_{2(\text{aq})}$$
- (d) Pour faire apparaître les réactifs ($\text{Al}_{(\text{s})}$ et $\text{H}_{(\text{aq})}^+$) du même côté gauche de l'équation-bilan de la réaction, il convient d'abord d'inverser la demi-équation ($\mathcal{E}_1$) :



DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

Enfin, en multipliant respectivement par 2 et par 3 ces demi-équations, on fait apparaître le même nombre d'électrons (ici 6) de part et d'autre de l'équation-bilan :



- 2** La connaissance de la composition initiale du milieu réactionnel (établie à la première question) permet de suivre l'évolution de la réaction dans un tableau d'avancement :

	$2 \text{Al}_{(s)} + 6 \text{H}_{(aq)}^+ = 2 \text{Al}_{(aq)}^{3+} + 3 \text{H}_{2(aq)}$			
$x = 0$	0,010	0,024	0	0
$x \neq 0$	$0,010 - 2x$	$0,024 - 6x$	$2x$	$3x$

Si la réaction est totale, elle se poursuit jusqu'à disparition d'un des réactifs, ce qui signifie que :

- l'avancement x prend une valeur finale x_f telle que :

$$n_{\text{Al}} = 0 \Rightarrow 0,010 - 2x_f = 0 \Rightarrow 2x_f = 0,010 \Rightarrow x_f = 0,005 \text{ mol}$$

- ou l'avancement x prend une valeur finale x'_f telle que :

$$\begin{aligned}
 n_{\text{H}^+} = 0 & \Rightarrow 0,024 - 6x'_f = 0 \Rightarrow 6x'_f = 0,024 \\
 & \Rightarrow x'_f = \frac{0,024}{6} = 0,0040 \text{ mol.}
 \end{aligned}$$

Puisque $x'_f < x_f$, ce sont les ions $\text{H}_{(aq)}^+$ qui limitent la réaction (la valeur finale de l'avancement, x'_f , assure leur disparition du milieu réactionnel). Finalement, le tableau d'avancement donne la composition finale du milieu réactionnel :

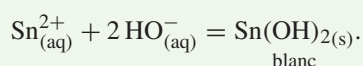
	$2 \text{Al}_{(s)} + 6 \text{H}_{(aq)}^+ = 2 \text{Al}_{(aq)}^{3+} + 3 \text{H}_{2(aq)}$			
$x \neq 0$	$0,010 - 2x$	$0,024 - 6x$	$2x$	$3x$
$x_f = 0,004$	0,002	0	0,008	0,012

35 Réactions d'oxydation

Énoncé
p. 258

Lycée Jacques Monod, Clamart

- 1** La première expérience montre qu'en présence d'ions hydroxyde $\text{HO}_{(aq)}^-$ (apportés par la solution d'hydroxyde de sodium : $\text{Na}_{(aq)}^+ + \text{HO}_{(aq)}^-$), les ions $\text{Sn}_{(aq)}^{2+}$ forment un hydroxyde insoluble, de couleur blanche :

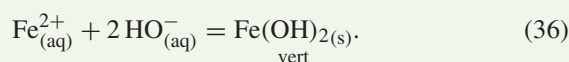


COURS

INTERROS

CORRIGÉS

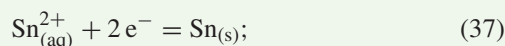
Quant à la quatrième expérience, elle montre que ces mêmes ions hydroxyde réagissent avec les ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ pour former un hydroxyde insoluble, de couleur verte :



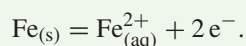
- 2** Dans la deuxième expérience, le dépôt noir correspond à la formation d'une pellicule métallique d'étain Sn à la surface de la lame de fer.

La troisième expérience montre que le fer métallique, en présence d'ions $\text{Sn}_{(\text{aq})}^{2+}$, peut produire des ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ (ce sont ces ions qui sont mis en évidence par la solution d'hydroxyde de sodium), conformément à l'équation (36). En conclusion :

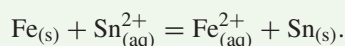
- les ions $\text{Sn}_{(\text{aq})}^{2+}$ peuvent se transformer en étain métallique :



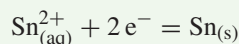
- le fer métallique peut se transformer en ions fer (II) :



La réaction du fer métallique avec les ions étain (II) a donc pour équation-bilan :



- 3** Conformément à la demi-équation (37) :



les ions $\text{Sn}_{(\text{aq})}^{2+}$ jouent le rôle d'oxydant (ils se trouvent du même côté de l'équation que les électrons), dans le couple Sn^{2+}/Sn ; au cours de la réaction, ces ions sont alors réduits.

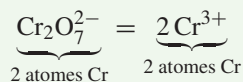
36 Réactions d'oxydo-réduction

Énoncé
p. 259

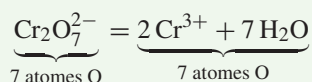
Lycée Fermat, Toulouse

- 1** Afin d'écrire la demi-équation correspondant au couple $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$, il convient :

- d'équilibrer cette équation à l'égard de l'élément chrome (Cr) :

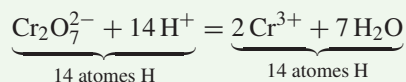


- d'équilibrer l'élément oxygène, en ajoutant H_2O dans le membre de droite :

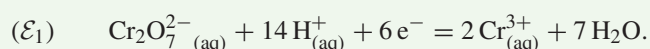


DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

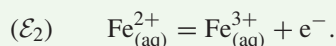
- d'équilibrer l'élément hydrogène en introduisant des ions H^+ dans le membre de gauche de l'équation :



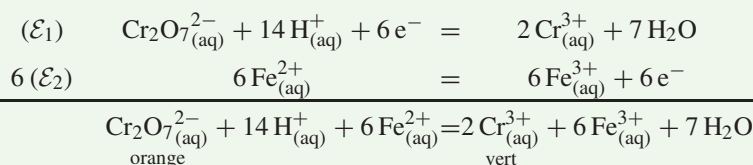
Enfin, il faut également ajouter 6e^- dans le membre de gauche de cette équation en vue d'assurer la conservation des charges (6 charges positives dans les deux membres de l'équation) :



- 2** L'oxydation des ions fer (II) en ions fer (III) est décrite par la demi-équation suivante :



L'équation-bilan de la réaction entre les ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ et les ions Fe^{2+} s'obtient en réalisant la combinaison $(\mathcal{E}_1) + 6(\mathcal{E}_2)$ des demi-équations, qui assure la présence de 6e^- de part et d'autre de l'équation :



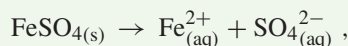
- 3** (a) La coloration verte prise par la solution montre que tous les ions dichromate se sont transformés en ions $\text{Cr}^{3+}(\text{aq})$ (s'il restait des ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})$ dans la solution, celle-ci prendrait une couleur vert-kaki).
(b) La solution de dichromate de potassium a été obtenue par dissolution du sel :



Dans un volume $V_1 = 7 \text{ mL} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ L}$ de cette solution, à la concentration $c_1 = 0,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, se trouve la quantité de matière :

$$n_1 = c_1 V_1 = 0,5 \times 7 \cdot 10^{-3} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol d'ions } \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})$$

Quant à la solution de sulfate de fer (II), obtenue par dissolution du sel :



elle contient des ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ à la concentration $c_2 = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; un volume $V_2 = 50 \text{ mL} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ L}$ de cette solution contient la quantité de matière :

$$n_2 = c_2 V_2 = 1 \times 50 \cdot 10^{-3} = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol d'ions } \text{Fe}^{2+}.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

La réaction d'oxydo-réduction peut alors être suivie à l'aide d'un tableau d'avancement :

	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 14 \text{H}^+(\text{aq}) + 6 \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) = 2 \text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 6 \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 7 \text{H}_2\text{O}$			
$x = 0$	0,0035	0,05	0	0
$x \neq 0$	$0,0035 - x$	$0,05 - 6x$	$2x$	$6x$

(c) D'après ce tableau d'avancement, la réaction cesse :

- soit lorsque l'avancement x prend une valeur x_f qui assure la disparition des ions dichromate du milieu réactionnel :

$$n_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}} = 0,035 - x_f = 0 \Rightarrow x_f = 0,0035 \text{ mol} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol},$$

- soit lorsque l'avancement x prend une valeur x'_f qui assure la disparition des ions Fe^{2+} du milieu réactionnel :

$$\begin{aligned} n_{\text{Fe}^{2+}} &= 0,05 - 6x'_f = 0 \Rightarrow 6x'_f = 0,05 \\ \Rightarrow x'_f &= \frac{0,05}{6} \approx 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol}. \end{aligned}$$

Puisque $x_f < x'_f$, c'est le dichromate qui disparaît en premier ; c'est le réactif limitant qui impose la valeur finale $x_f = 0,0035 \text{ mol}$ de l'avancement. Pour cette valeur, les quantités d'ions présents en solution sont :

	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})$	$\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	Cr^{3+}	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$
$x = 0$	$0,0035 - x$	$0,05 - 6x$	$2x$	$6x$
$x_f = 0,0035$	0	0,029	0,007	0,021

Ce tableau de valeurs montre qu'en fin de réaction, il reste des ions Fe^{2+} dans la solution.

(d) Le volume de la solution valant :

$$V = 7 + 50 = 57 \text{ mL} = 57 \cdot 10^{-3} \text{ L}$$

les ions ont pour concentrations :

$$\begin{aligned} [\text{Fe}^{2+}(\text{aq})] &= \frac{0,029}{57 \cdot 10^{-3}} \approx 0,51 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}; \\ [\text{Fe}^{3+}(\text{aq})] &= \frac{0,021}{57 \cdot 10^{-3}} \approx 0,37 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}; \\ [\text{Cr}^{3+}(\text{aq})] &= \frac{0,007}{57 \cdot 10^{-3}} \approx 0,12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}; \\ [\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})] &= 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}. \end{aligned}$$

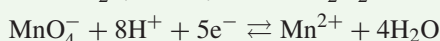
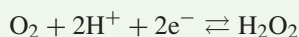
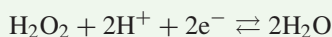
DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

37 Titration d'eau oxygénée

Énoncé
p. 260

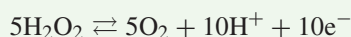
Lycée Lakanal, Sceaux

- 1 Les demi-équations d'oxydoréduction correspondant aux couples donnés dans l'énoncé sont :

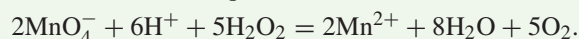


- 2 On utilise les demi-équations d'oxydoréduction de la question précédente. Les ions permanganate ne pouvant intervenir qu'en temps qu'oxydant, l'eau oxygénée doit être le réducteur, donc il faut considérer la deuxième et la troisième demi-équation de la question précédente.

Il s'agit d'éliminer les électrons de l'écriture. On multiplie donc la demi-équation sur l'eau oxygénée par 5 et la demi-équation sur les ions permanganate par 2 :



ce qui donne en définitive l'équation bilan suivante :



Tant que l'équivalence n'est pas atteinte, tous les ions permanganate MnO_4^- introduits dans la solution sont transformés en ions Mn^{2+} , donc la solution qui tombe de la burette dans le bécher est décolorée. Dès que l'équivalence est atteinte, en revanche, il reste des ions permanganate dans la solution. Il faut donc détecter, *à la goutte près*, le moment où la coloration violette de la solution persiste. Ce moment correspond à l'équivalence.

- 3 Pour que le raisonnement de la question précédente soit valable, il faut bien entendu que les ions H^+ soit en excès, au moins jusqu'à l'équivalence. Soit $n_{\text{MnO}_4^-}^{\text{equiv}}$ la quantité de matière d'ions permanganate introduite à l'équivalence. D'après l'équation-bilan, il faut que la quantité de matière en ions H^+ présente dans le bécher soit au moins trois fois supérieure, donc, puisque l'acide sulfurique est un diacide, il faut que la quantité de matière en acide sulfurique $n_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ vérifie :

$$\frac{3}{2} n_{\text{MnO}_4^-}^{\text{equiv}} \leq n_{\text{H}_2\text{SO}_4}.$$

Or on peut écrire :

$$n_{\text{MnO}_4^-}^{\text{equiv}} = c_{\text{MnO}_4^-} v_{\text{eq}}$$

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = v_{\text{H}_2\text{SO}_4} c_{\text{H}_2\text{SO}_4}$$

où, d'après l'énoncé, $c_{\text{MnO}_4^-} = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $v_{\text{eq}} = 15,2 \text{ mL}$, $c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, et où $v_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ est le volume que l'on cherche à déterminer.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

L'inégalité écrite ci-dessus peut donc se réécrire de la manière suivante :

$$v_{\text{H}_2\text{SO}_4} \geq \frac{3}{2} \frac{c_{\text{MnO}_4^-} v_{\text{eq}}}{c_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = \frac{3}{2} \times \frac{0,1 \times 15,2 \times 10^{-3}}{2} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 1,1 \text{ mL}.$$

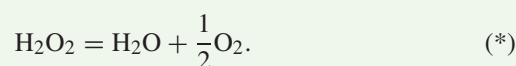
- 4 D'après l'équation-bilan, la quantité de matière en eau oxygénée est égale à :

$$n_{\text{H}_2\text{O}_2} = \frac{5}{2} n_{\text{MnO}_4^-}^{\text{equiv}}.$$

La concentration en eau oxygénée de la solution initiale de volume $v = 5 \text{ mL}$ vaut donc :

$$[\text{H}_2\text{O}_2] = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}_2}}{v} = \frac{5}{2} \frac{c_{\text{MnO}_4^-} v_{\text{eq}}}{v} = \frac{5}{2} \times \frac{0,1 \times 15,2 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-3}} = 0,76 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

- 5 La réaction de dismutation de l'eau oxygénée, d'après l'écriture des demi-équations électroniques vues à la première question, s'écrit :



- 6 Un litre de cette solution d'eau oxygénée contient $n = 0,76 \text{ mol}$ d'eau oxygénée, et donc, d'après l'équation-bilan (*), dégage $\frac{n}{2} = 0,38 \text{ mol}$ de dioxygène, qui occupe un volume :

$$v = n V_m = 0,38 \times 22,4 = 8,5 \text{ L}.$$

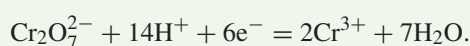
Le titre de cette solution d'eau oxygénée est de 8,5 L.

38 Spectrophotométrie

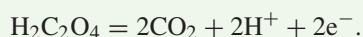
Énoncé
p. 260

Lycée Jean Rostand, Villepinte

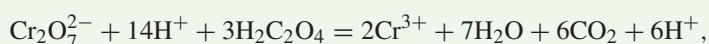
- 1 La demi-équation électronique du couple $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$ est :



La demi-équation électronique du couple $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ est :



L'écriture de ce second couple fait intervenir trois fois moins d'électrons que le précédent, donc on multiplie ses coefficients stœchiométriques par trois, et on ajoute les deux demi équations résultantes de manière à pouvoir éliminer les électrons de l'écriture :



qui donne, en enlevant 6H^+ aux produits et aux réactifs, l'équation bilan donnée dans l'énoncé.

- 2 Pour une plus grande précision, il faut se placer à la longueur d'onde où les ions dichromates sont les plus absorbants, c'est-à-dire qu'il faut ici travailler à la longueur d'onde $\lambda = 450 \text{ nm}$.

DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION D'UN SYSTÈME CHIMIQUE • CHAP. 8

- 3** (a) Cette représentation graphique met en évidence la linéarité de la relation entre concentration et absorbance, car le graphe de la relation est une droite contenant l'origine. Autrement dit l'absorbance de la solution est proportionnelle à sa concentration.
- (b) On cherche une relation du type : $A = K \cdot c$, où c est la concentration de la solution en ions dichromate, et K la constante de proportionnalité que l'on recherche. L'absorbance vaut $A_0 = 1,2$ lorsque la concentration vaut $c_0 = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, donc nous avons : $K = \frac{A_0}{c_0} = 1,2 \cdot 10^2 = 120 \text{ L.mol}^{-1}$.

MÉTHODE

On rappelle que l'absorbance est un nombre sans unité.

- Cette relation est en accord avec la loi de Beer-Lambert.
- 4** (a) On présente les différents états (initial et intermédiaire) sous forme d'un tableau.

	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	$+ 3\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$= 2\text{Cr}^{3+} + 6\text{CO}_2$
État Initial	n_1	n_2	0
État Intermédiaire	$n_1 - x$	$n_2 - 3x$	$2x$

où $n_1 = C_1 V_1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ est la quantité de matière initiale en ions dichromate, $n_2 = C_2 V_2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ est la quantité de matière initiale en acide oxalique, et où x est l'avancement de la réaction. Dans le tableau ci-dessus, pour des raisons d'encombrement, nous n'avons pas fait figurer les ions H^+ (qui sont en excès) et l'eau, qui est le solvant.

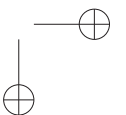
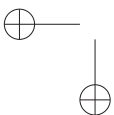
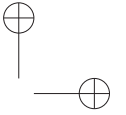
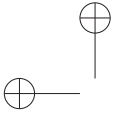
- (b) Nous avons la relation suivante :

$$A = K[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] = \frac{K}{V_1 + V_2}(n_1 - x) = 6\,000 \times (4 \cdot 10^{-3} - x).$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS



Chapitre

9

Cohésion de la matière

Plan du chapitre

1. Introduction
2. Structures et polarités des molécules
3. Cohésion de la matière

1 Introduction

Ce chapitre s'articule autour de l'étude des édifices moléculaires et ioniques, en commençant par l'analyse des schémas de Lewis. Nous examinerons ensuite la géométrie des molécules, en nous appuyant sur les modèles de répulsion des paires électroniques pour expliquer les formes tridimensionnelles adoptées par les édifices moléculaires.

La seconde partie sera consacrée à l'étude des solides. Nous détaillerons la structure cristalline, fondée sur des interactions électrostatiques entre cations et anions, avant d'aborder les mécanismes de dissolution. Cette analyse inclura les processus par lesquels ces solides se dispersent en solution, en lien avec les propriétés des solvants et les forces intermoléculaires en jeu.

2 Structures et polarités des molécules

Exercice type 1

Lycée Baudelaire, Fosses

- 1 Parmi les atomes suivants, quels sont ceux qui possèdent le même nombre d'électrons périphériques. Justifier et préciser le nombre d'électrons périphériques qu'ils ont en commun :

Bore : ${}_5\text{B}$	Azote : ${}_7\text{N}$	Oxygène : ${}_8\text{O}$
Phosphore : ${}_{15}\text{P}$	Soufre : ${}_{16}\text{S}$	Carbone : ${}_6\text{C}$
Hydrogène : ${}_1\text{H}$	Chlore : ${}_{17}\text{Cl}$	

- 2 Donner la formule de Lewis des molécules suivantes :

CH_2O ; O_2 ; C_2H_4 .

- 3 Donner la formule de Lewis des molécules suivantes et en déduire leur géométrie. Indiquer pour chacune d'elle, en justifiant votre réponse, si la molécule est polaire ou non.

H_2O ; CO_2 ; CCl_4 .

- 4 Indiquer, en justifiant, lesquelles de ces molécules sont polaires.

Voir corrigé page 306

L'objectif de cette section est d'expliquer comment déterminer le schéma de Lewis d'une molécule. Ce type de schéma permet de déterminer la géométrie d'une molécule qui, en l'associant au concept d'électronégativité, permet de déterminer le caractère polaire ou non polaire d'une molécule (et donc d'un solvant).

2.1 Structure de Lewis et géométrie

2.1.1 - Structure de l'atome

Dans la notation ${}_Z\text{X}$, X représente le symbole de l'élément chimique (H, He, ...) et Z (appelé *numéro atomique*) désigne le nombre de particules chargées positivement situées dans le noyau de l'atome.

- Si l'atome est neutre, il possède autant d'électrons (charge négative) que l'indique Z. Par exemple, l'atome d'oxygène ${}_8\text{O}$ possède 8 électrons.
- Si l'atome est chargé positivement (*cation*), il possède autant d'électrons en moins par rapport à Z que l'indique la charge positive. Par exemple, les ions ${}_8\text{O}^+$ et ${}_8\text{O}^{2+}$ possèdent respectivement 7 et 6 électrons.
- Si l'atome est chargé négativement (*anion*), il possède autant d'électrons en plus par rapport à Z que l'indique sa charge négative. Par exemple, les ions ${}_8\text{O}^-$ et ${}_8\text{O}^{2-}$ possèdent respectivement 9 et 10 électrons.

2.1.2 - Les sous-couches électroniques

Le nuage électronique entourant un atome ou un ion est structuré en sous-couches dans laquelle se répartissent les électrons. Elles portent les noms suivant :

1s, 2s, 2p, 3s, 3p.

Les sous-couches s ne peuvent contenir que deux électrons au maximum. Les sous-couches p peuvent en contenir six au maximum.

Remarque : les sous-couches sont également appelées « orbitales ».

Définition 1

La configuration électronique d'un atome ou d'un ion est spécifiée par le nombre d'électrons que contient chacune des couches électroniques.

Pour donner la configuration électronique d'un atome ou d'un ion, on indique le nombre d'électrons dans chaque sous-couche en exposant.

Pour connaître la configuration électronique d'un atome ou d'un ion, on commence par évaluer le nombre d'électrons qu'il faut placer dans les couches. Ce nombre vaut Z dans le cas d'un atome neutre, et peut être plus grand ou plus petit que Z selon que l'on a affaire à un anion ou à un cation.

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

Une fois que ce nombre est connu, on remplit les sous-couches de la manière suivante (seuls les cas où $Z < 19$ sont au programme) :

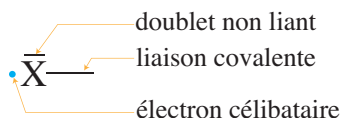
- 1 On remplit les sous-couches dans l'ordre indiqué au paragraphe précédent. On remplit complètement une sous-couche avant d'en changer.
- 2 On respecte le nombre maximal d'électrons par sous-couche (2 pour s et 6 pour p).
- 3 On arrête le processus quand le nombre total d'électrons est atteint.

2.1.3 - Formule de Lewis

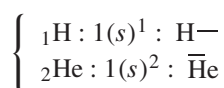
Les atomes (ou ions) peuvent former entre eux des liaisons covalentes qui représentent une mise en commun de deux électrons ; il s'agit de *doublets liants* (par opposition aux paires d'électrons qui restent attachées à l'atome, sans participer à une liaison covalente, appelé *doublets non liants*).

La représentation de Lewis d'un atome (ou ion) fait apparaître le symbole de l'élément, entouré de ses *électrons périphériques* (ceux qui appartiennent au dernier niveau de la structure électronique), regroupés en :

- doublets liants (liaisons covalentes) : traits joignant les atomes entre-eux ;
- doublets non liants : traits entourant le symbole de l'élément ;
- électrons célibataires : représentés par des points qui ne peuvent être appariés (s'il y a un nombre impair d'électrons).

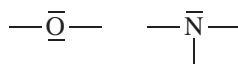


La *règle du duet* précise que, si le nombre d'électrons périphériques est inférieur à 4, la forme la plus stable de l'atome ou de l'ion est celle qui lui confère deux électrons dans sa représentation de Lewis. Par exemple :



Avec la structure électronique ${}_3\text{Li} : 1(s)^2(s)^1$, l'atome de lithium possède un électron sur sa couche périphérique. Il perd donc facilement cet électron afin de former l'ion $\text{Li}^+ : 1(s)^2$ plus stable, conformément à la règle du duet.

La *règle de l'octet* stipule que, si le nombre d'électrons périphériques N_e est supérieur ou égal à 4, la forme la plus stable de l'atome (ou ion) est celle qui lui confère 8 électrons dans sa formule de Lewis (ou 4 doublets). Par exemple, en vertu de cette règle, l'oxygène ${}_8\text{O} : 1(s)^2 2(s)^2 2(p)^4$ et l'azote ${}_7\text{N} : 1(s)^2 2(s)^2 2(p)^3$ peuvent former respectivement 2 et 3 liaisons covalentes :



COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Remarque : les règles de l'octet et du duet traduisent la tendance qu'a un élément à présenter une structure électronique qui ressemble à celle du gaz noble (He, Ne, Ar, ...) qui lui est le plus proche dans la classification périodique.

Dans la pratique, si $N_e \geq 4$, la règle de l'octet sera vérifiée si l'on regroupe les N_e électrons périphériques en :

- un nombre N_ℓ de liaisons covalentes, telles que :

$$N_\ell + N_e = 8 \Rightarrow N_\ell = 8 - N_e$$

- un nombre N_d de doublets non liants, tels que :

$$N_d = \frac{N_e - N_\ell}{2}.$$

Ces règles peuvent s'appliquer aux éléments (atomes ou ions) des deuxième et troisième périodes de la classification périodique, dont la formule de Lewis doit respecter la règle de l'octet. Par exemple, l'atome ${}_7\text{N}$ et l'ion ${}_7\text{N}^+$, de configurations électroniques respectives $1(s)^2 2(s)^2 2(p)^3$ et $1(s)^2 2(s)^2 2(p)^2$ ont pour environnement :

	${}_7\text{N}$	${}_7\text{N}^+$
N_e	5	4
N_ℓ	3	4
N_d	1	0

C'est ainsi que l'on retrouve les formules de Lewis des quelques éléments suivants, qui vérifient la règle de l'octet :

Oxygène (${}_8\text{O}$)	$\text{--}\overline{\text{O}}\text{--}$	$\text{--}\overline{\text{O}}^{\ominus}\text{--}$	$\text{--}\overline{\text{O}}^{\oplus}\text{--}$
Azote (${}_7\text{N}$)	$\text{--}\overline{\text{N}}\text{--}$ 	$\text{--}\overline{\text{N}}^{\oplus}\text{--}$ 	$\text{--}\overline{\text{N}}^{\ominus}\text{--}$
Carbone (${}_6\text{C}$)	$\text{--}\overline{\text{C}}\text{--}$ 	$\text{--}\overline{\text{C}}^{\ominus}\text{--}$ 	

Dans une molécule, les liaisons covalentes s'établissent entre éléments. La formule de Lewis d'une molécule s'inspire des formules précédentes. On pourra retenir les formules de quelques molécules simples :

Eau (H_2O) : $\text{H--}\overline{\text{O}}\text{--H}$	Ammoniac (NH_3) : $\begin{array}{c} \text{H--}\overline{\text{N}}\text{--H} \\ \\ \text{H} \end{array}$
Méthane (CH_4) : $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H--}\overline{\text{C}}\text{--H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	dioxyde de carbone (CO_2) : $\text{O}=\text{C}=\text{O}$

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

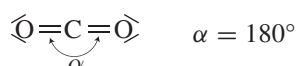
⚠ ATTENTION

Pour qu'une formule de Lewis soit exacte, elle doit présenter tous les doublets (liants et non liants) de chaque atome.

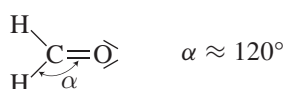
2.1.4 - Géométrie des molécules

Un élément A est entouré de n liaisons (une liaison simple compte ici autant qu'une liaison double ou triple) et de m doublets non liants ; il est noté AX_nE_m . La répartition, dans l'espace, des liaisons dépend du nombre $n + m$ d'entités qui entourent l'atome central A (et qui se repoussent) :

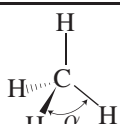
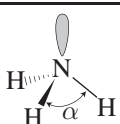
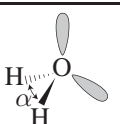
- Si $n + m = 2$ (dans AX_2), la molécule est linéaire ; par exemple, le dioxyde de carbone (CO_2) :



- Si $m + n = 3$ (dans AX_3 , par exemple), la molécule est triangulaire plane ; c'est le cas de la molécule de méthanal (H_2CO) :



- Si $m + n = 4$, l'atome A est au centre d'un tétraèdre (les doublets non liants occupent dans l'espace une place, au même titre que les liaisons covalentes) ; par exemple :

méthane CH_4	ammoniac NH_3	eau H_2O
type AX_4	type AX_3E_1	type AX_2E_2
 $\alpha = 109,5^\circ$	 $\alpha = 107^\circ$	 $\alpha = 105^\circ$

Dans ces représentations, la notation — désigne une liaison dans le plan de la feuille de papier, $\blacktriangleright$ représente une liaison dirigée vers le haut de ce plan (vers nous), $\cdots$ désigne une liaison dirigée vers le bas de ce plan (vers l'intérieur de la feuille) et $\bullet$ représente un doublet non liant.

Remarque : les doublets non liants sont plus répulsifs que les liaisons covalentes ce qui provoque un resserrement des liaisons (diminution de l'angle α en allant de CH_4 à H_2O).

⚠ ATTENTION

Bien que la molécule H_2O ne possède que deux liaisons covalentes, cette molécule est coudée et non linéaire (les deux doublets non liants repoussent les liaisons O — H).

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

2.2 Electronégativité, polarisation et polarité

2.2.1 - Electronégativité



Retrouvez cette partie du cours en vidéo.

Définition 2

L'électronégativité χ d'un élément X est une grandeur qui caractérise l'avidité de X à l'égard des électrons : plus χ est grand, plus X attire les électrons et les retient.

Les quelques valeurs de χ consignées ci-dessous montrent que l'électronégativité augmente vers la droite et vers le haut de la classification périodique :

H	
2,2	
Li	Be
1,0	1,6
Na	Mg
0,9	1,3

B	C	N	O	F
2,0	2,55	3,0	3,5	4,0
Al	Si	P	S	Cl
1,6	1,9	2,2	2,6	3,15

2.2.2 - Polarisation d'une liaison

Dans une liaison covalente A–B entre deux atomes A et B, les électrons ne sont pas figés ; la probabilité de les trouver au voisinage de l'élément le plus électro-négatif (par exemple A) est plus grande que celle de les trouver au voisinage de l'autre élément (par exemple B). Ce déplacement statistique induit une polarisation de la liaison A–B : tout se passe comme si une fraction de charge négative ($-\delta$) était concentrée au voisinage de A, tandis qu'une fraction de charge positive ($+\delta$) traduisait un déficit électronique au voisinage de B.

Remarque : si $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C désigne la charge élémentaire (celle d'un électron, au signe près), les charges partielles portées par A et B sont supposées valoir respectivement $q_A = -\delta \times e$ et $q_B = +\delta \times e$, où $\delta < 1$ (l'identité $\delta = 1$ correspondrait aux ions A^- et B^+) et $\delta \geq 0$ (l'identité $\delta = 0$ signifiera que la liaison n'est pas polarisée, par exemple lorsque A et B désignent le même élément).

Définition 3

On appelle dipôle électrostatique un couple de points A et B qui portent des charges $q_B = q > 0$ et $q_A = -q$ opposées.

Définition 4

Le moment dipolaire $\vec{p}$ d'un dipôle électrostatique est un vecteur $\vec{p} = q \times \overrightarrow{AB}$ caractérisé par :

- sa direction : celle de la droite (AB) ;
- son sens : de la charge négative vers la charge positive ;
- son intensité : $p = \|\vec{p}\| = q \times AB$.

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

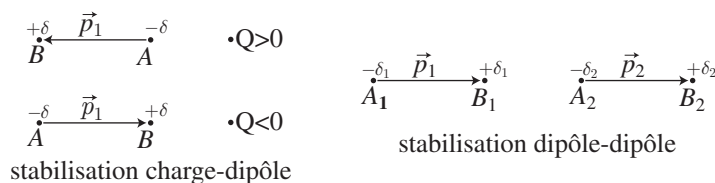
Pour $\chi_A > \chi_B$: $A^{\delta-} \xrightarrow{\vec{p}} B^{+\delta}$

Dans le système international d'unités, l'unité de p est le coulomb-mètre (C · m) mais on lui préfère une unité mieux adaptée, le debye (D) :

$$1 \text{ D} = 3,33 \cdot 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$$

Un dipôle $\vec{p}_1$ est susceptible d'interagir avec :

- une charge électrique Q : $\vec{p}_1$ s'oriente vers Q de manière à lui présenter une charge opposée, ce qui contribue à stabiliser le système ;
- un autre dipôle $\vec{p}_2$: c'est en adoptant le même sens et la même direction que $\vec{p}_1$ et $\vec{p}_2$ se stabilisent mutuellement.



2.2.3 - Polarité d'une molécule

Lorsqu'une molécule possède plusieurs liaisons polarisées (de moments dipolaires $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \dots$) son moment dipolaire global est la somme vectorielle des moments dipolaires :

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots$$

Le moment dipolaire $\vec{p}$ d'une molécule dépend non seulement de la polarisation de ses liaisons, mais également de sa géométrie. Ainsi :

- la molécule de dioxyde de carbone CO_2 (ci-contre) possède un moment dipolaire nul car les liaisons $\text{C}=\text{O}$ sont parallèles et équivalentes.

$\text{O}=\text{C}=\text{O}$
 180°
 $\begin{array}{c} -\delta \quad +2\delta \quad -\delta \\ \text{O} \quad \text{C} \quad \text{O} \\ \vec{p}_1 \quad \vec{p}_2 \end{array}$
- une molécule triangulaire plane (par exemple BF_3) possède un moment dipolaire nul car $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 = \vec{0}$.

$\begin{array}{c} \text{F}^{-\delta} \\ \downarrow \vec{p}_1 \\ \text{B}^{+3\delta} \\ \nearrow \vec{p}_2 \quad \nwarrow \vec{p}_3 \\ -\delta \text{F} \quad \text{F}^{-\delta} \end{array}$
 $\begin{array}{c} \vec{p}_2 \\ \vec{p}_1 \\ \vec{p}_3 \end{array}$
 $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 = \vec{0}$
- la molécule de méthane présente un moment dipolaire nul car l'atome de carbone se trouve au centre d'un tétraèdre régulier, de sorte que $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \vec{p}_4 = \vec{0}$.

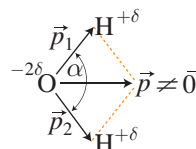
$\begin{array}{c} \text{H}^{+\delta} \\ \uparrow \\ +\delta \text{H} \quad \text{C}^{-4\delta} \quad \text{H}^{+\delta} \\ \nwarrow \quad \nearrow \quad \downarrow \\ \text{H}^{+\delta} \quad \text{H}^{+\delta} \end{array}$
 $\begin{array}{c} \vec{p}_1 \\ \vec{p}_2 \\ \vec{p}_3 \\ \vec{p}_4 \end{array}$
 $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \vec{p}_4 = \vec{0}$

COURS

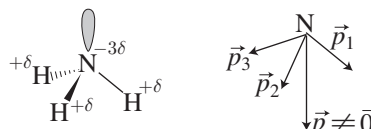
INTERROS

CORRIGÉS

- la molécule d'eau H_2O est polaire ($p = 1,85 \text{ D}$) car les liaisons O-H font un angle α différent de 180° .



- la molécule d'ammoniac NH_3 est polaire car l'atome d'azote est placé au sommet d'un tétraèdre.



Remarque : expérimentalement, pour savoir si une molécule composant un liquide est polaire, il suffit de faire couler un filet de ce liquide au voisinage d'une règle électrisée; si la molécule est polaire, le filet est attiré par la règle.

➔ Solution de l'exercice type 1

Lycée Baudelaire, Fosses

- Pour connaître le nombre d'électrons périphériques d'un atome, il convient de dresser sa configuration électronique (les niveaux (K) et (L) étant respectivement saturés avec 2 et 8 électrons) :

Élément	Structure
1H	$1(s)^1$
5B	$1(s)^2 2(s)^2 2(p)^1$
6C	$1(s)^2 2(s)^2 2(p)^2$
7N	$1(s)^2 2(s)^2 2(p)^3$
8O	$1(s)^2 2(s)^2 2(p)^4$
15P	$1(s)^2 2(s)^2 2(p)^6 3(s)^2 3(p)^3$
16S	$1(s)^2 2(s)^2 2(p)^6 3(s)^2 3(p)^4$
17Cl	$1(s)^2 2(s)^2 2(p)^6 3(s)^2 3(p)^5$

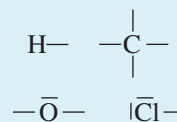
Ces configurations permettent de montrer que :

- l'azote (N) et le phosphore (P) possèdent chacun 5 électrons périphériques;
- l'oxygène (O) et le soufre (S) possèdent chacun 6 électrons périphériques.

- Les configurations électroniques des atomes d'hydrogène, de carbone et d'oxygène permettent de connaître leurs structures de Lewis qui découlent des règles de l'octet et du duet :

éléments	H	C	O	Cl
électrons périphériques	1	4	6	7
liaisons covalentes	1	4	2	1
doublets non liants	0	0	2	3

c'est-à-dire :

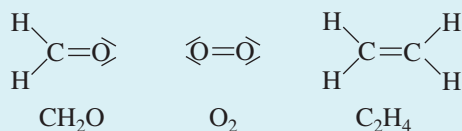


COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

➔ Solution de l'exercice type 1

Lycée Baudelaire, Fosses

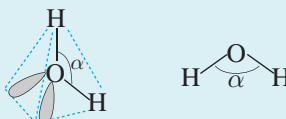
On peut alors en déduire les formules de Lewis :



3 De même, on peut trouver les formules de Lewis des molécules suivantes :

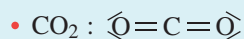
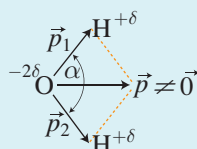


L'atome d'oxygène étant entouré de quatre entités (deux liaisons covalentes et deux doublets non liants), il se trouve au centre d'un tétraèdre dont les deux sommets sont occupés par des atomes d'hydrogène :



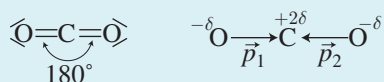
Si le tétraèdre était régulier, l'angle entre les deux liaisons vaudrait $109,5^\circ$, mais les deux doublets non liants repoussent ces liaisons, qui se rapprochent en faisant un angle plus petit ($\alpha \approx 105^\circ$).

La molécule d'eau H_2O est polaire ($p = 1,85 \text{ D}$) car les liaisons O-H font un angle α différent de 180° :



L'atome de carbone est entouré de deux entités (deux doubles liaisons $\text{C}=\text{O}$), en conséquence de quoi la molécule est linéaire.

