

PHYSIQUE

2^{de}

Programme
2019

CHIMIE

Livre du professeur

Sous la direction de

Mathieu Ruffenach

Inspecteur d'académie, inspecteur
pédagogique régional, académie de Montpellier

Thierry Cariat

Professeur au lycée Dhuoda, Nîmes

Stéphane Baderot-Jacques

Lycée Marc Bloch, Sérignan

Nicolas Courbaize

Lycée Jean Jaurès, Saint-Clément-de-Rivière

Pierre Fabre

Lycée Joliot-Curie, Sète

François Fourcade

Lycée Dhuoda, Nîmes

David Gariglio

Lycée Dhuoda, Nîmes

Bastien Gravière

Lycée Lalande, Bourg-en-Bresse

Laurent Lopez

Lycée Aristide Maillol, Perpignan

Adeline Marois

Annexe du lycée Jean-Baptiste Say
Centre Édouard Rist, Paris

Laurent Portal

Lycée Jean Mermoz, Montpellier

Laurent Roure-Atger

Lycée Dhuoda, Nîmes

Laurent Toix

Lycée Aristide Maillol, Perpignan

Cédric Vial

Lycée François Mauriac, Andrézieux-Bouthéon

SOMMAIRE

1	La matière qui nous entoure	3
2	Description microscopique de la matière	17
3	La liaison chimique.....	28
4	Transformations de la matière	44
5	Transferts d'énergie.....	57
Exercices de synthèse – Thème 1. Constitution et transformations de la matière		65
6	Description d'un mouvement.....	68
7	Modélisation d'une action sur un système	81
8	Le principe d'inertie	95
Exercices de synthèse – Thème 2. Mouvement et interactions		112
9	Émission et perception d'un son	115
10	Vision et image	128
11	Lumières colorées.....	144
12	Signaux et capteurs	157
Exercices de synthèse – Thème 3. Ondes et signaux.....		171

La matière qui nous entoure

LE PROGRAMME

• 1. Constitution de la matière de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique

L'objectif de cette partie est d'aborder les deux échelles de description de la matière qui vont rendre compte de ses propriétés physiques et chimiques. Les concepts d'espèce et d'entité chimique introduits au collège sont ainsi enrichis.

L'espèce chimique est au centre de la description macroscopique de la matière et permet de définir et de caractériser les corps purs et les mélanges, dont les solutions aqueuses.

Une approche quantitative est abordée avec la notion de composition d'un mélange et de concentration en masse (essentiellement exprimée en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) d'un soluté dans une solution aqueuse. [...]

Notions abordées au collège (cycle 4)

Échelle macroscopique : espèce chimique, corps purs, mélanges, composition de l'air, masse volumique, propriétés des changements d'état, solutions : solubilité, miscibilité. [...]

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Corps purs et mélanges au quotidien. Espèce chimique, corps pur, mélanges d'espèces chimiques, mélanges homogènes et hétérogènes. Identification d'espèces chimiques dans un échantillon de matière par des mesures physiques ou des tests chimiques.	Citer des exemples courants de corps purs et de mélanges homogènes et hétérogènes. Identifier, à partir de valeurs de référence, une espèce chimique par ses températures de changement d'état, sa masse volumique ou par des tests chimiques. Citer des tests chimiques courants de présence d'eau, de dihydrogène, de dioxygène, de dioxyde de carbone. Citer la valeur de la masse volumique de l'eau liquide et la comparer à celles d'autres corps purs et mélanges. Distinguer un mélange d'un corps pur à partir de données expérimentales. <i>Mesurer une température de changement d'état, déterminer la masse volumique d'un échantillon, réaliser une chromatographie sur couche mince, mettre en œuvre des tests chimiques, pour identifier une espèce chimique et, le cas échéant, qualifier l'échantillon de mélange.</i>
Composition massique d'un mélange. Composition volumique de l'air.	Citer la composition approchée de l'air et l'ordre de grandeur de la valeur de sa masse volumique. Établir la composition d'un échantillon à partir de données expérimentales. <i>Mesurer des volumes et des masses pour estimer la composition de mélanges.</i> Capacité mathématique : utiliser les pourcentages et les fractions.

Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
<p>Les solutions aqueuses, un exemple de mélange. Solvant, soluté. Concentration en masse, concentration maximale d'un soluté.</p> <p>Dosage par étalonnage.</p>	<p>Identifier le soluté et le solvant à partir de la composition ou du mode opératoire de préparation d'une solution. Distinguer la masse volumique d'un échantillon et la concentration en masse d'un soluté au sein d'une solution. Déterminer la valeur de la concentration en masse d'un soluté à partir du mode opératoire de préparation d'une solution par dissolution ou par dilution. <i>Mesurer des masses pour étudier la variabilité du volume mesuré par une pièce de verrerie ; choisir et utiliser la verrerie adaptée pour préparer une solution par dissolution ou par dilution.</i></p> <p>Déterminer la valeur d'une concentration en masse et d'une concentration maximale à partir de résultats expérimentaux. <i>Déterminer la valeur d'une concentration en masse à l'aide d'une gamme d'étalonnage (échelle de teinte ou mesure de masse volumique).</i> Capacité mathématique : utiliser une grandeur quotient pour déterminer le numérateur ou le dénominateur.</p>

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

p. 16

SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis au niveau du cycle 4 les notions de mélange et de solubilité.

Exemple de réponse attendue

Le sel et l'eau forment un mélange.

Le sel se dissout dans l'eau car le sel est soluble dans l'eau.

En classe de 2^{de}

Dans une approche spiralaire de l'enseignement de la physique-chimie, la notion de mélange vue au cycle 4 est approfondie en étudiant des mélanges hétérogènes et homogènes de la vie courante.

L'**activité 3** permet en mettant en œuvre la technique de CCM de distinguer un corps pur d'un mélange.

SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier un deuxième acquis du cycle 4, nécessaire à ce chapitre, qui se rapporte aux changements d'état.

Exemple de réponse attendue

Les vapeurs violettes qui envahissent le ballon proviennent du passage du diode de l'état solide à l'état gazeux, à température ambiante (sublimation).

En classe de 2^{de}

Dans l'activité 1, construite sous forme de démarche d'investigation, les élèves seront amenés à :

- élaborer et à mettre en œuvre un protocole expérimental pour mesurer une température de fusion, caractéristique d'une espèce chimique ;
- réaliser une détermination de masse volumique.

SITUATION 3

La troisième situation permet en observant un mélange hétérogène de réactiver la notion de masse volumique, vue au cycle 4.

Exemple de réponse attendue

L'huile se trouve au-dessus de l'eau car elle n'est pas miscible à l'eau.

De plus, la masse volumique de l'huile est plus faible que celle de l'eau.

En classe de 2^{de}

La valeur de la masse volumique de l'eau doit être connue et comparée à celles d'autres corps purs et mélanges.

De plus, la masse volumique d'un corps pur permet d'identifier un corps pur comme dans l'**activité 1**. Enfin, la notion de masse volumique est réinvestie dans l'**activité 4** afin de déterminer la valeur d'une concentration en masse à l'aide d'une gamme d'étalonnage. Cette activité permettra aussi de distinguer la masse volumique d'un échantillon et la concentration en masse d'un soluté au sein d'une solution.

ACTIVITÉS

p. 18 ■ ACTIVITÉ 1

Identifier deux espèces chimiques.....TP Démarche d'investigation

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Vidéos

(→ disponibles par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Le banc Kofler 1 1 : 42 ■ p. 18

► Le banc Kofler 2 1 : 29 ■ p. 18

Deux vidéos décrivant l'utilisation du banc Kofler complètent la fiche pratique 7 (*Mesurer une température de fusion*), p. 304 du livre élève.

■ Exemples de mesures

Pour les deux espèces chimiques à identifier, on peut choisir du sel (chlorure de sodium) et du sucre (saccharose).

► La masse volumique ρ

On trouve :

- pour une pastille de NaCl (sel d'adoucisseur),

$$\rho = \frac{12,56}{6,0} = 2,1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3};$$

- pour un morceau de sucre, $\rho = \frac{6,02}{4,0} = 1,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Il est préférable d'utiliser une éprouvette la plus petite possible pour réduire l'incertitude-type sur les volumes mesurés.

► La température de fusion T_f

On trouve :

- pour une pastille de NaCl (sel d'adoucisseur), une température T_f supérieure aux limites du banc Kofler ;

- pour un morceau de sucre, $T_f = 186^\circ\text{C}$.

Il peut être aussi utile de recourir à la fiche pratique 7 (*Mesurer une température de fusion*), p. 304 du livre élève.

► Pistes de résolution

1 a. Matériel :

Balance, capsule de pesée, éprouvette graduée, eau distillée, deux espèces chimiques : solides s_1 et s_2 .

Protocole expérimental :

• Détermination de la masse volumique ρ

- Commencer par tarer la balance, puis placer chaque échantillon solide dans une capsule de pesée et noter la masse.

- Remplir une éprouvette graduée d'un volume d'eau connu V_{eau} , puis y plonger un premier échantillon solide s_1 .

Noter le volume $V_{\text{eau}+s_1}$.

Déterminer le volume de l'échantillon solide $s_1 : V_{s_1} = V_{\text{eau}+s_1} - V_{\text{eau}}$.

Recommencer avec l'échantillon solide s_2 .

- Calculer ensuite leur masse volumique (en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) : $\rho = \frac{m}{V}$.

• Détermination de la température de fusion T_f

- Étalonner le banc Kofler, puis mesurer la température de fusion T_f pour les deux échantillons solides.

b. On peut dresser ce tableau pour rassembler les résultats obtenus :

Échantillon solide		s_1	s_2
Volume V (en cm^3)	V_{eau}		
	$V_{\text{eau}+s}$		
	V_s		
Masse m (en g)			
Masse volumique ρ (en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)			
Température de fusion T_f (en $^\circ\text{C}$)			

► Conclusion

2 On compare les valeurs obtenues à celles données dans le tableau du document 3.

On en déduit ainsi la nature des deux espèces chimiques à identifier.

p. 19 ■ ACTIVITÉ 2

Préparation de solutions aqueuses.....TP

On étudie dans un premier temps la variabilité du volume mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée et d'une fiole jaugée.

Un minimum d'une dizaine de mesures est nécessaire, mais on peut par exemple demander à chaque groupe d'élèves d'effectuer seulement une ou deux mesures, puis de les mettre en commun.

■ Exemple de mesures

On effectue une série de **12** mesures :

- à l'aide d'une éprouvette graduée de 100 mL, voici un exemple de résultats :

Valeur du volume mesuré V (en mL)	Nombre de fois N où cette valeur a été mesurée
99,1	1
99,2	1
99,4	2
99,5	1
99,7	1
99,9	1
100,1	2
100,4	1
100,7	1
100,9	1

- à l'aide d'une fiole jaugée de 100 mL, voici un exemple de résultats :

Valeur du volume mesuré V (en mL)	Nombre de fois N où cette valeur a été mesurée
99,6	1
99,7	1
99,8	1
99,9	2
100,0	3
100,1	2
100,2	1
100,3	1

L'histogramme permet une analyse qualitative de la dispersion des mesures tandis que l'incertitude-type permet d'évaluer quantitativement la variabilité de ces deux séries de mesures.

Les mesures de volume notamment avec l'éprouvette graduée dépendent de l'expérimentateur, mais l'éprouvette graduée reste systématiquement moins précise que la fiole jaugée. C'est donc la fiole jaugée qui sera utilisée lors de la préparation de solutions par dissolution (question 2) et par dilution (question 3).

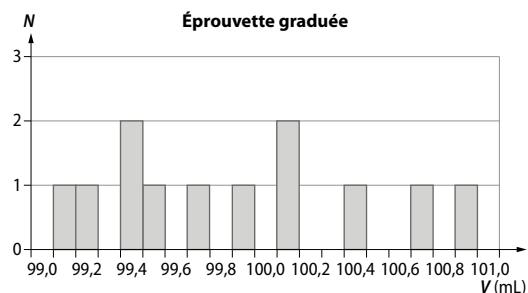
En plus des documents, deux fiches pratiques (9 et 10) concernant la dissolution et la dilution sont disponibles p. 306 et p. 307 du livre élève.

► Expériences et exploitation

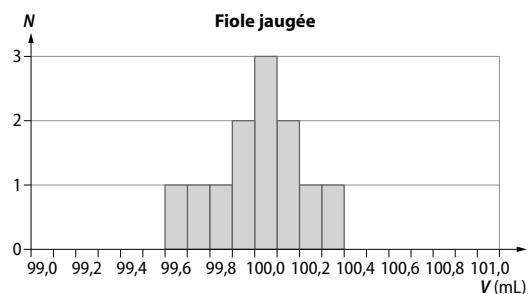
1 a. et b. On déduit le volume d'eau réellement mesuré en divisant la masse d'eau mesurée par la masse volumique de l'eau qui vaut $1,000 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$:

$$V_{\text{eau}} = \frac{m}{\rho}$$

c. • Histogramme obtenu après mesures avec l'éprouvette graduée :



• Histogramme obtenu après mesures avec la fiole jaugée :



La série de mesures avec l'éprouvette graduée présente la plus grande dispersion.

d. L'incertitude-type u_x est égale au quotient de l'écart-type s_x par la racine carrée du nombre N de mesures effectuées, X étant la grandeur :

$$u_x = \frac{s_x}{\sqrt{N}}$$

• Série de mesures avec l'éprouvette graduée :
X est le volume V .

En utilisant le menu statistique de la calculatrice, on trouve :

- la moyenne $\bar{V} = 99,9 \text{ mL}$;
- l'écart-type expérimental $s_V = 0,59$.

$N = 12$, d'où l'incertitude-type u_V :

$$u_V = \frac{s_V}{\sqrt{N}} \quad u_V = \frac{0,59}{\sqrt{12}} = 0,2 \text{ mL}$$

Le volume V mesuré avec l'éprouvette graduée vaut $99,9 \text{ mL}$ avec comme incertitude-type $u_V = 0,2 \text{ mL}$.

• Série de mesures avec la fiole jaugée :
X est le volume V .

En utilisant le menu statistique de la calculatrice, on trouve :

- la moyenne $\bar{V} = 100,0 \text{ mL}$;

- l'écart-type expérimental $s_V = 0,20$.

$N = 12$, d'où l'incertitude-type u_V :

$$u_V = \frac{s_V}{\sqrt{N}} = \frac{0,20}{\sqrt{12}} = 0,1 \text{ mL}$$

Le volume V mesuré avec la fiole jaugée vaut 100,0 mL avec comme incertitude-type $u_V = 0,1 \text{ mL}$. Conclusion : la fiole jaugée est plus précise que l'éprouvette graduée.

2 b. $c_{m0} = \frac{m}{V}$; la masse m est en g et le volume V en mL, il faut convertir V en L.

$$c_{m0}(\text{glucose}) = \frac{m_{\text{glucose}}}{V_{\text{solution}}}$$

$$c_{m0}(\text{glucose}) = \frac{2,5}{50 \times 10^{-3}} = 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

3 a. $c_{m1} = \frac{m}{V_1}$ donc $m = c_{m1} \cdot V_1$; c_{m1} est en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

et le volume V en mL, il faut convertir V en L.

$$m = 10 \times 50,0 \times 10^{-3} = 0,50 \text{ g}$$

b. D'après le document 2, la masse est conservée lors d'une dilution. Il faut donc calculer le volume V_0 de la solution S_0 qui contient la masse m de glucose :

$$V_0 = \frac{m}{c_{m0}} = \frac{0,50}{50} = 10 \times 10^{-3} \text{ L soit } V_0 = 10 \text{ mL.}$$

Pour préparer la solution S_1 , il faut prélever 10 mL de la solution S_0 avec une pipette jaugée de 10 mL, puis verser ce volume dans une fiole jaugée de 50,0 mL. On complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et on agite pour homogénéiser.