La molécule de dioxyde de carbone CO_2 :



possède un moment dipolaire nul car les liaisons $\text{C}=\text{O}$ sont parallèles et équivalentes.

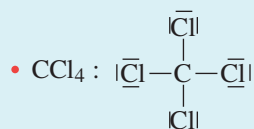
COURS

INTERROS

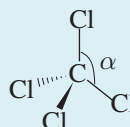
CORRIGÉS

➔ Solution de l'exercice type 1 (suite)

Lycée Baudelaire, Fosses



L'atome de carbone est entouré de quatre entités identiques (4 liaisons C-Cl) ; il est au centre d'un tétraèdre régulier, dans lequel les liaisons C-Cl font toutes le même angle $\alpha \approx 109,5^\circ$ entre elles :



La molécule de CCl_4 présente un moment dipolaire nul car l'atome de carbone se trouve au centre d'un tétraèdre régulier, de sorte que les moments dipolaires des différentes liaisons se compensent vectoriellement.

Voir énoncé page 299

3 Cohésion de la matière

Exercice type 2

Lycée Jean-Pierre Vernant, Pins-Justaret

- 1 Dans un tube à essai, on verse quelques millilitres de pentane (C_5H_{12}) puis on introduit une pointe de spatule de sulfate de cuivre anhydre ($\text{CuSO}_{4(\text{sol})}$). Une fois le tube bouché, on l'agite puis on laisse reposer le mélange : un dépôt blanc se forme dans le fond du tube qui contient un liquide limpide et transparent
 - (a) Justifier l'aspect du mélange obtenu.
 - (b) À l'aide d'une pipette jetable, on introduit quelques millilitres d'eau distillée dans le tube à essai. Faire un schéma du tube après agitation et décantation.
- 2 On souhaite préparer un volume $V = 100 \text{ mL}$ d'une solution de chlorure de fer III telle que la concentration molaire en ions chlorure soit $[\text{Cl}^-_{(\text{aq})}] = 0,750 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
 - (a) Écrire l'équation de dissolution du chlorure de fer III ($\text{FeCl}_{3(\text{sol})}$) dans l'eau.
 - (b) Quelle relation y a-t-il entre la concentration molaire en soluté C et les concentrations molaires effectives $[\text{Cl}^-_{(\text{aq})}]$ et $[\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}]$ en ions chlorure et fer III ?
 - (c) Calculer la masse de soluté nécessaire à la préparation de la solution.

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

Exercice type 2 (suite)

Lycée Jean-Pierre Vernant, Pins-Justaret

Données :

- Les atomes de carbone et d'hydrogène ont des électronégativités voisines.
- Le sulfate de cuivre anhydre est un solide ionique blanc.
- Les ions cuivre II du sulfate de cuivre prennent une coloration bleue en solution aqueuse.
- Le pentane et l'eau sont deux liquides non miscibles.
- La densité du pentane vaut 0,62 et celle de l'eau vaut 1.
- Masses molaires du fer et du chlore :

$$M_{\text{Fe}} = 55,88 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M_{\text{Cl}} = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Voir corrigé page 314

Ce chapitre a pour but de décrire la structure et les propriétés des solides ioniques ainsi que d'expliquer comment ces solides se dissolvent en solution. La notion de polarité des molécules, vue dans le paragraphe précédent, permettra de comprendre pourquoi certains liquides sont de meilleurs solvants que d'autres pour une molécule donnée.

3.1 Solides

3.1.1 - Interaction électrostatique

Soient deux charges électriques ponctuelles q_1 et q_2 (en coulomb : C), espacées d'une distance r (en mètre). L'interaction électrostatique qui s'exerce entre ces deux charges est décrite par la *loi de Coulomb*. Elle est représentée par un vecteur force $\vec{F}$ dont :

- la direction est celle de la droite qui passe par q_1 et q_2 ;
- le point d'application est la charge sur laquelle elle s'exerce ;
- l'intensité vaut, en newton (N) :

$$F = k \times \frac{|q_1| \times |q_2|}{r^2} \quad (38)$$

où $k = 9 \cdot 10^9 \text{ S.I. } (9 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-4} \cdot \text{A}^{-2})$ est la constante de la loi de Coulomb.

- le sens dépend du signe des charges : la force est attractive si les charges sont de signe opposé et elle est répulsive si les charges ont le même signe.

⚠ ATTENTION

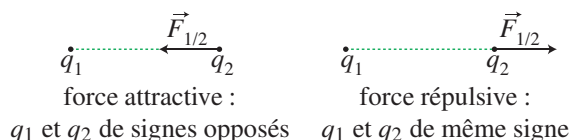
Respecter impérativement les unités du système international.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Par exemple, avec la force $\vec{F}_{1/2}$ qu'une charge ponctuelle q_1 exerce sur une charge q_2 également ponctuelle :



Remarque : en réaction, la charge q_2 exerce sur q_1 une force $\vec{F}_{2/1}$ de même direction que $\vec{F}_{1/2}$, de même intensité, mais de sens opposé : $\vec{F}_{2/1} = -\vec{F}_{1/2}$.

On rappelle quelques facteurs de conversion :

millimètre		1 mm = 10^{-3} m $\Rightarrow$ 1 m = 10^3 mm
micromètre		1 μ m = 10^{-6} m $\Rightarrow$ 1 m = 10^6 μ m
nanomètre		1 nm = 10^{-9} m $\Rightarrow$ 1 m = 10^9 nm
picomètre		1 pm = 10^{-12} m $\Rightarrow$ 1 m = 10^{12} pm

3.1.2 - Solides ioniques

Comme leur nom l'indique, les solides ioniques sont des solides composés d'ions positifs (cations) et d'ions négatifs (anions) dont la cohésion est assurée par l'attraction électrostatique entre les anions et les cations.

La proportion d'anions et de cations est telle que le solide est globalement neutre. Pour nommer le solide ionique, on cite d'abord l'anion puis le cation (ex : chlorure de sodium), mais lorsque l'on écrit sa formule, on indique le cation puis l'anion (ex : NaCl).

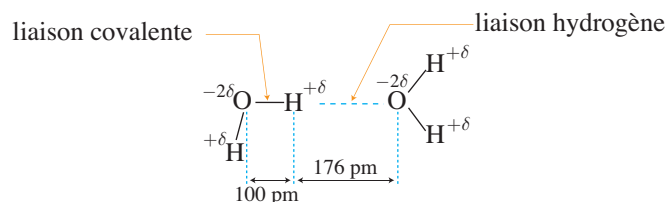
3.1.3 - Solides moléculaires

Définition 5

Un solide moléculaire est composé de molécules qui occupent les nœuds des mailles.

3.1.3.1 - La liaison hydrogène

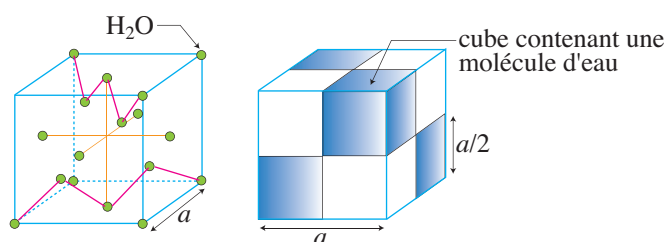
Cette liaison s'établit entre l'atome d'hydrogène d'une liaison polaire ($-H^{+\delta}$) et un atome électronégatif (par exemple l'oxygène, l'azote, ...). Ainsi, l'eau solide et l'eau liquide doivent leur cohésion à des liaisons hydrogène entre les molécules d'eau :



COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

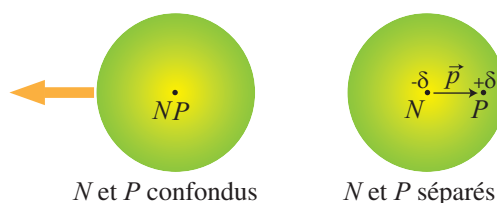
Remarque : les liaisons hydrogène sont plus faibles que les liaisons covalentes (il suffit souvent de chauffer un corps pour les rompre) et elles sont souvent plus longues également.

Ainsi, une des formes allotropiques de la glace est constituée d'une maille cubique à faces centrées (d'arête a) de molécules d'eau, dont la moitié des petits cubes, d'arête $\frac{a}{2}$, contient une molécule d'eau en leur centre.

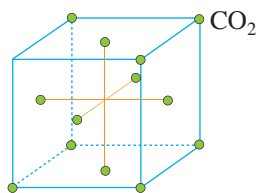


3.1.3.2 - Les interactions de Van Der Waals

Dans une molécule, même dépourvue de moment dipolaire permanent, le centre N du nuage électronique peut s'écarter du centre P positif (noyau), ce qui provoque l'apparition d'un moment dipolaire éphémère.



Ce dipôle peut interagir avec d'autres dipôles voisins et être responsable de la cohésion d'un réseau cristallin. C'est cette liaison qui est, par exemple, à l'origine du cristal de neige carbonique : des molécules de dioxyde de carbone (CO_2) occupent les nœuds d'une maille cubique et le centre des faces de cette maille :



3.2 Solutions

3.2.1 - Dissolution

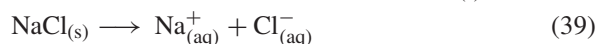
Un solvant polaire (eau, ammoniac, ...) stabilise les charges électriques et favorise ainsi la dissolution des cristaux ioniques en rompant les liaisons entre les ions.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Par exemple, la réaction de dissolution du chlorure de sodium ($\text{NaCl}_{(s)}$) s'écrit :



Remarque : l'eau peut ainsi dissoudre facilement les autres molécules polaires (par exemple l'ammoniac) à l'aide des interactions dipôle/dipôle. En revanche, la dissolution dans l'eau des molécules non polaires (benzène, acides gras, tétrachloroéthane $\text{CCl}_4, \dots$) est beaucoup moins efficace.

À RETENIR

On retiendra que d'une manière générale, les molécules polaires se dissolvent facilement dans un solvant polaire, tandis que les molécules apolaires se dissolvent facilement dans un solvant apolaire.

Remarque : la différence de solubilité d'une substance chimique dans deux liquides différents peut être utilisée pour extraire cette substance d'une solution. Pour cela, on ajoute à la solution initiale un solvant qui ne soit pas miscible avec la solution initiale, mais dans lequel la solubilité de la substance à extraire est bien supérieure à celle de la même substance dans la solution initiale.

Lors du mélange entre la solution initiale et le solvant d'extraction, la substance se dissout alors naturellement dans le solvant ajouté.

Cette technique s'appelle l'extraction par solvant.

ATTENTION

Un erreur fréquente consiste à considérer que la dissolution d'un solide implique nécessairement la formation d'ions en solution. Cela n'est vrai que lors de la dissolution de solides ioniques.

Définition 6

On appelle *soluté* une espèce introduite dans un solvant.

Par exemple, l'équation (39) rend compte de la dissolution du soluté NaCl (les ions $\text{Na}_{(aq)}^{+}$ et $\text{Cl}_{(aq)}^{-}$ ne sont pas des solutés).

Considérons un cristal ionique, formé d'anions A^{n-} et de cations C^{m+} , de formule $C_z A_y_{(s)}$ (par exemple $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3_{(s)}$ qui est composé des ions Fe^{3+} et SO_4^{2-}). La dissolution de N moles de soluté dans l'eau peut être suivie par le tableau d'avancement de cette réaction :

	$C_z A_y_{(s)} \longrightarrow z C_{(aq)}^{m+} + y A_{(aq)}^{n-}$		
$x = 0$	N	0	0
$x \neq 0$	$N - x$	zx	yx
$x_f = N$	0	zN	yN

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

Si la dissolution est totale, elle cesse dès que l'avancement x prend la valeur $x_f = N$ permettant de faire disparaître le soluté.

Dans le volume V de solution, les concentrations des ions valent alors :

$$\begin{cases} [A_{(aq)}^{n-}] = \frac{yN}{V} \Rightarrow y = \frac{V}{N} \times [A_{(aq)}^{n-}] \\ [C_{(aq)}^{m+}] = \frac{zN}{V} \Rightarrow z = \frac{V}{N} \times [C_{(aq)}^{m+}] \end{cases}$$

Enfin, puisque la neutralité électrique du cristal impose : $mz = ny$, il s'ensuit que :

$$m [C_{(aq)}^{m+}] = n [A_{(aq)}^{n-}]$$

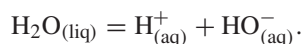
Plus généralement, lorsqu'une solution contient des anions $A_{1(aq)}^{n_1-}, A_{2(aq)}^{n_2-}, \dots$ et des cations $C_{1(aq)}^{m_1+}, C_{2(aq)}^{m_2+}$, la neutralité électrique de cette solution impose :

$$n_1 \times [A_{1(aq)}^{n_1-}] + n_2 [A_{2(aq)}^{n_2-}] + \dots = m_1 \times [C_{1(aq)}^{m_1+}] + m_2 \times [C_{2(aq)}^{m_2+}] + \dots$$

Par exemple, une solution réalisée à partir de phosphate de sodium (Na_3PO_4) et de sulfate de sodium (Na_2SO_4) contient des ions dont les concentrations doivent vérifier :

$$3 [\text{PO}_4^{3-}_{(aq)}] + 2 [\text{SO}_4^{2-}_{(aq)}] = [\text{Na}^+_{(aq)}].$$

Remarque : par dissociation spontanée (autoprotolyse), l'eau produit des ions $\text{H}^+_{(aq)}$ et $\text{HO}^-_{(aq)}$:



Mais, puisque cette réaction est très faible, on néglige souvent son influence : les ions $\text{H}^+_{(aq)}$ et $\text{HO}^-_{(aq)}$ produits par autoprotolyse sont ignorés, sauf indication contraire.

3.2.2 - Mélanges de deux liquides

3.2.2.1 - Miscibilité de deux liquides

La structure des molécules permet également de prévoir si deux liquides sont miscibles (ils se mélangent parfaitement comme le vinaigre et l'eau) ou non-miscibles (ils se séparent spontanément en formant deux phases distinctes comme l'huile et le vinaigre).

- Si les deux liquides sont apolaires, il n'y a pas d'interaction électromagnétique entre les différentes molécules qui vont donc pouvoir se mélanger.
- Si les deux liquides sont polaires, les interactions électromagnétiques entre les différents type de molécules sont à peu près équivalentes et les molécules vont pouvoir se mélanger.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- Si l'un des liquides est polaire et l'autre non, les molécules polaires vont s'attirer entre elles par interaction électrostatique et vont spontanément se séparer des molécules apolaires.

➔ À RETENIR

Les liquides seront généralement miscibles s'ils sont tous les deux polaires ou tous les deux apolaires. En revanche, la plupart du temps, un liquide polaire et un liquide apolaire ne seront pas miscibles.

3.2.2.2 - Molécules hydrophiles et lipophiles

Une même entité chimique peut être constituée d'une partie polaire (ou électriquement chargée) et d'une partie apolaire. On dit alors qu'une telle molécule possède un caractère *amphiphile*.

On peut prendre comme exemple les ions carboxylate ($R - COO^-$) constitués d'une longue chaîne carbonée apolaire (ici notée $R-$) et d'un groupe carboxylate ($-COO^-$). Le groupe carboxylate étant chargé il s'entoure facilement de molécules d'eau (car elles sont polaires). On dit que ce groupe est *hydrophile* (il aime l'eau).

En revanche la chaîne carbonée est apolaire et elle ne va donc s'entourer facilement de molécule d'eau. On dit que cette chaîne est *hydrophobe* (elle fuit l'eau). Mais elle va pouvoir s'entourer d'autres molécules contenant de longues chaînes carbonées. On dit alors que cette chaîne est également *lipophile*. Lipophile signifie littéralement « qui aime les graisses » car les chaînes carbonées apolaires sont très présentes dans les graisses.

Les savons sont des molécules amphiphiles constituées d'une tête hydrophile et d'une chaîne carbonée lipophile.

C'est pourquoi ils sont utilisés comme dégraissants :

- la partie lipophile s'accroche aux molécules de gras lors du lavage ;
- la partie hydrophile s'accroche à l'eau et entraîne alors les graisses lors du rinçage.

➔ Solution de l'exercice type 2

Lycée Jean-Pierre Vernant, Pins-Justaret

- 1 (a) Puisque les atomes de carbone et d'hydrogène ont des électronégativités voisines, la molécule de pentane est apolaire : elle ne dispose pas du moment dipolaire assurant la dissociation de $CuSO_{4(sol)}$ en ses ions Cu^{2+} et SO_4^{2-} . C'est pourquoi le sulfate de cuivre ne se dissout pas dans le pentane et reste sous forme de dépôt solide blanc (qui est sa couleur en l'absence d'eau) dans le pentane (liquide limpide).

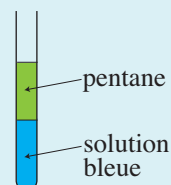
COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

➔ Solution de l'exercice type 2 (suite)

Lycée Jean-Pierre Vernant, Pins-Justaret

- (b) L'eau (de densité 1) étant plus dense que le pentane (de densité 0,62), elle se dépose dans le fond du tube sans se mélanger au pentane (les deux liquides ne sont pas miscibles).

En revanche, la molécule d'eau dispose des dipôles nécessaires à la dissolution de $\text{CuSO}_4(\text{sol})$: les ions $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ ainsi libérés rendent le sulfate de cuivre soluble dans l'eau et donnent sa couleur bleue à la solution aqueuse.



- 2 (a) Soit n la quantité de matière solide introduite dans l'eau sous forme de cristaux de chlorure de fer III ($\text{FeCl}_3(\text{sol})$). La dissolution de ce sel se décrit quantitativement à l'aide d'un tableau avancement :

	$\text{FeCl}_3(\text{sol})$	$=$	$\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+}$	$+$	$3 \text{Cl}_{(\text{aq})}^-$
$x = 0$	n		0		0
$x \neq 0$	$n - x$		x		$3x$
$x = n$	0		n		$3n$

- (b) Introduit dans un volume V d'eau, le soluté FeCl_3 présentait une concentration :

$$C = \frac{n_{\text{FeCl}_3} \text{ lorsque } x=0}{V} = \frac{n}{V}.$$

Le tableau d'avancement précédent révèle en outre qu'à l'issue de la dissolution du sel, la solution contient :

$$n_{\text{Fe}^{3+}} = n \text{ mol d'ions } \text{Fe}^{3+} \text{ et } n_{\text{Cl}^-} = 3n \text{ mol d'ions } \text{Cl}^-$$

La concentration molaire de ces ions vaut alors :

$$\begin{aligned} [\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+}] &= \frac{n_{\text{Fe}^{3+}}}{V} = \frac{n}{V} \Rightarrow [\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+}] = C \\ \text{er : } [\text{Cl}_{(\text{aq})}^-] &= \frac{n_{\text{Cl}^-}}{V} = 3 \frac{n}{V} \Rightarrow [\text{Cl}_{(\text{aq})}^-] = 3C. \end{aligned} \quad (40)$$

- (c) La relation (40) indique que pour obtenir une concentration $[\text{Cl}_{(\text{aq})}^-]$ dans un volume $V = 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$ de solution de chlorure de fer III, il convient de dissoudre une quantité de matière n de $\text{FeCl}_3(\text{sol})$ telle que :

$$\frac{3n}{V} = [\text{Cl}_{(\text{aq})}^-] \Rightarrow n = \frac{[\text{Cl}_{(\text{aq})}^-] V}{3}.$$

Or, la masse molaire du chlorure de fer III ($\text{FeCl}_3(\text{sol})$) valant :

$$M = M_{\text{Fe}} + 3 M_{\text{Cl}} = 55,88 + 3 \times 35,5 = 162,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

il faut en dissoudre une masse :

$$m = M \times n = \frac{[\text{Cl}_{(\text{aq})}^-] V M}{3} = \frac{0,75 \times 0,1 \times 162,4}{3} \Rightarrow m \approx 4,1 \text{ g}.$$

Voir énoncé page 308

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

1 QCM Testez vos connaissances

15 min **Corrigé**
p. 326

- 1** La molécule d'eau a pour formule :
☐ a H_2O ☐ b H_3O^+ ☐ c O_2 ☐ d HO^-
- 2** La formule de Lewis de la molécule d'eau s'écrit :
☐ a $\text{Q}=\text{Q}$ ☐ b $\text{H}-\text{Q}-\text{H}$
☐ c $\text{H}-\text{Q}-\text{H}$ ☐ d $|\text{Q}-\text{Q}|$
- 3** L'angle α entre les liaisons de la molécule vaut :
☐ a $\alpha = 180^\circ$ ☐ b $\alpha = 109^\circ$ ☐ c $\alpha = 105^\circ$ ☐ d $\alpha = 90^\circ$
- 4** Le moment dipolaire de chaque liaison de la molécule est :
☐ a dirigé de l'oxygène vers l'hydrogène ;
☐ b dirigé de l'hydrogène vers l'oxygène.
- 5** Ce moment dipolaire a pour valeur :
☐ a $p_0 = 0 \text{ D}$ ☐ b $p_0 = 2,628 \text{ D}$ ☐ c $p_0 = 1,523 \text{ D}$
- 6** La fraction de charge déplacée sur chaque liaison covalente vaut :
☐ a $\delta = 0$ ☐ b $\delta = 0,57$ ☐ c $\delta = 0,33$
- 7** La force électrostatique qui s'exerce entre les charges ponctuelles q_1 et q_2 , espacées d'une distance r , a pour valeur :
☐ d $F = k \times \frac{|q_1| \times |q_2|}{r^2}$ ☐ e $F = k \times \frac{|q_1| + |q_2|}{r^2}$
☐ f $F = k \times \frac{|q_1| \times |q_2|}{r}$ ☐ g $F = k \times \frac{|q_1| + |q_2|}{r}$
 où $k = 9.10^9 \text{ S.I.}$ est une constante.
- 8** L'interaction électrostatique entre deux charges ponctuelles est caractérisée par :
☐ a une force attractive si les charges sont identiques ;
☐ b une force répulsive, si les charges sont différentes ;
☐ c une force attractive si les charges ont le même signe ;
☐ d une force répulsive si les charges ont le même signe.
- 9** La valeur de la force électrostatique qui s'exerce entre deux charges :
☐ a double quand leur distance est divisée par 2 ;
☐ b double quand leur distance est double ;
☐ c double quand leur distance est divisée par $\sqrt{2}$;
☐ d double quand leur distance est multipliée par $\sqrt{2}$.

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

- 10** Les numéros atomiques des éléments bore, carbone, oxygène, fluor et soufre sont :

$$Z_B = 5 \quad Z_C = 6 \quad Z_O = 8 \quad Z_F = 9 \quad Z_S = 16$$

Leurs électronégativités respectives χ_B , χ_C , χ_O , χ_F et χ_S vérifient les relations :

- a** $\chi_C > \chi_B$; $\chi_F > \chi_B$; $\chi_O > \chi_S$ **b** $\chi_C < \chi_B$; $\chi_B > \chi_F$; $\chi_O > \chi_S$
c $\chi_B > \chi_C$; $\chi_F < \chi_B$; $\chi_O > \chi_S$ **d** $\chi_C > \chi_B$; $\chi_F > \chi_B$; $\chi_S < \chi_O$

Données :

- électronégativités de l'hydrogène et de l'oxygène dans l'échelle de Pauling : $\chi_H = 2,2$; $\chi_O = 3,5$;
- longueur de la liaison O–H : $d_{OH} = 95,75 \text{ pm}$;
- moment dipolaire de la molécule d'eau : $p = 1,854 \text{ D}$;
- valeur du debye : $1 \text{ D} = 3,33 \cdot 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$;
- charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
- numéros atomiques : $Z(H) = 1$ et $Z(O) = 8$.

Structures et polarités des molécules

2 Représentation de Lewis



5 min

Corrigé
p. 328

Lycée Colbert, Lorient

Donner la formule de Lewis des molécules suivantes :

- NH_3 .
- $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (on envisage deux isomères).
- H_2O
- HCN
- Quelle est la formule de Lewis la plus stable pour la molécule SO_2 ?

- a** $\text{O}=\text{S}=\text{O}$ **b** $\text{O}^{\ominus}-\text{S}^{\oplus}=\text{O}$ **c** $|\text{O}-\text{S}-\text{O}|$

Données : $Z_H = 1$ • $Z_C = 6$ • $Z_N = 7$ • $Z_O = 8$ • $Z_S = 16$

3 Dichloroéthane



10 min

Corrigé
p. 330

Lycée Honoré de Balzac, Paris

Les pigments blancs d'un correcteur blanc sont dissous dans un solvant : le dichloroéthane. La formule brute du dichloroéthane est $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 1 Déterminer le nombre de liaisons formées par chaque type d'atomes présents dans le dichloroéthane, ainsi que son nombre de doublets non liants.

- 2 Donner la formule de Lewis des deux isomères possibles.

Données : • $Z_H = 1$ • $Z_C = 6$ • $Z_{Cl} = 17$

4 Isomères de C_3H_6O



10 min

Corrigé
p. 331

Lycée Monod, Clamart

Un composé organique, non cyclique, a pour formule brute : C_3H_6O .

- 1 Donner la configuration électronique de chaque atome.
- 2 Établir les représentation de Lewis des 4 isomères possibles.

Données : • $Z_H = 1$ • $Z_C = 6$ • $Z_O = 8$

5 Étude du sulfure d'hydrogène



10 min

Corrigé
p. 332

Lycée Marie-Curie, Sceaux

On considère une molécule de sulfure d'hydrogène.

- 1 Donner la formule de Lewis de la molécule.
- 2 Dans cette molécule, les liaisons sont-elles polarisées ?
- 3 Cette molécule est-elle polaire ?

Données :

- numéros atomiques : $Z_H = 1$ et $Z_S = 16$;
- l'électronégativité du soufre est supérieure à celle de l'hydrogène : $\chi_S > \chi_H$.

6 Liaisons de l'étain avec le chlore



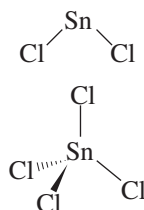
10 min

Corrigé
p. 333

Lycée Langevin, Champigny-sur-Marne

L'élément étain Sn peut former deux ou quatre liaisons covalentes avec l'élément chlore Cl.

La molécule de dichloroétain $SnCl_2$ adopte une géométrie coudée, celle de tétrachloroétain $SnCl_4$ une géométrie tétraédrique, l'atome d'étain étant situé au centre du tétraèdre et les quatre atomes de chlore aux quatre sommets du tétraèdre. L'électronégativité du chlore est supérieure à celle de l'étain : $\chi_{Cl} > \chi_{Sn}$.



COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

- 1 Indiquer le sens de polarisation des liaisons dans les deux molécules.
- 2 Conclure quant à la polarité de ces molécules.
- 3 On approche un objet électrisé d'un mince filet de dichloroétain, puis de tétrachloroétain. Décrire ce qui se passe dans les deux cas.

7 Polarité de l'ammoniac

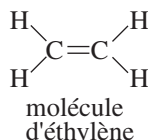
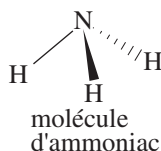


10 min

Corrigé
p. 334

Lycée Fermat, Toulouse

- 1 L'atome d'azote est plus électronégatif que celui d'hydrogène.
La molécule d'ammoniac NH_3 a la forme d'une pyramide. La molécule d'ammoniac est-elle polaire ?



- 2 L'atome de carbone est plus électronégatif que l'atome d'hydrogène.
Le schéma ci-dessus représente aussi la molécule d'éthylène. Cette molécule est-elle polaire ?

8 Chloroéthane



15 min

Corrigé
p. 335

Lycée Notre-Dame des Missions, Charenton

Le chloroéthane est un anesthésique gazeux à température ambiante. Une mole de chloroéthane contient deux moles de carbone, cinq moles d'hydrogène et une mole de chlore.

- 1 Quelle est la masse molaire de cette molécule ?
- 2 Quelle est la formule brute du chloroéthane ?
- 3 Donner la formule développée du chloroéthane.

Données : $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$ $M(\text{H}) = 1 \text{ g.mol}^{-1}$
 $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$

9 Polarité



15 min

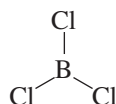
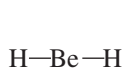
Corrigé
p. 336

Lycée Monod, Clamart

On prend, comme ordre d'électronégativité croissante :

$$\chi_{\text{Be}} < \chi_{\text{Sn}} < \chi_{\text{B}} < \chi_{\text{H}} < \chi_{\text{Cl}}$$

Attribuer les charges partielles $+\delta$ et $-\delta$ aux atomes des molécules suivantes :



COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

Dans chacune de ces molécules, les liaisons sont d'égale longueur et les angles qu'elles forment, dans la troisième molécule, sont égaux.

Déterminer si ces molécules sont polaires.

10 Alcènes



15 min

Corrigé
p. 337

Lycée Saint-Martin, Rennes

Les alcènes ont pour formule générale C_nH_{2n} , où n est un entier supérieur ou égal à 2, représentant le nombre d'atomes de carbone.

- 1 Déterminer la formule brute des alcènes de masse molaire $M = 56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- 2 Représenter la formule de Lewis de l'alcène ayant une double liaison centrale, parmi les précédents alcènes.

Données : $M_H = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M_C = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

11 Composé organique



15 min

Corrigé
p. 337

Lycée Richelieu, Rueil-Malmaison

Un composé organique formé de carbone, d'hydrogène et d'azote a la composition centésimale, en masse : $\%C = 38,7$; $\%H = 16,1$; $\%N = 45,2$.
Sa masse molaire vaut $31 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- 1 Calculer les masses de carbone, d'hydrogène et d'azote contenues dans une mole du composé.
- 2 En déduire sa formule.
- 3 Rechercher la seule possibilité pour la formule développée de la molécule.

Données : $M(H) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M(N) = 14 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
 $M(C) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

On rappelle que le carbone est tétravalent, l'azote trivalent et l'hydrogène monovalent.

12 Polarité de l'ammoniac



20 min

Corrigé
p. 338

Lycée Périer, Marseille



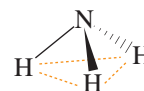
Retrouvez le corrigé de cet exercice en vidéo.

- 1 La molécule d'ammoniac NH_3 est pyramidale (schéma ci-dessous).

(a) L'azote est plus électronégatif que l'hydrogène ($\chi_N > \chi_H$).

Cette molécule est-elle polaire ?

Si oui, représenter le moment dipolaire de la molécule.



COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

(b) Quel type d'interaction existe-t-il entre les molécules d'eau et d'ammoniac, en solution aqueuse ? Quelle conséquence en résulte-t-il sur la solubilité de l'ammoniac ?

2 Quel volume de gaz ammoniac, mesuré à 20°C et sous une pression de 1 013 hPa, faut-il dissoudre dans 250 mL d'eau distillée pour obtenir une solution ammoniacale de concentration $C_{\text{NH}_3} = 0,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$?

On rappelle que la pression p d'un gaz (en Pa), son volume V (en m^3), sa quantité de matière n (en mol) et sa température T (en K) sont liées par la loi de Boyle-Mariotte :

$$pV = nRT$$

où :

- $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ est la constante des gaz parfaits,
- $T_{\text{en K}} \approx T_{\text{en } ^\circ\text{C}} + 273$.

Interactions dans la matière

13 Calcul de forces

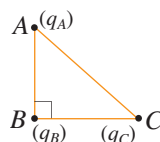


10 min

Corrigé
p. 339

Lycée d'Akwa-Nord, Cameroun

Trois charges électriques q_A, q_B, q_C , sont placées aux sommets A, B, C d'un triangle rectangle en B et isocèle.



Calculer les forces $F_{B/A}$ et $F_{C/A}$ auxquelles est soumise la charge q_A placée en A .

- Données :
- charges : $q_A = q_B = q_C = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ C}$;
 - distance : $BC = 10 \text{ cm}$;
 - constante de la loi de Coulomb : $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ S.I.}$

14 Calcul de forces



20 min

Corrigé
p. 339

Lycée Monod, Clamart

Deux ions chlorure Cl^- sont modélisés par des charges ponctuelles $q_{\text{Cl}^-} = -e$, situées sur un axe $x'Ox$, aux points A et B d'abscisses respectives $-a$ et a , avec $a = 0,282 \text{ nm}$.

Un ion sodium Na^+ est situé au point O . On l'assimilera à une charge ponctuelle $q_{\text{Na}^+} = +e$.

INTERROS

- 1 Que vaut la somme vectorielle des forces électriques subies par l'ion Na^+ de la part des ions chlorure ? Faire un schéma avec les forces électriques.
- 2 Calculer cette somme lorsque l'ion Na^+ est à l'abscisse $x = 0,0282 \text{ nm}$. Faire un schéma avec les forces électriques. Conclure.

Données :

- constante de la loi de Coulomb : $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ S.I.}$;
- charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

15 Cristal de chlorure de rubidium



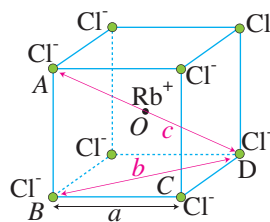
40 min

Corrigé
p. 341

Institut Notre-Dame, Saint-Germain-en-Laye

La maille élémentaire d'un cristal de chlorure de rubidium RbCl peut être représentée en plaçant un ion Cl^- à chaque sommet d'un cube dont le centre O est occupé par un ion Rb^+ (cf. figure ci-dessous).

- 1 Calculer la valeur de l'interaction gravitationnelle qui s'exerce entre un anion et un cation.
- 2 (a) Calculer la valeur de l'interaction électrique attractive qui s'exerce entre deux ions les plus proches.
(b) Calculer la valeur de l'interaction électrique répulsive qui s'exerce entre deux ions les plus proches.
- 3 Comparer ces interactions et conclure.



Données :

- Entre deux particules de masses m_1 et m_2 (en kg), séparées d'une distance r (en m), s'exerce une force de gravitation attractive, d'intensité :

$$F_g = \mathcal{G} \times \frac{m_1 \times m_2}{r^2} \text{ où } \mathcal{G} = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ S.I.}$$

- charge élémentaire : $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;
- constante de la loi de Coulomb : $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ S.I.}$;
- distances dans le cristal de chlorure de rubidium :

$$a = BC = 195 \text{ pm} \quad b = BD = 276 \text{ pm} \quad c = AD = 338 \text{ pm}$$

- masses des ions Rb^+ et Cl^- :

$$m_{\text{Rb}} = 1,43 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \quad m_{\text{Cl}} = 5,93 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

Réactions de dissolution

16 Réactions de dissolution



5 min

Corrigé
p. 343

Lycée Colbert, Lorient

Donner le nom, ainsi que l'équation de dissolution dans l'eau de chacun des solides ioniques suivants :

1 KI

2 BaCl₂

3 K₃PO₄

17 Solution de sulfate d'aluminium



15 min

Corrigé
p. 343

Lycée Saint-Louis de Gonzagues, Paris

On désire préparer un volume $V = 250 \text{ cm}^3$ d'une solution de sulfate d'aluminium, de concentration massique $c_m = 17,12 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

- 1 Quelle masse m de sulfate d'aluminium dont-on utiliser ?
- 2 Quelle est la concentration molaire C de la solution obtenue, en sulfate d'aluminium ?
- 3 Quelles sont les concentrations molaires de cette solution en anion sulfate et en cation aluminium ?

Données :

- le sulfate d'aluminium est un solide ionique qui contient des ions sulfate SO_4^{2-} et des ions aluminium Al^{3+} ;
- masses molaires de quelques éléments :

$$M_{\text{Al}} = 27 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M_{\text{S}} = 32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M_{\text{O}} = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

18 Solution de chlorure de calcium



15 min

Corrigé
p. 344

Lycée Colbert, Lorient

- 1 On veut préparer 0,500 L de solution de chlorure de calcium, de concentration en soluté $C_1 = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (le solide ionique de départ a pour formule CaCl₂).
 - (a) Calculer la masse de cristaux à utiliser.
 - (b) Décrire les principales étapes du mode opératoire à effectuer (indiquer précisément la verrerie à utiliser).
 - (c) Donner l'équation de la dissolution dans l'eau du solide ionique. Quelles sont les concentrations effectives des ions en solution ?

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 2 On veut obtenir, à partir de la solution précédente, 250 mL d'une solution de concentration en soluté $C_2 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Décrire les principales étapes du mode opératoire à suivre (préciser la verrerie à utiliser).

Données : • $M_{\text{Ca}} = 40,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ • $M_{\text{Cl}} = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

19 Sulfate de cuivre hydraté



20 min

Corrigé
p. 346

Lycée Janson de Sailly, Paris

Le sulfate de cuivre II hydraté, appelé chalcantite, se présente sous forme de cristaux bleus ; c'est un solide ionique qui a pour formule $\text{CuSO}_4 \cdot y \text{H}_2\text{O}$, où y représente le nombre de molécules d'eau.

En dissolvant 5,00 g de sulfate de cuivre hydraté dans un litre d'eau, on obtient une solution dont la concentration en ions Cu^{2+} est $2 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Déterminer la valeur de y .

Données : masses molaires M :

	Cu	S	O	H
$M \text{ (en g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$	63,5	32	16	1

20 Dissolution du phosphate de sodium



20 min

Corrigé
p. 346

Lycée Saint-Sernin, Toulouse

Considérons la dissolution d'un cristal de phosphate de sodium $\text{Na}_3(\text{PO}_4)$.

- Justifier le fait que la molécule d'eau soit polaire.
- La dissolution de ce cristal libère des ions $\text{Na}_{(\text{aq})}^+$; écrire son équation-bilan.
- On dissout 10 g de ce cristal pour former 100 mL de solution. Quelle est la concentration en ion sodium ?

Données : masses molaires de quelques éléments :

	Na	P	O
$M \text{ (en g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$	23	31	16

21 Réactions de dissolution



30 min

Corrigé
p. 347

Lycée Monod, Clamart

- L'hydroxyde de calcium est un solide ionique composé d'ions calcium Ca^{2+} et hydroxyde HO^- . Écrire sa formule.
- L'hydroxyde de potassium est un solide ionique composé d'ions potassium K^+ et hydroxyde HO^- . Écrire sa formule.