Synthèse

4 • Pièce de verrerie nécessaire à la dissolution :

- la fiole jaugée car son volume est très précis (plus précis que celui d'une éprouvette graduée) ; elle peut être bouchée pour l'agiter, pour favoriser la dissolution du soluté et pour l'homogénéisation de la solution.

• Pièces de verrerie nécessaires à la dilution :

- la pipette jaugée pour prélever le volume de la solution-mère car son volume est très précis ;
- le bêcher pour contenir la solution-mère lors du prélèvement ;
- la fiole jaugée car son volume est très précis et elle peut être bouchée pour l'agiter et homogénéiser la solution-fille.

ACTIVITÉ 3

Corps pur ou mélange ? TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

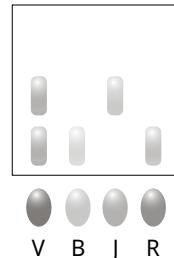
► Chromatographie sur couche mince 0:51 p. 20

Cette animation permet de s'entraîner à la manipulation.

Il sera utile de consulter aussi la fiche pratique 8, p. 305 du livre élève.

Expérience et exploitation

2 Exemple de chromatogramme :



3 a. Le colorant des bonbons rouge, bleu et jaune est une espèce pure car pour chacun de ces bonbons, on obtient une tache unique sur le chromatogramme.

b. Le colorant vert donne deux taches sur le chromatogramme, à la même hauteur que celles des colorants bleu et jaune : il est composé de ces deux colorants. On trouve rarement du colorant pâtissier vert dans les rayons du supermarché car il suffit de mélanger les colorants bleu et jaune pour obtenir du vert.

Conclusion

4 Dans cette expérience, la chromatographie permet de séparer des espèces chimiques d'un mélange : on a montré que le colorant vert a deux constituants, le bleu et le jaune.

Mais, on aurait pu aussi identifier la présence des colorants bleu et jaune en considérant le colorant vert comme un mélange inconnu (c'est le cas de l'animation du document 3).

ACTIVITÉ 4

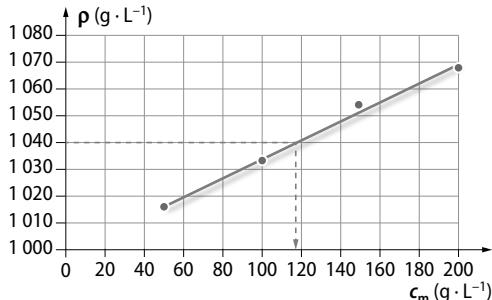
p. 21 Dosage par étalonnage TP Démarches différencierées

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Exemple de mesures

Solution S	S_1	S_2	S_3	S_4
Concentration en masse c_m (en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	50,0	100	150	200
Masse volumique ρ (en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	1 016	1 033	1 054	1 068

À partir des mesures, on trace la courbe d'étalonnage $\rho = f(c_m)$:



On mesure la masse d'un volume de 100,0 mL de jus de pomme dans une fiole jaugée de 100,0 mL : 104,0 g ; on en déduit sa masse volumique : $\rho = 1\,040 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

On lit sur la courbe la valeur c_m de la concentration en masse de sucre du jus de pomme correspondante : $c_m = 118 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

➤ Démarche experte

Protocole expérimental :

- Tarer une balance avec une fiole jaugée de 100 mL.
- Mesurer la masse de 100,0 mL de chaque solution S_1 à S_4 .
- Calculer la masse volumique de chaque solution en divisant la masse par le volume $100,0 \times 10^{-3} \text{ L}$.
- Tracer la courbe d'étalonnage donnant la masse volumique en fonction de la concentration en masse.
- Mesurer la masse volumique du jus de pomme : $\rho = \dots \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Lire sur la courbe la valeur de la concentration en masse de saccharose du jus de pomme correspondante : $c_m = \dots \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

➤ Démarche avancée

1. La concentration en masse de chaque solution S_1 à S_4 étant connue, il est nécessaire de déterminer la masse volumique de chaque solution, pour cela :

- tarer une balance avec une fiole jaugée de 100 mL ;
- mesurer la masse de 100,0 mL de chaque solution S_1 à S_4 ;
- calculer la masse volumique de chaque solution en divisant la masse par le volume $100,0 \times 10^{-3} \text{ L}$.

2. a. La courbe d'étalonnage représente la masse volumique en fonction de la concentration en masse de saccharose.

b. Les grandeurs masse volumique et concentration en masse ne sont pas proportionnelles, la courbe n'est pas une droite passant par l'origine.

3. On mesure la masse volumique du jus de pomme : $\rho = \dots \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, puis on lit sur la courbe la valeur de la concentration en masse de saccharose du jus de pomme correspondante : $c_m = \dots \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

➤ Démarche élémentaire

1. Pour calculer la masse volumique de chacune des solutions S_1 à S_4 , il faut :

- tarer une balance avec une fiole jaugée de 100 mL ;
- mesurer la masse de 100,0 mL de chaque solution S_1 à S_4 .

La masse volumique ρ de chaque solution est déterminée en divisant la masse m par le volume $100,0 \times 10^{-3} \text{ L}$.

Voici un exemple de tableau :

Solution S	S_1	S_2	S_3	S_4
Masse m (en g)				
Masse volumique ρ (en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)				

2. La courbe d'étalonnage n'est pas une droite passant par l'origine.

3. La masse volumique mesurée du jus de pomme est $\rho = \dots \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

4. La valeur lue de la concentration en masse de saccharose du jus de pomme correspondante est $c_m = \dots \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

EXERCICES

Vérifier l'essentiel

p. 26

1. B. 2. A et C. 3. C.
 4. C. 5. A et B. 6. B.
 7. A et C. 8. A, B et C.

Acquérir les notions

➤ Corps purs et mélanges

p. 27

9. 1. a. La mayonnaise est un **mélange**, en effet, elle est composée de jaune d'œuf, d'huile, de moutarde et de sel et poivre.

b. Le sel est un **corps pur**, en effet, il est composé uniquement de chlorure de sodium.

c. Le vinaigre blanc est un **mélange**, en effet, il est composé d'eau et d'acide éthanoïque.

d. Un cocktail est un **mélange**, en effet, il est composé par exemple d'eau gazeuse, de jus de citron, de sucre et de feuilles de menthe.

e. Un lingot d'or est un **corps pur**, en effet, il est composé d'atomes d'or.

f. L'air qui nous entoure est un **mélange**, en effet, il est composé de 78 % de diazote, 21 % de dioxygène et 1 % d'autres gaz.

2. • Voici deux exemples de **corps purs** :

- du sucre ;
- du dioxyde de carbone.

• Voici deux exemples de **mélanges** :

- le laiton, c'est un alliage de plusieurs métaux ;
- la menthe à l'eau.

10 1. A : mélange homogène.

B : mélange homogène.

C : mélange hétérogène.

D : mélange hétérogène.

2. • Voici deux exemples de mélanges homogènes :

- l'eau de mer ;
- l'air qui nous entoure.

• Voici deux exemples de mélanges hétérogènes :

- de l'eau pétillante ;
- du béton.

11 a. Mélange homogène.

b. Mélange hétérogène.

c. Mélange homogène.

d. Mélange hétérogène.

12 1. Homogène signifie que l'on ne peut pas distinguer les constituants de la pâte à l'œil nu.

2. La pâte est constituée de 100 g de sucre, 200 g de beurre et 300 g de farine.

Déterminer le pourcentage massique d'un constituant revient à déterminer sa masse en pourcentage de la masse totale de la pâte.

La masse totale de la pâte est :

$$100 + 200 + 300 = 600 \text{ g}$$

• Sucre : 100 g

$$\frac{100}{600} \times 100 = 16,66\% ; \text{ il y a } 17\% \text{ de sucre dans la pâte.}$$

• Beurre : 200 g

$$\frac{200}{600} \times 100 = 33,33\% ; \text{ il y a } 33\% \text{ de beurre dans la pâte.}$$

• Farine : 300 g

$$\frac{300}{600} \times 100 = 50\% ; \text{ il y a } 50\% \text{ de farine dans la pâte.}$$

13 La composition massique de ce mélange est :

- en chlorure de sodium, $\frac{77}{100} = 77\%$;

- en chlorure de magnésium, $\frac{10}{100} = 10\%$;

- en sulfate de magnésium, $\frac{6,0}{100} = 6,0\%$.

14 1. a. Le matériau constituant cette bague n'est pas un corps pur puisqu'il n'est pas constitué uniquement d'or.

b. La masse d'or présente dans cette bague est :

$$m_{\text{or}} = \frac{75,0}{100} \times 2,35 = 1,76 \text{ g}$$

2. On détermine le pourcentage massique en or dans ce collier :

$$\frac{m_{\text{or}}}{m_{\text{collier}}} \times 100 = \frac{12,6}{12,6 + 4,2} \times 100 = 75,0\%.$$

D'après l'énoncé, ce collier est donc en or 18 carats.

15 1. La composition volumique de l'air est :

- 78 % de diazote ;
- 21 % de dioxygène ;
- 1 % d'autres gaz.

2. Dans une salle de classe de 150 m³, il y a :

• $\frac{78}{100} \times 150 = 117 \text{ m}^3$ de diazote ;

• $\frac{21}{100} \times 150 = 32 \text{ m}^3$ de dioxygène.

Identifier une espèce chimique

p. 28

16 • Eau :

On cherche le volume V en L : $V = \frac{m}{\rho}$.

On sait que $m = 152 \text{ g}$ et $\rho = 1 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

$$\text{Donc } V_{\text{eau}} = \frac{152}{1,00} = 152 \text{ mL} = 0,152 \text{ L.}$$

• Fer :

On cherche la masse volumique ρ en kg · m⁻³ :

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

On sait que $m = 15,70 \text{ kg}$ et $V = 2,000 \text{ L}$.

$$\text{Donc } \rho_{\text{fer}} = \frac{15,70}{2,000} = 7,850 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}.$$

1 m³ = 1 000 L alors :

$$7,850 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} = 7,850 \times 1 000 = 7 850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

• Air :

On cherche la masse m en g : $m = \rho \cdot V$.

On sait que $V = 0,8 \text{ L}$ et $\rho = 1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

$$\text{Donc } m = 1 \times 0,8 = 0,8 \text{ g.}$$

Espèce chimique	eau	fer	air
Masse de l'échantillon	152 g	15,70 kg	0,8 g
Volume de l'échantillon	0,152 L	2,000 L	0,8 L
Masse volumique	1,00 g · mL ⁻¹	7 850 kg · m ⁻³	1 g · L ⁻¹

17 1. Tableau :

Substance	Température de fusion (en °C)	Température d'ébullition (en °C)
butane	- 138	-1
éthanol	- 114	78
eau	0	100
acide benzoïque	122	249
chlorure de sodium (sel)	801	1 440

2. a. L'éthanol devient solide en dessous de - 114 °C.

b. Le sel devient liquide au-dessus de 1 440 °C.

3. Sous pression atmosphérique, le butane se trouve en phase gazeuse dès - 1 °C. Pour le maintenir à l'état liquide à des températures plus élevées, comme c'est le cas pour les bouteilles de gaz, il faut qu'il soit sous une pression supérieure à la pression atmosphérique.

18 Je suis une espèce chimique indispensable à la vie dont la température d'ébullition est 100 °C sous la pression atmosphérique. À température ambiante, je suis à l'état liquide.

1. Quelle est la valeur de ma masse volumique dans cet état ?

2. Quel test chimique permet de me caractériser ?

Corrigé :

1. La valeur de la masse volumique de cette espèce chimique (eau) est $\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

2. Le test au sulfate de cuivre anhydre (blanc) permet de caractériser cette espèce chimique.

Le sulfate de cuivre anhydre bleuit en présence d'eau.

19 **1. a.** La masse de l'échantillon testé est

$m_{\text{métal}} = 54,0 \text{ g}$ (masse déterminée par lecture directe sur la balance qui était préalablement tarée avec l'éprouvette et l'eau).

b. L'ajout de l'échantillon de métal a provoqué le déplacement de l'eau dans l'éprouvette : le volume d'eau a augmenté d'un volume égal au volume de l'échantillon de métal.

Le volume dans l'éprouvette passe de 40 mL à 60 mL : $V_{\text{métal}} = 60 - 40$.

Le volume de l'échantillon est donc $V_{\text{métal}} = 20 \text{ mL}$.

2. On détermine la masse volumique $\rho_{\text{métal}}$ (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) de l'échantillon de métal, puis on la compare à celles des autres métaux fournis dans le tableau :

$$\rho_{\text{métal}} = \frac{m_{\text{métal}}}{V_{\text{métal}}}$$

Donc $\rho_{\text{métal}} = \frac{54,0}{20} = 2,7 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, on doit convertir

$\rho_{\text{métal}}$ en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$:

$$\rho_{\text{métal}} = 2,7 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 2,7 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} = 2,7 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{métal}} = 2\ 700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

D'après le tableau fourni, il s'agit de l'aluminium.

3. La simple observation de la couleur grise de l'échantillon à identifier aurait pu éliminer le cuivre avant toute expérience car il a généralement une couleur orangée.

20 **1.** La paraffine est solide à 25 °C.

2. Sa masse volumique est très légèrement inférieure à celle de l'eau ($\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

3. On peut utiliser un banc Kofler pour mesurer sa température de fusion.

21 **1.** La température de fusion lue sur le banc Kofler est 118 °C.

2. La température de fusion de l'acide benzoïque pur étant de 122 °C sous pression atmosphérique, on en déduit que le composé étudié n'est pas de l'acide benzoïque pur.

► Les solutions aqueuses

p. 29

22 La concentration en masse de soluté est :

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

$$c_{m1} = \frac{17,2}{200 \times 10^{-3}} \quad c_{m1} = 86 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c_{m2} = \frac{3,2}{100 \times 10^{-3}} \quad c_{m2} = 32 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c_{m3} = \frac{750 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-3}} \quad c_{m3} = 15 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

23 **1.** Il faut déterminer la concentration en masse c_m du chlorure de sodium avec les données de l'énoncé ($m = 68 \text{ g}$ et $V = 200 \text{ mL}$), puis la comparer à la concentration maximale fournie

$$c_{m\max} = 358 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

La concentration en masse de soluté c_m (en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) d'une solution est donnée par la relation :

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

avec m la masse de soluté (en g) et V le volume de solution (en L).

Il faut penser d'abord à convertir V en L :

$$V = 200 \text{ mL} = 0,200 \text{ L}$$

$$c_m = \frac{68}{0,200} = 3,4 \times 10^2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$c_m < c_{m\max}$ donc 68 g de chlorure de sodium peuvent être dissous dans de l'eau pour obtenir 200 mL de solution.

$$2. c_m = \frac{m}{V} \text{ donc } m_{\max} = c_{m\max} \cdot V.$$

Il faut penser d'abord à convertir V en L :

$$V = 50,0 \text{ mL} = 50,0 \times 10^{-3} \text{ L.}$$

$$m_{\max} = 358 \times 50,0 \times 10^{-3}$$

$$m_{\max} = 17,9 \text{ g}$$

On peut dissoudre dans de l'eau une masse maximale de chlorure de sodium de 17,9 g pour obtenir 50,0 mL de solution.

24 1. Le solvant est l'eau, le soluté est le glucose.

2. Il n'a pas été tenu compte du volume de soluté qui contribue aussi au volume de la solution. De plus, une éprouvette graduée est moins précise qu'une fiole jaugée.

3. Protocole expérimental :

- Peser à l'aide d'une balance préalablement tarée 2,5 g de glucose dans une coupelle de pesée.
- Verser le glucose dans une fiole jaugée de 100 mL en utilisant un entonnoir.
- Rincer la coupelle et l'entonnoir avec de l'eau distillée qui sera transvasée dans la fiole jaugée.
- Verser de l'eau distillée jusqu'à environ la moitié de la fiole jaugée et agiter jusqu'à dissolution complète du glucose.
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, puis agiter pour homogénéiser.