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

- 3 Écrire l'équation des réactions de dissolution de ces deux solides.
Pour les bilans de matière, on supposera que l'eau n'intervient que comme solvant, sans apporter d'autres ions.
- 4 On prépare une solution d'hydroxyde de calcium en dissolvant 0,37 g de ce composé dans un volume de 50 mL d'eau. Quelles sont les concentrations molaires des espèces présentes en solution ?
- 5 On prépare ensuite une solution d'hydroxyde de potassium en dissolvant 1,68 g de ce composé dans 150 mL d'eau. Quelles sont les concentrations molaires des espèces présentes en solution ?
- 6 On mélange ces deux solutions. Quelles sont les concentrations effectives des ions présents dans le mélange ?
- 7 Vérifier que la solution est électriquement neutre.

Données : masses molaires de quelques éléments :

Élément	Ca	K	O	H
M (en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	40,0	39,0	16,0	1,0

22 Sulfate de fer hydraté



15 min

Corrigé
p. 350

Lycée Lacordaire, Marseille

Le sulfate de fer hydraté est un solide verdâtre de formule $\text{FeSO}_4 \cdot y \text{H}_2\text{O}$. On veut déterminer le nombre de molécules d'eau y . On prélève une certaine masse de sulfate hydraté que l'on déshydrate.

- 1 Décrire rapidement l'expérience à réaliser.
- 2 À partir d'une masse de 13,9 g de sulfate hydraté, on obtient 7,6 g de sulfate anhydre FeSO_4 . Calculer la valeur de y .

Données :

éléments	Fe	S	H	O
M (en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	55,8	32,1	1,0	16,0

COURS

INTERROS

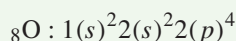
CORRIGÉS

1 **QCM** Testez vos connaissances

Énoncé
p. 316

1 La molécule d'eau a pour formule : H_2O (réponse **a**).

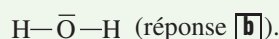
2 La structure électronique de l'atome d'oxygène étant :



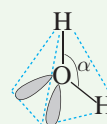
l'atome possède $N_e = 6$ électrons de valence qui se répartissent en :

- $N_\ell = 8 - N_e = 8 - 6 = 2$ liaisons covalentes ;
- $N_d = \frac{N_e - N_\ell}{2} = \frac{6 - 2}{2} = 2$ doublets non liants.

C'est pourquoi la molécule d'eau a pour formule de Lewis :

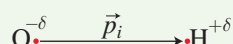


3 La structure de Lewis de cette molécule montre que l'atome d'oxygène est entouré de quatre entités (deux liaisons covalentes et deux doublets non liants) qui se repoussent.

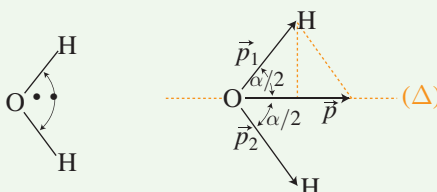


Si la répulsion exercée par les doublets était équivalente à celle exercée par les liaisons covalentes, l'oxygène serait au centre d'un tétraèdre régulier ; l'angle α vaudrait environ $109,5^\circ$. Cependant, la répulsion exercée par les doublets est un peu plus forte, ce qui rapproche les liaisons O-H qui font donc un angle $\alpha \approx 105^\circ$ (réponse **c**).

4 L'atome d'oxygène étant plus électronégatif que celui d'hydrogène ($\chi_{\text{O}} > \chi_{\text{H}}$), c'est vers lui que les électrons de la liaison O-H sont statistiquement déplacés. Il acquiert ainsi une charge partielle négative ($-\delta$), tandis que l'atome d'hydrogène acquiert la charge partielle positive ($+\delta$) qui assure la neutralité de la liaison. Celle-ci est alors polarisée, le moment dipolaire $\vec{p}_i$ étant dirigé de la charge négative vers la charge positive, c'est-à-dire de l'oxygène vers l'hydrogène (réponse **a**) :



5 Soient $\vec{p}_1$ et $\vec{p}_2$ les moments dipolaires des deux liaisons O-H de la molécule d'eau, de même norme p_0 . Ces deux liaisons étant symétriques par rapport à la bissectrice (Δ) de l'angle α , la somme $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ a la même direction que (Δ) :



COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

La projection de chacun des moments ($\vec{p}_1$ et $\vec{p}_2$) sur (Δ) vaut : $p_0 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$, en conséquence de quoi le moment dipolaire $\vec{p}$ de la molécule d'eau a pour norme :

$$p = 2 \times p_0 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \Rightarrow p_0 = \frac{p}{2 \cos(\alpha/2)}$$

où $p = 1,854$ D, d'après l'énoncé. Il s'ensuit que :

$$p_0 = \frac{1,854}{2 \cos(105/2)} \approx 1,523 \text{ D (réponse [c])}.$$

- 6** Les atomes de la liaison O-H portent les charges $\pm q$, avec $q = \delta \times e$ et sont séparés d'une distance $d_{\text{OH}} = 95,75 \text{ pm} = 95,75 \cdot 10^{-12} \text{ m}$. Par définition le moment dipolaire d'une telle liaison a pour valeur :

$$p_0 = q \times d_{\text{OH}} = \delta \times e \times d_{\text{OH}} \Rightarrow \delta = \frac{p_0}{e d_{\text{OH}}}.$$

En tenant compte de la question précédente et de la conversion :

$$1 \text{ D} = 3,33 \cdot 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$$

on obtient finalement :

$$\delta = \frac{1,523 \times 3,33 \cdot 10^{-30}}{1,6 \cdot 10^{-19} \times 95,75 \cdot 10^{-12}} \Rightarrow \delta \approx 0,33 \text{ (réponse [c])}.$$

- 7** La loi de Coulomb précise qu'entre deux charges ponctuelles q_1 et q_2 , espacées d'une distance r , s'exerce l'interaction électrostatique :

$$F = k \times \frac{|q_1| \times |q_2|}{r^2} \text{ avec } k = 9 \cdot 10^9 \text{ S.I. (réponse [a])}. \quad (41)$$

- 8** C'est le signe des charges en interaction qui détermine la nature attractive ou répulsive de cette interaction : deux charges de même signe se repoussent (réponse [d]).

Bien que des charges différentes peuvent se repousser (il suffit qu'elles aient le même signe), elles peuvent aussi s'attirer (si leurs signes sont opposés).

- 9** Soient deux charges q_1 et q_2 , espacées de r , qui exercent une force électrostatique donnée par la loi (41) :

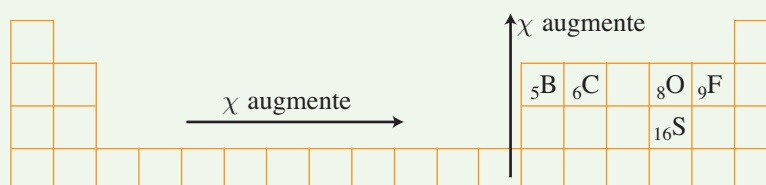
$$F = k \times \frac{|q_1| \times |q_2|}{r^2}.$$

Cette force devient double, c'est-à-dire prend une valeur $F' = 2F$, lorsque les deux charges sont espacées d'une distance r' telle que :

$$\begin{aligned} F' &= k \times \frac{|q_1| \times |q_2|}{r'^2} = 2F = 2 \times k \times \frac{|q_1| \times |q_2|}{r^2} \\ \Rightarrow \frac{1}{r'^2} &= \frac{2}{r^2} \Rightarrow \frac{1}{r'} = \frac{\sqrt{2}}{r} \Rightarrow r' = \frac{r}{\sqrt{2}}. \end{aligned}$$

Leur distance doit donc être divisée par $\sqrt{2}$ (réponse [c]) pour que l'intensité de la force électrostatique double.

- 10 À partir des numéros atomiques des éléments fournis dans l'énoncé, il est possible d'esquisser la classification périodique des éléments :



Sachant que l'électronégativité augmente quand on se déplace vers la droite et vers le haut du tableau, on peut fournir les relations suivantes :

$$\chi_C > \chi_B ; \chi_F > \chi_B ; \chi_O > \chi_S \text{ (réponse a)}.$$

2 Représentation de Lewis

Énoncé
p. 317

Lycée Colbert, Lorient

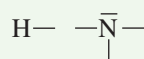
- 1 Les niveaux (K) et (L) étant saturés avec 2 et 8 électrons respectivement, les configurations électroniques des atomes d'azote et d'hydrogène sont :



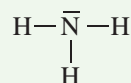
ce qui montre que l'hydrogène possède un électron célibataire, tandis que l'azote possède cinq électrons périphériques (un doublet non liant et trois électrons célibataires) :



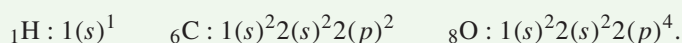
Aussi, conformément à la règle du duet, l'hydrogène forme une liaison covalente et, conformément à la règle de l'octet, l'atome d'azote s'entoure de trois liaisons covalentes :



La molécule NH_3 a donc pour formule de Lewis :



- 2 Les atomes de la molécule $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ont pour structures électroniques :



- D'après la règle du duet, l'hydrogène peut former une liaison covalente.
- D'après la règle de l'octet, l'atome de carbone peut engager ses 4 électrons périphériques dans 4 liaisons covalentes.

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

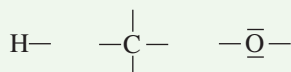
COURS

INTERROS

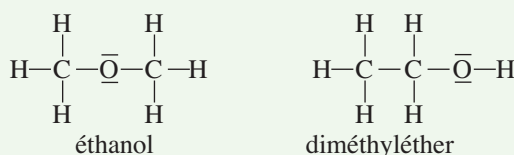
CORRIGÉS

- La règle de l'octet impose à l'oxygène de former deux liaisons covalentes (avec deux de ses électrons périphériques), les quatre autres électrons étant engagés dans deux doublets non liants.

La formule de Lewis de ces atomes étant :



il peut exister, pour la molécule $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, deux isomères :



- 3** Les atomes d'oxygène et d'hydrogène ont pour structure électronique :

$${}_1\text{H} : 1(s)^1 \quad \text{et} \quad {}_8\text{O} : 1(s)^2 2(s)^2 2(p)^4$$

L'atome d'hydrogène a pour structure de Lewis : $\text{H} -$.

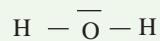
Quant à l'atome d'oxygène, sa configuration électronique montre qu'il présente $N_e = 6$ électrons périphériques. Puisque $N_e > 4$, la règle de l'octet prévoit que cet atome peut former un nombre N_l de liaisons covalentes, tel que :

$$N_e + N_l = 8 \Rightarrow N_l = 8 - N_e = 8 - 6 = 2$$

liaisons covalentes, de sorte qu'il reste :

$$N_d = \frac{N_e - N_l}{2} = \frac{6 - 2}{2} = 2$$

doublets non liants. Finalement, la molécule d'eau a pour formule de Lewis :



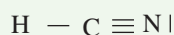
- 4** La configuration électronique de l'atome de carbone ${}_6\text{C}$ s'écrit $1(s)^2 2(s)^2 2(p)^2$ et montre qu'il présente $N_e = 4$ électrons périphériques. La règle de l'octet prévoit que cet atome peut former N_l liaisons covalentes. On a donc :

$$N_e + N_l = 8 \Rightarrow N_l = 8 - N_e = 8 - 4 = 4$$

liaisons covalentes, de sorte qu'il reste :

$$N_d = \frac{N_e - N_l}{2} = \frac{4 - 4}{2} = 0$$

doublet non liant. De la même façon, l'atome d'azote ${}_7\text{N}$ a pour configuration électronique $(K)^2(L)^5$, présente $N_e = 5$ électrons périphériques, peut former $N_l = 3$ liaisons covalentes et : $N_d = 1$ doublet non liant. La formule de Lewis de la molécule HCN s'écrit alors :



- 5 Avec $N_e = 6$ électrons périphériques, on peut envisager plusieurs formules de Lewis pour les atomes d'oxygène et de soufre, qui respectent la règle de l'octet :

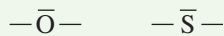
- Puisque $N_e > 4$, la règle de l'octet indique que le nombre de liaisons covalentes N_ℓ vérifie :

$$N_\ell + N_e = 8 \Rightarrow N_\ell = 8 - N_e = 8 - 6 = 2 \text{ liaisons covalentes}$$

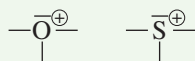
tandis qu'il reste :

$$N_d = \frac{N_e - N_\ell}{2} = \frac{6 - 2}{2} = 2 \text{ doublets non liants.}$$

Ainsi ces atomes présentent les formules de Lewis suivantes :



- Les ions O^+ et S^+ présentent la structure de Lewis :



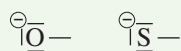
- Les ions O^- et S^- possèdent $N_e = 6 + 1 = 7$ électrons périphériques et, puisque $N_e > 7$, la règle de l'octet prévoit que ces ions forment :

$$N_\ell = 8 - N_e = 8 - 7 = 1 \text{ liaison covalente}$$

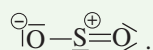
et conservent :

$$N_d = \frac{N_e - N_\ell}{2} = \frac{7 - 1}{2} = 3 \text{ doublets non liants.}$$

Ce faisant, ces ions ont pour formules de Lewis :



Parmi les formules de Lewis proposées, il apparaît alors que $\text{—}\overline{\text{O}}\text{—}$ et $\text{—}\overline{\text{S}}\text{—}$ ne correspondent à aucune structure possible. Par conséquent, la formule de Lewis la plus stable envisageable pour SO_2 est :

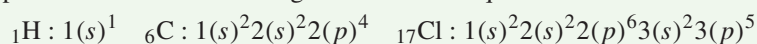


3 Dichloroéthane

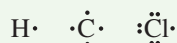
→ Énoncé
p. 317

Lycée Honoré de Balzac, Paris

- 1 Sachant que les niveaux (K) et (L) sont saturés respectivement avec 2 et 8 électrons, la connaissance du numéro atomique de chaque élément permet d'en établir la configuration électronique :



d'où découle la structure externe de chacun des éléments :



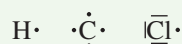
COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

En appariant les électrons du chlore, on obtient alors les formules de Lewis suivantes :

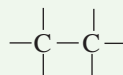


à partir desquelles on peut prévoir le nombre de liaisons que peut générer chaque atome :

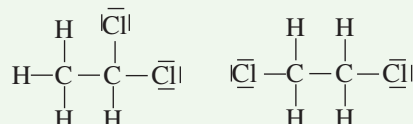
- une seule liaison pour l'atome d'hydrogène, qui respecte alors la règle du duet ;
- 4 liaisons pour l'atome de carbone, ainsi que le prévoit la règle de l'octet ;
- une seule liaison de la part du chlore, qui conserve alors trois doublets non liants de manière à respecter la règle de l'octet :



- 2** Puisque les atomes d'hydrogène et de chlore ne forment chacun qu'une seule liaison covalente, ils ne peuvent être liés l'un à l'autre dans la molécule $C_2H_4Cl_2$. Par conséquent, on doit envisager, dans la molécule, une liaison C-C :



et des liaisons C-H et C-Cl, ces deux dernières pouvant se réaliser sur le même atome de carbone ou sur deux atomes de carbone différents, à l'origine des deux isomères du dichloroéthane :

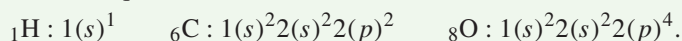


4 Isomères de C_3H_6O

Lycée Monod, Clamart

➔ Énoncé
p. 318

- 1** Puisque les niveaux (K) et (L) sont saturés avec respectivement 2 et 8 électrons, les atomes constituant la molécule C_3H_8O ont pour configurations électroniques :



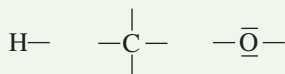
- 2** Outre l'hydrogène, dont la formule de Lewis est : $H -$, les configurations précédentes fournissent, pour le carbone et l'oxygène, les nombres d'électrons périphériques (N_e) situés sur le niveau (L), le nombre N_ℓ de liaisons covalentes assurant le respect de la règle de l'octet :

$$N_e + N_\ell = 8 \Rightarrow N_\ell = 8 - N_e$$

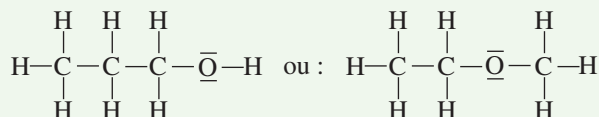
et le nombre $N_d = \frac{N_e - N_\ell}{2}$ de doublets non liants fixés aux atomes :

	C	O
N_e	4	6
N_ℓ	4	2
N_d	0	2

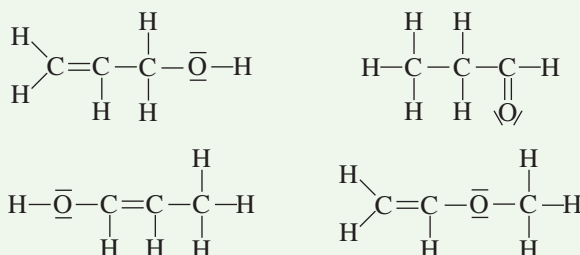
d'où découlent les formules de Lewis des différents atomes :



En l'absence de double liaison la molécule, composée de trois atomes de carbone, aurait pour formule brute $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$. Par exemple :



L'absence de deux atomes d'hydrogène dans la formule de la molécule ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) trahit la présence d'une double liaison dans la molécule. Quatre isomères sont alors envisageables :

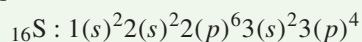


5 Étude du sulfure d'hydrogène

Énoncé
p. 318

Lycée Marie-Curie, Sceaux

- 1 Avec le numéro atomique $Z_S = 16$, l'atome de soufre présente la configuration électronique :



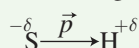
c'est-à-dire possède $N_e = 6$ électrons périphériques qui se répartissent en :

- $N_\ell = 8 - N_e = 8 - 6 = 2$ liaisons covalentes S-H ;
- $N_d = \frac{N_e - N_\ell}{2} = \frac{6 - 2}{2} = 2$ doublets non liants.

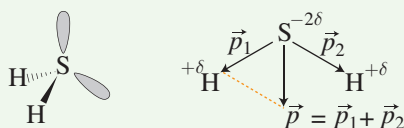
Par suite, la molécule H_2S a pour formule de Lewis : $\text{H} - \text{S} - \text{H}$

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

- 2** Étant donné que $\chi_S > \chi_H$, les électrons de chaque liaison covalente S–H sont déplacés vers le soufre qui porte alors une fraction de charge négative (δ^-). Concomitamment, le déficit d'électrons au voisinage de l'atome d'hydrogène lui confère une fraction de charge positive (δ^+). Par suite, chaque liaison S–H est polarisée, le moment dipolaire étant dirigé de la charge négative vers la charge positive :



- 3** La formule de Lewis de H_2S montre que l'atome de soufre est entouré de quatre entités chargées négativement (deux liaisons covalentes et deux doublets non liants). Par suite, cet atome se trouve à proximité du centre d'un tétraèdre dont deux sommets sont occupés par des atomes d'hydrogène (voir illustration sur la page ci-contre).



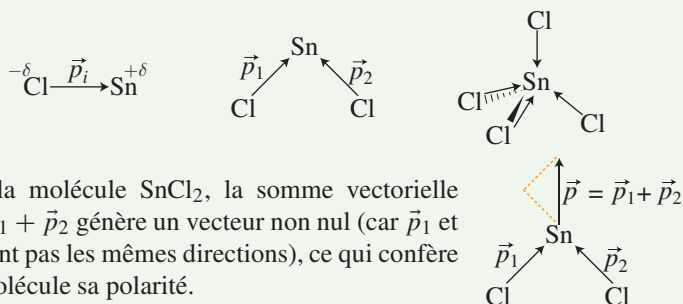
Les deux liaisons covalentes S–H font alors entre elles un angle voisin de 105° , de sorte que les moments dipolaires $\vec{p}_1$ et $\vec{p}_2$ portés par ces liaisons n'ont pas la même direction ; leur somme vectorielle $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ n'étant pas nulle, la molécule H_2S est polaire.

6 Liaisons de l'étain avec le chlore

➔ Énoncé
p. 318

Lycée Langevin, Champigny-sur-Marne

- 1** Puisque $\chi_{\text{Cl}} > \chi_{\text{Sn}}$, les électrons de la liaison covalente Cl–Sn sont statistiquement déplacés vers l'atome de chlore, où apparaît alors une charge négative $-\delta$. Concomitamment, il apparaît une charge positive $+\delta$ au voisinage de l'atome de chlore. Ainsi, la liaison Cl–Sn est polarisée, le moment dipolaire $\vec{p}_i$ étant dirigé de Cl vers Sn (de la charge négative vers la charge positive) : voir page suivante.



- 2** Dans la molécule SnCl_2 , la somme vectorielle $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ génère un vecteur non nul (car $\vec{p}_1$ et $\vec{p}_2$ n'ont pas les mêmes directions), ce qui confère à la molécule sa polarité.

En revanche, soient A , B , C et D les sommets du tétraèdre occupés par les atomes de chlore de la molécule SnCl_4 et soit G son centre, occupé par un atome d'étain.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Les moments dipolaires de chaque liaison s'écrivent :

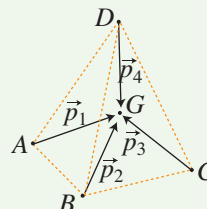
$$\vec{p}_1 = \delta e \overrightarrow{AG} \quad \vec{p}_2 = \delta e \overrightarrow{BG}$$

$$\vec{p}_3 = \delta e \overrightarrow{CG} \quad \vec{p}_4 = \delta e \overrightarrow{DG}$$

où $q = \delta \times e$ désigne la charge partielle déplacée dans chaque liaison Cl-Sn.

Par suite, le moment dipolaire de la molécule vaut :

$$\begin{aligned} \vec{p} &= \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \vec{p}_4 \\ &= \delta e \overrightarrow{AG} + \delta e \overrightarrow{BG} + \delta e \overrightarrow{CG} + \delta e \overrightarrow{DG} \\ &= \delta e \times (\underbrace{\overrightarrow{AG} + \overrightarrow{BG} + \overrightarrow{CG} + \overrightarrow{DG}}_{=\vec{0}}) = \vec{0} \end{aligned}$$



Cette molécule n'est donc pas polaire.

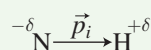
- 3** Seule la molécule polaire peut être attirée par les charges accumulées sur l'objet électrisé. C'est pourquoi un filet de dichloroétain est attiré par cet objet, qui reste en revanche sans influence sur un filet de tétrachloroétain.

7 Polarité de l'ammoniac

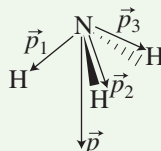
Énoncé
p. 319

Lycée Fermat, Toulouse

- 1** Puisque l'atome d'azote est plus électronégatif que celui d'hydrogène, la liaison covalente N-H est polarisée : les électrons de cette liaison se déplacent préférentiellement vers l'atome d'azote qui acquiert alors une fraction de charge négative ($-\delta$), tandis qu'un défaut électronique, au voisinage de l'hydrogène, provoque l'apparition d'une charge positive ($+\delta$). Un moment dipolaire $\vec{p}_i$ apparaît sur la liaison, dirigé de l'azote vers l'hydrogène :

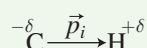


Soient $\vec{p}_1$, $\vec{p}_2$ et $\vec{p}_3$ les trois moments dipolaires associés aux liaisons N-H de la molécule d'ammoniac. Ces trois vecteurs étant dirigés vers l'atome d'azote, leur somme vectorielle génère un moment dipolaire $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3$ non nul, ce qui signifie que la molécule est polaire (voir illustration page suivante).

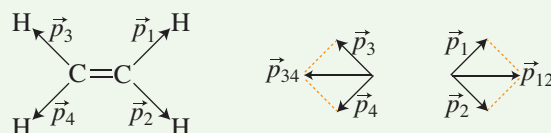


COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

- 2** Les électrons d'une liaison covalente C–H sont statistiquement déplacés vers l'atome le plus électronégatif, c'est-à-dire le carbone. Par suite, l'atome de carbone acquiert une fraction de charge négative ($-\delta$) tandis que l'atome d'hydrogène acquiert une fraction de charge positive ($+\delta$) ; un moment dipolaire $\vec{p}_i$, dirigé du carbone vers l'hydrogène, apparaît sur chaque liaison C–H :



Notons $\vec{p}_1$, $\vec{p}_2$, $\vec{p}_3$ et $\vec{p}_4$ les moments dipolaires de chaque liaison C–H de la molécule d'éthylène (voir illustration sur la page suivante).



Les sommes vectorielles $\vec{p}_{12} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ et $\vec{p}_{34} = \vec{p}_3 + \vec{p}_4$ ont alors la même direction et même norme mais sont de sens opposés. C'est pourquoi le moment dipolaire total de la molécule :

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \vec{p}_4 = \vec{p}_{12} + \vec{p}_{34} = \vec{0}$$

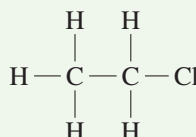
est nul, privant la molécule de tout caractère polaire.

8 Chloroéthane

Énoncé
p. 319

Lycée Notre-Dame des Missions, Charenton

- 1** La masse molaire du chloroéthane, compte-tenu des indications données dans l'énoncé, vaut :
- $$M = 2M(\text{C}) + 5M(\text{H}) + M(\text{Cl}) = 2 \times 12 + 5 + 35,5 = 64,5 \text{ g.mol}^{-1}.$$
- 2** La formule brute du chloroéthane est simplement donnée par les proportions de l'énoncé (en les divisant par le nombre d'Avogadro, ce dernier se lit : « une molécule de chloroéthane contient deux atomes de carbone, cinq atomes d'hydrogène et un atome de chlore »). Elle est donc $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$.
- 3** La seule formule développée possible correspondant à cette formule brute, compte-tenu de la valence des différents atomes (le chlore et l'hydrogène sont monovalents, le carbone est tétravalent) :



COURS

INTERROS

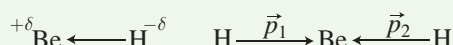
CORRIGÉS

9 Polarité

Énoncé
p. 319

Lycée Monod, Clamart

- 1** **Molécule BeH₂** – Puisque $\chi_{\text{H}} > \chi_{\text{Be}}$, les électrons de chaque liaison Be–H sont déplacés vers l'atome d'hydrogène qui acquiert ainsi une charge partielle négative ($-\delta$), tandis qu'au voisinage de l'atome de béryllium, le défaut d'électrons produit une charge partielle positive ($+\delta$). Chacune de ces liaisons acquiert un moment dipolaire ($\vec{p}_1$ et $\vec{p}_2$) dirigé de H vers Be :

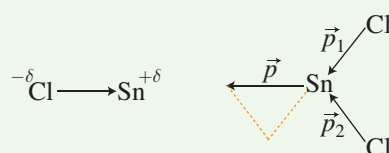


Puisque la molécule est linéaire, les moments dipolaires $\vec{p}_1$ et $\vec{p}_2$ ont la même direction et même norme mais sont de sens opposé, de sorte que leur somme vectorielle est nulle :

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{0}.$$

Cette molécule n'est pas polaire.

- 2** **Molécule SnCl₂** – Pour les mêmes raisons, puisque $\chi_{\text{Cl}} > \chi_{\text{Sn}}$, chaque liaison Cl–Sn est polaire : une fraction négative de charge ($-\delta$) est localisée au voisinage de Cl et une charge partielle positive ($+\delta$) est localisée au voisinage de Sn. Un moment dipolaire est donc dirigé, selon chaque liaison, de Cl vers Sn : voir schéma page suivante.

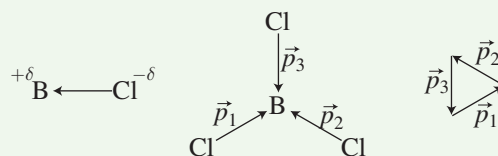


Puisque les moments dipolaires $\vec{p}_1$ et $\vec{p}_2$ des deux liaisons Cl–Sn n'ont pas la même direction, leur somme vectorielle est non nulle :

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 \neq \vec{0}.$$

La molécule est donc polaire.

- 3** **Molécule BCl₃** – À nouveau, étant donné que $\chi_{\text{Cl}} > \chi_{\text{B}}$, chaque liaison B–Cl est polarisée, avec une charge partielle négative ($-\delta$) au voisinage de Cl et une charge partielle positive ($+\delta$) au voisinage de B. Le moment dipolaire de chaque liaison B–Cl est donc dirigé vers l'atome de bore :



Cependant, B étant au centre du triangle formé par les trois atomes de chlore, la somme vectorielle de ces moments dipolaires est nulle :

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 = \vec{0}.$$

La molécule BCl₃ n'est donc pas polaire.

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

10 Alcènes

Énoncé
p. 320

Lycée Saint-Martin, Rennes

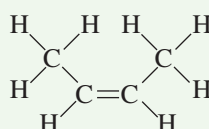
- 1 Une molécule, de formule brute C_nH_{2n} contient n atomes de carbone et $2n$ atomes d'hydrogène. Sa masse molaire vaut donc :

$$M = n \times M_C + 2n \times M_H = n \times 12 + 2n \times 1 = 14n$$

$$\Rightarrow 56 = 14n \Rightarrow n = \frac{56}{14} = 4.$$

Cet alcène a donc pour formule brute : C_4H_8 .

- 2 La formule de Lewis de l'alcène demandé est :



11 Composé organique

Énoncé
p. 320

Lycée Richelieu, Rueil-Malmaison

- 1 La masse de carbone contenue dans une mole du composé est 38,7 % de la masse molaire du composé, donc elle vaut $31 \times 0,387 = 12$ g. De la même manière, il y a $31 \times 0,161 = 5,0$ g d'hydrogène dans une mole du composé, et $31 \times 0,452 = 14$ g d'azote.

- 2 Par définition, douze grammes de carbone (^{12}C) contiennent une mole de carbone donc une mole du composé contient une mole d'atomes de carbone. De la même manière, un gramme d'atomes d'hydrogène représente une mole d'atomes d'hydrogène, donc une mole du composé contient cinq moles d'atomes d'hydrogène, et, puisque la masse molaire de l'azote est $M(N) = 14 \text{ g.mol}^{-1}$, une mole du composé contient une mole d'atomes d'azote.

Or on sait que les raisonnements sur les moles peuvent être transposés en raisonnements sur les molécules, donc on peut dire qu'une molécule du composé contient un atome de carbone, cinq atomes d'hydrogène et un atome d'azote. Sa formule est donc CNH_5 .

- 3 La formule développée de la molécule dont la formule brute est donnée à la réponse précédente, et qui respecte la valence de chaque atome, est la suivante :

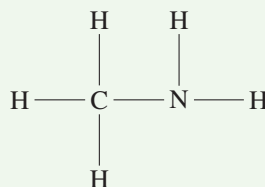


Figure 9.1 – Formule développée de la molécule CNH_5 .

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

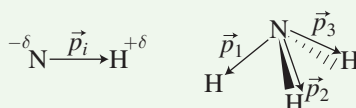
12 Polarité de l'ammoniac

Lycée Périer, Marseille

Énoncé
p. 320



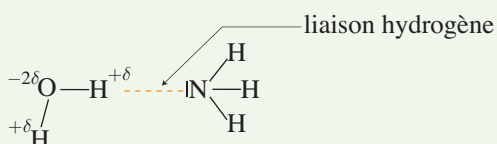
- 1 (a) Puisque $\chi_N > \chi_H$, les électrons de chaque liaison covalente N–H sont statistiquement déplacés vers l'atome d'azote, où il apparaît alors une fraction de charge négative ($-\delta$). Dans le même temps, le défaut d'électrons au voisinage de l'atome d'hydrogène y fait apparaître une charge positive ($+\delta$). Chaque liaison N–H est ainsi polarisée : des moment dipolaires $\vec{p}_1$, $\vec{p}_2$ et $\vec{p}_3$ apparaissent sur chacune des liaisons N–H, dirigés de la charge négative $-\delta$ vers la charge positive $+\delta$.



Enfin, puisque les vecteurs $\vec{p}_1$, $\vec{p}_2$ et $\vec{p}_3$ sont tous dirigés vers le bas de la molécule représentée ci-dessus, leur somme vectorielle $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3$ est non nulle, en conséquence de quoi la molécule est polarisée.

- (b) Les molécules d'eau sont aussi polarisées. Donc, des interactions dipôle-dipôle peuvent s'établir entre les molécules d'eau et les molécules d'ammoniac, favorisant la solubilité de ces dernières dans l'eau.

Cette grande solubilité est, du reste, accrue par l'existence de liaisons hydrogène entre la molécule d'ammoniac et les molécules d'eau.



Ces deux types d'interactions stabilisent l'ammoniac dans l'eau et en accroissent la solubilité.

- 2 Dans un volume $V_{\text{sol}} = 250 \text{ mL} = 0,25 \text{ L}$ de solution ammoniacale, dont la concentration molaire vaut $C_{\text{NH}_3} = 0,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, se trouve :

$$n_{\text{NH}_3} = C_{\text{NH}_3} V_{\text{sol}} = 0,5 \times 0,25 = 0,125 \text{ mol de NH}_3.$$

Cette quantité de matière provient d'un volume V_{gaz} de gaz ammoniac, à la pression $p = 1\,013 \text{ hPa} = 1\,013 \cdot 10^2 \text{ Pa}$ et à la température :

$$T = 20 + 273 = 293 \text{ K}.$$

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

De la loi de Boyle-Mariotte, il découle alors que :

$$\begin{aligned} p V_{\text{gaz}} &= n_{\text{NH}_3} RT \Rightarrow V_{\text{gaz}} = \frac{n_{\text{NH}_3} RT}{p} \\ \Rightarrow V_{\text{gaz}} &= \frac{0,125 \times 8,32 \times 293}{1\,013 \cdot 10^2} \\ \Rightarrow V_{\text{gaz}} &\approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 3 \text{ L.} \end{aligned}$$

13 Calcul de forces

Énoncé
p. 321

Lycée d'Akwa-Nord, Cameroun

La charge q_A est soumise à :

- la force $F_{B/A}$ de la part de la charge q_B , telle que :

$$F_{B/A} = k \times \frac{q_A q_B}{AB^2}$$

où $AB = BC = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$, puisque le triangle est isocèle. Il s'ensuit que :

$$F_{B/A} = 9,0 \cdot 10^9 \times \frac{(1,7 \cdot 10^{-8})^2}{(0,1)^2} \Rightarrow F_{B/A} \approx 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ N};$$

- la force $F_{C/A}$ exercée par la charge q_C est donnée par la loi de Coulomb :

$$F_{C/A} = k \times \frac{q_A q_C}{AC^2}.$$

Or, le théorème de Pythagore peut s'appliquer dans le triangle rectangle (ABC) :

$$AC^2 = AB^2 + BC^2 = (0,1)^2 + (0,1)^2 = 2 \times (0,1)^2$$

$$\Rightarrow F_{C/A} = 9,0 \cdot 10^9 \times \frac{(1,7 \cdot 10^{-8})^2}{2 \times (0,1)^2}$$

$$\Rightarrow F_{C/A} \approx 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ N.}$$

14 Calcul de forces

Énoncé
p. 321

Lycée Monod, Clamart

- L'ion Na^+ , situé au point O , est soumis à deux forces électriques :

- la force $\vec{F}_{A/O}$ exercée par l'ion Cl^- placé en A , d'intensité :

$$F_{A/B} = k \times \frac{|q_{\text{Cl}^-}| \times |q_{\text{Na}^+}|}{AO^2}$$

$$\text{avec } AO = a = 0,282 \text{ nm} = 0,282 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$F_{A/B} = k \times \left(\frac{e}{a}\right)^2 = 9,0 \cdot 10^9 \times \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{0,282 \cdot 10^{-9}}\right)^2$$

$$\Rightarrow F_{A/B} \approx 2,9 \cdot 10^{-9} \text{ N.}$$

Puisque les charges $q_{\text{Cl}^-} = -e$ et $q_{\text{Na}^+} = +e$ sont de signe opposé, la force $\vec{F}_{A/O}$ est attractive : dirigée de O vers A .

- la force $\vec{F}_{B/O}$ exercée par l'ion Cl^- placé en B , d'intensité :

$$F_{B/O} = k \times \frac{|q_{\text{Cl}^-}| \times |q_{\text{Na}^+}|}{BO^2} \text{ avec } BO = a$$

$$= k \times \left(\frac{e}{a}\right)^2 = F_{A/O} \approx 2,90 \cdot 10^{-9} \text{ N.}$$

Pour les mêmes raisons, cette force est attractive et donc dirigée de O vers B .

En adoptant comme échelles : $1 \text{ cm} \leftrightarrow 0,1 \text{ nm}$ pour les distances et $1 \text{ cm} \leftrightarrow 2 \cdot 10^{-9} \text{ N}$ pour les forces, la longueur a est représentée par un segment de longueur $2,8 \text{ cm}$ et les forces $\vec{F}_{A/O}$ et $\vec{F}_{B/O}$ par des vecteurs de normes :

$$\|\vec{F}_{A/O}\| = \|\vec{F}_{B/O}\| = \frac{2,9 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-9}} = 1,4 \text{ cm.}$$



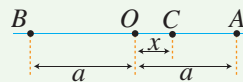
Ces deux forces étant de même intensité, de même direction ($x'x$), mais de sens opposé, leur somme vectorielle est nulle :

$$\vec{F} = \vec{F}_{A/O} + \vec{F}_{B/O} = \vec{0}.$$

- 2** L'ion Na^+ placé au point C d'abscisse $x = 0,0282 \text{ nm}$, se trouve éloigné des ions Cl^- (placés en A et B) des distances :

$$AC = a - x = 0,282 - 0,0282$$

$$= 0,2538 \text{ nm} = 0,2538 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$



et :

$$BC = a + x = 0,282 + 0,0282 = 0,3102 = 0,3102 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$$

Il est donc soumis à la force :

- $\vec{F}_{A/C}$ que la charge en A exerce en C , d'intensité :

$$F_{A/C} = k \times \frac{|q_{\text{Cl}^-}| \times |q_{\text{Na}^+}|}{AC^2}$$

$$= 9,0 \cdot 10^9 \times \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{0,2538 \cdot 10^{-9}}\right)^2 \Rightarrow F_{A/C} \approx 3,6 \cdot 10^{-9} \text{ N.}$$

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Les charges q_{Cl^-} et q_{Na^+} étant de signe contraire, la force $\vec{F}_{A/C}$ est attractive : dirigée de C vers A .