4. La concentration en masse de glucose est :

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

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

$$c_m = 25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

25 1. La masse de soluté est conservée au cours d'une dilution, on peut écrire :

$$c_{m0} \cdot V_0 = c_{m1} \cdot V_1 \text{ donc } c_{m1} = \frac{c_{m0} \cdot V_0}{V_1}$$

$$c_{m1} = \frac{15 \times 20 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-3}}$$

$$c_{m1} = 6,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

2. **Verrerie** : un bêcher de 50 mL pour contenir la solution S_0 , une pipette jaugée de 20 mL pour la prélever et une fiole jaugée de 50 mL pour préparer la solution S_1 .

26 1. La concentration en masse de glucose est :

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

$$c_m = \frac{9,8}{250 \times 10^{-3}}$$

$$c_m = 39 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

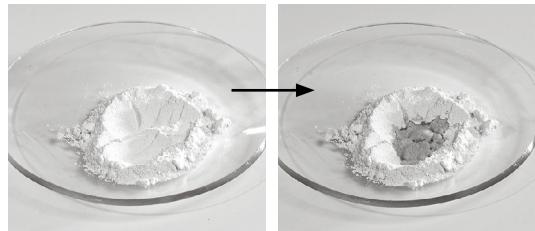
2. Pour $\rho_{boisson} = 1,012 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, on lit graphiquement $c_m = 40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. Cette valeur déterminée expérimentalement est très proche de la valeur donnée par le fabricant.

Exercices similaires aux exercices résolus

p. 30 et 31

28 1. L'eau passe de l'état liquide à l'état solide : il s'agit d'une solidification.

2. On peut effectuer le test au sulfate de cuivre anhydre : initialement blanc, il bleuit en présence d'eau.



3. Pour identifier l'espèce chimique, on peut proposer cette expérience : on mesure la température tout au long du changement d'état. La température de solidification vaut $0 \text{ }^\circ\text{C}$, elle est caractéristique de l'eau à la pression atmosphérique.

30 La concentration en masse de soluté c_m (en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) d'une solution est donnée par la relation :

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

avec m la masse de soluté (en g) et V le volume de solution (en L).

1. Lors d'une dilution, la masse m de soluté est conservée : $m_0 = m_1$.

• Cas de la solution S_1 :

$$c_{m1} = \frac{m_1}{V_1}$$

comme $m_0 = m_1$ et $m_0 = c_{m0} \cdot V_0$ alors $m_1 = c_{m0} \cdot V_0$ d'où :

$$c_{m1} = \frac{c_{m0} \cdot V_0}{V_1}$$

L'énoncé indique $c_{m0} = 5,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ et pour S_1 , le tableau donne $V_0 = 40,0 \text{ mL}$.

D'après l'énoncé, le volume de la solution S_1 est $V_1 = 50,0 \text{ mL}$.

Donc :

$$c_{m1} = \frac{5,0 \times 40,0 \times 10^{-3}}{50,0 \times 10^{-3}}$$
$$c_{m1} = 4,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

• **Cas de la solution S₂ :**

On procède de la même façon que pour S₁.

Ici, V₀ = 20,0 mL, donc :

$$c_{m2} = \frac{c_{m0} \cdot V_0}{V_2}$$
$$c_{m2} = \frac{5,0 \times 20,0 \times 10^{-3}}{50,0 \times 10^{-3}}$$
$$c_{m2} = 2,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

• **Cas de la solution S₃ :**

On procède de la même façon que pour S₁.

Ici, V₀ = 10,0 mL, donc :

$$c_{m3} = \frac{c_{m0} \cdot V_0}{V_3}$$
$$c_{m3} = \frac{5,0 \times 10,0 \times 10^{-3}}{50,0 \times 10^{-3}}$$
$$c_{m3} = 1,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

• **Cas de la solution S₄ :**

On procède de la même façon que pour S₁.

Ici, V₀ = 5,0 mL, donc :

$$c_{m4} = \frac{c_{m0} \cdot V_0}{V_4}$$
$$c_{m4} = \frac{5,0 \times 5,0 \times 10^{-3}}{50,0 \times 10^{-3}}$$
$$c_{m4} = 0,50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

2. D'après l'énoncé, la couleur de la solution diluée de Bétadine® est semblable à celle de la solution S₃. Donc la concentration en masse c_m dilué de povidone iodée de la solution diluée de Bétadine® est c_m dilué = c_{m3} = 1,0 g · L⁻¹.

D'après l'énoncé, la solution commerciale a été diluée 100 fois, donc :

$$c_{m \text{ com}} = 100 \times 1,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$
$$c_{m \text{ com}} = 1,0 \times 10^2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

La valeur déterminée expérimentalement est conforme à celle annoncée par le fabricant (dans l'énoncé, c_m = 100 g · L⁻¹).

Croiser les notions

■ p. 23

31 1. a. Photographie A : tare de l'éprouvette.

Photographie B : mesure de la masse m d'un volume V.

b. La masse volumique du cyclohexane est :

$$\rho = \frac{49,2 - 42,8}{8,2}$$

$$\rho = 0,78 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ ou } 0,78 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

2. **Verrerie** : on peut par exemple utiliser une pipette jaugée de 20 mL et une fiole jaugée de 100 mL.

Protocole expérimental : voir fiche pratique 10, p. 307 du livre élève.

32 1. La solution obtenue est un mélange homogène, on ne distingue pas ses constituants.

2. Déterminer le pourcentage massique d'un constituant revient à déterminer sa masse en pourcentage de la masse totale du mélange.

La masse totale de la solution est : 500 + 2,00 = 502 g. $\frac{2,00}{502} \times 100 = 0,4$. Il y a 0,4 % d'éosine dans la solution obtenue.

3. On sait que ρ_{eau} = 1,00 g · cm⁻³ et que ρ = $\frac{m}{V}$, donc : $V = \frac{m}{\rho}$.

$$V_{\text{eau}} = \frac{500}{1,00} = 500 \text{ cm}^3$$

1 cm³ = 1 mL donc V_{eau} = 500 mL.

La masse de 500 g d'eau utilisée représente un volume de 500 mL d'eau.

4. La concentration en masse de soluté c_m (en g · L⁻¹) d'une solution est donnée par la relation :

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

avec m la masse de soluté (en g) et V le volume de solution (en L).

Il faut penser à convertir V en L : V = 500 mL = 0,500 L.

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

$$c_m = \frac{2,00}{0,500} = 4,00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

La concentration en masse d'éosine de la solution est c_m = 4,00 g · L⁻¹.

33 1. La poudre de ce médicament est un mélange car elle contient plusieurs espèces chimiques.

2. a. La solution est préparée par dissolution.

b. La concentration en masse d'amoxicilline de la solution est :

$$c_m(\text{amoxicilline}) = \frac{m \text{ (amoxicilline)} 1 \text{ cuillère dose}}{V 1 \text{ cuillère dose}}$$

Amoxicilline 250 mg/5,0 mL

Flacon de 60 mL

Composition

Amoxicilline. Poudre à 250 mg/5,0 mL. Une cuillère dose de 5,0 mL de solution préparée contient 250 mg d'amoxicilline, arômes, acide citrique, benzoate de sodium, saccharose.

$$c_m(\text{amoxicilline}) = \frac{250 \times 10^{-3}}{5,0 \times 10^{-3}}$$

$$c_m(\text{amoxicilline}) = 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

c. La masse m d'amoxicilline initialement présente dans le flacon est :

$$m \text{ (amoxicilline dans flacon)} = c_m \text{ (amoxicilline)} \cdot V_{\text{flacon}}$$

$$m \text{ (amoxicilline dans flacon)} = 50 \times 60 \times 10^{-3}$$

$$m \text{ (amoxicilline dans flacon)} = 3,0 \text{ g}$$

3. a. Le pourcentage massique d'amoxicilline est donc :

$$\frac{3,0}{31,3} \times 100 = 9,6 \%$$

b. Oui, la réponse à la question 1 est confirmée, cette poudre est bien un mélange puisque la masse d'amoxicilline ne représente que 9,6 % de la masse de ce médicament.

34 1. Ce déboucheur de canalisation est une solution, c'est donc un mélange et non pas un corps pur.

2. Le pourcentage noté sur l'étiquette signifie que 100 g de produit déboucheur contiennent 19,0 g d'hydroxyde de sodium.

3. La masse m de produit déboucheur contenu dans le flacon est :

$$m \text{ (produit dans flacon)} = c_m \text{ (produit)} \cdot V_{\text{flacon}}$$

$$m \text{ (produit dans flacon)} = 1,23 \times 750$$

$$m \text{ (produit dans flacon)} = 923 \text{ g}$$

4. La masse m d'hydroxyde de sodium dans le flacon est :

$$m \text{ (hydroxyde de sodium dans flacon)} = 19 \% \times m \text{ (produit dans flacon)}$$

$$m \text{ (hydroxyde de sodium dans flacon)} = \frac{19,0}{100} \times 923$$

$$m \text{ (hydroxyde de sodium dans flacon)} = 175,4 \text{ g}$$

5. La concentration en masse d'hydroxyde de sodium de ce produit est : $c_m = \frac{m}{V}$.

$$c_m = \frac{175,4}{750 \times 10^{-3}}$$

$$c_m = 234 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

35 1. a. La matière, donc la masse de soluté est conservée lors d'une dilution : $m_1 = m_3$.

On peut écrire : $c_{m1} \cdot V_1 = c_{m3} \cdot V_3$

$$\text{donc } V_1 = \frac{c_{m3} \cdot V_3}{c_{m1}},$$

$$V_1 = \frac{25,0 \times 50 \times 10^{-3}}{125}$$

$$V_1 = 0,010 \text{ L soit } V_1 = 10 \text{ mL.}$$

b. On prélève ce volume V_1 avec une pipette jaugée de 10 mL.

2. On procède de la même façon que pour la réponse 1 : la masse de soluté est conservée lors d'une dilution : $m_1 = m_4$.

On peut écrire : $c_{m1} \cdot V_1 = c_{m4} \cdot V_4$

$$\text{donc } c_{m4} = \frac{c_{m1} \cdot V_1}{V_4}, \quad c_{m4} = \frac{125 \times 10 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}}$$

$$c_{m4} = 12,5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

3. La coloration de la solution S_x inconnue se situe entre S_3 et S_4 , donc :

$$c_{m4} \leq c_{mx} \leq c_{m3}$$

$$\text{d'où : } 12,5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \leq c_{mx} \leq 25,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

36 1. La masse m de la solution est :

$$m = \rho \cdot V = 1,11 \times 500$$

$$m = 555 \text{ g}$$

2. Le volume 500 mL renferme une masse de peroxyde d'hydrogène égale à :

$$m \text{ (peroxyde)} = 33,0 \% \times m$$

$$m \text{ (peroxyde)} = \frac{33,0}{100} \times 555$$

$$m \text{ (peroxyde)} = 183 \text{ g}$$

3. La concentration en masse de peroxyde d'hydrogène de la solution est : $c_m = \frac{m_{\text{peroxyde}}}{V}$.

$$c_m = \frac{183}{500 \times 10^{-3}}$$

$$c_m = 366 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

4. a. La solution S_1 contient une masse de peroxyde d'hydrogène égale à :

$$m' \text{ (peroxyde)} = c'_m \cdot V_1$$

$$m' \text{ (peroxyde)} = 73,3 \times 100 \times 10^{-3}$$

$$m' \text{ (peroxyde)} = 7,33 \text{ g}$$

b. Le volume V_S qui contient la masse m' (peroxyde) de 7,33 g est :

$$V_S = \frac{m' \text{ peroxyde}}{c_m}$$

$$V_S = \frac{7,33}{366}$$

$$V_S = 2,00 \times 10^{-2} \text{ L soit } V_S = 20,0 \text{ mL.}$$

c. Protocole :

- Prélever 20,0 mL de la solution S avec une pipette jaugée de 20,0 mL.
- Verser ces 20,0 mL dans une fiole jaugée de 100 mL.
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, puis agiter pour homogénéiser.

37 1. Il s'agit d'une dilution.

2. La concentration en masse de la solution S_1 est :

$$c_{m1} = \frac{c_{m0}}{5}$$

$$c_{m1} = \frac{36}{5}$$

$$c_{m1} = 7,2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

3. La solution S_1 contiendra une masse de chlorure de sodium égale à :

$$m_1 = c_{m1} \cdot V_1$$

$$m_1 = 7,2 \times 100 \times 10^{-3}$$

$$m_1 = 0,72 \text{ g}$$

4. La masse de soluté est conservée lors d'une dilution : $m_0 = m_1$.

On peut écrire : $c_{m0} \cdot V_0 = c_{m1} \cdot V_1$

$$\text{donc } V_0 = \frac{c_{m1} \cdot V_1}{c_{m0}}$$

$$V_0 = \frac{7,2 \times 100 \times 10^{-3}}{36}$$

$$V_0 = 20 \times 10^{-3} \text{ L soit } V_0 = 20 \text{ mL.}$$

Pour préparer la solution S_1 , on prélève un volume de 20 mL de la solution S_0 .

5. Pour préparer la solution, on choisit :

- un bêcher pour contenir la solution-mère ;
- une pipette jaugée de 20 mL pour prélever la solution-mère ;
- une fiole jaugée de 100 mL pour préparer la solution-fille.

38 **1.** Une pièce de 20 centimes d'euro est un mélange homogène.

2. La masse m de chaque espèce chimique est calculée à partir de cette relation :

$$m = \text{pourcentage massique} \times m_{\text{pièce}}$$

$$m = \text{pourcentage massique} \times 5,74$$

Espèce chimique	Cuivre	Aluminium	Zinc	Étain
Pourcentage massique	89 %	5 %	5 %	1 %
Masse (en g)	$\frac{89}{100} \times 5,74 = 5,11$	$\frac{5}{100} \times 5,74 = 0,29$	$\frac{5}{100} \times 5,74 = 0,29$	$\frac{1}{100} \times 5,74 = 0,06$

3. a. On détermine le pourcentage massique d'un constituant en calculant :

$$\frac{m_{\text{constituant}}}{m_{\text{totale}}} \times 100$$

Espèce chimique	Cuivre	Aluminium	Zinc	Étain
Masse (en g)	6,94	0,39	0,39	0,08
Pourcentage massique	89 %	5 %	5 %	1 %

$$\frac{m_{\text{cuivre}}}{m_{\text{pièce}}} \times 100 = \frac{6,94}{6,94 + 0,39 + 0,39 + 0,08} = 89 \%$$

$$\frac{m_{\text{aluminium}}}{m_{\text{pièce}}} \times 100 = \frac{0,39}{6,94 + 0,39 + 0,039 + 0,08} = 5 \%$$

$$\frac{m_{\text{zinc}}}{m_{\text{pièce}}} \times 100 = \frac{0,39}{6,94 + 0,39 + 0,039 + 0,08} = 5 \%$$

$$\frac{m_{\text{étain}}}{m_{\text{pièce}}} \times 100 = \frac{0,08}{6,94 + 0,39 + 0,039 + 0,08} = 1 \%$$

b. La composition des pièces de 20 et 50 centimes d'euro est identique, elles sont constituées du même mélange de métaux.

39 **1.** Protocole expérimental :

- On prélève avec une pipette jaugée un volume V (en mL) de solution étalon S .
- On verse ce volume V de solution dans un bêcher placé sur une balance préalablement tarée.
- On note la masse qui s'affiche : $m = \dots$ g.
- On calcule ensuite la masse volumique ρ_S de la solution : $\rho_S = \frac{m}{V}$.
- (ρ_S est exprimée en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.)

2. a. La masse volumique ρ et la concentration en masse c_m sont exprimées ici dans la même unité, en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, mais :

- la masse volumique, en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, représente la masse en g d'un litre de solution ;
- la concentration en masse, en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, représente la masse de saccharose contenue dans un litre de solution.