- $\vec{F}_{B/C}$ que la charge située en B exerce sur celle située en C , d'intensité :

$$\begin{aligned} F_{B/C} &= k \times \frac{|q_{\text{Cl}^-}| \times |q_{\text{Na}^+}|}{BC^2} = k \times \left(\frac{e}{BC} \right)^2 \\ &= 9,0 \cdot 10^9 \times \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{0,3102 \cdot 10^{-9}} \right)^2 \Rightarrow F_{B/C} \approx 2,4 \cdot 10^{-9} \text{ N.} \end{aligned}$$

Pour les mêmes raisons, la force $\vec{F}_{B/C}$ est attractive : dirigée de C vers B .

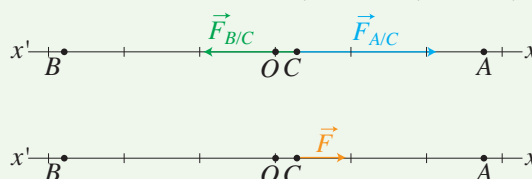
Avec les mêmes échelles que précédemment, $x = 0,0282 \text{ nm}$ est représenté par un segment de $2,8 \text{ mm}$ de long, tandis que les normes des forces $\vec{F}_{A/C}$ et $F_{B/C}$ sont représentées par des segments de longueur :

$$\|\vec{F}_{A/C}\| = \frac{3,6 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-9}} = 1,8 \text{ cm et } \|\vec{F}_{B/C}\| = \frac{2,4 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-9}} = 1,2 \text{ cm.}$$

Quant au vecteur force résultant : $\vec{F} = \vec{F}_{A/C} + \vec{F}_{B/C}$, il a pour norme :

$$\|\vec{F}\| = F_{A/C} - F_{B/C} = 3,6 \cdot 10^{-9} - 2,4 \cdot 10^{-9} = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ N}$$

il est dirigé dans le même sens que $\vec{F}_{A/C}$ (car $F_{A/C} > F_{B/C}$).



La première question a permis de montrer qu'en O , l'ion Na^+ est soumis à une force résultante nulle ce qui justifie qu'en O , l'ion Na^+ est en équilibre.

La dernière question montre qu'en écartant l'ion Na^+ de sa position d'équilibre, en le rapprochant de A , on le soumet à une force $\vec{F}$ dirigée vers A , qui l'éloigne donc encore un peu plus de sa position d'équilibre en O .

En conclusion, O est une position d'équilibre instable : dès que l'ion Na^+ s'en écarte un peu, les forces électrostatiques l'en éloignent encore davantage. Un tel modèle ne peut donc pas rendre compte de la stabilité des cristaux.

15 Cristal de chlorure de rubidium

Énoncé
p. 322

Institut Notre-Dame, Saint-Germain-en-Laye

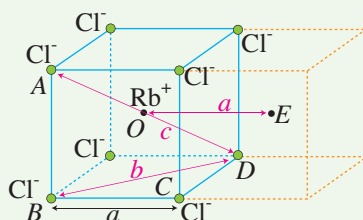
- 1 Un anion Cl^- et un cation Rb^+ sont séparés d'une distance minimale :

$$AO = \frac{c}{2} = \frac{338}{2} = 169 \text{ pm} = 169 \cdot 10^{-12} \text{ m.}$$

Par suite, ces ions exercent mutuellement une interaction gravitationnelle d'intensité :

$$F_g = G \times \frac{m_{\text{Rb}} m_{\text{Cl}}}{AO^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{1,43 \cdot 10^{-25} \times 5,93 \cdot 10^{-26}}{(169 \cdot 10^{-12})^2}$$

$$\Rightarrow F_g \approx 2,0 \cdot 10^{-41} \text{ N.}$$



- 2 (a)** Une force électrostatique ne peut être attractive que si elle s'exerce entre deux ions de charges de signes opposés : un anion Cl^- (de charge $q_{\text{Cl}^-} = -e$) et un cation Rb^+ (de charge $q_{\text{Rb}^+} = +e$), situés en A et O, sont les plus proches voisins à exercer cette force d'intensité :

$$F_e = k \times \frac{|q_{\text{Cl}^-}| \times |q_{\text{Rb}^+}|}{AO^2} = k \times \left(\frac{e}{AO}\right)^2$$

$$= 9,0 \cdot 10^9 \times \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{169 \cdot 10^{-12}}\right)^2 \approx 8,1 \cdot 10^{-9} \text{ N.}$$

- (b)** L'interaction électrostatique entre deux ions est répulsive si ces deux ions ont des charges de même signe. Par exemple :

- entre deux ions chlorure Cl^- , séparés d'une distance minimale $BC = a$, la force électrostatique a pour intensité :

$$F'_e = k \times \frac{|q_{\text{Cl}^-}|^2}{BC^2} = k \times \left(\frac{e}{a}\right)^2$$

$$= 9,0 \cdot 10^9 \times \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{195 \cdot 10^{-12}}\right)^2 \approx 6,1 \cdot 10^{-9} \text{ N;}$$

- entre deux ions rubidium, séparés d'une distance minimale $OE = a$, la force électrostatique a pour valeur :

$$F''_e = k \times \frac{|q_{\text{Rb}^+}|^2}{OE^2} = k \times \left(\frac{e}{a}\right)^2$$

$$\Rightarrow F''_e = F'_e \approx 6,1 \cdot 10^{-9} \text{ N.}$$

- 3** En conclusion, dans le cristal, les ions sont soumis à des interactions dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

interaction	nature	intensité
gravitationnelle	attractive	$2,0 \cdot 10^{-41} \text{ N}$
électrostatique	attractive	$8,1 \cdot 10^{-9} \text{ N}$
électrostatique	répulsive	$6,1 \cdot 10^{-9} \text{ N}$

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

Ces résultats suggèrent plusieurs commentaires :

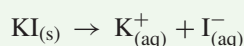
- Puisque les interactions gravitationnelles sont beaucoup moins intenses que les interactions électrostatiques ($2.10^{-14} \ll 8,1.10^{-9}$), leur influence peut être négligée à cette échelle.
- Les interactions électrostatiques sont responsables de la cohésion du cristal ; qu'elles soient attractives ou répulsives, elles ont le même ordre de grandeur.

16 Réactions de dissolution

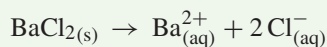
➔ Énoncé
p. 323

Lycée Colbert, Lorient

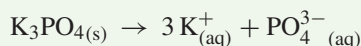
- 1 Dans KI se trouvent des ions iodure I^- et potassium K^+ (le cristal KI est électriquement neutre) ; le solide s'appelle l'iodure de potassium, tandis que sa dissolution dans l'eau a pour équation :



- 2 Dans le solide $BaCl_2$ se trouvent des ions chlorure Cl^- . Pour assurer la neutralité électrique de ce solide, l'élément baryum doit se présenter sous forme d'ions Ba^{2+} . Ce solide est le chlorure de baryum, dont l'équation de dissolution dans l'eau s'écrit :



- 3 Le solide K_3PO_4 , contenant des ions potassium K^+ , il contient également des ions phosphate PO_4^{3-} qui assurent sa neutralité électrique. La dissolution dans l'eau du phosphate de potassium est alors décrite par l'équation :



17 Solution de sulfate d'aluminium

➔ Énoncé
p. 323

Lycée Saint-Louis de Gonzagues, Paris

- 1 Pour réaliser un volume $V = 250 \text{ cm}^3 = 0,25 \text{ L}$ d'une solution de concentration massique $C_m = 17,12 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, il convient de dissoudre une masse m de soluté telle que :

$$C_m = \frac{m}{V} \Rightarrow m = C_m \times V = 17,12 \times 0,25 \Rightarrow m = 4,28 \text{ g.}$$

- 2 Écrivons la formule du sulfate d'aluminium sous la forme $Al_x(SO_4)_y$, dont la neutralité électrique impose, compte tenu de la charge des ions (Al^{3+} et SO_4^{2-}) :

$$3x = 2y \Rightarrow \frac{x}{y} = \frac{2}{3}.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Les plus petites valeurs entières de x et de y , qui vérifient cette condition, sont alors $x = 2$ et $y = 3$, en conséquence de quoi le cristal a pour formule $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; sa masse molaire vaut :

$$\begin{aligned} M &= 2 M_{\text{Al}} + 3 \times (M_{\text{S}} + 4 M_{\text{O}}) \\ &= 2 \times 27 + 3 \times (32 + 4 \times 16) = 342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}. \end{aligned}$$

La solution contient donc la quantité de matière n en sulfate d'aluminium, telle que :

$$m = n \times M \Rightarrow n = \frac{m}{M} = \frac{4,28}{342} \approx 1,25 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

dans un volume $V = 0,25 \text{ L}$; sa concentration molaire vaut :

$$C = \frac{n}{V} \approx \frac{1,25 \cdot 10^{-2}}{0,25} \Rightarrow C \approx 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

- 3** La dissolution du sulfate d'aluminium est suivie dans le tableau d'avancement ci-dessous :

	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{s}) \rightarrow 2 \text{Al}_{(\text{aq})}^{3+} + 3 \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$		
$x = 0$	n	0	0
$x \neq 0$	$n - x$	$2x$	$3x$
$x_f = n$	0	$2n$	$3n$

d'où découlent les concentrations en ions aluminium et en ions sulfate :

$$\left[\text{Al}_{(\text{aq})}^{3+} \right] = \frac{2n}{V} = 2C = 2 \times 5 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \left[\text{Al}_{(\text{aq})}^{3+} \right] = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

et :

$$\left[\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \right] = \frac{3n}{V} = 3C = 3 \times 5 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \left[\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \right] = 0,15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

18 Solution de chlorure de calcium

Énoncé
p. 323

Lycée Colbert, Lorient

- 1** (a) Le volume $V_1 = 0,5 \text{ L}$ de solution de concentration $C_1 = 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ contient :

$$n_1 = C_1 V_1 = 10^{-2} \times 0,5 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

de soluté CaCl_2 , dont la masse molaire vaut :

$$M = M_{\text{Ca}} + 2 M_{\text{Cl}} = 40,1 + 2 \times 35,5 = 111,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Pour réaliser cette solution, il convient donc de dissoudre une masse :

$$m_1 = n_1 \times M = 5 \cdot 10^{-3} \times 111,1 = 0,556 \text{ g de cristaux}.$$

- (b) Au laboratoire, on suivra le mode opératoire ci-dessous pour obtenir une telle solution :

- mesurer la masse m_1 de cristaux de $\text{CaCl}_2(\text{s})$ avec une balance ;

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

- verser les cristaux dans une fiole jaugée de 500 mL ;
 - remplir, à moitié, la fiole et agiter jusqu'à dissolution totale des cristaux ;
 - compléter le volume jusqu'au trait de jauge.
- (c) Le solide ionique CaCl_2 contient des ions chlorure Cl^- et donc des ions Ca^{2+} qui assurent la neutralité électrique du cristal. Sa dissolution dans l'eau peut être suivie à l'aide du tableau d'avancement :

	$\text{CaCl}_{2(s)} \rightarrow \text{Ca}_{(\text{aq})}^{2+} + 2 \text{Cl}_{(\text{aq})}^-$		
$x = 0$	n_1	0	0
$x \neq 0$	$n_1 - x$	x	$2x$
$x_f = n_1$	0	n_1	$2n_1$

Le tableau d'avancement donne les quantités de matière :

$$\begin{cases} n(\text{Ca}^{2+}) = n_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol d'ions } \text{Ca}_{(\text{aq})}^{2+} \\ n(\text{Cl}^-) = 2n_1 = 10^{-2} \text{ mol d'ions } \text{Cl}_{(\text{aq})}^- \end{cases}$$

auxquelles sont associées les concentrations molaires :

$$[\text{Ca}_{(\text{aq})}^{2+}] = \frac{n(\text{Ca}^{2+})}{V_1} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

et :

$$[\text{Cl}_{(\text{aq})}^-] = \frac{n(\text{Cl}^-)}{V_1} = \frac{10^{-2}}{0,5} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

- 2** Le volume $V_2 = 250 \text{ mL} = 0,25 \text{ L}$ de solution, de concentration en soluté $C_2 = 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, contient une quantité :

$$n_2 = C_2 V_2 = 10^{-3} \times 0,25 = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

de soluté, que l'on apportera en prélevant un volume V de la première solution (à la concentration $C_1 = 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de soluté), qui contient donc $n_2 = C_1 V$ mol de ce soluté. C'est pourquoi :

$$V = \frac{n_2}{C_1} = \frac{0,25 \cdot 10^{-3}}{10^{-2}} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 25 \text{ mL}.$$

Pour réaliser cette nouvelle solution, il conviendra donc de suivre le protocole ci-dessous :

- à l'aide d'une pipette jaugée, prélever $V = 25 \text{ mL}$ de la solution mère (à la concentration $C_1 = 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en chlorure de calcium) ;
- verser cet échantillon dans une fiole jaugée de 250 mL et compléter jusqu'au trait de jauge, avec de l'eau distillée.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

19 Sulfate de cuivre hydraté

Énoncé
p. 324

Lycée Janson de Sailly, Paris

La dissolution de n mol de cristaux de sulfate de cuivre hydraté libère n mol d'ions $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ dans l'eau, selon l'équation-bilan :

	$(\text{CuSO}_4, x \text{H}_2\text{O})_{(\text{s})} \rightarrow \text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})} + x \text{H}_2\text{O}_{(\text{liq})}$		
$x = 0$	n	0	0
$x \neq 0$	$n - x$	x	x
$x_f = n$	0	n	n

Ainsi, la solution de volume $V = 1 \text{ L}$ et de concentration $C = 2.10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ contient :

$$n = CV = 2.10^{-2} \times 1 = 2.10^{-2} \text{ mol d'ions } \text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}.$$

Soit M la masse molaire de $\text{CuSO}_4, y \text{H}_2\text{O}$:

$$\begin{aligned} M &= M_{\text{Cu}} + M_{\text{S}} + 4M_{\text{O}} + y \times (2M_{\text{H}} + M_{\text{O}}) \\ &= 63,5 + 32 + 4 \times 16 + y \times (2 \times 1 + 16) \\ &= 159,5 + 18y. \end{aligned}$$

L'échantillon de sulfate de cuivre II hydraté, de masse $m = 5 \text{ g}$, contient donc la même quantité n que celle des ions $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ libérés dans l'eau, avec :

$$\begin{aligned} m = n \times M &\Rightarrow M = \frac{m}{n} = \frac{5}{2.10^{-2}} = 250 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &\Rightarrow 159,5 + 18y = 250 \\ &\Rightarrow 18y = 250 - 159,5 = 90,5 \\ &\Rightarrow y \approx 5. \end{aligned}$$

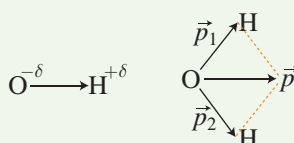
Par conséquent, la chalcantite a pour formule : $\text{CuSO}_4, 5 \text{H}_2\text{O}$.

20 Dissolution du phosphate de sodium

Énoncé
p. 324

Lycée Saint-Sernin, Toulouse

- 1 Dans la molécule d'eau, la différence d'électronégativité entre l'oxygène et l'hydrogène ($\chi_{\text{O}} > \chi_{\text{H}}$) provoque la polarisation de chaque liaison O-H : une charge partielle négative ($-\delta$) est localisée au voisinage de l'oxygène et une charge partielle positive ($+\delta$) est localisée au voisinage de l'hydrogène. Le dipôle ainsi formé a un moment dipolaire $\vec{p}$ dirigé de l'oxygène vers l'hydrogène :



COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

COURS

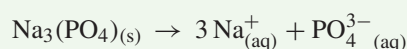
INTERROS

CORRIGÉS

Or, puisque les liaisons O–H de la molécule ont des directions différentes, leur somme vectorielle est non nulle : $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 \neq \vec{0}$.

La molécule d'eau est ainsi polarisée.

- 2** La dissolution du phosphate de sodium ($\text{Na}_3(\text{PO}_4)$) libérant des ions Na^+ , ce cristal ionique contient des ions Na^+ . Or, pour assurer la neutralité électrique de ce cristal qui contient trois fois moins d'ions phosphate que d'ions sodium, il faut envisager une charge négative trois fois plus importante sur l'ion phosphate : PO_4^{3-} . C'est pourquoi cette dissolution a pour équation-bilan :



- 3** La masse molaire du phosphate de sodium valant :

$$M = 3 M_{\text{Na}} + M_{\text{P}} + 4 M_{\text{O}} = 3 \times 23 + 31 + 4 \times 16 = 164 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

l'échantillon, de masse $m = 10 \text{ g}$, contient une quantité de matière n telle que :

$$m = nM \Rightarrow n = \frac{m}{M} = \frac{10}{164} \approx 6,1 \cdot 10^{-2} \text{ mol}.$$

Si sa dissolution est complète, elle peut être suivie par le tableau d'avancement ci-dessous :

	$\text{Na}_3(\text{PO}_4)_{(s)} \rightarrow 3 \text{Na}_{(aq)}^+ + \text{PO}_4^{3-}_{(aq)}$		
$x = 0$	n	0	0
$x \neq 0$	$n - x$	$3x$	x
$x_f = n$	0	$3n$	n

La solution, de volume $V = 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$ contient donc :

$$n_{\text{Na}^+} = 3n = 3 \times 6,1 \cdot 10^{-2} = 18,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol d'ions Na}_{(aq)}^+$$

à la concentration :

$$[\text{Na}_{(aq)}^+] = \frac{n_{\text{Na}^+}}{V} = \frac{18,3 \cdot 10^{-2}}{0,1} = 1,8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

21 Réactions de dissolution

➔ Énoncé
p. 324

Lycée Monod, Clamart

- 1** Pour que le solide ionique d'hydroxyde de calcium soit neutre, il doit contenir deux fois plus d'anions HO^- que de cations Ca^{2+} . Sa formule est donc : $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
- 2** De même, la neutralité électrique du cristal d'hydroxyde de potassium impose la présence de la même quantité d'ions HO^- que d'ions K^+ ; sa formule s'écrit : KOH .
- 3** La dissolution de $n_1 \text{ mol}$ d'hydroxyde de calcium dans l'eau est décrite par le tableau d'avancement page suivante.

	$\text{Ca(OH)}_{2(s)} \rightarrow \text{Ca}_{(aq)}^{2+} + 2 \text{HO}_{(aq)}^-$		
$x = 0$	n_1	0	0
$x \neq 0$	$n_1 - x$	x	$2x$
$x_f = n_1$	0	n_1	$2n_1$

De même, la dissolution de n_2 mol d'hydroxyde de potassium est suivie à l'aide du tableau d'avancement ci-dessous :

	$\text{KOH}_{(s)} \rightarrow \text{K}_{(aq)}^+ + \text{HO}_{(aq)}^-$		
$x' = 0$	n_2	0	0
$x' \neq 0$	$n_2 - x'$	x'	x'
$x_f = n_2$	0	n_2	n_2

Remarque : dans les deux tableaux d'avancement, les ions $\text{HO}_{(aq)}^-$ sont supposés ne provenir que de la dissolution des hydroxydes alcalins. Cependant, l'eau peut également participer à la libération des ions $\text{HO}_{(aq)}^-$, à hauteur de $10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Cette contribution est alors suffisamment faible pour être négligée, comme le suggère l'énoncé.

- 4 La masse molaire de l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 valant :

$$M_1 = M_{\text{Ca}} + 2 \times (M_{\text{O}} + M_{\text{H}}) = 40 + 2 \times (16 + 1) = 74 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

la masse $m_1 = 0,37 \text{ g}$ de ce composé contient la quantité de matière :

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{0,37}{74} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

La solution aqueuse obtenue à partir de cette quantité contient, conformément au premier tableau d'avancement :

$$\begin{cases} n_1(\text{Ca}^{2+}) = n_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol d'ions Ca}_{(aq)}^{2+} \\ n_1(\text{HO}^-) = 2n_1 = 10^{-2} \text{ mol d'ions HO}_{(aq)}^- \end{cases}$$

Dans le volume $V_1 = 50 \text{ mL} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ L}$, ces ions ont alors pour concentrations molaires :

$$[\text{Ca}_{(aq)}^{2+}]_1 = \frac{n_1(\text{Ca}^{2+})}{V_1} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-3}} = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

et :

$$[\text{HO}_{(aq)}^-]_1 = \frac{n_1(\text{HO}^-)}{V_1} = \frac{10^{-2}}{50 \cdot 10^{-3}} = 0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

- 5 De même, l'hydroxyde de potassium KOH a pour masse molaire :

$$M_2 = M_{\text{K}} + M_{\text{O}} + M_{\text{H}} = 39 + 16 + 1 = 56 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Aussi, la masse $m_2 = 1,68 \text{ g}$ de ce composé contient la quantité de matière :

$$n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{1,68}{56} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ mol}.$$

COHÉSION DE LA MATIÈRE • CHAP. 9

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Conformément au deuxième tableau d'avancement, la dissolution de cet échantillon d'hydroxyde de potassium libère :

$$\begin{cases} n_2(\text{K}^+) = n_2 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ mol d'ions } \text{K}_{(\text{aq})}^+ \\ n_2(\text{HO}^-) = n_2 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ mol d'ions } \text{HO}_{(\text{aq})}^- \end{cases}$$

dans le volume $V_2 = 150 \text{ mL} = 0,15 \text{ L}$. Les concentrations molaires correspondantes valent :

$$[\text{K}_{(\text{aq})}^+]_2 = \frac{n_2(\text{K}^+)}{V_2} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0,15} = 0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

et :

$$[\text{HO}_{(\text{aq})}^-]_2 = \frac{n_2(\text{HO}^-)}{V_2} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0,15} = 0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

- 6** Le mélange de ces deux solutions présente un volume :

$$V = V_1 + V_2 = 50 \cdot 10^{-3} + 0,15 = 0,2 \text{ L}.$$

Compte tenu de ce qui précède, cette solution contient des ions $\text{Ca}_{(\text{aq})}^{2+}$, $\text{K}_{(\text{aq})}^+$ et $\text{HO}_{(\text{aq})}^-$ aux quantités :

$$\begin{cases} n(\text{Ca}^{2+}) = n_1(\text{Ca}^{2+}) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \\ n(\text{K}^+) = n_2(\text{K}^+) = 3 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \\ n(\text{HO}^-) = n_1(\text{HO}^-) + n_2(\text{HO}^-) = 10^{-2} + 3 \cdot 10^{-2} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \end{cases}$$

auxquelles correspondent les concentrations :

$$[\text{Ca}_{(\text{aq})}^{2+}] = \frac{n(\text{Ca}^{2+})}{V} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1};$$

$$[\text{K}_{(\text{aq})}^+] = \frac{n(\text{K}^+)}{V} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0,2} = 0,15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1};$$

$$[\text{HO}_{(\text{aq})}^-] = \frac{n(\text{HO}^-)}{V} = \frac{4 \cdot 10^{-2}}{0,2} = 0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

- 7** Les résultats précédents fournissent :

$$2 [\text{Ca}_{(\text{aq})}^{2+}] + [\text{K}_{(\text{aq})}^+] = 2 \times 2,5 \cdot 10^{-2} + 0,15 = 0,2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

soit encore :

$$2 [\text{Ca}_{(\text{aq})}^{2+}] + [\text{K}_{(\text{aq})}^+] = [\text{HO}_{(\text{aq})}^-]$$

ce qui suffit à prouver la neutralité électrique de la solution.

22 Sulfate de fer hydraté

Énoncé
p. 325

Lycée Lacordaire, Marseille

- 1 Pour réaliser l'expérience, il suffit de déposer dans un tube à essai un échantillon de sulfate hydraté, dont la masse $m_1 = 13,9$ g aura été préalablement pesée. Un chauffage du tube, en douceur, permet alors l'élimination de la vapeur d'eau, que l'on peut suivre en même temps que le sulfate de fer se décolore (anhydre, ce sulfate devient blanc). Les cristaux ainsi obtenus sont alors pesés à nouveau, après refroidissement.
- 2 Soit M_1 la masse molaire du sulfate hydraté $\text{FeSO}_4 \cdot y \text{H}_2\text{O}$:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{\text{Fe}} + M_{\text{S}} + 4 \times M_{\text{O}} + y \times (2 M_{\text{H}} + M_{\text{O}}) \\ &= 55,8 + 32,1 + 4 \times 16 + y \times (2 \times 1 + 16) = 151,9 + 18 y \end{aligned}$$

et soit M_2 la masse molaire du sulfate anhydre FeSO_4 :

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{\text{Fe}} + M_{\text{S}} + 4 M_{\text{O}} = 55,8 + 32,1 + 4 \times 16 \\ &= 151,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}. \end{aligned}$$

L'échantillon de masse $m_1 = 13,9$ g de sulfate hydraté contient la quantité de matière :

$$n_0 = \frac{m_1}{M_1} \Rightarrow M_1 = \frac{m_1}{n_0}. \quad (42)$$

Quant à la déshydratation, si elle est totale, elle peut être suivie dans le tableau d'avancement ci-dessous :

	$(\text{FeSO}_4 \cdot y \text{H}_2\text{O})_{(\text{s})} \rightarrow \text{FeSO}_{4(\text{s})} + y \text{H}_2\text{O}_{(\text{gaz})}$		
$x = 0$	n_0	0	0
$x \neq 0$	$n_0 - x$	x	yx
$x_f = n_0$	0	n_0	$y n_0$

qui montre que la masse $m_2 = 7,6$ g de cristaux anhydres contient aussi la quantité de matière n_0 , telle que :

$$n_2 = n_0 M_2 \Rightarrow n_0 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{7,6}{151,9} \approx 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol de } \text{FeSO}_{4(\text{s})}.$$

Ainsi, l'équation (42) devient :

$$\begin{aligned} 151,9 + 18 y &= \frac{13,9}{5 \cdot 10^{-2}} = 278 \\ \Rightarrow 18 y &= 278 - 151,9 = 126,1 \\ \Rightarrow y &= \frac{126,1}{18} \approx 7. \end{aligned}$$

Ce faisant, le sulfate de fer hydraté a pour formule : $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$.

Chapitre 10

Chimie organique

Plan du chapitre

1. Introduction
2. Structure des entités organiques
3. Synthèse d'espèces chimiques organiques
4. Combustion des molécules organiques

1 Introduction

Ce chapitre couvre les bases de la chimie organique, une branche essentielle de la chimie centrée sur l'étude des composés à base de carbone.

La synthèse des espèces chimiques organiques est ensuite abordée, avec une attention particulière portée sur les mécanismes réactionnels et les méthodes de préparation en laboratoire.

Les transferts thermiques associés aux réactions organiques sont étudiés, en particulier lors d'une combustion des alcanes et des alcools. L'objectif est de relier ces concepts théoriques à des applications pratiques, tout en développant une approche méthodique pour l'étude et la manipulation des composés organiques.

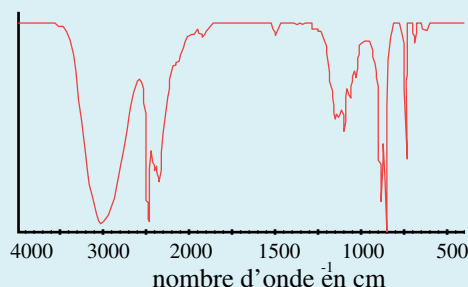
2 Structure des entités organiques

Exercice type 1

Lycée Claude Bernard, Paris

On considère une molécule de formule brute C_2H_6O .

- 1 Écrire les deux molécules isomères possibles en formule semi-développée.
- 2 À l'aide de son spectre infrarouge ci-après, identifier la molécule et la nommer. On s'aidera du tableau de la page 358.



Voir corrigé page 358

Cette section aborde la notion de groupe caractéristique, que l'on nomme aussi « groupe fonctionnel ». Ces groupes déterminent en grande partie les propriétés des molécules organiques. Il présentera la nomenclature permettant d'associer une molécule à son nom, ainsi qu'une technique permettant d'identifier certains groupes caractéristiques de chimie organique.

2.1 Structure des molécules organiques

2.1.1 - Les alcanes

2.1.1.1 - Formule et présentation

Définition 1

Un *alcane* est un *hydrocarbure* (molécule formée exclusivement de carbone et d'hydrogène) dans lequel toutes les liaisons sont simples.

Définition 2

La *formule brute* d'une molécule est une formule qui donne la composition de la molécule mais pas la disposition des atomes dans la molécule. Par exemple :

- Les *alcanes linéaires* non cycliques ont pour formule brute :



- Les *alcanes cycliques* (molécules refermées sur elles-mêmes) ont pour formule brute :

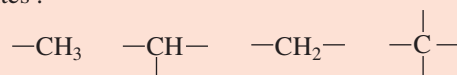


Définition 3

La *formule semi-développée* d'un alcane fait apparaître tous ses atomes (C et H), toutes les liaisons C-C, mais pas les liaisons C-H.

À RETENIR

Dans les formules semi-développées d'alcane, on ne peut rencontrer que les structures suivantes :

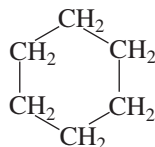


Définition 4

Un *alcane cyclique* est un alcane dont la molécule est refermée sur elle-même.

CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

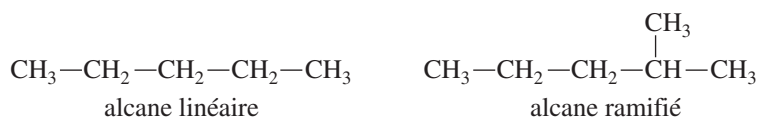
Par exemple, la formule semi-développée du cyclohexane (C_6H_{12}) s'écrit :



Un alcane peut présenter une chaîne carbonée sur laquelle viennent se lier des *substituants* :



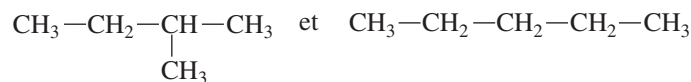
Un atome d'hydrogène de la *chaîne carbonée principale* est alors remplacé par ce substituant. Par exemple :



Définition 5

Deux molécules sont *isomères* si elles sont différentes, mais ont la même formule brute.

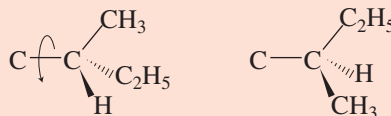
Par exemple, les molécules :



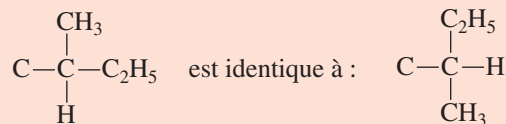
sont isomères car elles ont la même formule brute (C_5H_{12}) mais sont différentes.

⚠ ATTENTION

La libre rotation des atomes de carbone autour de la liaison C-C :



permet de présenter une même molécule sous des formes différentes :



COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Pour distinguer les molécules différentes ou identiques, il suffit d'appliquer la règle suivante :

- deux molécules d'alcane sont différentes s'il faut rompre des liaisons pour passer de l'une à l'autre ;
- deux molécules d'alcane sont identiques si elles s'obtiennent par simple déplacement des liaisons autour d'un atome de carbone.

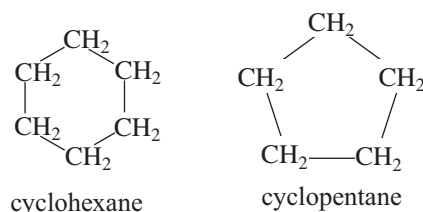
2.1.1.2 - Nomenclature

Les alcanes linéaires possèdent leurs propres noms. Il faut au moins connaître les noms des huit premiers alcanes :

CH ₄	méthane	(CH ₄)
CH ₃ -CH ₃	éthane	(C ₂ H ₆)
CH ₃ -CH ₂ -CH ₃	propane	(C ₃ H ₈)
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	butane	(C ₄ H ₁₀)
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	pentane	(C ₅ H ₁₂)
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	hexane	(C ₆ H ₁₄)
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	heptane	(C ₇ H ₁₆)
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	octane	(C ₈ H ₁₈)

Remarque : pour nommer un alcane cyclique contenant n atomes de carbone, on ajoute le préfixe *cyclo* au nom de l'alcane linéaire de même longueur.

Par exemple :



Un alcane peut être ramifié par des substituants, dont il faut au moins connaître les noms des trois premiers.

-CH ₃	méthyl	(-CH ₃)
-CH ₂ -CH ₃	éthyl	(-C ₂ H ₅)
-CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	propyl	(-C ₃ H ₇)

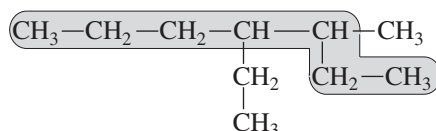
Comment nommer une molécule ?

Supposons connue la formule semi-développée d'une molécule, dont le nom peut être trouvé en appliquant les étapes de la page suivante.

CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

- 1 Rechercher la chaîne carbonée la plus longue (appelée *chaîne principale*) et nommer l'alcane linéaire correspondant.

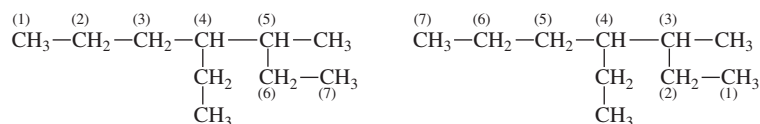
Par exemple, la chaîne principale de la molécule :



contient 7 atomes de carbone ; c'est un heptane.

- 2 Repérer les substituants et les nommer (par exemple méthyl : $-\text{CH}_3$ et éthyl : $-\text{C}_2\text{H}_5$ dans la molécule précédente).

- 3 Numérotar les atomes de carbone de la chaîne principale ; selon l'extrémité de départ, il existe deux numérotations :



- 4 Devant le nom de chaque substituant, écrire le numéro de l'atome de la chaîne principale auquel il est lié ; il peut y avoir deux séquences :

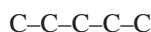
4-éthyl-5-méthyl ou 3-méthyl-4-éthyl

Additionner les nombres ainsi obtenus ($4 + 5 = 9$ et $3 + 4 = 7$). Retenir la séquence correspondant à la somme la plus petite (3-méthyl-4-éthyl) et la faire suivre du nom de la chaîne principale ; les substituants sont, en outre, classés par ordre alphabétique croissant. Par exemple :

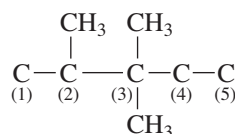
4-éthyl-3-méthylheptane

Comment représenter une molécule de nom connu ?

- 1 Représenter la chaîne principale (sans les liaisons C-H) indiquée dans le nom de l'alcane. Par exemple, dans la molécule 2,3,3-triméthylpentane, la chaîne principale comporte 5 atomes de carbone (c'est un pentane) :



- 2 Numérotar les atomes de carbone ainsi représentés (peu importe l'extrémité choisie pour démarrer cette numérotation) et placer les substituants correspondants (par exemple des groupes méthyl aux atomes de carbone n° 2, 3 et 3 représenté sur la figure suivante).



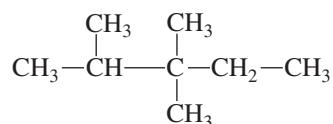
- 3 Compléter la tétravalence des atomes de carbone à l'aide des liaisons C-H (seules les structures fournies dans le rappel méthodologique de la page 352 peuvent apparaître dans la molécule).

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Par exemple :



2.1.2 - Groupes caractéristiques et familles fonctionnelles

Les différents types de molécules correspondent à différentes familles de molécules organiques. La partie commune à chaque famille est appelée « Groupe caractéristique ». C'est le groupe caractéristique d'une molécule organique qui va déterminer ses propriétés et sa réactivité.

Nous donnons ci-dessous le tableau des groupes caractéristiques qu'il est indispensable de connaître en classe de première et les familles chimiques auxquelles ils correspondent.

Groupe caractéristique	Nom du groupe	Nom de la famille	Suffixe
—OH	hydroxyle	alcools	-ol
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{—C—H} \end{array}$	carbonyle	aldéhydes	-al
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{—C—} \end{array}$	carbonyle	cétones	-one
$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{—C=O} \\ \\ \text{O—H} \end{array}$	carboxyle	acides carboxyliques	acide ... -oïque

Remarque : l'atome de carbone du groupe caractéristique porte le numéro 1 dans le cas de l'acide carboxylique et de l'aldéhyde.

Notons qu'il est indispensable de savoir nommer des molécules simples possédant un seul groupe caractéristique.

2.2 Identification par spectroscopie infrarouge

2.2.1 - Nombre d'onde

On appelle nombre d'onde l'inverse de la longueur d'onde. Il correspond ainsi au nombre de longueurs d'onde (nombre de crêtes ou creux) par unité de longueur.

En spectroscopie infrarouge on a coutume de noter ν le nombre d'onde. Pour ne pas le confondre avec la fréquence, le nombre d'onde sera noté σ et exprimé en cm^{-1} .

Notons qu'en toute rigueur cette notion n'est pas au programme, mais la plupart des lycées proposent des exercices dans lesquels figure le nombre d'onde en abscisse des spectres infrarouges.

Exemple : Calculons le nombre d'onde correspondant à une longueur d'onde $\lambda = 900 \text{ nm}$ (située dans l'infrarouge proche). On a :

$$\sigma = \frac{1}{900 \times 10^{-9}} = 1,11 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}.$$

On convertit cette valeur en cm^{-1} en remarquant qu'il y a cent fois moins de longueur d'onde dans un centimètre que dans un mètre :

$$\sigma = 1,11 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}.$$

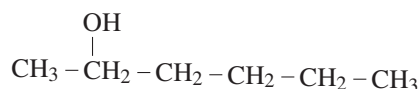
Remarque : entre nombre d'onde σ et fréquence (notée f ici pour éviter toute confusion) on remarque que l'on a la relation :

$$f = c\sigma.$$

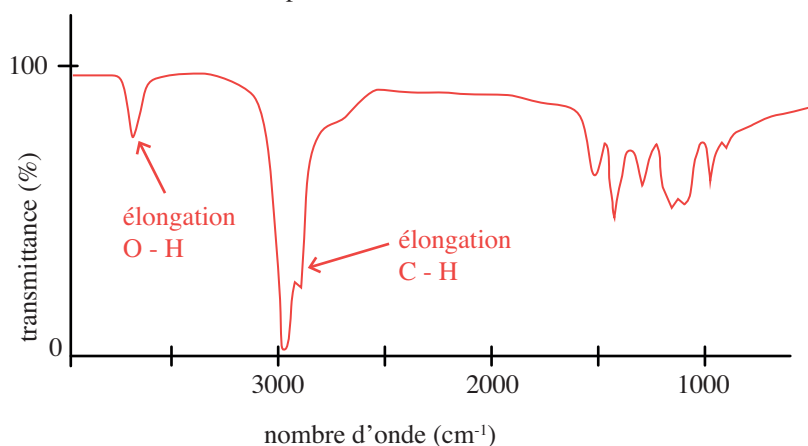
La fréquence et le nombre d'onde ne diffèrent donc que d'une constante (la célérité de la lumière).