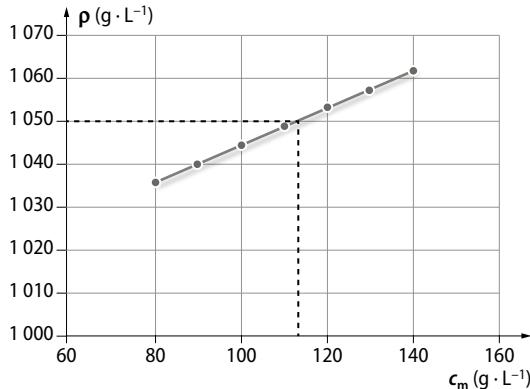
b. On convertit d'abord ρ_{jus} en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$:

$$\rho_{\text{jus}} = 1,050 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ donc } \rho_{\text{jus}} = 1,050 \times 10^3 = 1\ 050 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

On utilise la courbe d'étalonnage et on reporte la valeur $1\ 050 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ sur l'axe des ordonnées.

Sur la droite bleue, cette valeur arrive un peu après le quatrième point rouge.

Par lecture graphique, on trouve : $c_m = 112 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

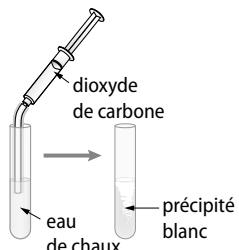


40 1. Le dioxyde de carbone (CO_2), l'eau (H_2O), le dioxygène (O_2) et le glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) sont des corps purs.

2. Les tests courants d'identification de CO_2 , H_2O et O_2 sont :

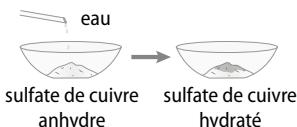
- CO_2

Le CO_2 trouble l'eau de chaux.



- H_2O

En présence d'eau, le sulfate de cuivre anhydre devient bleu.



- O_2

Le dioxygène ravive une allumette incandescente.



3. a. L'air qui est constitué de plusieurs constituants est un mélange.

b. Ce mélange est homogène : l'œil ne distingue pas ses constituants.

c. Sa composition volumique approximative est 80 % de diazote et 20 % de dioxygène.

4. On peut identifier un échantillon solide de glucose en mesurant sa température de fusion à l'aide d'un banc Kofler.

5. La masse volumique de l'eau est environ mille fois plus grande que celle de l'air.

41 ► Démarche avancée

Expériences :

- Placer au-dessus d'une flamme un verre sec et froid, les parois internes du verre se recouvrent de buée.

Identification de l'eau :

- Déposer du sulfat de cuivre anhydre (blanc) sur les parois du verre, il bleuit. La combustion du butane libère de l'eau.

Identification du dioxyde de carbone :

- Verser de l'eau de chaux dans le verre, elle se trouble. On observe un précipité blanc, la combustion du butane libère du dioxyde de carbone.

► Démarche élémentaire

1. Si on dépose du sulfat de cuivre anhydre (blanc) sur les parois du verre, il bleuit. On a identifié l'eau.

2. Si on verse de l'eau de chaux dans le verre, elle se trouble. On observe un précipité blanc. On a identifié le dioxyde de carbone.

42 ■ Animation

(→ disponible par l'application *Bordas Flashpage*, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Réalisation d'une dilution

1 : 22 p. 34

Cette animation permet de visualiser la préparation d'une solution par dilution.

Il sera utile de consulter la fiche pratique 10, p. 307 du livre élève.

EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

Principe de préparation d'une solution par dilution :

Préparer une **solution-fille diluée dix fois**, c'est ajouter de l'eau à une **solution-mère** jusqu'à ce que sa **concentration en masse** soit divisée par 10. Pour cela, il faut :

- prélever à l'aide d'une **pipette jaugée** un volume $V = 10 \text{ mL}$ de la solution-mère, le **soluté**, puis transvaser dans une **fiole** jaugée de 100 mL ;
- compléter avec de l'eau distillée, le **solvant**, jusqu'au **trait de jauge** ;
- boucher la fiole avec un bouchon et agiter pour homogénéiser l'ensemble.

43 Le changement de teinte de l'eau de ces bassins peut avoir différentes explications. L'une d'elles est la modification de la nature, du nombre et/ou de la concentration en masse des espèces chimiques qu'elle contient. Ces variations sont en partie dues à l'évaporation qui change selon les saisons et aux

apports d'eau de mer ou de pluie qui sont aussi irréguliers.

■ Acquérir des compétences ■ p. 35

44 > Le problème à résoudre

Après élution, le chromatogramme montre que l'échantillon déposé en S donne cinq taches, on peut en déduire que l'huile essentielle est composée de cinq espèces chimiques.

On observe pour l'échantillon S une tache dont la hauteur est la même que celle de l'échantillon L de limonène pur, et une tache dont la hauteur est la même que celle de l'échantillon Ci de citral pur. On en déduit que l'huile essentielle S contient du limonène et du citral.

Cela peut être confirmé en calculant à partir du chromatogramme le rapport frontal R de chaque espèce chimique :

$$R = \frac{h}{H}$$

Pour le limonène, $R = \frac{34}{37} = 0,9$.

Pour le citral, $R = \frac{16}{37} = 0,4$.

Ces valeurs sont concordantes avec celles données dans le tableau du **document 3**.

45 Protocole expérimental :

- Piler chacun des deux comprimés séparément et mesurer sa température de fusion à l'aide du banc Kofler.
- Comparer ensuite les résultats avec les valeurs de référence, données dans les tables pour déterminer quelle est l'espèce chimique contenue dans le comprimé inconnu.

46 La solution de Lugol diluée a une teinte comprise entre celles des solutions S_2 et S_3 , donc on cherche à déterminer les concentrations en masse de ces solutions.

La masse de soluté est conservée lors d'une dilution : $m_0 = m_2$ et $m_0 = m_3$.

On peut écrire :

$$c_{m0} \cdot V_0 = c_{m2} \cdot V_2 \text{ donc } c_{m2} = \frac{c_{m0} \cdot V_0}{V_2}$$

$$c_{m2} = \frac{1,27 \times 5,0 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}}$$

$$c_{m2} = 0,064 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

On procède de la même façon pour la solution S_3 :

$$c_{m0} \cdot V_0 = c_{m3} \cdot V_3$$

$$c_{m3} = \frac{c_{m0} \cdot V_0}{V_3}$$

$$c_{m3} = \frac{1,27 \times 10,0 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}}$$

$$c_{m3} = 0,127 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c_{m2} \leq c_m \text{ diluée} \leq c_{m3}$$

$$0,064 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \leq c_m \text{ diluée} \leq 0,127 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

Cette solution de Lugol a été obtenue par dilution au centième (par 100), donc :

$$c_m \text{ Lugol} = 100 \times c_m \text{ diluée} \text{ d'où :}$$

$$6,4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \leq c_m \text{ Lugol} \leq 12,7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

47 Protocole expérimental 1 :

1. a. Ce protocole permet seulement une estimation de la concentration maximale du chlorure de sodium car le volume de la solution obtenue est supérieur à 100,0 mL.

b. Voici une estimation de la concentration maximale du chlorure de sodium :

$$c_{m \max} = \frac{m}{V}$$

$$c_{m \max} = \frac{37,0}{100 \times 10^{-3}} \text{ soit } c_{m \max} = 370 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Protocole expérimental 2 :

2. a. La masse m de sel qui a cristallisé dans le bêcher est :

$$m = 61,0 - 42,6 = 18,4 \text{ g}$$

b. Cette masse de sel était dissoute dans un volume de 50,0 mL de la solution S.

c. La concentration maximale du chlorure de sodium dans l'eau est :

$$c_{m \max} = \frac{m}{V}$$

$$c_{m \max} = \frac{18,4}{50 \times 10^{-3}} \text{ soit } c_{m \max} = 368 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

3. Le protocole expérimental 2 donne le résultat le plus précis car aucune approximation n'a été faite contrairement au protocole expérimental 1 dans lequel on n'a pas tenu compte du volume de chlorure de sodium qui s'est dissout dans l'eau.

Description microscopique de la matière

LE PROGRAMME

• 1. Constitution de la matière de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique

L'objectif de cette partie est d'aborder les deux échelles de description de la matière qui vont rendre compte de ses propriétés physiques et chimiques. Les concepts d'espèce et d'entité chimique introduits au collège sont ainsi enrichis. [...]