2.2.2 - Lecture d'un spectre infrarouge

On considère la molécule d'hexan-2-ol, ayant pour formule semi-développée :



On représente sur la figure page suivante le spectre infrarouge de cette molécule. On y voit apparaître des pics qui indiquent que la transmittance est bien plus faible pour certaines valeurs de σ . Ces pics correspondent donc à une absorbance plus forte. Les photons de cette énergie ont été absorbés car ils permettent des modes de vibration de liaisons bien particulières.



On remarque que le sens de l'abscisse a été inversé sur ce graphe (elle croît vers la gauche, ce qui signifie que l'énergie des photons croît vers la gauche). On y voit deux bandes autour des nombres d'onde $\sigma \approx 2\,900 - 3\,000\text{ cm}^{-1}$ et $\sigma \approx 3\,600 - 3\,700\text{ cm}^{-1}$. La première bande est caractéristique de la fréquence de vibration en élongation de la liaison C–H, alors que la seconde est caractéristique de la fréquence de vibration en élongation de la liaison O–H. De manière peu surprenante, la bande des liaisons C–H est nettement plus marquée, puisqu'une molécule d'hexan-2-ol comporte 14 liaisons C–H pour une liaison O–H.

En général, le spectre infrarouge de composés organiques fait apparaître des bandes à des nombres d'onde caractéristiques des groupes présents dans le composé. On indique dans le tableau ci-après les domaines de fréquence de vibration en élongation des liaisons les plus courantes.

Le tableau page suivante, qui n'est pas à connaître par cœur, permet d'identifier les liaisons présentes dans les différents groupements caractéristiques.

Ainsi que l'on peut le voir dans ce tableau, les nombres d'onde sont tous supérieurs à une limite basse d'environ $1\,500\text{ cm}^{-1}$. Au-dessous de cette valeur, les spectres infrarouges des composés organiques présentent une allure beaucoup plus complexe, avec de nombreuses bandes plus étroites, qui résultent de vibrations de déformations (en général moins « énergétiques ») que les vibrations en élongation, et de vibrations en élongation entre atomes massifs (C–C, C–O).

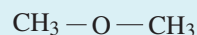
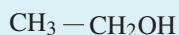
On a coutume de dire que la région du spectre $\sigma > 1\,500\text{ cm}^{-1}$ constitue le domaine des groupes fonctionnels, bien séparés et identifiables, tandis que la région de plus basse énergie constitue le domaine des « empreintes digitales », plus difficilement interprétables mais caractéristique d'un composé donné.

Type de composé	Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})
alcane	C–H	2 800 – 3 100
alcools	O–H	3 500 – 3 700 (libre)
alcools	O–H	3 200 – 3 500 (liaisons hydrogène)
acides carb., aldéhydes, cétones	C=O	1 700 – 1 730

➔ Solution de l'exercice type 1

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1 Les deux formules semi-développées possibles sont :



- 2 Nous voyons sur le tableau de la page 358 que la liaison O–H donne une bande large vers $3\,200 - 3\,700\text{ cm}^{-1}$, que l'on retrouve sur le spectre du composé. La molécule correspond donc à celle contenant une liaison O–H, c'est-à-dire la première molécule donnée à la réponse précédente. Il s'agit de l'éthanol.

Voir énoncé page 351

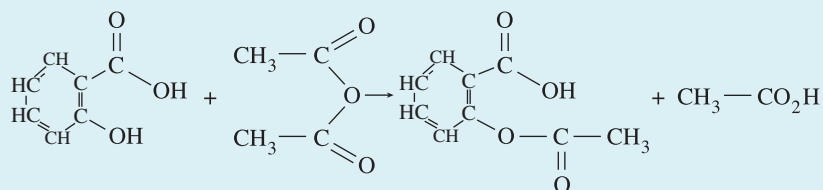
3 Synthèse d'espèces chimiques organiques

Exercice type 2

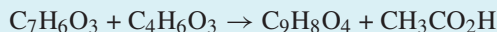
D'après baccalauréat S 2003 (Amérique du Sud)

On prépare de l'aspirine (de formule $C_9H_8O_4$) en faisant réagir de l'acide salicylique (de formule $C_7H_6O_3$) sur de l'anhydride éthanóïque (de formule $C_4H_6O_3$). Dans un ballon bien sec, on introduit 20,0 g d'acide salicylique, 24,0 mL d'anhydride éthanóïque mesurés à l'éprouvette graduée et quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. On réalise un montage de chauffage à reflux et on chauffe le mélange réactionnel au bain-marie à 60°C pendant une vingtaine de minutes.

Après 20 minutes de chauffage, on sort le ballon du bain-marie sans couper la circulation d'eau puis on introduit par le haut du réfrigérant 20 mL d'eau distillée destinés à hydrolyser l'excès d'anhydride acétique puis, quand l'ébullition cesse, 50 mL d'eau distillée glacée. Les cristaux d'aspirine précipitent dans le ballon. Après séparation des cristaux, on mesure la masse expérimentale d'aspirine obtenue : $m_{\text{exp}} = 21,5 \text{ g}$. L'équation de la réaction modélisant cette transformation est indiquée ci-dessous :



ou encore, avec les formules brutes :



- 1 Expliquer en quoi consiste un montage à reflux en précisant l'utilité de ce dispositif.
- 2 En quoi le fait que l'eau ajoutée soit glacée est-il important ?
- 3 Quelle technique peut être utilisée pour séparer les cristaux formés ?
- 4 Calculer la masse théorique m_{th} d'aspirine que l'on peut obtenir en considérant cette transformation comme totale.
- 5 Quel est le rendement de cette synthèse ?
- 6 Quelle technique permet de vérifier la pureté de l'aspirine ainsi synthétisée ?

Données :

- $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Masse volumique de l'anhydride éthanóïque : $\rho = 1,08 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Voir corrigé page 365

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

L'objectif de cette section est de mettre en évidence les différentes étapes d'une synthèse organique ainsi que de présenter les différentes stratégies pour isoler un des produits de la manière la plus efficace possible. Il aborde également une notion très importante : la notion de rendement d'une synthèse.

3.1 La synthèse des produits

La synthèse de substances chimiques n'est pas toujours évidente. Un protocole expérimental permet donc d'explicitier les différentes étapes indispensables pour synthétiser la substance dans de bonnes conditions. Le protocole doit décrire, dans l'ordre chronologique, l'ensemble des étapes à réaliser pour créer la nouvelle substance chimique, puis pour l'isoler du mélange initial, et enfin la purifier afin de n'obtenir dans l'état final, que la molécule souhaitée. C'est seulement à l'issue de cette dernière étape qu'il sera possible de déterminer le rendement de la synthèse, qui sera un indicateur de l'efficacité de la technique mise en œuvre.

3.1.1 - Les différents composés du milieu réactionnel

Une synthèse organique met en jeu les différents composés suivants :

- Les réactifs, qui sont les composés qui rentrent dans l'équation-bilan de la réaction. Dans certains cas, l'un des réactifs correspond à une molécule beaucoup plus massive que les autres. On parle de substrat.
- Le solvant : c'est une espèce chimique qui dissout les réactifs et leur permet d'être en contact. Il n'intervient pas dans le bilan de la réaction.
- Fréquemment, un catalyseur : c'est une espèce chimique n'intervenant pas dans l'équation bilan de la réaction, mais dont la présence accélère la réaction.

Enfin, dès que la réaction commence, les produits de celle-ci apparaissent dans le milieu réactionnel.

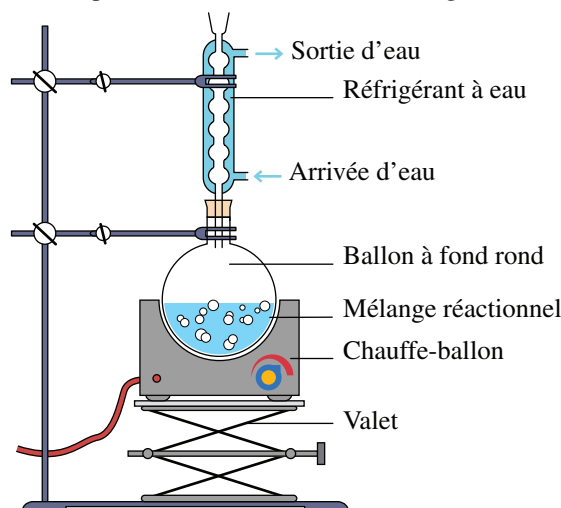
3.1.2 - Le chauffage à reflux

Pour que la réaction chimique puisse avoir lieu, (ou se fasse plus rapidement) il est souvent nécessaire de chauffer le milieu réactionnel. On place ainsi le mélange à chauffer dans un ballon que l'on chauffe grâce à un chauffe-ballon.

Pour éviter la perte de matière par évaporation lors du chauffage, on utilise généralement un réfrigérant. Il s'agit d'un long tube en verre que l'on place au dessus du ballon. L'air autour du tube étant moins chaud que les vapeurs, celles-ci vont se liquéfier sur les parois du tube puis retomber dans le ballon. On parle alors de réfrigérant à air.

Si les températures d'ébullition sont largement dépassées dans le ballon, il est alors nécessaire de refroidir davantage pour que les vapeurs puissent se liquéfier.

On utilise alors un réfrigérant à eau : un premier tube dans lequel les vapeurs circulent est entouré d'un second tube dans lequel on fait circuler de l'eau froide afin d'augmenter la capacité de refroidissement du réfrigérant.



3.2 Les techniques d'extraction et de purification

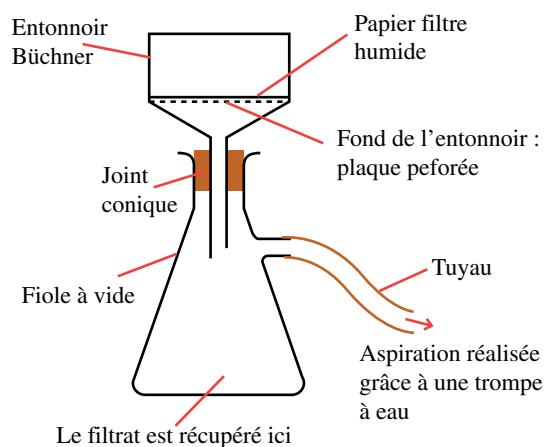
Une fois synthétisé, il faut arriver à isoler le produit souhaité du milieu réactionnel.

S'il est minoritaire par rapport aux autres substances présentes, on parle d'extraction. En revanche, s'il est largement majoritaire, et qu'il ne s'agit plus que d'éliminer les impuretés restantes, on parle de purification.

Dans les deux cas, il s'agit donc de mettre en œuvre une technique de séparation de deux (ou plusieurs) substances.

3.2.1 - Filtration

Si l'une des substances à séparer est solide et l'autre liquide, la séparation pourra se faire grâce à une filtration simple ou une filtration sous vide. Cette dernière est réalisée grâce à un entonnoir de type « Büchner » placé sur une fiole à vide. Une aspiration est créée grâce à une pompe ou à une trompe à eau afin de réaliser une filtration plus rapide et efficace qu'une filtration simple.



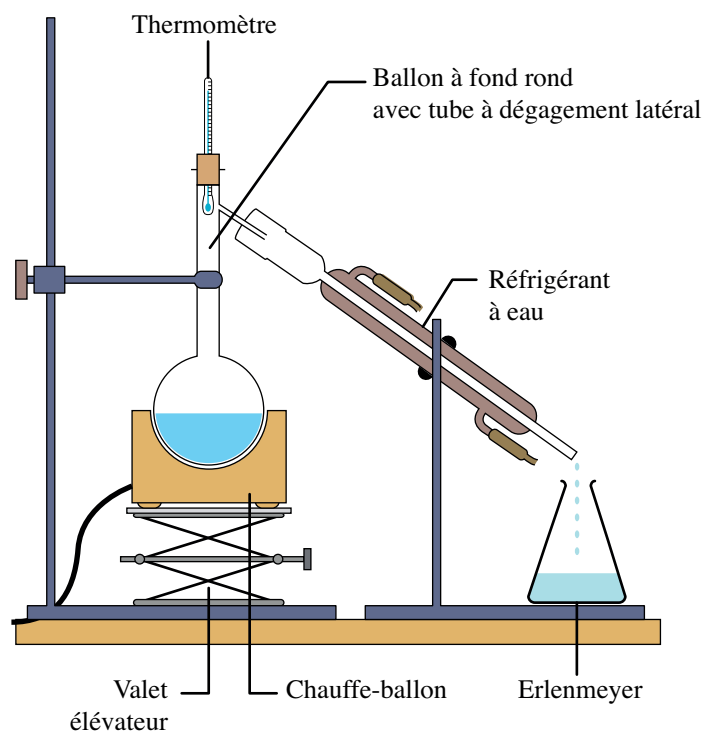
COURS

INTERROS

CORRIGÉS

3.2.2 - La distillation

Si les deux espèces sont à l'état liquide, on peut réaliser une distillation fractionnée. Cette technique utilise le fait que les liquides d'un mélange ont des températures d'ébullition différentes. Dans une colonne de distillation, on a ainsi une série de plateaux à différentes hauteurs, sur lesquels se condensent les liquides du mélange initial. Au fur et à mesure que l'on s'élève dans la colonne, on trouve des composés de plus en plus volatils. En l'absence d'azéotrope, on retrouve le composé le plus volatil en tête de colonne (un azéotrope est un mélange de liquides qui bout à température fixe, tout en gardant une composition constante ; on ne peut donc pas séparer ses constituants par distillation).

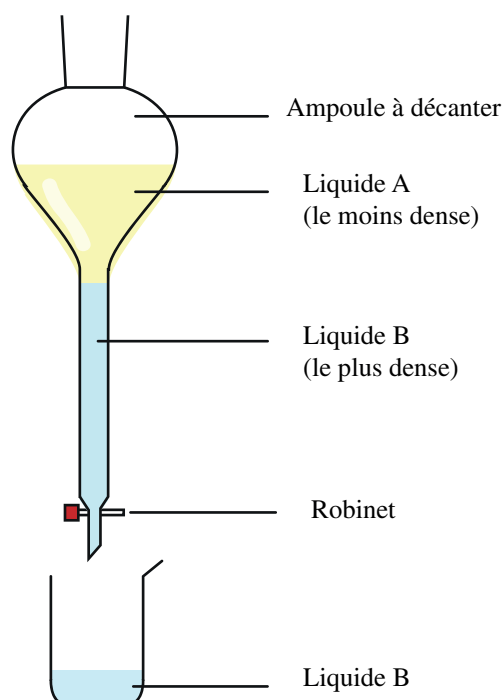


Remarquons que s'il s'agit d'impuretés dissoutes dans un liquide, la distillation simple (figure ci-dessus) permettra de purifier le liquide qui se vaporisera en laissant les impuretés au fond du ballon.

3.2.3 - L'extraction par solvant

Si l'une des substances est dissoute dans l'autre, il est possible d'utiliser la technique de l'extraction par solvant (également appelée extraction liquide-liquide). Le principe est d'ajouter au mélange initial un liquide non miscible dans lequel la substance à extraire est bien plus soluble que dans le solvant initial.

On récupère ensuite ce solvant extracteur grâce à une ampoule à décanter : après avoir laissé le mélange au repos un certain temps, il se crée deux phases : la plus dense en bas et la moins dense en haut.



Remarque : le bouchon est retiré lors de la décantation dans une ampoule à décanter afin de faciliter la séparation des deux phases.

Une fois la phase utile récupérée, il reste à évacuer le solvant extracteur (généralement par évaporation) afin de recueillir le produit souhaité.

3.2.4 - La cristallisation

Si l'une des substances est dissoute dans l'autre, il est parfois possible d'utiliser une autre technique : La cristallisation. Cela consiste à jouer sur un paramètre du milieu réactionnel pour diminuer la solubilité du produit que l'on souhaite extraire. Les deux principaux paramètres sont :

- la température : la solubilité d'un produit diminue généralement lorsque la température diminue ;
- l'acidité du milieu : la modification de l'acidité du milieu (par ajout d'un acide ou d'une base convenablement choisie) peut favoriser la précipitation de l'espèce à isoler.

On est alors ramené à une séparation solide-liquide qui peut être réalisée avec une filtration classique ou sous vide (grâce à un filtre Büchner).

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

3.2.5 - La recristallisation

Surtout utilisée en temps que purification, la recristallisation va permettre d'éliminer des impuretés qui auraient été piégées lors de la cristallisation du produit à isoler. On chauffe le milieu réactionnel pour dissoudre le mélange « solide + impuretés », puis on refroidit à nouveau le mélange afin d'obtenir une recristallisation. Si les impuretés sont davantage solubles à froid que le solide à isoler, la méthode sera particulièrement efficace. Il suffira de filtrer pour récupérer le solide ainsi purifié.

3.3 Identification des produits

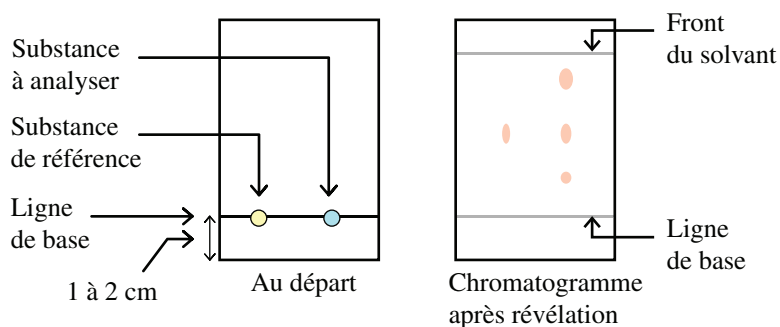
Une fois le produit synthétisé, plusieurs techniques permettent de l'identifier ainsi que de vérifier sa pureté.

3.3.1 - Par mesure d'une propriété physico-chimique

Il est possible d'identifier un solide grâce à sa température de fusion. On utilise pour cela un banc Kofler. Si le produit n'est pas pur, cela aura une influence sur la température de fusion du solide.

3.3.2 - Par chromatographie

Dans les techniques de chromatographie, les composés sont entraînés par une phase mobile (éluant) qui se déplace par rapport à une surface fixe. Chaque composé est entraîné à une vitesse différente, ce qui permet, après migration, de les séparer les uns des autres. On peut ainsi comparer le produit à une substance de référence afin de l'identifier et de vérifier leur pureté.



Par exemple, le chromatogramme ci-dessus permet de voir que l'on a bien synthétisé le produit correspondant à la substance de référence (il existe une tache au bon niveau) mais que cette substance n'est pas pure (il apparaît plus de taches que pour la référence).

3.3.3 - Par analyse spectrale

Il est également possible d'identifier les substances présentes dans l'état final par des analyses spectrales. Les spectroscopies visible et infrarouge ont été présentées dans les paragraphes précédents. Notons qu'il existe d'autres types de spectroscopie qui ne sont pas au programme de la classe de première : la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN) ou la spectrométrie de masse par exemple.

3.4 Rendement d'une synthèse

On définit le rendement r d'une réaction comme la fraction de la masse de produit réellement obtenue par la masse de produit théorique :

$$r = \frac{\text{masse de produit obtenue}}{\text{masse de produit théorique}}.$$

Le rendement permet de quantifier l'efficacité de la technique de synthèse mise en œuvre. Sa valeur ne peut jamais être supérieure à 1 (de par sa définition).

⚠ ATTENTION

Le rendement est souvent exprimé à l'aide d'un pourcentage. Il est alors normal d'avoir un chiffre supérieur à 1 !

➡ Solution de l'exercice type 2

D'après baccalauréat S 2003 (Amérique du Sud)

- 1 Le chauffage permet d'accélérer la réaction tandis que le reflux permet d'éviter une perte de matière par vaporisation.
- 2 L'eau glacée va diminuer la température du mélange, ce qui aura pour conséquence de diminuer la solubilité de l'aspirine. Cela favorisera donc la cristallisation.
- 3 Il est possible de séparer les cristaux formés de la phase liquide par filtration ou par filtration sous pression réduite (avec une fiole à vide et un Büchner).
- 4 On évalue les quantités de matière des réactifs mises en jeu, puis on dresse un tableau d'avancement. Au préalable, il nous faut calculer les masses molaires des réactifs et produits, donc établir leur formule brute. Celle de l'acide salicylique est $C_7H_6O_3$, donc sa masse molaire est :

$$M_{ac} = 7 \times 12 + 6 + 3 \times 16 = 138 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Celle de l'anhydride éthanóique est $C_4H_6O_3$, et sa masse molaire est : $M_{an} = 102 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Enfin, celle du produit qui nous intéresse, l'acide acétylsalicylique (aspirine) est $C_9H_8O_4$, aussi sa masse molaire est : $M_{as} = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

➔ Solution de l'exercice type 2 (suite)

D'après baccalauréat S 2003 (Amérique du Sud)

Pour évaluer la masse m_{an} d'anhydride éthanoïque introduite, il nous faut utiliser la relation :

$$m_{\text{an}} = \rho v = 1,08 \times 24,0 = 25,9 \text{ g,}$$

où v est le volume d'anhydride éthanoïque introduit. On en déduit la quantité de matière correspondante :

$$n_{\text{an}} = \frac{m_{\text{an}}}{M_{\text{an}}} = \frac{25,9}{102} = 0,254 \text{ mol.}$$

La quantité de matière initiale en acide salicylique est :

$$n_{\text{ac}} = \frac{m_{\text{ac}}}{M_{\text{ac}}} = \frac{20}{138} = 0,145 \text{ mol.}$$

On peut donc dresser le tableau d'avancement suivant, où l'avancement est en moles :

Instant	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$	+	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$	→	$\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$	+	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$
Initial	0,145		0,254		0		0
Interm.	$0,145 - x$		$0,254 - x$		x		x
Final	0		0,109		0,145		0,145

On lit sur ce tableau que l'anhydride éthanoïque est en excès. Le réactif limitant est donc l'acide salicylique, et l'avancement maximal est $x_{\text{max}} = 0,145 \text{ mol}$. On peut théoriquement obtenir 0,145 mol d'aspirine, qui représentent une masse :

$$m_{\text{th}} = 0,145 \times 180 = 26,1 \text{ g.}$$

5 Le rendement de la réaction est donc :

$$r = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{th}}} = \frac{21,5}{26,1} \approx 82 \text{ \%}.$$

6 Il est possible de vérifier la pureté de l'aspirine synthétisée grâce à une chromatographie sur couche mince (CCM).

Voir énoncé page 359

4 Combustion des molécules organiques

Exercice type 3

Lycée Colbert, Lorient

On chauffe 200 mL de bouillon, contenu dans une casserole, en brûlant du gaz butane. Dans cet exercice, on se propose d'évaluer la quantité de butane consommée par le cuisinier étourdi qui a laissé évaporer tout le bouillon.

CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

Exercice type 3 (suite)

Lycée Colbert, Lorient

- 1 Donner la formule développée de la molécule de butane. Préciser la nature des liaisons et leur nombre.
- 2 Définir l'énergie moyenne d'une liaison C-H et la chaleur molaire de dissociation de la molécule de butane.
- 3 Écrire l'équation-bilan de la combustion complète du butane dans le dioxygène.
- 4 Définir, puis calculer, la chaleur molaire de combustion Q_0 du butane, l'eau étant obtenue à l'état gazeux.

Données :

- quelques énergies de liaison :

$$\begin{array}{l|l} E_{\text{H-H}} = 436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & E_{\text{O-H}} = 463 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ E_{\text{O=O}} = 498 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & E_{\text{C=O}} = 803 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ E_{\text{C-C}} = 344 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & E_{\text{C=C}} = 615 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ E_{\text{C-H}} = 415 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & \end{array}$$

Voir corrigé page 370

Cette section a pour but d'expliquer comment l'énergie stockée dans la matière organique peut être libérée afin d'être convertie en une autre forme d'énergie (en particulier en chaleur).

4.1 Combustion des alcanes et des alcools

4.1.1 - Réaction de combustion

Définition 6

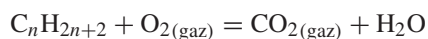
La combustion complète d'un alcane ou d'un alcool est sa réaction vive avec $\text{O}_{2(\text{gaz})}$, pour donner $\text{CO}_{2(\text{gaz})}$ et H_2O (l'eau pouvant se présenter à l'état gazeux ou à l'état liquide).

Dans la suite nous ne traiterons que de combustions complètes.

4.1.1.1 - Équation de combustion des alcanes

Pour équilibrer l'équation de combustion d'un alcane (linéaire) $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, il suffit :

- d'écrire qu'il s'agit d'une réaction avec le dioxygène qui produit CO_2 et H_2O :

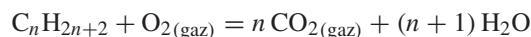


COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- d'équilibrer les éléments hydrogène et carbone directement à droite de l'équation :



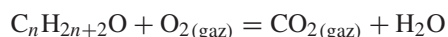
- d'équilibrer ensuite les $n \times 2 + (n+1) = 3n+1$ atomes d'oxygène du membre de droite avec les molécules $\text{O}_{2(\text{gaz})}$ du membre de gauche :



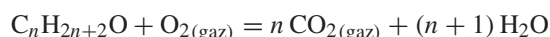
4.1.1.2 - Équation de combustion des alcools

De même, pour équilibrer l'équation-bilan de combustion d'un alcool (linéaire) $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$, il suffit :

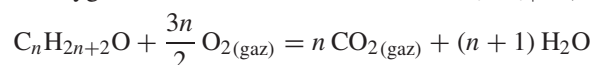
- d'écrire la nature de la réaction : action du dioxygène sur l'alcool pour produire H_2O et CO_2 :



- d'équilibrer les éléments carbone et hydrogène en agissant directement sur le membre de droite :



- d'équilibrer les $2n + (n+1) = 3n+1$ atomes d'oxygène du membre de droite en agissant sur la quantité de O_2 du membre de gauche (attention à ne pas oublier qu'un atome d'oxygène est contenu dans la molécule $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$) :



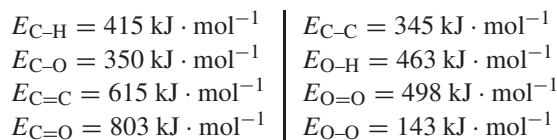
4.1.2 - Énergie libérée

4.1.2.1 - Chaleur de combustion

Définition 7

L'énergie de liaison $E_{\text{A-B}}$ est l'énergie qu'il faut fournir à des molécules gazeuses pour rompre une mole de leurs liaisons A-B.

Les principales énergies de liaisons sont connues (et seront rappelées au cours des exercices) :



⚠ ATTENTION

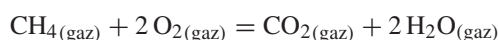
Il sera toujours nécessaire d'écrire la formule développée complète d'une molécule pour identifier toutes les liaisons. Par exemple, l'énergie d'une double liaison $\text{O}=\text{O}$ vaut ni $E_{\text{O-O}}$ ni $2 E_{\text{O-O}}$!

Définition 8

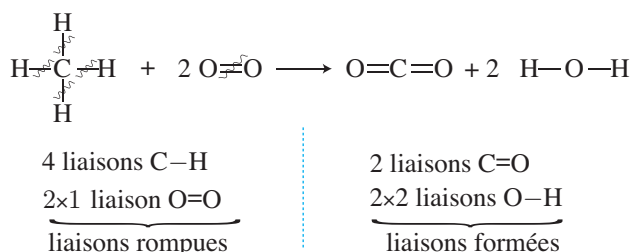
La *chaleur de combustion* d'un alcane ou d'un alcool est l'énergie Q_{comb} qu'il faut fournir à une mole d'alcane ou d'alcool pour effectuer sa transformation complète en $\text{CO}_2(\text{gaz})$ et H_2O .

Pour calculer Q_{comb} , lorsque tous les produits et réactifs sont gazeux, il faut :

- écrire l'équation-bilan équilibrée de la réaction de combustion, dans laquelle le coefficient stœchiométrique de l'alcane ou de l'alcool vaut 1. Par exemple, pour la combustion du méthane :



- écrire les formules développées des produits et réactifs pour recenser les liaisons qui se rompent et celles qui se forment. Par exemple :



- appliquer la relation :

$$Q_{\text{comb}} = \sum E_{\text{liaisons rompues}} - \sum E_{\text{liaisons formées}} \quad (44)$$

Par exemple :

$$Q_{\text{comb}}(\text{CH}_4) = (4E_{\text{C-H}} + 2E_{\text{O=O}}) - (2E_{\text{C=O}} + 4E_{\text{O-H}}).$$

Remarque : certains auteurs définissent la chaleur de combustion comme étant l'énergie Q_{lib} libérée lors de la combustion d'une mole d'alcane ou d'alcool. La définition adoptée précédemment pour Q_{comb} respecte cependant la convention thermodynamique selon laquelle une énergie est positive lorsqu'elle est reçue par un système et négative lorsqu'elle est libérée. Ces deux définitions sont quand même compatibles, à condition d'écrire :

$$Q_{\text{lib}} = -Q_{\text{comb}}.$$

4.1.2.2 - Énergie libérée

Pour calculer l'énergie libérée au cours de la combustion d'un alcool ou d'un alcane :

- 1 Calculer les quantités initiales de matière.
- 2 Dresser un tableau d'avancement de la réaction de combustion. En déduire la valeur de l'avancement x_f en fin de réaction.
- 3 Calculer la chaleur de combustion Q_{comb} (ou Q'_{comb}) par la méthode exposée précédemment.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 4 L'énergie libérée au cours de la combustion vaut alors :

$$E_{\text{libérée}} = -Q_{\text{comb}} \times x_f \text{ (en joule).}$$

4.2 Combustion et environnement

A l'heure actuelle, les combustions sont très utilisées pour fournir de l'énergie. Les moteurs thermiques équipent encore une large majorité des véhicules. La combustion des hydrocarbures issus de l'industrie pétrolière présente un double inconvénient :

- Le pétrole n'est pas une ressource renouvelable et les réserves mondiales s'épuisent donc petit à petit.
- La combustion du pétrole produit du CO_2 , ce qui contribue à augmenter la production de gaz à effet de serre.

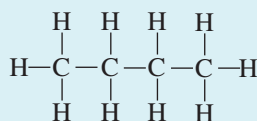
Pour tenter de résoudre ces problèmes, plusieurs pistes sont envisagées :

- Les biomolécules, qui sont extraites à partir de ressources renouvelables (agro-ressources) peuvent être utilisées dans le domaine énergétique. Ils permettent d'obtenir des molécules de substitution (biodiesel ou biogaz) qui pourraient remplacer les hydrocarbures classiques. En ce qui concerne la production de gaz à effet de serre, notons que la combustion de ces molécules produit tout même du CO_2 , mais que du CO_2 a été consommé pour faire pousser les végétaux utilisées pour produire ces molécules. Il faut donc prendre en compte ces deux aspects pour mesurer l'impact environnement réel.
- Les moteurs électriques permettent de limiter la production de CO_2 . Toutefois, d'un point de vue environnemental, il ne faut pas oublier de prendre en compte l'ensemble du cycle de vie du véhicule pour pouvoir faire un bilan objectif (techniques de production de l'électricité nécessaire à la recharge, production et recyclage des batteries, etc).

➡ Solution de l'exercice type 3

Lycée Colbert, Lorient

- 1 Le butane, de formule brute C_4H_{10} , a pour formule développée :



Cette molécule contient :

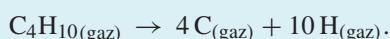
3 liaisons C-C et 10 liaisons C-H. (45)

- 2 L'énergie moyenne d'une liaison C-H est l'énergie qu'il faut apporter à une mole de liaisons C-H composant une espèce gazeuse, pour les dissocier en atomes de carbone et d'hydrogène.

➔ Solution de l'exercice type 3 (suite)

Lycée Colbert, Lorient

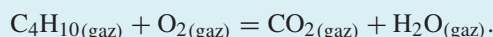
La chaleur molaire de dissociation de la molécule de butane est la chaleur qu'il faut fournir à une mole de butane gazeux pour rompre toutes les liaisons covalentes :



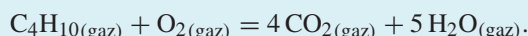
Cette chaleur s'exprime en fonction l'énergie de toutes les liaisons rompues :

$$Q_{\text{dissociation}} = 3E_{\text{C-C}} + 10E_{\text{C-H}}.$$

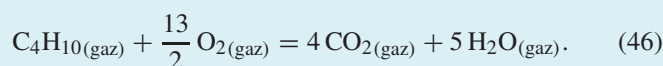
- 3** La combustion du butane consiste en sa réaction avec le dioxygène pour produire le dioxyde de carbone (CO_2) et de l'eau (H_2O) :



- Cette équation peut être équilibrée à l'égard du carbone et de l'hydrogène en agissant directement sur le membre de droite :

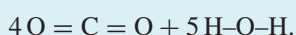


- Ainsi, le membre de droite présente $4 \times 2 + 5 = 13$ atomes d'oxygène, que l'on doit retrouver dans le membre de gauche, sous forme O_2 :



- 4** L'équation-bilan précédente (46) montre qu'au cours de cette transformation :

- des liaisons sont rompues : outre les trois liaisons C-C et les 10 liaisons C-H évoquées à la question 1, les $\frac{13}{2} = 6,5$ liaisons $\text{O}=\text{O}$ sont également détruites.
- des liaisons sont formées en même temps que sont obtenus :



Il s'agit de $4 \times 2 = 8$ liaisons $\text{C}=\text{O}$ et $5 \times 2 = 10$ liaisons $\text{O}-\text{H}$.

La chaleur molaire de combustion du butane (Q_0) désigne l'énergie thermique absorbée par le milieu réactionnel lorsque l'avancement de la réaction (46) augmente d'une unité.

Cette énergie s'évalue à l'aide des énergies des liaisons formées et rompues :

$$\begin{aligned} Q_0 &= \sum E_{\text{liaisons rompues}} - \sum E_{\text{liaisons formées}} \\ &= (3E_{\text{C-C}} + 10E_{\text{C-H}} + 6,5E_{\text{O=O}}) - (8E_{\text{C=O}} + 10E_{\text{O-H}}) \\ &= (3 \times 344 + 10 \times 415 + 6,5 \times 498) - (8 \times 803 + 10 \times 463) \\ &\Rightarrow Q_0 = -2,64.10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}. \end{aligned}$$

Voir énoncé page 366

COURS

INTERROS

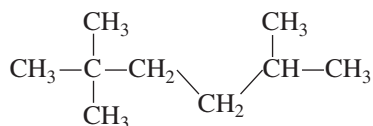
CORRIGÉS

1 QCM Testez vos connaissances

15 min

Corrigé
p. 387

1 La formule semi-développée :



correspond à la formule brute :

a C_9H_{18}

b C_9H_{20}

c C_8H_{18}

d C_8H_{16}

2 La molécule précédente s'appelle :

a le 2,5,5-triméthylhexane ;

b le 2,2,5-triméthylhexane ;

c le 2,4,4-triméthylpentane ;

d le 2,2-diméthylpentane.

3 Le 1,1-diméthylcyclohexane a pour formule brute :

a C_6H_{12}

b C_8H_{18}

c C_8H_{16}

d C_6H_{14}

4 Le 2-méthyl-2-éthylpropane :

a a pour formule semi-développée : $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{C}_2\text{H}_5 \\ | \\ \text{C}_2\text{H}_5 \end{array}$

b a pour formule brute : C_4H_{16} ;

c a plutôt pour nom : 2-éthyl-2-méthylpropane ;

d s'appelle plutôt le 2,2-diméthylbutane.

5 Parmi les formules suivantes quelle est celle qui correspond à un alcool ?

e $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH}$

f $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CH}_3$

g $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{O}$

h $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$

6 L'hexanol a pour formule brute :

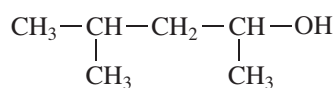
a $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$

b $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$

c $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$

d $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$

7 La molécule, de formule semi-développée



s'appelle :

a le 1,3-diméthylbutan-1-ol ;

b le 2,4-diméthylbutan-2-ol ;

c le 4-méthylpentan-2-ol ;

d le 3-méthylhexan-2-ol.

CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 8** Quel est le bon ordre concernant les étapes d'une synthèse organique ?
- ☐ **e** Extraction, réaction chimique, purification, calcul du rendement ;
 - ☐ **f** Réaction chimique, extraction, purification, calcul du rendement ;
 - ☐ **g** Calcul du rendement, extraction, purification, réaction chimique ;
 - ☐ **h** Extraction, purification, réaction chimique, calcul du rendement.
- 9** Un catalyseur :
- ☐ **a** Intervient dans l'équation bilan de la réaction ;
 - ☐ **b** Est globalement consommé au cours de la réaction ;
 - ☐ **c** Est globalement produit au cours de la réaction ;
 - ☐ **d** Permet d'accélérer la réaction.
- 10** Laquelle de ces techniques ne peut pas être utilisée en tant que technique de séparation ?
- ☐ **a** La distillation fractionnée ;
 - ☐ **b** Le chauffage à reflux ;
 - ☐ **c** La filtration ;
 - ☐ **d** La chromatographie.
- 11** Le rendement d'une synthèse :
- ☐ **a** Peut être supérieur à 1
 - ☐ **b** Correspond au rapport de la masse de produit que l'on peut théoriquement obtenir à la masse réellement obtenue.
 - ☐ **c** Ne peut jamais être supérieur à 100%
 - ☐ **d** Est compris entre -1 et 1
- 12** Une ampoule à décanter permet de :
- ☐ **a** séparer deux liquides miscibles de même densité ;
 - ☐ **b** séparer deux liquides non miscibles de même densité ;
 - ☐ **c** séparer deux liquides miscibles de densités différentes ;
 - ☐ **d** séparer deux liquides non miscibles de densités différentes.

Structure des entités organiques

2 Nomenclature des alcanes



5 min

Corrigé
p. 389

Lycée Saint-Sernin, Toulouse

Représenter la formule semi-développée du 2,2,3-triméthylbutane et celle du 3-méthyl-3-éthylpentane.

Ces molécules sont-elles isomères ?

INTERROS

3 Nomenclature des alcools



5 min

Corrigé
p. 389

Lycée Sainte-Marie, Antony

La formule brute $C_4H_{10}O$ peut-elle représenter le méthylpropan-1-ol ? le butan-2-ol ?

Justifier la réponse.

4 Nomenclature des alcanes

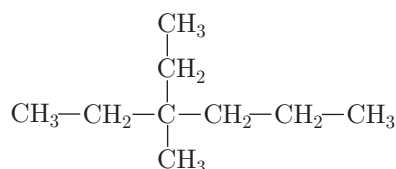
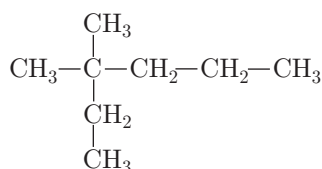


5 min

Corrigé
p. 390

Lycée Saint-Sernin, Toulouse

Nommer les molécules suivantes :



5 Alcanes et alcools



5 min

Corrigé
p. 391

Lycée Guynemer, Compiègne

Au laboratoire, les étiquettes de deux bouteilles *A* et *B* d'alcanes sont partiellement déchirées. On peut lire sur la bouteille *A* : $\theta_{\text{éb}} = 69^\circ\text{C}$ et sur la bouteille *B* : $\theta_{\text{éb}} = 36^\circ\text{C}$ (sous la pression de 1 bar). D'autre part, on lit les noms « pentane » et « hexane » sur les morceaux d'étiquette arrachés.

Que contient la bouteille *A* ? la bouteille *B* ? Justifier.

6 Identification d'arômes



5 min

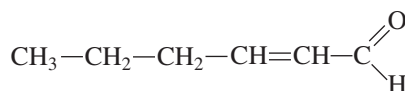
Corrigé
p. 391

Lycée Amyot, Melun

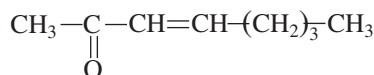
Certains arômes sont dus aux molécules ci-dessous.

Pour chacun de ces composés, identifier les fonctions présentes dans leurs molécules et préciser la classe des fonctions alcools.

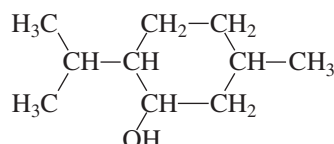
1 Dans la tomate :



2 Dans le champignon :

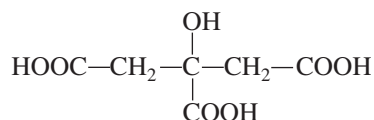


3 Dans la menthe :



CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

4 Dans le citron :



7 Nomenclature des alcanes

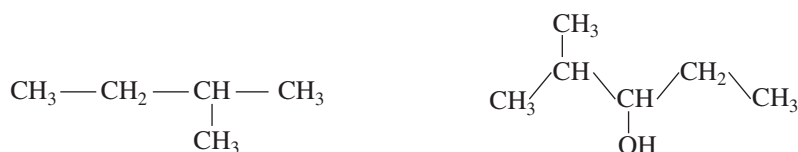


10 min

Corrigé
p. 392

Institut Notre-Dame, Meudon

Nommer les alcanes suivants :



8 Nomenclature des alcools



10 min

Corrigé
p. 393

Lycée Edgar Quinet, Bourg-En-Bresse

Chercher toutes les formules semi-développées des alcools de formule brute $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ et préciser leur nom.

9 Nomenclature des molécules organiques

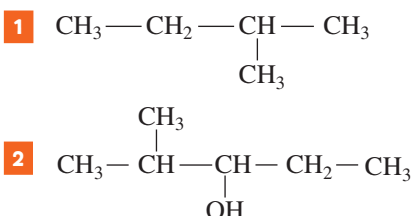


10 min

Corrigé
p. 395

Institut Notre-Dame, Meudon

Donner le nom et la formule brute des molécules suivantes :



10 Alcanes et alcools

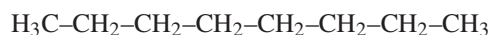


10 min

Corrigé
p. 395

Lycée Victor Hugo, Colomiers

La température d'ébullition de l'alcane représenté ci-dessous vaut 126°C :



L'octan-1-ol a une température d'ébullition, sous pression atmosphérique, de 195°C .

- 1 Donner la formule semi-développée de cet alcool.
- 2 Quelles interactions assurent la cohésion de cet alcool à l'état liquide ? Les représenter.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

- 3 Justifier le fait que l'alcane représenté ci-dessus est plus volatil que l'octan-1-ol.
- 4 Cet alcool est-il miscible dans l'eau ? Justifier la réponse.

11 Nomenclature des alcools

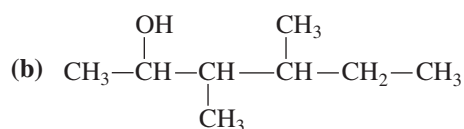
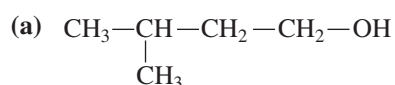


10 min

Corrigé
p. 396

Lycée Lacordaire, Marseille

- 1 Donner le nom et la formule brute des alcools suivants :



- 2 Quelle est la formule semi-développée et le nom de l'alcool dont la formule brute est $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$?

12 Nomenclature

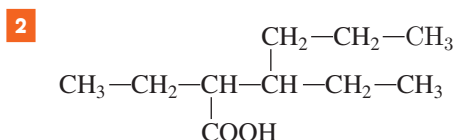
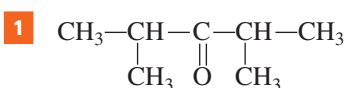


10 min

Corrigé
p. 397

Lycée Rousseau, Montmorency

Donner le nom des composés suivants :



13 Nomenclature

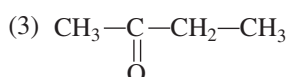
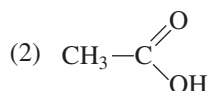
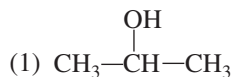


10 min

Corrigé
p. 398

Lycée Notre-Dame-Des-Minimes, Lyon

Nommer les molécules suivantes.



Synthèse d'espèces chimiques organiques

17 Analyse d'une boisson



5 min

Corrigé
p. 401

Lycée Colbert, Lyon

On utilise la technique de la chromatographie sur couche mince pour analyser une boisson gazeuse, et la même boisson en version *light*, où le goût sucré provient d'un édulcorant de synthèse, l'aspartame. Sur la même couche, on réalise également la chromatographie d'un échantillon de saccharose et d'un échantillon d'aspartame. On admettra que l'aspartame a un rapport frontal supérieur à celui du saccharose.

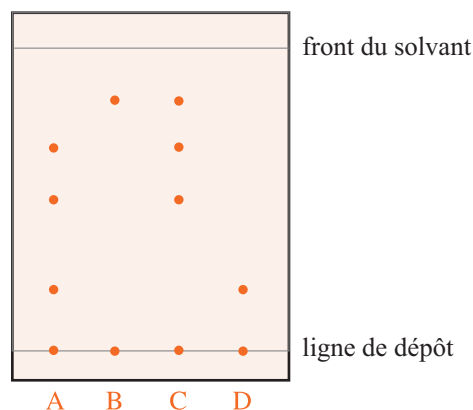


Figure 10.1 – Chromatogramme décrit dans l'énoncé.

- 1 Identifier les échantillons de A à D sur la figure ci-dessus.
- 2 Donner une estimation du rapport frontal de l'aspartame et du saccharose.

18 Choix d'un éluant



5 min

Corrigé
p. 402

Lycée Jean-Baptiste Say, Paris

diéthyléthane

hexane

acétone

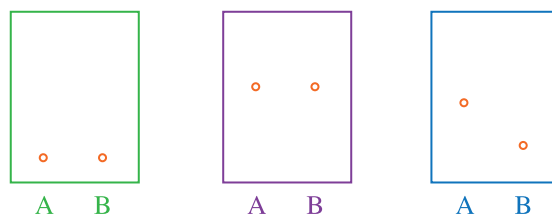


Figure 10.2 – A et B sont élués par différents solvants.

On désire identifier deux espèces A et B dans des échantillons, par chromatographie sur couche mince. On pratique des essais avec des éluants différents, sur des échantillons contenant soit l'espèce A, soit l'espèce B. Les résultats sont montrés à la figure 10.2. Quel est le meilleur éluant et pourquoi ?

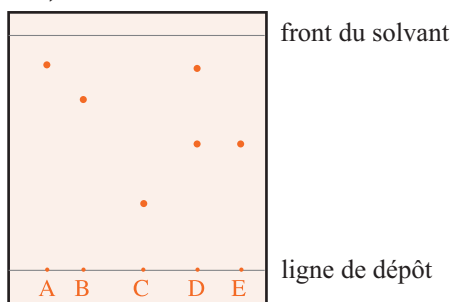
19 Chromatographie sur couche mince



10 min

Corrigé
p. 403

Lycée Florent-Schmitt, Saint-Cloud



On réalise la chromatographie sur couche mince d'un sirop de fraise. On dépose une goutte de ce sirop sur la ligne de dépôt, ainsi que des gouttes de différents colorants :

- le bleu patenté E131 ($R_f = 0,4$);
- la tartrazine E102 ($R_f = 0,9$);
- l'azorubine E122 ($R_f = 0,75$);
- et le rouge cochenille E124 ($R_f = 0,6$).

On obtient le chromatogramme ci-dessus.

- 1 On a oublié de noter à quelle solution correspond chaque point du dépôt A, B, C, D et E. Identifiez-les en justifiant votre démarche.
- 2 Quels sont les colorants contenus dans ce sirop de fraise ?

20 Synthèse de l'acétate d'éthyle



15 min

Corrigé
p. 403

D'après Bac Pondichéry 2014

L'acétate d'éthyle est un liquide utilisé comme solvant pour les vernis à ongles et certaines colles, en raison de sa faible nocivité et de sa volatilité importante, il est aussi utilisé dans l'industrie agroalimentaire dans certains arômes fruités.

La synthèse de l'acétate d'éthyle est facilement réalisable au laboratoire. Un exemple de protocole expérimental est décrit ci-dessous :

- Étape 1 : dans un ballon de 100 mL, introduire un mélange équimolaire de 0,10 mol d'acide acétique et 0,10 mol d'éthanol. Y ajouter 0,5 mL d'acide

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

sulfurique concentré ($\text{H}_2\text{SO}_{4(l)}$) et quelques grains de pierre ponce. Porter le mélange à ébullition dans un dispositif de chauffage à reflux pendant 30 minutes.

- Étape 2 : laisser refroidir le mélange réactionnel à l'air ambiant puis dans un bain d'eau froide. Verser le contenu du ballon dans une ampoule à décanter contenant environ 50 mL d'eau salée. Agiter prudemment quelques instants en dégazant régulièrement, puis éliminer la phase aqueuse.
- Étape 3 : ajouter alors à la phase organique 60 mL d'une solution aqueuse d'hydrogénocarbonate de sodium ($\text{Na}_{(aq)}^+ + \text{HCO}_{3(aq)}^-$) de concentration molaire $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Laisser dégazer et décanter puis éliminer la phase aqueuse. Recueillir la phase organique dans un bécher. Sécher cette phase avec du chlorure de calcium anhydre puis filtrer. Recueillir le filtrat dans un erlenmeyer propre et sec.

Une synthèse réalisée au laboratoire en suivant ce protocole a permis d'obtenir un volume de filtrat égal à 5,9 mL.

1 Réaction de synthèse.

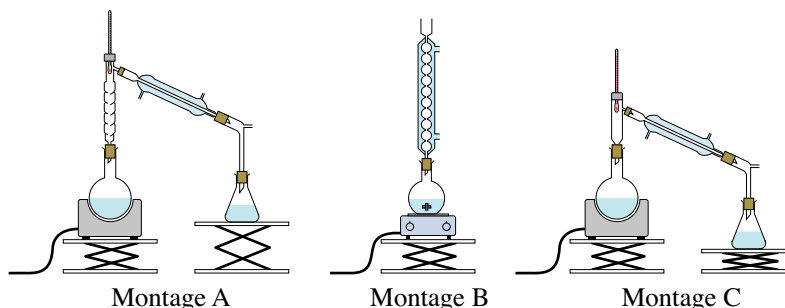
La synthèse de l'acétate d'éthyle est modélisée par la réaction d'équation : $\text{CH}_3\text{COOH}_{(l)} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(l)} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5_{(l)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$.

Identifier, en justifiant votre réponse, les fonctions chimiques des molécules organiques intervenant dans les réactifs de la réaction de synthèse.

2 Protocole expérimental.

- (a) Parmi les montages suivants, justifier celui qu'il convient de choisir pour l'étape 1.

Pourquoi les deux autres montages ne conviennent-ils pas ?



- (b) Proposer un titre pour nommer chacune des trois étapes du protocole.

3 Déterminer la valeur du rendement de la synthèse en expliquant la méthode mise en œuvre.

- Données :
- Masses molaires : $M(\text{H}) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
 - Masse volumique de l'acétate d'éthyle : $\rho = 0,925 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$

CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

21 Synthèse de l'acide pentanoïque



30 min

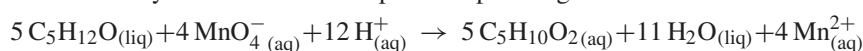
Corrigé
p. 404

Lycée Victor Hugo, Colomiers

L'acide pentanoïque (aussi appelé acide valérique car présent dans la valériane), de formule $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$ (ou $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$) peut être synthétisé par oxydation du pentan-1-ol de formule $\text{C}_4\text{H}_9\text{CH}_2\text{OH}$ (ou $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$) par les ions permanganate MnO_4^- .

Cette synthèse se réalise en milieu aqueux acidifié, à partir d'un volume $V_1 = 12 \text{ mL}$ de pentan-1-ol et d'un volume $V_2 = 200 \text{ mL}$ d'une solution de permanganate de potassium ($\text{K}^+_{(\text{aq})} + \text{MnO}_4^-_{(\text{aq})}$) de concentration $C_2 = 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

On chauffe ce mélange à reflux pendant quelques minutes. L'équation de la réaction d'oxydation de cet alcool par l'ion permanganate est :



Données :

- Masses volumiques μ_i et masses molaires M_i :

Pentan-1-ol	$\mu_1 = 0,80 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$	$M_1 = 88,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Permanganate de potassium		$M_2 = 158,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Acide pentanoïque	$\mu_3 = 0,93 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$	$M_3 = 102,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

- 1 Quelle est la classe du pentan-1-ol ?
- 2 Exprimer puis calculer la quantité de matière initiale n_1 de pentan-1-ol.
- 3 Montrer, par un calcul littéral puis numérique, que la quantité de matière initiale d'ions permanganate en solution est $n_2 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol}$.
- 4 Dresser et compléter, par des expressions littérales, le tableau d'avancement de cette synthèse. On rappelle qu'ici, l'eau et les ions H^+ sont en excès.
- 5 Identifier le réactif limitant. Justifier par un calcul.
- 6 Exprimer puis calculer la quantité de matière théorique $n_{\text{théo}}$ d'acide pentanoïque qui peut être formée.
- 7 En déduire l'expression puis la valeur de la masse théorique $m_{\text{théo}}$ d'acide pentanoïque qui peut être formée.
- 8 L'expérience réalisée fournit une masse expérimentale $m_{\text{exp}} = 8,4 \text{ g}$ d'acide pentanoïque. Exprimer puis calculer le rendement ρ de cette synthèse.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS

22 Suivi de synthèse



20 min

Corrigé
p. 406

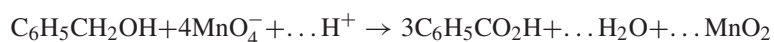
Lycée Notre-Dame de Sion, Paris



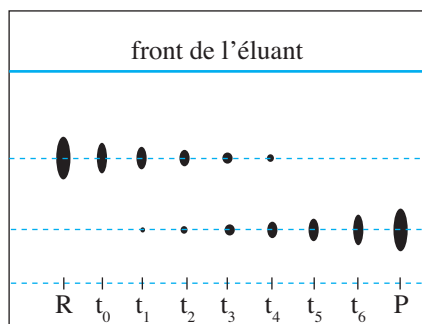
Retrouvez le corrigé de cet exercice en vidéo.

L'acide benzoïque $C_6H_5CO_2H$ est un conservateur présent dans de nombreux produits alimentaires.

- 1 La synthèse de l'acide benzoïque s'effectue en chauffant à reflux un mélange d'alcool benzylique $C_6H_5CH_2OH$ et d'ions permanganate MnO_4^- en présence d'ions hydrogène. Compléter les coefficients stœchiométriques manquants de l'équation chimie de cette synthèse :



- 2 Pour suivre l'évolution de cette transformation chimique, on réalise plusieurs CCM du mélange réactionnel : elles indiquent l'avancée de la réaction. Toutes les quinze minutes, une faible quantité de mélange réactionnel est prélevée et déposée sur une plaque de CCM. Au bout d'une heure et demie, la plaque est mise à éluer puis révélée. L'alcool benzylique et l'acide benzoïque sont deux espèces chimiques solubles dans l'éluant choisi.



- (a) Décrire l'état initial du système chimique étudié.
(b) D'après la CCM, que dire de l'évolution de la quantité de l'espèce chimique R au cours du temps ?
(c) À partir de quel instant peut-on déceler la présence du produit dans le mélange ?
(d) Est-il nécessaire d'attendre une heure et demie pour arrêter le chauffage ?

23 L'indigo



30 min

Corrigé
p. 406

Lycée Fénélon Sainte Marie, Paris

L'indigo est l'un des plus anciens pigments connus et il reste aujourd'hui très employé notamment dans la fabrication de certains jeans.

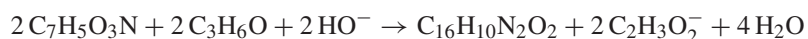
CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

L'indigo, de formule brute $C_{16}H_{10}N_2O_2$ peut être synthétisé à partir du 2-nitrobenzaldéhyde $C_7H_5O_3N_{(s)}$, d'acétone $C_3H_6O_{(l)}$ et d'ions hydroxyde $HO^-_{(aq)}$ selon la réaction suivante :



L'ion $C_2H_3O_2^-$ est l'ion éthanoate.

La synthèse est réalisée avec une masse $m = 1,00$ g de 2-nitrobenzaldéhyde solide. Un volume $V = 10$ mL d'acétone et un volume $V_s = 5,0$ mL d'une solution aqueuse contenant des ions hydroxyde de concentration $c_s = 2,0 \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

- 1 Quels sont les réactifs et les produits de la réaction ?
- 2 Calculer les quantités de matière initiales n_1 de 2-nitrobenzaldéhyde et n_2 d'ions hydroxyde.
- 3 Montrer que la quantité de matière initiale d'acétone est égale à $n_3 = 0,181$ mol.
- 4 Écrire littéralement le tableau d'avancement de la transformation, puis déterminer les quantités de matière de chaque espèce chimique à l'état final.
- 5 Déterminer la masse d'indigo théoriquement synthétisable.
- 6 En réalité, on mesure une masse de 0,59 g. Quel est le rendement de la synthèse ainsi réalisée.

Données :

- Masses molaires :
 $M(H) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(C) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(N) = 14 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,
 $M(O) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{Indigo}) = 262 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Masse volumique de l'acétone :
 $\rho_3 = \rho(C_3H_6O) = 1,05 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$

Transferts thermiques, alcanes et alcools

24 Combustion du propane



20 min

Corrigé
p. 408

Lycée Félix Faure, Beauvais

Déterminer la chaleur de combustion complète du propane (C_3H_8) (l'eau étant obtenue à l'état gazeux).

Données : énergies moyennes de liaison :

$$\begin{array}{ll} E_{C-C} = 348 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & E_{C-H} = 412 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ E_{O=O} = 496 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & E_{C=O} = 804 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ E_{O-H} = 463 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & \end{array}$$

25 Combustion des alcanes



20 min

Corrigé
p. 408

Lycée Guy de Maupassant, Colombes

On brûle complètement, dans le dioxygène, une masse m_1 d'un alcane A non cyclique. On recueille une masse $m_2 = 13,2$ g de dioxyde de carbone et une quantité de matière $n_3 = 0,350$ mol d'eau.

- 1 Écrire l'équation chimique de la combustion complète d'un alcane ayant n atomes de carbone.
- 2 Calculer la quantité de matière n_2 de dioxyde de carbone produit.
- 3 En déduire la valeur de n et la formule brute de A (on utilisera un tableau d'avancement pour répondre à cette question).

Données :

- $M_H = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $M_C = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $M_O = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

26 Combustion du méthane



20 min

Corrigé
p. 409

Lycée Rosa Parks, Montgeron

- 1 Écrire l'équation-bilan de la combustion complète du méthane.
- 2 On appelle *pouvoir calorifique* (P.C.) d'un combustible la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion complète de 1,00 kg de combustible ; son unité est le $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.
 - (a) Calculer la chaleur de la réaction de combustion complète du méthane dans le dioxygène, les produits obtenus lors de cette combustion étant gazeux.
 - (b) En déduire la valeur du pouvoir calorifique du méthane.

Données :

- masses molaires de l'hydrogène et du carbone :

$$M_H = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M_C = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

- énergies de liaison :

$$\begin{array}{ll} E_{C-H} = 410 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & E_{O=O} = 494 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ E_{C=O} = 803 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} & E_{O-H} = 462 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{array}$$

27 Bougie



30 min

Corrigé
p. 411

Institut Notre-Dame, Meudon

On introduit une bougie allumée, de masse $m = 3,52$ g, dans un flacon de volume $V = 500$ mL rempli d'air. On ferme alors le flacon et on constate que la bougie s'éteint rapidement.

La bougie est constituée de paraffine, molécule de formule brute $\text{C}_{25}\text{H}_{52}$.

L'air est constitué, en volume, de 20% de dioxygène.

CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

- 1 Écrire l'équation chimique de la combustion de la bougie, si l'on considère que la réaction produit du dioxyde de carbone et de l'eau. L'observation permet-elle de préciser le réactif limitant ?
- 2 Quelles sont les quantités de matière des réactifs avant toute réaction ?
- 3 Dresser le tableau d'avancement de la réaction.
- 4 En déduire la masse de paraffine brûlée.

Données :

- volume molaire des gaz : $V_m = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- masses molaires du carbone et de l'oxygène :
 $M_C = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M_O = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- relation entre volume d'un gaz V , quantité de matière n de ce gaz et volume molaire V_m :

$$V_m = \frac{V}{n}, \text{ avec } V_m \text{ en } \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} ;$$

$$V \text{ en L ;}$$

$$n \text{ en mol.}$$

Spectroscopie

28 Spectroscopie infra rouge

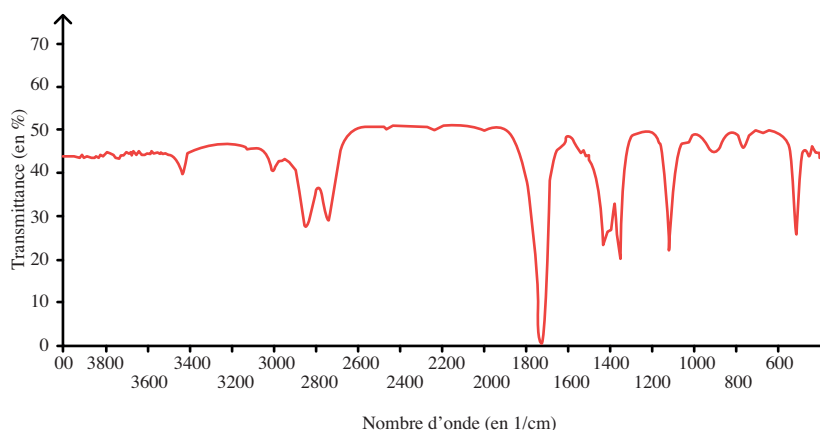


10 min

→ Corrigé
p. 412

On se propose d'étudier la structure et les fonctions organiques des molécules d'éthanol et d'éthanal en spectroscopie infra rouge.

- 1 Représenter en formule semi développée les deux molécules étudiées et encadrer leur groupes caractéristiques.
- 2 Nommer les groupes fonctionnels des deux molécules.
- 3 En utilisant les données spectroscopiques page 358, associer les spectres IR suivant à la molécule correspondante (voir page suivante).



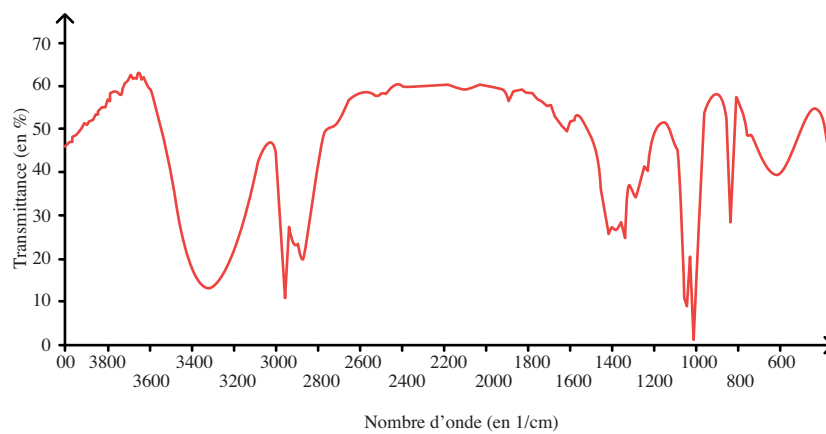
Spectroscopie Infrarouge en phase liquide. Spectre IR1.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

INTERROS



Spectroscopie Infrarouge en phase liquide. Spectre IR2.

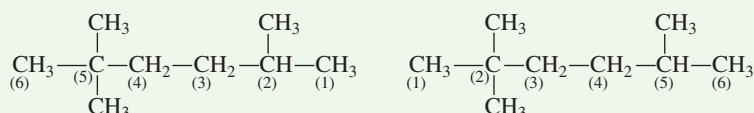
CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

1 QCM Testez vos connaissances

Énoncé
p. 372

1 Après comptage, il y a 9 atomes de carbone et 20 atomes d'hydrogène. Cette molécule a donc pour formule brute : C_9H_{20} (réponse **b**).

2 La molécule précédente présente une chaîne principale à 6 atomes de carbone ; c'est un hexane.

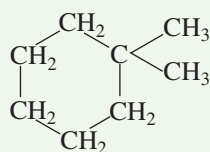


Trois groupes méthyl ($-CH_3$) sont fixés à la chaîne principale sur les atomes de carbone 2,5,5 ou 2,2,5 selon le sens de parcours de la chaîne principale. La comparaison des sommes :

$$2 + 5 + 5 = 12 > 2 + 2 + 5 = 9$$

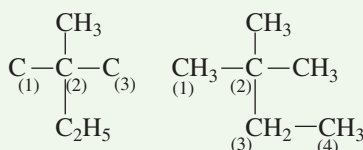
indique que la molécule s'appelle alors le 2,2,5-triméthylhexane (réponse **b**).

3 Le 1,1-diméthylcyclohexane est une molécule de cyclohexane dans laquelle deux atomes d'hydrogène ont été substitués par des groupes méthyl ($-CH_3$) :



Cette molécule a donc pour formule brute : C_8H_{16} (réponse **c**).

4 La chaîne principale du 2-méthyl-2-éthylpropane doit présenter 3 atomes de carbone (c'est un propane) sur lesquels viennent se lier des groupes méthyl ($-CH_3$) et éthyl ($-C_2H_5$) :



La formule brute de cette molécule est donc : C_6H_{14} .

Cependant, la chaîne principale de cette molécule comporte plutôt 4 atomes de carbone (c'est un butane) ; l'atome de carbone (2) porte en outre deux substituants méthyl. C'est pourquoi cette molécule s'appelle plutôt :

le 2,2-diméthylbutane (réponse **d**).

5 Un alcool est une molécule comportant au moins une liaison $-OH$ et des liaisons $C-H$ et $C-C$ (ce qui exclut les liaisons $C=O$ et $C-O-C$).

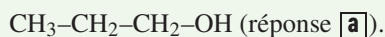
COURS

INTERROS

CORRIGÉS

CORRIGÉS

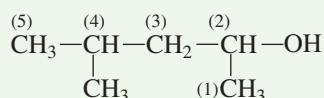
Par conséquent, l'alcool est la molécule de formule semi-développée :



- 6** L'hexanol est un alcool comportant $n = 6$ atomes de carbone ; sa formule brute est alors :



- 7** La molécule proposée possède 5 atomes de carbone sur sa chaîne principale ; il s'agit alors d'un pentanol :



Le groupe --OH étant lié à l'atome de carbone (2), il s'agit d'un pentan-2-ol, qui présente un groupe méthyl (--CH_3) sur l'atome de carbone (4). C'est pourquoi cette molécule s'appelle finalement :

le 4-méthylpentan-2-ol (réponse [c]).

- 8** Les étapes d'une synthèse organique ont lieu dans l'ordre suivant : Réaction chimique (pour former les produits)
Extraction (pour récupérer le produit intéressant)
Purification (pour purifier le produit à isoler)
Calcul du rendement (pour évaluer l'efficacité de la synthèse). (réponse [b]).
- 9** Un catalyseur permet d'accélérer une réaction chimique sans intervenir dans le bilan. À la fin de la réaction, il est présent dans les mêmes quantités qu'au début (réponse [d]).
- 10** Le chauffage à reflux n'est pas une technique de séparation. Il est utilisé pour réaliser la synthèse d'une substance chimique (réponse [b]). La chromatographie sur couche mince ne peut pas être utilisée comme technique de séparation, en revanche une chromatographie sur colonne permet de séparer différents constituants.
- 11** Le rendement d'une synthèse correspond au rapport entre la masse de produit réellement obtenue et la masse que l'on peut théoriquement obtenir (et non l'inverse). Il est compris entre 0 et 1 et ne peut jamais être supérieur à 100%. La bonne réponse est donc la réponse [c].
- 12** Une ampoule à décanter permet de séparer deux liquides non miscibles de densité différentes (réponse [d]).

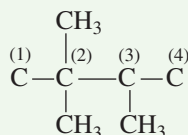
CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

2 Nomenclature des alcanes

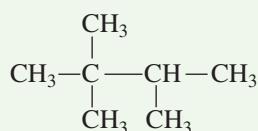
Énoncé
p. 373

Lycée Saint-Sernin, Toulouse

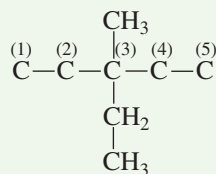
La chaîne principale du 2,2,3-triméthylbutane comporte 4 atomes de carbone, tandis que trois groupes méthyle (CH_3-) sont liés aux atomes de carbone (2) et (3) :



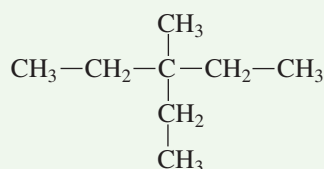
Complétée avec les atomes d'hydrogène qui assurent la tétravalence du carbone, la formule de cette molécule devient :



Quant au 3-méthyl-3-éthylpentane, sa chaîne principale comporte 5 atomes de carbone, dont le troisième est lié à un groupe éthyl ($-\text{CH}_2-\text{CH}_3$) et à un groupe méthyl ($-\text{CH}_3$) :



En complétant à nouveau avec des atomes d'hydrogène, on obtient la formule semi-développée :



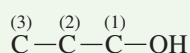
Les deux molécules précédentes ont des formules brutes respectives C_7H_{16} et C_8H_{18} différentes, en raison de quoi elle ne sont pas isomères.

3 Nomenclature des alcools

Énoncé
p. 374

Lycée Sainte-Marie, Antony

- 1 Le méthylpropan-1-ol est un alcool dont la chaîne principale contient 3 atomes de carbone (c'est un propanol), dont le premier est lié au groupe $-\text{OH}$:

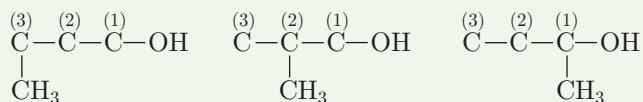


COURS

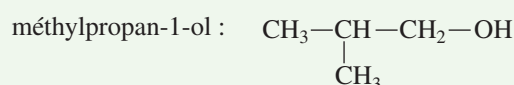
INTERROS

CORRIGÉS

Le substituant méthyl ($-\text{CH}_3$) peut donc *a priori* occuper trois positions :

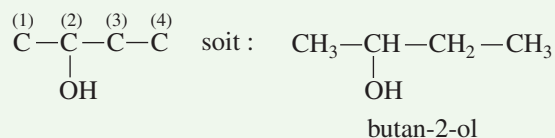


La première et la troisième configurations sont impossibles car elles rallongeraient la chaîne carbonée principale : avec 4 atomes de carbone, il s'agirait alors d'un butanol. Donc, seule la deuxième formule convient (CH_3 —lié à l'atome de carbone 2), à laquelle s'ajoutent des atomes d'hydrogène qui assurent la tétravalence de chaque atome de carbone :



Cette formule semi-développée montre que la formule brute $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ peut représenter le méthylpropan-1-ol.

- 2** Le butan-2-ol est un alcool dont la chaîne principale (non ramifiée) comporte 4 atomes de carbone (c'est un butanol), le deuxième de ces atomes étant lié à un groupe $-\text{OH}$:



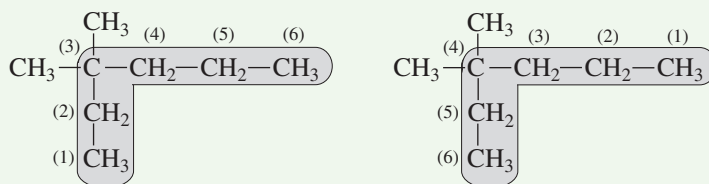
Cette molécule peut donc aussi être représentée par la formule brute $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$.

4 Nomenclature des alcanes

Énoncé
p. 374

Lycée Saint-Sernin, Toulouse

- 1** La chaîne hydrocarbonée la plus longue du premier alcane proposé possède 6 atomes de carbone :

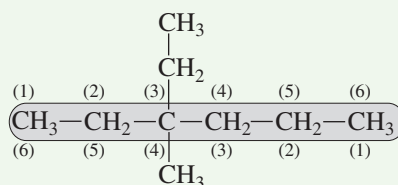


Il s'agit donc d'un hexane, substitué par deux groupes méthyl ($-\text{CH}_3$). Selon le sens dans lequel sont numérotés les atomes de carbone, les deux groupes méthyl sont localisés sur l'atome de carbone (3) ou (4). Il peut donc s'agir du 3,3-diméthylhexane ou du 4,4-diméthylhexane. Or, puisque la somme $3 + 3 = 6$ est inférieure à $4 + 4 = 8$, on retient comme nom :

le 3,3-diméthylhexane.

CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

- 2** La plus longue chaîne hydrocarbonée du deuxième alcane possède également 6 atomes de carbone :



Il s'agit donc d'un hexane ramifié par un groupe méthyl ($-\text{CH}_3$) et par un groupe éthyl ($-\text{CH}_2-\text{CH}_3$). Selon le sens adopté pour la numérotation des atomes de carbone de la chaîne principale, ces deux groupes sont liés à l'atome de carbone (3) ou (4). En choisissant la plus petite de ces valeurs, cette molécule est nommée :

le 3-éthyl-3-méthylhexane.

Remarque : les groupes éthyl et méthyl sont énoncés dans l'ordre alphabétique de leurs initiales.

5 Alcanes et alcools

Énoncé
p. 374

Lycée Guynemer, Compiègne

L'hexane, de formule brute C_6H_{14} , possède une masse molaire plus importante que celle du pentane (de formule brute C_5H_{12}) :

$$M_{\text{hexane}} > M_{\text{pentane}}$$

Or, plus la masse molaire d'un alcane est importante, plus sa température d'ébullition est élevée. C'est pourquoi on peut associer les grandeurs suivantes :

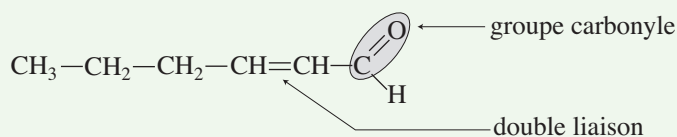
hexane $\theta_{\text{éb}} = 69^\circ\text{C}$ bouteille A
pentane $\theta_{\text{éb}} = 36^\circ\text{C}$ bouteille B

6 Identification d'arômes

Énoncé
p. 374

Lycée Amyot, Melun

- 1** Dans l'arôme de tomate



se trouvent :

- un groupe carbonyle $\text{C}=\text{O}$, caractéristique des aldéhydes ;
- une double liaison $-\text{CH}=\text{CH}-$ caractéristique des alcènes.

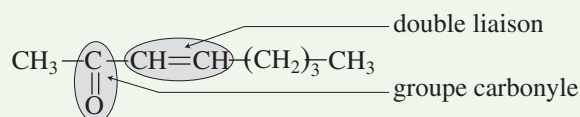
COURS

INTERROS

CORRIGÉS

CORRIGÉS

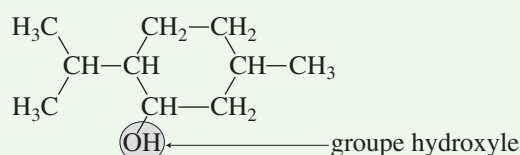
- 2 La molécule responsable de l'arôme de champignon :



comporte :

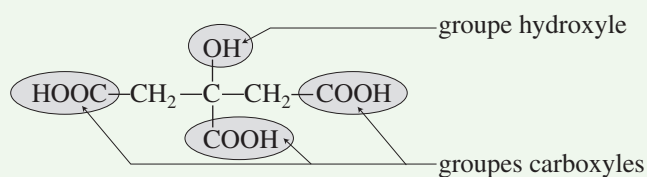
- une double liaison $-\text{CH}=\text{CH}-$ caractéristique des alcènes ;
- un groupe carbonyle $-\text{CO}-$ caractéristique des cétones.

- 3 Dans l'arôme de menthe :



se trouve un groupe hydroxyle $-\text{OH}$ caractéristique des alcools. Puisque l'atome de carbone lié à ce groupe est aussi lié à deux autres atomes de carbone, l'alcool est secondaire.

- 4 La molécule présente dans le citron :



possède 3 groupes carboxyles et 1 groupe hydroxyle.

- 3 groupes carboxyles :



caractéristiques des acides carboxyliques ;

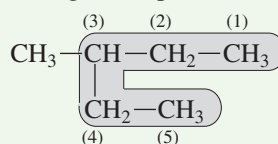
- 1 groupe hydroxyle $(-\text{OH})$ caractéristique des alcools. Or, l'atome de carbone lié à ce groupe est aussi lié à 3 autres atomes de carbone, en conséquence de quoi l'alcool correspondant est tertiaire.

7 Nomenclature des alcanes

Énoncé
p. 375

Institut Notre-Dame, Meudon

- 1 La chaîne hydrocarbonée principale du premier alcane comporte 5 atomes de carbone, auquel cas il s'agit d'un pentane.



CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

COURS

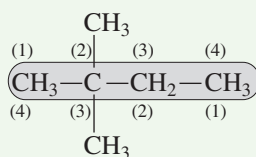
INTERROS

CORRIGÉS

Quel que soit le sens choisi pour numéroté les atomes de carbone de cette chaîne principale, le substituant méthyl ($-\text{CH}_3$) est lié à l'atome (3) ; cette molécule s'appelle :

le 3-méthylpentane.

- 2** La chaîne principale du deuxième alcane comporte 4 atomes de carbone ; c'est donc un butane :

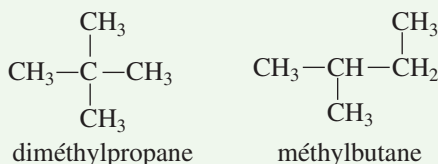


Deux groupes méthyl ($-\text{CH}_3$) sont liés au même atome de carbone de cette chaîne, numéroté 2 ou 3 selon le sens de parcours de la chaîne principale. Cette molécule peut donc être le 2,2-diméthylbutane ou le 3,3-diméthylbutane. Or, puisque $2 + 2 = 4 < 3 + 3 = 6$, on retient plutôt le premier nom : le 2,2-diméthylbutane.

- 3** La chaîne carbonée principale de la troisième molécule est composée de 3 atomes de carbone ; c'est un propane, sur lequel sont liés deux groupes méthyl ($-\text{CH}_3$). C'est pourquoi cette molécule s'appelle :

le diméthylpropane.

Remarque : la numérotation des atomes de la chaîne principale est ici superflue car, si l'un des substituants méthyl se trouvait sur un autre atome de carbone que le n°2, cette chaîne s'agrandirait et l'alcane serait un butane :



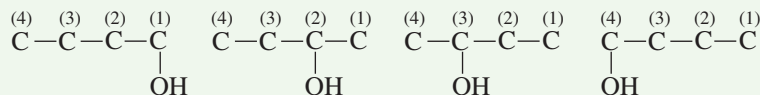
8 Nomenclature des alcools

→ Énoncé
p. 375

Lycée Edgar Quinet, Bourg-En-Bresse

Les alcools de formule brute $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ peuvent présenter :

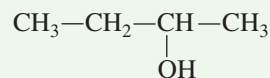
- une chaîne principale à 4 atomes de carbone (il s'agit alors d'un butanol), sur laquelle vient se lier le groupe $-\text{OH}$ caractéristique des alcools :



Les deux dernières structures étant équivalentes aux deux premières, il reste finalement deux formules possibles (voir page suivante).

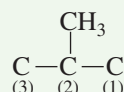


butan-1-ol

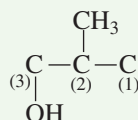
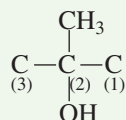
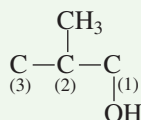


butan-2-ol

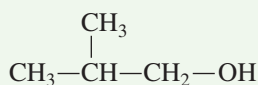
- une chaîne principale à 3 atomes de carbone (il s'agit alors d'un propanol), sur laquelle le quatrième atome de carbone vient se lier sous forme de groupe méthyle ($-\text{CH}_3$) :



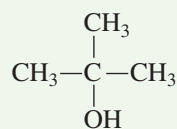
Ce groupe ne peut se lier qu'à l'atome de carbone n°2, sans quoi la chaîne carbonée principale posséderait 4 atomes de carbone. Ainsi, le groupe $-\text{OH}$, caractéristique des alcools, peut se lier *a priori* à trois atomes de carbone :



Or, la première structure est équivalente à la troisième, de sorte que seulement deux molécules de propanol peuvent correspondre à la formule brute $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$:



méthylpropan-1-ol



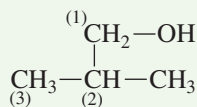
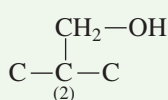
méthylpropan-2-ol

Remarque : dans les noms des deux molécules précédentes, la position du groupe méthyl n'a pas été précisée, sans quoi on aurait écrit :

2-méthylpropan-1-ol et 2-méthylpropan-2-ol.

Cependant, cette précision aurait été superflue car le groupe méthyl ($-\text{CH}_3$) ne peut pas être lié à un autre atome de carbone (n°1 ou n°3) sans augmenter la longueur de la chaîne principale.

Remarque : on aurait pu envisager aussi une liaison $-\text{OH}$ sur le substituant méthyl porté par le deuxième atome de carbone :



Dans ce cas, la chaîne principale serait devenue la chaîne à 3 atomes de carbone qui porte le groupe $-\text{OH}$; il s'agirait du méthylpropan-1-ol déjà recensé.

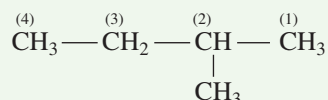
CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

9 Nomenclature des molécules organiques

Énoncé
p. 375

Institut Notre-Dame, Meudon

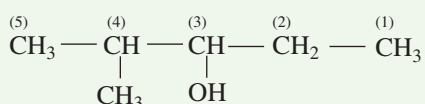
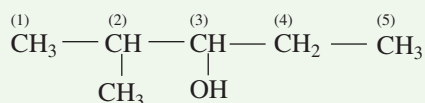
- 1 Dans cet hydrocarbure, la chaîne carbonée principale comporte 4 atomes de carbone (c'est un butane), dont le deuxième est lié à un groupe méthyl ($-\text{CH}_3$) :



C'est pourquoi cette molécule s'appelle : le 2-méthylbutane.

Remarque : la position du groupe méthyl n'a pas à être précisée, c'est pourquoi cette molécule s'appelle en fait le méthylbutane.

- 2 La chaîne carbonée principale de cet alcool comporte 5 atomes de carbone et, quel que soit le sens choisi pour la numérotation de ces atomes, le groupe $-\text{OH}$ est lié à l'atome de carbone n°3 ; il s'agit d'un pentan-3-ol :



Selon le sens choisi pour la numérotation des atomes de la chaîne principale, le groupe méthyl ($-\text{CH}_3$) est lié à l'atome de carbone n°2 ou n°4. Or, puisque ce n'est pas la position du groupe $-\text{OH}$ qui détermine ici le sens de la numérotation, c'est la plus petite de ces valeurs qui est retenue. Par conséquent, cette molécule est :

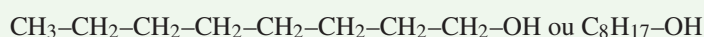
le 2-méthylpentan-3-ol.

10 Alcanes et alcools

Énoncé
p. 375

Lycée Victor Hugo, Colomiers

- 1 La molécule d'octan-1-ol est un alcool qui possède 8 atomes de carbone (d'où provient la racine *octa* dans le nom de la molécule) dont le premier (ou le dernier) de la chaîne est lié au groupe $-\text{OH}$:



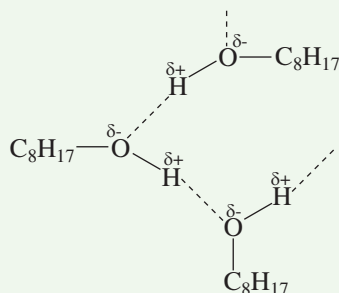
COURS

INTERROS

CORRIGÉS

CORRIGÉS

- 2 La différence d'électronégativité entre l'oxygène et l'hydrogène provoque, sur la liaison O-H, un déplacement des électrons statistiquement favorable à l'oxygène (qui se voit pourvu d'une charge formelle δ^- négative, tandis que l'hydrogène est chargé positivement). Des liaisons $O \cdots H$ intermoléculaires, appelées *liaisons hydrogène*, s'établissent entre les molécules d'alcool, assurant la cohésion du liquide.



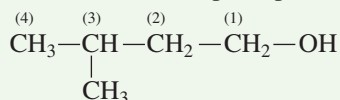
- 3 L'alcane (octane) et l'alcool présentent des chaînes carbonées de même longueur (8 atomes de carbone). En revanche, l'alcool peut établir des liaisons hydrogène qui sont inaccessibles à l'alcane. C'est pourquoi la cohésion de l'alcool, sous forme liquide, est mieux assurée que celle de l'alcane qui se vaporise ainsi plus facilement (sa température d'ébullition : 126°C est inférieure à celle de l'alcool : 195°C).
- 4 La présence du groupe $-\text{OH}$ devrait assurer à l'alcool une bonne solubilité dans l'eau. Cependant, la chaîne carbonée comportant 8 atomes de carbone présente un encombrement stérique important : la chaîne hydrocarbonée ($\text{C}_8\text{H}_{17}-$) hydrophobe (non miscible à l'eau) masque la « tête » hydrophile $-\text{OH}$ de la molécule. La molécule, sans être totalement insoluble, présente une faible miscibilité dans l'eau (sa solubilité dans l'eau vaut en fait $0,54 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ à 25°C).

11 Nomenclature des alcools

Énoncé
p. 376

Lycée Lacordaire, Marseille

- 1 • Commençons par numéroter la chaîne principale de cet alcool :



Elle possède 4 atomes de carbone (c'est un butanol) dont le premier atome est lié au groupe $-\text{OH}$ (il s'agit donc d'un butan-1-ol). En outre, le groupe méthyl ($-\text{CH}_3$) est lié à l'atome de carbone n°3 de la chaîne principale. C'est pourquoi cette molécule s'appelle le :

3-méthylbutan-1-ol.

Remarque : la numérotation des atomes de carbone composant la chaîne principale commence par l'atome de carbone le plus près du groupe $-\text{OH}$.

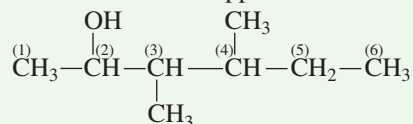
CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- Numérotions la formule semi-développée de la molécule :

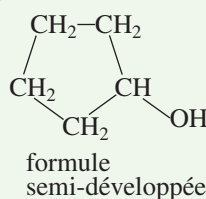


La chaîne principale comportant 6 atomes de carbone, cette molécule est un hexanol. Et, puisque la numérotation des atomes de carbone de la chaîne principale commence par l'atome le plus proche du groupe -OH :

- ce groupe est lié à l'atome de carbone n°2 ; l'alcool est un hexan-2-ol ;
- deux groupes méthyl (-CH₃) sont liés aux atomes de carbone n°3 et n°4 en conséquence de quoi cette molécule s'appelle :

le 3,4-diméthylhexan-2-ol.

- 2** La formule brute C₅H₁₀O, que l'on peut aussi écrire C_nH_{2n}O, avec n = 5, est caractéristique des alcools cycliques (ici le cycle comporte n = 5 atomes de carbone) :



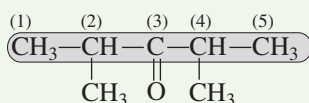
Cet alcool s'appelle donc le cyclopentanol.

12 Nomenclature

Énoncé
p. 376

Lycée Rousseau, Montmorency

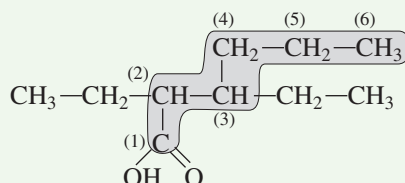
- 1** La molécule possède un groupe carbonyle (-CO-) caractéristique des cétones, sur la chaîne principale, qui comporte 5 atomes de carbone ; c'est une pentanone.



Quelle que soit l'extrémité de la chaîne principale choisie pour démarrer la numérotation des atomes de carbone, le groupe carbonyle est porté par l'atome de carbone n°3 ; il s'agit d'une pentan-3-one, dont les atomes de carbone n°2 et n°4 sont chacun liés à un groupe méthyl. Par conséquent, cette molécule s'appelle :

la 2,4-diméthylpentan-3-one.

- 2 La molécule proposée possède un groupe carboxyle -COOH , caractéristique des acides carboxyliques, dont l'atome de carbone détermine le début de la numérotation des 6 atomes de carbone qui composent la chaîne principale ; il s'agit d'un acide hexanoïque :



Ce faisant, les atomes de carbone n°2 et n°3 sont chacun liés à un groupe éthyl ($\text{-CH}_2\text{-CH}_3$), en raison de quoi la molécule s'appelle :

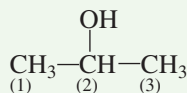
l'acide 2,3-diéthylhexanoïque.

13 Nomenclature

Énoncé
p. 376

Lycée Notre-Dame-Des-Minimes, Lyon

- *Molécule (1)* – Cette molécule possède le groupe -OH caractéristique des alcools ; comme elle possède 3 atomes de carbone, il s'agit d'un propanol. Enfin, le groupe -OH est lié à l'atome de carbone n°2 de la chaîne principale (quelle que soit l'extrémité choisie pour démarrer cette numérotation) :



C'est pourquoi cette molécule est le propan-2-ol.

- *Molécule (2)* – Le groupe -COOH est caractéristique des acides carboxyliques. Notamment, celui-ci comporte deux atomes de carbone, il s'appelle donc l'acide éthanoïque.
- *Molécule (3)* – Cette molécule comporte le groupe carbonyle (-CO-) caractéristique des cétones. Comme sa chaîne principale est composée de 4 atomes de carbone, il s'agit de la butanone.
- *Molécule (4)* – Le groupe carbonyle -CHO caractérise les aldéhydes. Notamment, puisque cette molécule possède 4 atomes de carbone, elle s'appelle : le butanal.

14 Nomenclature

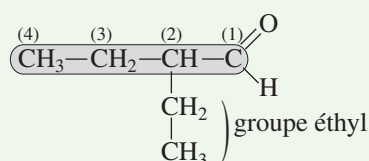
Énoncé
p. 377

Lycée Bouchardon, Chaumont

- 1 Le groupe carboxyle -COOH est caractéristique des acides carboxyliques. Or, puisque la chaîne principale de cette molécule comporte 4 atomes de carbone, elle s'appelle : l'acide butanoïque.

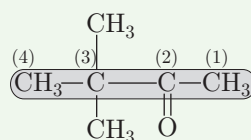
CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

- 2** La chaîne principale de la molécule proposée par l'énoncé comporte un groupe carbonyle ($-\text{CHO}$) caractéristique des aldéhydes et 4 atomes de carbone. Par conséquent c'est un butanal :



La numérotation de cette chaîne démarrant par l'atome de carbone du groupe carbonyle, un groupe éthyl ($-\text{CH}_2-\text{CH}_3$) apparaît lié à l'atome de carbone n°2. Il s'ensuit que cette molécule s'appelle : le 2-éthylbutanal.

- 3** La molécule présente un groupe carbonyle ($-\text{CO}-$) caractéristique des cétones et sa chaîne principale comporte 4 atomes de carbone ; c'est donc une butanone (préciser la position du groupe carbonyle est superflu puisque cette position est unique) – Voir schéma page suivante.



En démarrant la numérotation des atomes de carbone de la chaîne principale au plus près du groupe carbonyle, deux groupes méthyl ($-\text{CH}_3$) apparaissent liés à l'atome de carbone n°3. Par suite, cette molécule est :

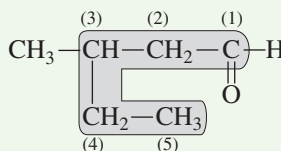
la 3,3-diméthylbutanone.

15 Composés oxygénés

Énoncé
p. 377

Lycée Claude Bernard, Paris

- 1** La molécule proposée présente un groupe carbonyle ($-\text{CHO}$) caractéristique des aldéhydes, lequel groupe définit l'extrémité à partir de laquelle sont numérotés les 5 atomes de carbone de la chaîne principale (c'est un pentanal) :



Un groupe méthyl ($-\text{CH}_3$) apparaît ainsi lié à l'atome de carbone n°3, en conséquence de quoi cette molécule s'appelle :

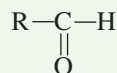
le 3-méthylpentanal.

- 2** Le groupe caractéristique des aldéhydes est le groupe carbonyle ($-\text{CHO}$) qui ne peut être localisé qu'en bout de chaîne (voir page suivante).

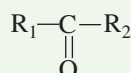
COURS

INTERROS

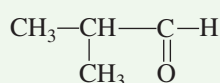
CORRIGÉS



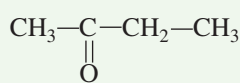
- 3 En revanche, les cétones sont caractérisées par le groupe carbonyle $-\text{CO}-$ qui ne peut pas être situé en bout de chaîne :



- 4 Le méthylpropanal et la butanone ont pour formules semi-développées :



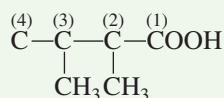
méthylpropanal



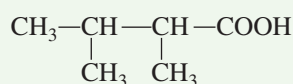
butanone

Ces molécules, bien que différentes, possèdent la même formule brute $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$; ce sont des isomères.

- 5 L'acide 2,3-diméthylbutanoïque présente un groupe carboxyle ($-\text{COOH}$), caractéristique des acides carboxyliques. Ce groupe définit le début de la numérotation des 4 atomes de carbone qui composent la chaîne principale (ce qu'indique la racine *butan*) :



Deux groupes méthyl ($-\text{CH}_3$) sont alors liés aux atomes de carbone n°2 et n°3, tandis que des liaisons $\text{C}-\text{H}$ complètent la tétravalence des atomes de carbone.



Cette molécule a donc pour formule brute :



16 Alcanes et alcools

Énoncé
p. 377

Lycée Alexandre Dumas, Saint-Cloud

- 1 La formule brute d'un alcane composé de n atomes de carbone s'écrit : $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$.
2 La masse molaire d'un tel alcane vaut alors :

$$M = n M_{\text{C}} + (2n + 2) M_{\text{H}} = n \times 12 + (2n + 2) \times 1 = 14n + 2.$$

Appliquée à l'alcane A, cette relation devient :

$$14n + 2 = M_{\text{A}} = 72 \Rightarrow 14n = 72 - 2 = 70 \Rightarrow n = 5$$

auquel cas cet alcane a pour formule brute C_5H_{12} .

CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

3 Deux alcanes sont isomères s'ils possèdent la même formule brute (C_nH_{2n+2}), mais sont différents par la longueur de la chaîne hydrocarbonée principale ou par la position des substituants sur cette chaîne.

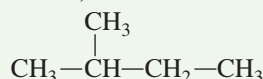
4 Plusieurs alcanes isomères possèdent la même formule brute C_5H_{12} :

- l'alcane non substitué, dont la chaîne carbonée comporte 5 atomes de carbone :



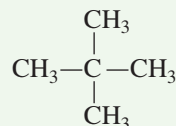
qui s'appelle le pentane.

- l'alcane dont la chaîne carbonée comporte 4 atomes de carbone (il s'agit alors d'un butane). Le groupe méthyle porteur du cinquième atome de carbone ne peut alors qu'être lié au deuxième atome de carbone de la chaîne principale (s'il était lié au troisième, il redonnerait la même molécule et s'il était lié au premier, la chaîne principale comporterait 5 atomes de carbone) :



Cet isomère s'appelle alors le méthylbutane (la position du groupe méthyle étant unique, la préciser devient superflu).

- l'alcane dont la chaîne carbonée principale ne comporte que 3 atomes de carbone (il s'agit d'un propane), dont le deuxième est lié à deux groupes méthyle ($-CH_3$) :



Puisque la position de ces groupes est unique (sans quoi la chaîne carbonée principale posséderait 4 atomes de carbone), sa précision est superflue dans le nom de l'alcane : le diméthylpropane.

5 Pour une masse molaire donnée, plus une molécule possède de substituants (ici des groupes méthyle $-CH_3$), plus sa température d'ébullition est basse. C'est pourquoi on peut attribuer les températures d'ébullition aux différents isomères de formule brute C_5H_{12} :

molécule	nombre de substituants	θ_{eb}
pentane	0	36°C
méthylbutane	1	25°C
diméthylpropane	2	9°C

17 Analyse d'une boisson

Énoncé
p. 378

Lycée Colbert, Lyon

1 Les échantillons qui donnent lieu à une seule tache sont ceux des espèces chimiques que l'on cherche à identifier, qui sont le saccharose et

l'aspartame. Ils correspondent donc chacun à l'un ou l'autre des échantillons B et D. L'échantillon B se retrouve plus loin de la ligne de dépôt que l'échantillon D, donc il a un plus grand rapport frontal. L'échantillon B correspond donc à l'aspartame, et l'échantillon D au saccharose. Cela nous permet d'identifier les boissons : celle qui contient du saccharose (donc la boisson normale) est la A, et la C est la version *light*. En résumé :

(A) boisson normale (B) aspartame (C) boisson *light* (D) saccharose

- 2** Il s'agit d'estimer la distance du front du solvant à la ligne de dépôt, ainsi que les distances dont ont migré l'aspartame et le saccharose. En mesurant sur la figure 10.1, on trouve les valeurs indiquées suivantes :

La distance H parcourue par le solvant vaut : $H \approx 40$ mm. La distance dont a migré l'aspartame est $h_{\text{aspartame}} \approx 33$ mm, et la distance dont a migré le saccharose est $h_{\text{saccharose}} \approx 8$ mm.

On en déduit les rapports frontaux :

(a) de l'aspartame :

$$R_f = \frac{h_{\text{aspartame}}}{H} = \frac{33}{40} \approx 0,83.$$

(b) du saccharose :

$$R_f = \frac{h_{\text{saccharose}}}{H} = \frac{8}{40} = 0,2.$$

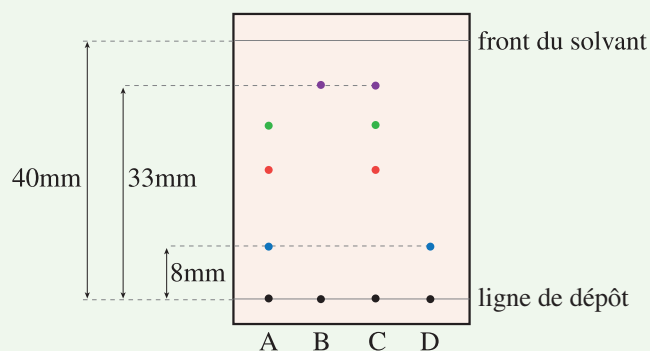


Figure 10.3 – Distances parcourues par le solvant et les différentes espèces.

18 Choix d'un éluant

Lycée Jean-Baptiste Say, Paris

Énoncé
p. 378

Le meilleur éluant dépend des espèces que l'on souhaite mettre en évidence. Dans le cas présent, c'est celui qui va permettre le mieux de les séparer. Les espèces ont un rapport frontal très petit (et comparable) dans le diéthyléthane,

CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

donc celui-ci n'est pas du tout adapté. Elles sont bien mieux entraînées par l'hexane, mais leur rapport frontal est comparable, donc l'hexane ne permet pas de bien les séparer. L'acétone est le solvant le mieux adapté, puisque les deux espèces y ont un rapport frontal nettement différent.

19 Chromatographie sur couche mince

Énoncé
p. 379

Lycée Florent-Schmitt, Saint-Cloud

- 1 Le point de dépôt D donne plusieurs taches. Il ne peut donc pas correspondre à un colorant pur. Il s'agit donc du point de dépôt du sirop de fraise. Les autres points correspondent aux quatre colorants. Le point le plus proche du front du solvant correspond à celui qui a un rapport frontal R_f le plus élevé, et celui qui est le plus proche de la ligne de dépôt à celui qui a le rapport frontal le plus petit. On peut donc ainsi identifier chacun des points en fonction des R_f donnés dans l'énoncé. On obtient le chromatogramme suivant (figure 10.4).

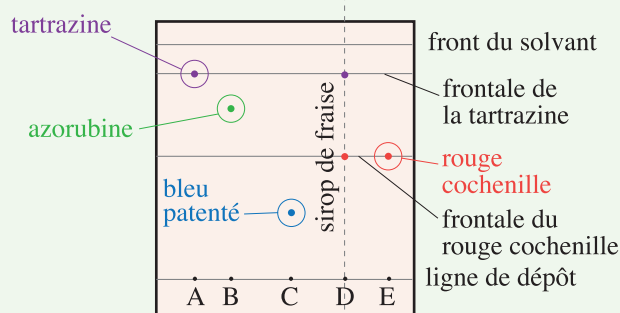


Figure 10.4 – Illustration relative à la question 1.

- 2 On constate que le sirop de fraise a donné deux taches, l'une à l'ordonnée de la tartrazine, l'autre à l'ordonnée du rouge cochenille, donc le sirop de fraise contient ces deux colorants (E102 et E124). On peut également conclure que le sirop de fraise *ne contient pas* les colorants E122 et E131 (azorubine et bleu patenté), et ne contient pas d'autres colorants que ceux pour lesquels on a fait un test, sans quoi on verrait apparaître d'autres taches sur la ligne du sirop de fraise.

20 Synthèse de l'acétate d'éthyle

Énoncé
p. 379

D'après Bac Pondichéry 2014

- 1 Les fonctions chimiques intervenant sont :
- COOH , groupement carboxyle, caractéristique des acides carboxyliques,
 - -OH , groupement hydroxyle, caractéristique des alcools.

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 2 (a) Seul le montage B représente un dispositif de chauffage à reflux : un ballon surmonté d'un réfrigérant à eau.

Les autres montages représentent une distillation simple (montage C) et une distillation fractionnée (montage B). Or il ne s'agit pas ici de séparer des constituants mais de chauffer le milieu réactionnel sans perte de matière.

- (b) Étape 1 : Étape de synthèse.
Étape 2 : Étape de séparation.
Étape 3 : Étape de purification.

- 3 Par définition, le rendement η est le rapport de la quantité d'acétate d'éthyle réellement produite lors de la synthèse (n_{prod}) à la quantité maximale d'acétate d'éthyle que l'on peut produire (n_{max}) :

$$\eta = \frac{n_{prod}}{n_{max}}.$$

On trouve n_{prod} à partir du volume produit V , de la masse volumique ρ et de la masse molaire M de l'acétate d'éthyle :

$$n_{prod} = \frac{\rho \times V}{M}$$

avec $M = 4 \times M(C) + 8 \times M(H) + 2 \times M(O)$

$$M = 4 \times 12 + 8 \times 1 + 2 \times 16 = 88 \text{ g.mol}^{-1}.$$

D'où :

$$n_{prod} = \frac{0,925 \times 5,9}{88} = 6,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

Comme les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques, $n_{max} = 0,1 \text{ mol.}$

Le rendement de la réaction vaut donc :

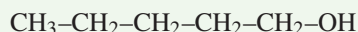
$$\eta = \frac{0,062}{0,1} = 62\%.$$

21 Synthèse de l'acide pentanoïque

Énoncé
p. 381

Lycée Victor Hugo, Colomiers

- 1 La formule semi-développée du pentan-1-ol :



montre que l'atome de carbone porteur du groupe --OH ne possède qu'une seule liaison C--C , ce qui le classe parmi les alcools primaires.

- 2 Un volume $V_1 = 12 \text{ mL}$ de pentan-1-ol présente une masse m_1 qui définit sa masse volumique :

$$\mu_1 = \frac{m_1}{V_1} \Rightarrow m_1 = \mu_1 V_1 = 0,8 \times 12 = 9,6 \text{ g de pentan-1-ol.}$$

CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Cet échantillon contient donc une quantité de matière n_1 telle que :

$$m_1 = n_1 M_1 \Rightarrow n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{9,6}{88,0} = 0,11 \text{ mol.}$$

- 3** Un volume $V_2 = 200 \text{ mL} = 0,2 \text{ L}$ de solution de permanganate de potassium de concentration $C_2 = 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ contient une quantité de matière n_2 telle que :

$$C_2 = \frac{n_2}{V_2} \Rightarrow n_2 = C_2 V_2 = 0,5 \times 0,2 = 0,1 \text{ mol d'ions } \text{MnO}_4^- \text{(aq).}$$

- 4** La connaissance de la composition initiale du milieu réactionnel permet de dresser le tableau d'avancement de la réaction :

	pentan-1-ol		ac. pentanoïque	
	$5 \text{ C}_5\text{H}_{12}\text{O}_{(\text{liq})}$	$+ 4 \text{ MnO}_4^- \text{(aq)} + 12 \text{ H}^+ \rightarrow 11 \text{ H}_2\text{O}_{(\text{liq})} + 5 \text{ C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2 \text{(aq)} + 4 \text{ Mn}^{2+} \text{(aq)}$		
$x = 0$	n_1	n_2	0	0
$x \neq 0$	$n_1 - 5x$	$n_2 - 4x$	$5x$	$4x$

- 6** D'après ce tableau :

- le pentan-1-ol disparaît lorsque l'avancement x prend une valeur x_1 telle que :

$$n_1 - 5x_1 = 0 \Rightarrow x_1 = \frac{n_1}{5} = \frac{0,11}{5} = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol;}$$

- les ions permanganate disparaissent lorsque l'avancement prend une valeur x_2 telle que :

$$n_2 - 4x_2 = 0 \Rightarrow x_2 = \frac{n_2}{4} = \frac{0,1}{4} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

Le réactif limitant (ou introduit en défaut) est celui qui disparaît le premier, c'est-à-dire pour la plus petite des deux valeurs x_1 et x_2 , en l'occurrence x_1 ici. Donc le pentan-1-ol est le réactif limitant.

- 7** D'après ce qui précède, la réaction cesse lorsque l'avancement prend la valeur $x_1 = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$. La quantité d'acide pentanoïque qui peut théoriquement être formée vaut alors :

$$n_{\text{théo}} = 5x_1 = 5 \times 2,2 \cdot 10^{-2} = 0,11 \text{ mol.}$$

- 8** La quantité de matière précédente peut être associée à la masse :

$$m_{\text{théo}} = n_{\text{théo}} \times M_3 = 0,11 \times 102,0 = 11 \text{ g d'acide pentanoïque.}$$

- 9** Puisque la réaction produit seulement une masse $m_{\text{exp}} = 8,4 \text{ g}$ d'acide pentanoïque, son rendement ρ est défini par :

$$\rho = 100 \times \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{théo}}} = 100 \times \frac{8,4}{11} \Rightarrow \rho = 76\%.$$

22 Suivi de synthèse

Énoncé
p. 382

Lycée Notre-Dame de Sion, Paris



- 1 On commence par équilibrer les éléments qui ne figurent que dans un seul réactif et un seul produit. C'est le cas :
 - de l'élément carbone (C), qui ne figure que dans l'alcool benzylique (côté réactifs) et dans l'acide benzoïque (côté produits) ;
 - de l'élément manganèse (Mn), qui ne figure que dans les ions permanganate (côté réactifs) et dans le dioxyde de manganèse (côté produits). Comme chaque molécule d'acide benzoïque et chaque molécule d'alcool benzylique possède sept atomes de carbones, on voit qu'il faut ajouter le coefficient stœchiométrique 3 devant l'alcool benzylique. De la même manière on voit qu'il faut ajouter le coefficient stœchiométrique 4 devant le dioxyde de manganèse. Il nous faut également ajouter le coefficient stœchiométrique 4 devant les ions H^+ , de telle manière que la charge totale des réactifs et des produits soit la même (à savoir ici zéro). Une fois que ceci est fait on doit finalement équilibrer la quantité de matière en atomes d'hydrogène et d'oxygène, en ajustant le coefficient stœchiométrique de l'eau H_2O dans les produits. On voit que celui-ci doit être égal à cinq, pour que l'on ait 28 atomes d'hydrogène de part et d'autre, et 19 atomes d'oxygène. On obtient en définitive :

$$3C_6H_5CH_2OH + 4MnO_4^- + 4H^+ \rightarrow 3C_6H_5CO_2H + 5H_2O + 4MnO_2$$
- 2 À l'état initial, le système ne contient que les réactifs de la réaction. On voit ainsi, par une lecture verticale à t_0 , que le chromatogramme est identique à celui du réactif pur, donné par une lecture verticale au-dessus de « R ».
- 3 Le temps augmente lorsqu'on se déplace vers la droite sur le chromatogramme ($t_0 < t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < t_5 < t_6$). On voit qu'au cours du temps, la tache correspondant au réactif R (ligne supérieure) devient plus ténue, jusqu'à disparaître : la quantité de réactif diminue au cours du temps.
- 4 On peut déceler la présence de produit dans le mélange à la date t_1 : une lecture verticale du chromatogramme à cette date montre une tache ténue ayant le rapport frontal du produit.
- 5 Une heure et demie correspond à six fois quinze minutes, soit la date t_6 . On voit que le réactif n'est plus décelable dès la date t_5 , il n'est donc pas nécessaire d'attendre une heure et demie pour arrêter le chauffage : une heure et quinze minutes suffisent pour rendre le réactif indécélable.

23 L'indigo

Énoncé
p. 382

Lycée Fénelon Sainte Marie, Paris

- 1 Les réactifs sont le 2-nitrobenzaldéhyde, l'acétone et les ions hydroxyde. Les produits sont l'indigo, les ions éthanoate et l'eau.

CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 2** La masse molaire du 2-nitrobenzaldéhyde est :

$$M_1 = 7 M(\text{C}) + 5 M(\text{H}) + 3 M(\text{O}) + M(\text{N})$$

$$M_1 = 7 \times 12 + 5 \times 1 + 3 \times 16 + 14 = 151 \text{ g.mol}^{-1}.$$

$$\text{On en déduit } n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{1}{151} = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

En ce qui concerne les ions hydroxyde :

$$n_2 = C_s \times V_s$$

$$n_2 = 2 \times 5 \cdot 10^{-3} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

- 3** La masse molaire de l'acétone est :

$$M_3 = 3 M(\text{C}) + 6 M(\text{H}) + M(\text{O})$$

$$M_3 = 3 \times 12 + 6 \times 1 + 16 = 58 \text{ g.mol}^{-1}.$$

La masse d'acétone se calcule à partir du volume et de la masse volumique :

$$m_3 = \rho_3 \cdot V = 1,05 \times 10 = 10,5 \text{ g.}$$

On en déduit la quantité initiale d'acétone :

$$n_3 = \frac{m_3}{M_3}$$

$$n_3 = \frac{10,5}{58} = 1,8 \cdot 10^{-1} \text{ mol.}$$

- 4** Le tableau d'avancement s'écrit :

	$2 \text{ C}_7\text{H}_5\text{O}_3\text{N} + 2 \text{ C}_3\text{H}_6\text{O} + 2 \text{ HO}^- \rightarrow \text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2 + 2 \text{ C}_2\text{H}_3\text{O}_2^- + 4 \text{ H}_2\text{O}$					
$x = 0$	n_1	n_3	n_2	0	0	SOLVANT
$x \neq 0$	$n_1 - 2x$	$n_3 - 2x$	$n_2 - 2x$	x	$2x$	SOLVANT

Tous les réactifs interviennent dans les mêmes proportions stœchiométriques. Le réactif limitant est donc celui présent en plus petite quantité : c'est le 2-nitrobenzaldéhyde.

$$\text{On en déduit } x_{\text{max}} = \frac{n_1}{2} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

On en déduit les quantités de matière de chaque espèce dans l'état final :

$$n(\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_3\text{N}) = 0 \text{ mol (réactif limitant)}$$

$$n(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}) = 1,8 \cdot 10^{-1} - 2 \times 3,3 \cdot 10^{-3} = 1,7 \cdot 10^{-1} \text{ mol}$$

$$n(\text{HO}^-) = 1,0 \cdot 10^{-2} - 2 \times 3,3 \cdot 10^{-3} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{Indigo}) = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-) = 2 \times 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 6,6 \cdot 10^{-3}.$$

L'eau est utilisée comme solvant.

- 5** On peut en déduire la masse maximale théorique de cette synthèse :

$$m(\text{Indigo}) = n(\text{Indigo}) \times m(\text{Indigo})$$

$$m(\text{Indigo}) = 3,3 \cdot 10^{-3} \times 262 = 8,7 \cdot 10^{-1} \text{ g}$$

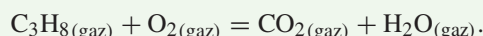
- 6** Le rendement η de cette synthèse est : $\eta = \frac{0,59}{8,7 \cdot 10^{-1}} = 68\%.$

24 Combustion du propane

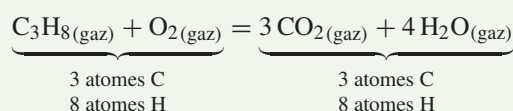
Énoncé
p. 383

Lycée Félix Faure, Beauvais

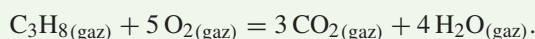
Déterminons, au préalable, l'équation de la réaction de combustion du propane dans le dioxygène, qui produit du dioxyde de carbone ($\text{CO}_{2(\text{gaz})}$) et de la vapeur d'eau ($\text{H}_2\text{O}_{(\text{gaz})}$) :



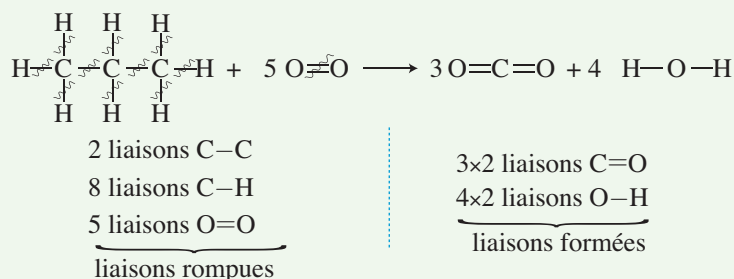
- Cette équation doit être équilibrée à l'égard des éléments carbone et hydrogène, en agissant directement sur le membre de droite :



- Le membre de droite présente alors $3 \times 2 + 4 = 10$ atomes d'oxygène, que l'on doit retrouver sous forme de molécules O_2 :



Recensons alors les liaisons formées et les liaisons rompues au cours de ce processus :



La chaleur de réaction vaut alors :

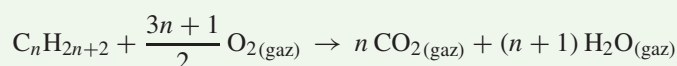
$$\begin{aligned} Q_r &= \sum E_{\text{liaisons rompues}} - \sum E_{\text{liaisons formées}} \\ &= (8 E_{\text{C-H}} + 2 E_{\text{C-C}} + 5 E_{\text{O=O}}) - (6 E_{\text{C=O}} + 8 E_{\text{O-H}}) \\ &= (8 \times 412 + 2 \times 348 + 5 \times 496) - (6 \times 804 + 8 \times 463) \\ &\Rightarrow Q_r = -2,03.10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}. \end{aligned}$$

25 Combustion des alcanes

Énoncé
p. 384

Lycée Guy de Maupassant, Colombes

- Pour établir la formule générale de combustion d'un alcane non cyclique, il suffit d'exploiter l'algorithme développé à la page 368 et qui conduit à :



CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

- 2 La masse molaire du dioxyde de carbone étant :

$$M_{\text{CO}_2} = M_{\text{C}} + 2 M_{\text{O}} = 12 + 2 \times 16 = 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

la masse $m_2 = 13,2 \text{ g}$ de $\text{CO}_{2(\text{gaz})}$ contient la quantité de matière n_2 telle que :

$$m_2 = n_2 M_{\text{CO}_2} \Rightarrow n_2 = \frac{m_2}{M_{\text{CO}_2}} = \frac{13,2}{44} = 0,30 \text{ mol.}$$

- 3 En notant n_0 et n_1 les quantités de matière initiales en alcane et en dioxygène, le tableau d'avancement de la réaction s'écrit :

	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2} + \frac{3n+1}{2} \text{O}_{2(\text{gaz})} \rightarrow n \text{CO}_{2(\text{gaz})} + (n+1) \text{H}_2\text{O}_{(\text{gaz})}$			
$x = 0$	n_0	n_1	0	0
$x_f \neq 0$	$n_0 - x_f$	$n_1 - \frac{3n+1}{2} x_f$	$n_2 = n x_f$	$n_3 = (n+1) x_f$

À la fin de la réaction, l'avancement prend alors une valeur x_f qui détermine les quantités de matière de dioxyde de carbone et d'eau :

$$\begin{aligned} \begin{cases} n_3 = (n+1) x_f \\ n_2 = n x_f \end{cases} &\Rightarrow \frac{n_3}{n_2} = \frac{n+1}{n} = 1 + \frac{1}{n} \\ &\Rightarrow \frac{1}{n} = \frac{n_3}{n_2} - 1 = \frac{0,35}{0,3} - 1 = \frac{0,05}{0,3} \\ &\Rightarrow n = \frac{0,3}{0,05} = 6. \end{aligned}$$

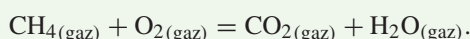
Par conséquent, la formule brute de A est : C_6H_{14} .

26 Combustion du méthane

Énoncé
p. 384

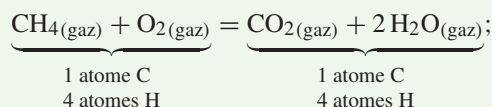
Lycée Rosa Parks, Montgeron

- 1 La combustion du méthane (CH_4) consiste en sa réaction avec le dioxygène pour former du dioxyde de carbone et de l'eau :

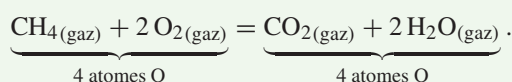


Pour équilibrer cette réaction :

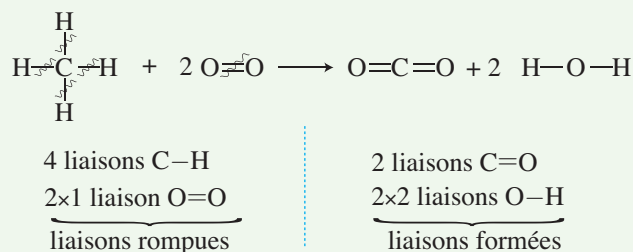
- on équilibre, à l'aide de $\text{CO}_{2(\text{gaz})}$ et de $\text{H}_2\text{O}_{(\text{gaz})}$, pour les éléments C et H :



- le membre de droite de cette équation contient alors $2 + 2 \times 1 = 4$ atomes d'oxygène que l'on doit retrouver dans le membre de gauche :



- 2 (a) La chaleur de la réaction de combustion du méthane s'obtient après un recensement des liaisons rompues et des liaisons formées au cours de la réaction mentionnée précédemment (car le coefficient stœchiométrique qui accompagne CH_4 vaut 1) :



La chaleur de réaction vaut alors :

$$\begin{aligned}
 Q_r &= \sum E_{\text{liaisons rompues}} - \sum E_{\text{liaisons formées}} \\
 &= (4 E_{\text{C-H}} + 2 E_{\text{O=O}}) - (2 E_{\text{C=O}} + 4 E_{\text{O-H}}) \\
 &= (4 \times 410 + 2 \times 494) - (2 \times 803 + 4 \times 462) \\
 \Rightarrow Q_r &= -826 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.
 \end{aligned}$$

- (b) La masse molaire du méthane valant :

$$M_{\text{CH}_4} = M_{\text{C}} + 4 M_{\text{H}} = 12 + 4 \times 1 = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

une masse $m = 1 \text{ kg} = 1\,000 \text{ g}$ de méthane contient une quantité de matière n telle que :

$$m = n \times M_{\text{CH}_4} \Rightarrow n = \frac{m}{M_{\text{CH}_4}} = \frac{1\,000}{16} = 62,5 \text{ mol}.$$

Le tableau d'avancement de la réaction :

	$\text{CH}_4(\text{gaz}) + 2 \text{O}_2(\text{gaz}) = \text{CO}_2(\text{gaz}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{gaz})$			
$x = 0$	n	n_0	n_1	n_2
$x \neq 0$	$n - x$	$n_0 - 2x$	$n_1 + x$	$n_2 + 2x$
x_f	0	$n_0 - 2x_f$	$n_1 + x_f$	$n_2 + 2x_f$

montre qu'à l'issue de la combustion complète de n mol de méthane, l'avancement de la réaction prend une valeur x_f telle que :

$$n - x_f = 0 \Rightarrow x_f = n = 62,5 \text{ mol}.$$

Par conséquent, la combustion de 1 kg de méthane dégage l'énergie :

$$\begin{aligned}
 E_{\text{lib}} &= -x_f \times Q_r = 62,5 \times 826 \cdot 10^3 \\
 \Rightarrow \text{P.C.} &= E_{\text{lib}} \approx 5,16 \cdot 10^4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}.
 \end{aligned}$$

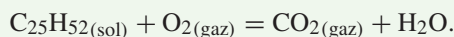
CHIMIE ORGANIQUE • CHAP. 10

27 Bougie

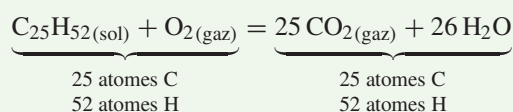
Énoncé
p. 384

Institut Notre-Dame, Meudon

- 1 La combustion de la paraffine consiste en une réaction entre $C_{25}H_{52(sol)}$ et le dioxygène $O_{2(gaz)}$, qui produit de l'eau et du dioxyde de carbone :



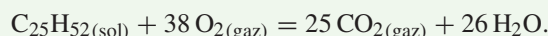
- Cette équation doit être équilibrée à l'égard des éléments carbone et hydrogène :



- À droite de cette équation apparaissent :

$$25 \times 2 + 26 = 76 \text{ atomes d'oxygène.}$$

Ces atomes se retrouvent dans le membre de gauche de l'équation, qui devient alors :



L'expérience révèle que la combustion s'arrête alors qu'il reste de la bougie (de la paraffine). Par conséquent, le réactif limitant est le dioxygène.

- 2 • La masse molaire de la paraffine ($C_{25}H_{52}$) vaut :

$$M_p = 25 \times M_C + 52 \times M_H = 25 \times 12 + 52 \times 1 = 352 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Donc, un morceau de paraffine de masse $m = 3,52 \text{ g}$ contient une quantité de matière n_p de paraffine telle que :

$$m = n_p \times M_p \Rightarrow n_p = \frac{m}{M_p} = \frac{3,52}{352} \Rightarrow n_p = 0,01 \text{ mol de } C_{25}H_{52}.$$

- Le volume de dioxygène V_{O_2} contenu dans l'air ne représente que 20% de ce volume d'air V_{air} :

$$V_{O_2} = \frac{20}{100} \times V_{air} = 0,2 \times V_{air}$$

de sorte qu'un volume $V_{air} = 500 \text{ mL} = 0,5 \text{ L}$ d'air contient :

$$V_{O_2} = 0,2 \times 0,5 = 0,1 \text{ L de } O_2.$$

COURS

INTERROS

CORRIGÉS

Par conséquent, ce volume contient une quantité de matière n_{O_2} en dioxygène, donnée par le volume molaire des gaz :

$$V_{\text{O}_2} = n_{\text{O}_2} \times V_m \Rightarrow n_{\text{O}_2} = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_m} = \frac{0,1}{24}$$

$$\Rightarrow n_{\text{O}_2} \approx 4,17 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

- 3** Bien qu'on ignore les quantités initiales de dioxyde de carbone et d'eau (on les notera n_1 et n_2), le tableau d'avancement de la réaction s'écrit :

	$\text{C}_{25}\text{H}_{52}(\text{sol}) + 38 \text{O}_2(\text{gaz}) = 25 \text{CO}_2(\text{gaz}) + 26 \text{H}_2\text{O}$			
$x = 0$	n_p	n_{O_2}	n_1	n_2
$x \neq 0$	$n_p - x$	$n_{\text{O}_2} - 38x$	$n_1 + 25x$	$n_2 + 26x$
x_f	$n_p - x_f$	0	$n_1 + 25x_f$	$n_2 + 26x_f$

Puisque le dioxygène est le réactif limitant, la réaction cesse dès que l'avancement x prend une valeur x_f qui assure la consommation totale de O_2 :

$$n_{\text{O}_2} - 38x_f = 0 \Rightarrow x_f = \frac{n_{\text{O}_2}}{38} = \frac{4,17 \cdot 10^{-3}}{38} \approx 1,10 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

- 4** Le tableau d'avancement ci-dessus montre que, lorsque l'avancement prend la valeur x_f , la quantité de paraffine brûlée correspond justement à x_f . Donc la masse de paraffine brûlée vaut :

$$\Delta m_p = x_f \times M_p = 1,10 \cdot 10^{-4} \times 352 \Rightarrow \Delta m_p \approx 3,87 \cdot 10^{-2} \text{ g.}$$

28 Spectroscopie infra rouge

Énoncé
p. 385

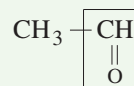
- 1** Formules semi-développées.

La racine éthane nous indique un squelette carboné constitué de 2 atomes de carbone et les suffixes -ol et -al nous indique respectivement les groupes alcool et aldéhyde.

Éthanol :



Éthanal :



- 2** Pour l'éthanol, le groupe fonctionnel est l'hydroxyle (famille : alcool), et pour l'éthanal, le groupe fonctionnel est le carbonyle (famille : aldéhyde).

- 3** Le spectre IR2 montre une bande large et intense autour de $3\,300 \text{ cm}^{-1}$ qui caractérise le groupe hydroxyle de l'éthanol.

Le spectre IR1 montre une bande fine et intense autour de $1\,700 \text{ cm}^{-1}$ qui caractérise le groupe carbonyle de l'éthanal.

Chapitre

11

Devoir de synthèse

1 Physique



90 min

Corrigé
p. 420

inspiré de l'E3C de 2020

Contexte

Le 17 mars 1898, le premier ballon-sonde météorologique français était lancé depuis l'observatoire de Trappes, en région parisienne. Il emportait, dans un panier d'osier, un « météorographe », destiné à enregistrer la pression et la température en altitude. En 2026, le projet BalMan (Ballon stratosphérique manœuvrant), développé par le CNES et Hemeria, modernise la technologie des ballons-sondes. En effet, contrairement aux ballons classiques, BalMan est capable de contrôler sa trajectoire et de rester stationnaire au-dessus d'une zone géographique précise.

Données :

- la valeur de la célérité c des ondes électromagnétiques dans le vide ou dans l'air est $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- masse (enveloppe) = 80 kg ;
- masse (nacelle) = 150 kg ;
- masse (hélium) = 50 kg ;
- intensité du champ de pesanteur : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- pression atmosphérique au niveau du sol : $P_0 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$;
- volume initial du ballon : $V_0 = 270 \text{ m}^3$;
- volume du ballon juste avant éclatement : $V_{\text{max}} = 3\,440 \text{ m}^3$.

Choix technique pour la télécommunication

BalMan utilise des ondes électromagnétiques pour transmettre ses données vers des stations au sol. Il doit émettre dans le domaine UHF (Ultra Haute Fréquence) pour être conforme à la réglementation. La fréquence choisie est de $f = 403,2 \text{ MHz}$.

VISIBLE	INFRAROUGE			ONDES RADIOELECTRIQUES													
	IR-A	IR-B	IR-C	EHF	SHF	UHF	THF	HF	MF	BF	TBF	UBF	SBF	EBF	TLF		
	780 nm	1,4 μm	3 μm	1 mm	1 cm	10 cm	1 m	10 m	100 m	1 km	10 km	100 km	1 Mm	10 Mm	100 Mm		

SUJET

- 1 Citer un autre type d'ondes que les ondes électromagnétiques. En donner un exemple.
- 2 Exprimer la relation entre célérité c , longueur d'onde λ et fréquence f .
- 3 Déterminer la valeur de la longueur d'onde des ondes émises par BalMan.
Commenter le choix effectué par rapport aux normes de télécommunication

Décollage

On considère le ballon juste après le décollage, étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On néglige les frottements exercés par l'air.

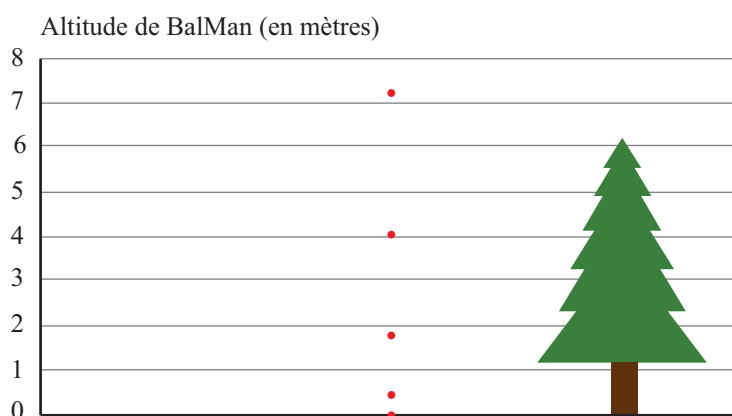
Le système { ballon + nacelle + hélium } est soumis à deux forces :

- son poids, noté $\vec{P}$;
- la poussée d'Archimède, notée $\vec{F}$, verticale, dirigée vers le haut telle que sa norme $F = 3\,000\text{ N}$.

- 1 Calculer la valeur de la masse m totale du système étudié.
- 2 Calculer la valeur du poids du système { ballon + nacelle + hélium }.
- 3 Représenter les forces exercées sur le système { ballon + nacelle + hélium } modélisé par un point matériel noté S .

Échelle : $1\,000\text{ N} \leftrightarrow 1\text{ cm}$.

- 4 En déduire le vecteur représentant la somme des forces appliquées sur le système et donner les caractéristiques de ce vecteur (direction, sens, norme).
- 5 Le ballon possède une trajectoire verticale ascendante, comme montré sur la chronophotographie ci-dessous :



À l'instant t_0 , l'altitude est nulle, $h_0 = 0\text{ m}$.

DEVOIR DE SYNTHÈSE • CHAP. 11

À l'aide de mesures graphiques, calculer la vitesse du ballon à $t_1 = 1,0$ s et à $t_3 = 3,0$ s.

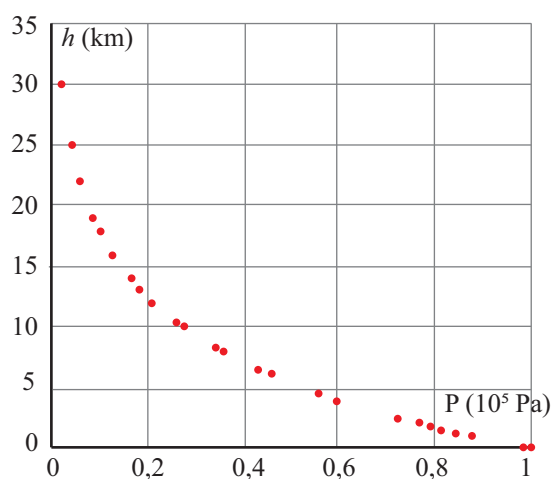
Calculer ensuite la variation de la valeur de la vitesse entre les instants t_1 et t_3 .

- 6** Montrer que cette variation est cohérente avec les caractéristiques de la somme des forces appliquées sur le système.

Altitude maximale

Dans cette partie, on considère que l'enveloppe du ballon-sonde est parfaitement souple et extensible de sorte que la pression de l'hélium à l'intérieur est constamment égale à la pression atmosphérique.

- 1** À l'aide du relevé de pression P dans l'atmosphère pour différentes altitudes h , expliquer comment varie la pression dans le ballon sonde lorsque l'altitude augmente.



- 2** Énoncer la loi de Mariotte relative au produit de la pression P par le volume V d'un gaz pour une quantité de matière donnée et une température constante.
- 3** À l'aide de la loi de Mariotte, indiquer comment varie qualitativement le volume du ballon au cours de son ascension.
Déterminer ensuite l'altitude maximale atteinte par le ballon juste avant l'éclatement.
- 4** En réalité, le ballon peut atteindre une altitude de 31 km sans éclater.
Proposer une explication de cette différence.

2 Chimie



120 min

Corrigé
p. 421

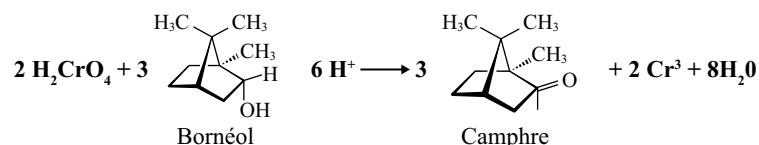
inspiré de l'E3C de 2020

Contexte

Le camphre est une cétone bicyclique naturelle extraite traditionnellement du bois de camphrier (*Cinnamomum camphora*), un arbre originaire d'Asie.

Le camphre est utilisé comme antiseptique léger, antiprurigineux (contre les démangeaisons) et décongestionnant. On le retrouve dans des pommades, des baumes (comme le baume du tigre), et des inhalations pour soulager les affections respiratoires.

Cet exercice explore la production du camphre par oxydation du bornéol avec l'acide chromique (réactif de Jones) dont la transformation est modélisée par l'équation suivante.



Protocole de la synthèse du camphre à partir du bornéol :

• Étape 1.

Dans un ballon bicol de 250 mL, placé dans un bain de glace, muni d'une agitation magnétique, d'un réfrigérant à eau et d'une ampoule de coulée, dissoudre 5,0 g de bornéol commercial dans 15 mL de propanone. Ajouter goutte à goutte 11,0 mL de solution d'acide chromique de concentration $C = 2,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Enlever le bain de glace et attendre que la température du mélange atteigne la température ambiante.

• Étape 2.

Introduire le mélange dans une ampoule à décanter de 250 mL contenant 120 mL d'eau et ajouter 25 mL d'éther diéthylique. Agiter, décanter et séparer la phase organique. Traiter deux fois la phase aqueuse avec chaque fois 25 mL d'éther diéthylique.

• Étape 3.

Regrouper et laver les phases organiques avec successivement 25 mL d'une solution saturée de chlorure de sodium ($\text{Na}_{(\text{aq})}^+ + \text{Cl}_{(\text{aq})}^-$), 25 mL d'une solution saturée d'hydrogénocarbonate de sodium ($\text{Na}_{(\text{aq})}^+ + \text{HCO}_{(\text{aq})}^{3-}$) et 25 mL d'une solution saturée de chlorure de sodium. Recueillir la phase organique dans un erlenmeyer. Sécher sur sulfate de magnésium anhydre. Éliminer le solvant grâce à un montage de distillation simple. Verser le résidu du ballon dans bécher taré, refroidir et recueillir les cristaux obtenus, les sécher.

• Étape 4.

Déterminer la masse puis réaliser le spectre infrarouge du solide obtenu.

DEVOIR DE SYNTHÈSE • CHAP. 11

Données.

- Données physico-chimiques relatives aux espèces chimiques mises en jeu dans ce protocole.

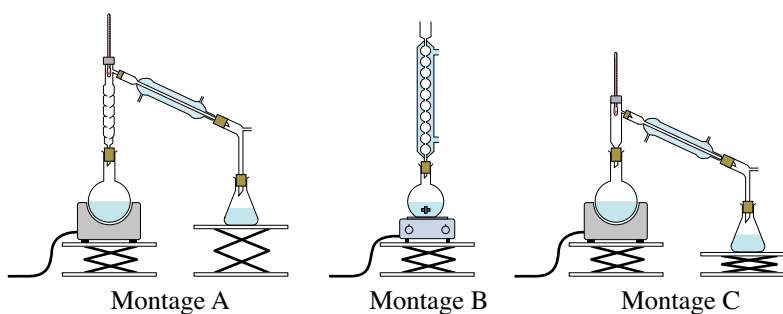
Nom	Formule	Données physico-chimiques	Pictogrammes
Acide chromique	H_2CrO_4	Solution aqueuse d'acide chromique	    
Propanone (acétone)	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	- Température d'ébullition : $56\text{ }^\circ\text{C}$ (sous 1 013 hPa) - Densité : $d = 0,79$ - Solvant organique miscible à l'eau et à l'éther diéthylique	 
Éther diéthylique	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	- Température d'ébullition : $34\text{ }^\circ\text{C}$ (sous 1 013 hPa) - Densité : $d = 0,71$ - Solvant organique très peu miscible à l'eau	 
Bornéol	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	- Masse molaire : $M = 154,2\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ - Température de fusion : $208\text{ }^\circ\text{C}$ - Solubilité : → presque insoluble dans l'eau ; → très soluble dans l'éthanol ; → soluble dans l'éther de pétrole, le propanone et l'éther diéthylique	
Camphre	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	- Masse molaire : $M = 152,2\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ - Température de fusion : $176\text{ }^\circ\text{C}$ - Solubilité : → peu insoluble dans l'eau ; → très soluble dans l'éthanol ; → soluble dans l'éther diéthylique	

- Données de spectroscopie infrarouge :

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Bande d'absorption
O – H libre	3580 - 3650	Bande forte et fine
O – H liée (pont hydrogène)	3100 - 3500	Bande forte et large
O – H (acide carboxylique)	2500 - 3300	Bande forte et large
C _{tri} – H (C _{tri} : carbone trivalent)	3000 - 3100	Bande moyenne
C _{tet} – H (C _{tet} : carbone tétravalent)	2800 - 3000	Bande forte
C – H de CHO (aldéhyde)	2650 - 2800	Bande moyenne
C = O (aldéhyde, cétone)	1650 - 1730	Bande forte
C = O (acide carboxylique)	1690 - 1760	Bande forte
C = C	1625 - 1685	Bande moyenne
C _{tet} – H	1415 - 1470	Bande forte
C – O	1050 - 1450	Bande forte

Questions

- Indiquer, en justifiant, les précautions à prendre lors de cette synthèse.
- Caractériser chacune des étapes du protocole en utilisant les termes suivants : analyse du produit synthétisé ; transformation des réactifs ; isolement du produit synthétisé.
- Justifier l'utilisation de l'éther diéthylique dans l'étape 2 du protocole.
- Justifier que le bornéol appartienne à la famille des alcools.
- Parmi les montages A, B et C suivants, indiquer celui qu'il convient de choisir pour réaliser l'étape 3.



- À l'aide des couples d'oxydo-réduction :



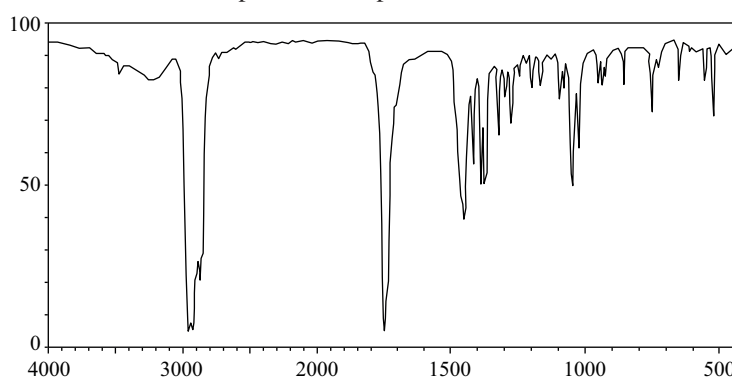
retrouver l'équation de la réaction de synthèse.

- Justifier que le bornéol subit bien une oxydation.

DEVOIR DE SYNTHÈSE • CHAP. 11

- 8 Expliquer le rôle du réfrigérant à eau dans l'étape.
- 9 Calculer les quantités de matière initiales de l'acide chromique et du bornéol.
- 10 Montrer que l'acide chromique et le bornéol ont été introduits dans les proportions stoechiométriques.
- 11 Déterminer la masse de camphre maximale que l'on peut obtenir à la fin de cette synthèse.
- 12 Une synthèse réalisée au laboratoire en suivant ce protocole a permis d'obtenir 2,2 g de solide.
En supposant que le solide obtenu est du camphre pur, déterminer le rendement de cette synthèse.

Spectre IR du produit obtenu



- 13 Justifier qu'il s'agit bien du spectre du camphre en vous appuyant sur l'observations des groupes caractéristiques.
- 14 Expliquer l'intérêt industriel d'introduire les réactifs dans les proportions stoechiométriques.

1 Physique

Énoncé
p. 413

inspiré de l'E3C de 2020

- 1 Un autre type d'ondes est les *ondes mécaniques*. Par exemple : les ondes sonores, qui nécessitent un milieu matériel pour se propager.
- 2 La relation entre la célérité c , la longueur d'onde λ , et la fréquence f est donnée par :

$$c = \lambda \times f.$$

- 3 Avec $f = 403,2 \text{ MHz} = 4,032 \times 10^8 \text{ Hz}$ et $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{4,032 \times 10^8}{3,00 \times 10^8} = 0,74 \text{ m}.$$

La longueur d'onde est donc d'environ 74 cm, ce qui correspond au domaine UHF. Ce choix est cohérent car d'après le tableau, les ondes UHF ont une longueur d'onde comprise entre 10 cm et 1 m.

- 4 La masse totale du système est :

$$\begin{aligned} m &= m_{\text{enveloppe}} + m_{\text{nacelle}} + m_{\text{hélium}} \\ &= 80 \text{ kg} + 150 \text{ kg} + 50 \text{ kg} \\ &= 280 \text{ kg}. \end{aligned}$$

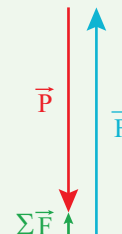
- 5 La valeur du poids P est donné par :

$$P = m \times g = 280 \times 9,8 = 2\,744 \text{ N}.$$

- 6 • Poids $\vec{P}$: 2 744 N, vertical vers le bas.
Représentation de 2,7 cm.
- Poussée d'Archimède $\vec{F}$: 3 000 N, vertical vers le haut.
Représentation de 3 cm.

- 7 La somme des forces est :

$$\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{F}.$$



Ce vecteur est dirigé vers le haut, avec une norme de :

$$F - P = 3\,000 - 2\,744 = 256 \text{ N}.$$

- 8 Une évaluation de la vitesse à $t = 1 \text{ s}$ est donnée par :

$$v_1 = \frac{(h_1 - h_0) + (h_2 - h_1)}{2 \cdot \Delta t} = \frac{h_2 - h_0}{2 \cdot \Delta t} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

De même, on peut estimer la vitesse à $t = 3 \text{ s}$ par :

$$v_3 = \frac{(h_3 - h_2) + (h_4 - h_3)}{2 \cdot \Delta t} = \frac{h_4 - h_2}{2 \cdot \Delta t} = \frac{5,4}{2} = 2,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

La vitesse est $v_1 = 0,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à $t_1 = 1,0 \text{ s}$ et $v_3 = 2,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à $t_1 = 3,0 \text{ s}$.

La variation de vitesse Δv est :

$$\Delta v = v_3 - v_1 = 2,7 - 0,9 = 1,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

DEVOIR DE SYNTHÈSE • CHAP. 11

- 9 Le calcul de $m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$ devrait donner une estimation (en Newton) de la résultante R des forces s'exerçant sur le ballon :

$$R = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = 280 \times \frac{1,8}{2} = 252 \text{ N.}$$

Cette valeur est cohérente avec celle trouvée à la question 7.

- 10 D'après le graphique, la pression atmosphérique diminue avec l'altitude. Donc, lorsque l'altitude augmente, la pression dans le ballon-sonde diminue (la pression interne du ballon reste égale à la pression externe, car l'enveloppe est souple).

- 11 La loi de Mariotte s'énonce ainsi :

$$P \times V = \text{constante.}$$

- 12 Pendant l'ascension, la pression diminue. Selon la loi de Mariotte, si la pression P diminue, le volume V du ballon augmente pour maintenir $P \times V = \text{constante}$.

Le ballon se dilate donc progressivement jusqu'à atteindre son volume maximal $V_{\text{max}} = 3\,440 \text{ m}^3$.

En appliquant la loi de Mariotte, nous avons :

$$\begin{cases} P_0 \times V_0 = P \times V_{\text{max}} \\ P = \frac{P_0 \times V_0}{V_{\text{max}}} = \frac{1 \cdot 10^5 \times 270}{3\,440} \approx 7,85 \cdot 10^3 \text{ Pa} = 78,5 \text{ hPa.} \end{cases}$$

Par lecture graphique, nous pouvons voir qu'une pression de 78,5 hPa correspond à une altitude d'environ 19,5 km.

L'altitude maximale que peut atteindre le ballon sans éclater est donc de 19,5 km.

- 13 Plusieurs facteurs expliquent que le ballon ait atteint 31 km en réalité, une altitude supérieure à la prédiction. La loi de Mariotte suppose une température reste constante, mais en réalité, la température diminue avec l'altitude. Le volume du ballon augmente bien avec l'altitude, mais moins rapidement. Par ailleurs, l'enveloppe du ballon est légèrement résistante, ce qui retarde encore un peu l'éclatement.

2 Chimie

➔ Énoncé
p. 416

inspiré de l'E3C de 2020

- 1
- Corrosif : port de la blouse de lunettes et des gants.
 - Nocif, irritant : manipulation sous hotte.
 - Comburant et combustible : manipulation éloignée d'une source de chaleur.
 - Dangereux pour l'environnement : récupération dans des contenants adaptés.
 - Dangereux pour la santé et toxique : utilisation de protection adaptées.

- 2** • Étape 1 : transformation des réactifs.
• Étape 2 : isolement du produit synthétisé.
• Étape 3 : isolement du produit synthétisé.
• Étape 4 : analyse du produit synthétisé.
- 3** L'étape 2 vise une extraction par solvant. Le solvant choisi doit répondre à deux critères :
- Être non miscible avec le solvant initial (ici, non miscible à l'eau).
 - Permettre une solubilité plus élevée de la molécule cible que dans le solvant initial. L'éther diéthylique, solvant organique peu miscible à l'eau, est retenu pour cette extraction. Le camphre, peu soluble dans l'eau mais soluble dans l'éther diéthylique, satisfait ces conditions.
- 4** Le bornéol possède un groupe hydroxyle (—OH), caractéristique des alcools.
- 5** • Montage A : distillation fractionnée.
• Montage B : montage à reflux.
• Montage C : distillation simple.
- 6** • $\text{H}_2\text{CrO}_4 + 6\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$ ($\times 2$) gain d'électrons
→ réduction.
- $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O} \rightarrow \text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ ($\times 3$) perte d'électrons → oxydation.
 - $2\text{H}_2\text{CrO}_4 + 12\text{H}^+ + 3\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O} = 2\text{Cr}^{3+} + 8\text{H}_2\text{O} + 3\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O} + 6\text{H}^+$
 - $2\text{H}_2\text{CrO}_4 + 6\text{H}^+ + 3\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O} = 2\text{Cr}^{3+} + 8\text{H}_2\text{O} + 3\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$
- 7** Le bornéol cède des électrons, il subit donc une oxydation.
- 8** Le réfrigérant à eau limite les pertes de réactifs en liquéfiant les vapeurs au contact des parois froides. Les composés gazeux redeviennent liquides et retournent dans le milieu réactionnel.
- 9** Les quantités de matière initiales de l'acide chromique et du bornéol sont :

$$n_{\text{bornéol},0} = \frac{m_{\text{bornéol}}}{M_{\text{bornéol}}} = \frac{5,0 \text{ g}}{154,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

$$n_{\text{acide chromique},0} = C \cdot V = 2,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 11,0 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

- 10** On a :

État	avancement	$2\text{H}_2\text{CrO}_4 + (6\text{H}^+) + 3\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O} = 2\text{Cr}^{3+} + (8\text{H}_2\text{O}) + 3\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$			
Initiale	$x = 0$	$n_{\text{acide chromique},0}$	$n_{\text{bornéol},0}$	0	0
Intermédiaire	$x \neq 0$	$n_{\text{acide chromique}} - 2x$	$n_{\text{bornéol}} - 3x$	$2x$	$3x$
Finale	x_f	$n_{\text{acide chromique}} - 2x_f$	$n_{\text{bornéol}} - 3x_f$	$2x_f$	$3x_f$

DEVOIR DE SYNTHÈSE • CHAP. 11

$$\begin{aligned}
 n_{\text{acide chromique}} - 2x_f &= 0 \iff x_f = \frac{n_{\text{acide chromique}}}{2} \\
 &= \frac{2,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}{2} = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ mol.} \\
 n_{\text{bornéol}} - 3x_f &= 0 \iff x_f = \frac{n_{\text{bornéol}}}{3} \\
 &= \frac{3,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}{3} = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}
 \end{aligned}$$

L'avancement final est identique pour les 2 réactifs donc ils ont été introduits dans les proportions stoechiométriques.

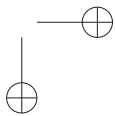
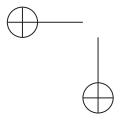
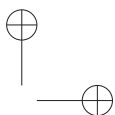
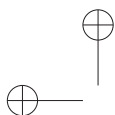
- 11** La masse de camphre maximale que l'on peut obtenir à la fin de cette synthèse est :

$$\begin{aligned}
 m_{\text{camphre, Th}} &= n_{\text{camphre, Th}} \times M_{\text{camphre}} \\
 &= 3x_f \times M_{\text{camphre}} \\
 &= 3 \times 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \times 152,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \\
 &= 5,0 \text{ g.}
 \end{aligned}$$

- 12** En supposant que le solide obtenu est du camphre pur, le rendement de cette synthèse est :

$$r = \frac{m_{\text{camphre, Exp}}}{m_{\text{camphre, Th}}} = \frac{2,2}{5,0 \text{ g}} = 0,44 = 44\%.$$

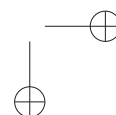
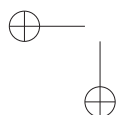
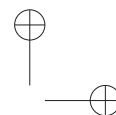
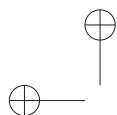
- 13** • 2800 – 3000 cm^{-1} bande forte et 1415 – 1470 cm^{-1} bande forte
→ C_{tet} – H (C_{tet} : carbone tétravalent).
• 1650 – 1730 cm^{-1} , bande forte → C = O (aldéhyde, cétone), présence du groupe carbonyle donc c'est bien une cétone, famille du camphre.
- 14** L'introduction des réactifs dans les proportions stoechiométriques permet d'optimiser la réaction : consommation totale des réactifs, réduction des coûts et minimisation des déchets.



Classification périodique

Annexe A

<



Annexe B

Liste des vidéos

Chapitre	Titre	Page
Chapitre 1	Cours : comprendre les chiffres significatifs	3
Chapitre 2	Cours : notion de champs	25
Chapitre 2	Cours : tracé des vecteurs vitesse et accélération . .	34
Chapitre 2	Exercice 5 : cristal de chlorure de sodium	40
Chapitre 3	Cours : loi de Mariotte	63
Chapitre 3	Exercice 20 : ballon de baudruche	77
Chapitre 4	Exercice type : exercice type	101
Chapitre 4	Cours : conservation de l'énergie mécanique	104
Chapitre 5	Exercice type : exercice type	129
Chapitre 6	Exercice 5 : tsunamis	162
Chapitre 7	Exercice 20 : spectre du mercure	196
Chapitre 8	Cours : loi de Beer-Lambert	226
Chapitre 8	Exercice 34 : réactions d'oxydo-réduction	258
Chapitre 9	Cours : électronégativité	304
Chapitre 9	Exercice 12 : polarité de l'ammoniac	320
Chapitre 10	Exercice 22 : polarité de l'ammoniac	382