Au niveau atomique, la description des entités chimiques est complétée par les ordres de grandeur de taille et de masse de l'atome et du noyau et par le modèle du cortège électronique pour les trois premières lignes de la classification périodique. [...]

Le changement d'échelle entre les niveaux macroscopique et microscopique conduit à une première approche de la quantité de matière (en moles) dans un échantillon de matière en utilisant la définition de la mole, une mole contenant exactement $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ entités élémentaires.

Notions abordées au collège (cycle 4)

[...] Échelle microscopique : molécules, atomes et ions, constituants de l'atome (noyau et électrons) et du noyau (neutrons et protons) [...].

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Du macroscopique au microscopique, de l'espèce chimique à l'entité. Entités chimiques : molécules, atomes, ions.	Définir une espèce chimique comme une collection d'un nombre très élevé d'entités identiques.
Le noyau de l'atome, siège de sa masse et de son identité. Numéro atomique, nombre de masse, écriture conventionnelle : ${}_Z^AX$ ou AX . Élément chimique. Masse et charge électrique d'un électron, d'un proton et d'un neutron, charge électrique élémentaire, neutralité de l'atome.	Citer l'ordre de grandeur de la valeur de la taille d'un atome. Comparer la taille et la masse d'un atome et de son noyau. Établir l'écriture conventionnelle d'un noyau à partir de sa composition et inversement. Capacités mathématiques : effectuer le quotient de deux grandeurs pour les comparer. Utiliser les opérations sur les puissances de 10. Exprimer les valeurs des grandeurs en écriture scientifique.
Le cortège électronique de l'atome définit ses propriétés chimiques. Configuration électronique (1s, 2s, 2p, 3s, 3p) d'un atome à l'état fondamental et position dans le tableau périodique (blocs s et p). Électrons de valence. Familles chimiques.	Déterminer la position de l'élément dans le tableau périodique à partir de la donnée de la configuration électronique de l'atome à l'état fondamental. Déterminer les électrons de valence d'un atome ($Z \leq 18$) à partir de sa configuration électronique à l'état fondamental ou de sa position dans le tableau périodique. Associer la notion de famille chimique à l'existence de propriétés communes et identifier la famille des gaz nobles.
Compter les entités dans un échantillon de matière. Nombre d'entités dans un échantillon. Définition de la mole. Quantité de matière dans un échantillon.	Déterminer le nombre d'entités et la quantité de matière (en mol) d'une espèce dans une masse d'échantillon.

• 2. Modélisation des transformations de la matière et transfert d'énergie

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Isotopes	Identifier des isotopes.

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

p. 38

SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier un acquis du cycle 4 à savoir la connaissance des constituants de l'atome (noyau et électrons) et du noyau (neutrons et protons).

➤ Exemple de réponse attendue

Les trois types de constituants de l'atome sont :

- les protons et les neutrons, les deux situés dans le noyau ;
- les électrons situés dans le cortège électronique, autour du noyau.

➤ En classe de 2^{de}

La description de l'atome vue au collège est complétée par les ordres de grandeur des tailles de l'atome et du noyau.

L'**activité 1**, outre l'aspect historique de l'évolution du modèle de l'atome, permet d'appréhender cette notion importante. On exploitera la capacité mathématique qui consiste à effectuer le quotient de deux grandeurs pour les comparer.

L'**activité 4** abordera la notion de quantité de matière et la définition de la mole.

SITUATION 2

Cette situation permet de vérifier que les élèves savent que l'atome est électriquement neutre, un autre acquis du cycle 4.

➤ Exemple de réponse attendue

Dans un atome, puisque le nombre Z de protons est égal au nombre d'électrons, la charge négative des électrons est contrebalancée par la charge positive des protons du noyau. L'atome est donc électriquement neutre.

➤ En classe de 2^{de}

La neutralité de l'atome sera exploitée lors de l'écriture conventionnelle de son noyau et de la description de son cortège électronique.

L'**activité 2** montre comment la configuration électronique permet de déterminer la position d'un élément chimique dans le tableau périodique.

La notion de famille chimique est abordée dans l'**activité 3**.

SITUATION 3

Dans cette dernière situation, il s'agit de vérifier encore un acquis du cycle 4, à savoir que le noyau concentre la quasi-totalité de la masse de l'atome.

➤ Exemple de réponse attendue

C'est le schéma A qui illustrerait le mieux la situation car les électrons ont une masse négligeable par rapport à celle des nucléons ; on dit que le noyau concentre la masse de l'atome.

➤ En classe de 2^{de}

Les notions vues au collège sont complétées également par les ordres de grandeur des masses respectives de l'atome et de son noyau. On utilisera l'écriture scientifique pour exprimer les valeurs de ces grandeurs.

ACTIVITÉS

p. 40 ■ ACTIVITÉ 1

L'atome au fil du temps Classe inversée

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► L'atome

p. 40

Cette animation permet de décrire l'atome et son évolution à travers les âges.

➤ Exploitation et analyse

1 Les cinq dates clés de l'élaboration du modèle de l'atome sont :

- 4^e siècle av. J.-C., Démocrite prédit l'existence de l'atome ;
- 1897, Thomson découvre l'électron ;
- 1909, Rutherford met en évidence le noyau de l'atome ;
- 1913, Bohr propose le modèle planétaire de l'atome dans lequel les électrons gravitent autour du noyau ;
- 1926, Schrödinger propose le modèle quantique : les électrons se trouvent dans le nuage électronique, mais le concept de trajectoire est abandonné.

2 Le noyau doit être très petit par rapport à la taille de l'atome puisqu'en traversant une feuille d'or faite d'atomes, la quasi-totalité des particules alpha traverse ces atomes sans rencontrer le noyau.

Le noyau n'occupe donc qu'une très petite partie du volume d'un atome : on peut affirmer que l'atome est presque exclusivement constitué de vide (on parle de structure lacunaire de la matière).

➤ Synthèse

3 La matière est composée d'atomes. Un atome est constitué d'un noyau de charge électrique positive, entouré d'électrons, de charge électrique négative.

La charge électrique du noyau est la même que celle des électrons en valeur mais de signe opposé. L'atome est donc électriquement neutre.

Le diamètre d'un noyau est cent mille fois plus petit que celui de l'atome.

p. 41 ■ ACTIVITÉ 2

Le germanium dans le tableau périodique Démarche d'investigation

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Tableau périodique des éléments ■ p. 41

Cette animation permet de repérer la position des éléments chimiques dans le tableau périodique et d'obtenir la configuration électronique des atomes à l'état fondamental.

➤ Pistes de résolution

1 La configuration électronique du silicium est : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ (ou Ne $3s^2 3p^2$)

La configuration électronique du germanium est : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$ (ou Ar $3d^{10} 4s^2 4p^2$)

2 En comparant les configurations électroniques, on constate que leur couche électronique externe (la troisième couche $3s^2 3p^2$ pour le silicium et la quatrième couche pour le germanium $4s^2 4p^2$) contient le même nombre d'électrons ($4 = 2 + 2$). On dit qu'ils ont quatre électrons de valence.

➤ Conclusion

3 L'hypothèse émise est : le germanium et le silicium sont situés dans la même colonne du tableau périodique.

Ces deux éléments chimiques sont en effet situés dans la même colonne du tableau périodique comme le montre le document 1.

4 L'autre argument utilisé par Mendeleïev est : silicium et germanium ont des propriétés similaires. Ils sont tous les deux semi-métalliques, semi-conducteurs, de même structure cristalline, et utilisés dans la composition des verres. Ils appartiennent bien à la même famille.

p. 42 ■ ACTIVITÉ 3

Les halogènes TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Dans cette activité expérimentale, on mettra l'accent sur les consignes de sécurité à respecter.

➤ Expériences et analyse

2 Les pictogrammes de sécurité présents sur le flacon de cyclohexane montrent qu'il est inflammable, irritant, nocif et dangereux pour l'environnement, donc il faut manipuler sous la hotte.

3 Expérience 1

a. Avant agitation, il y a deux phases dans chaque tube.

La phase supérieure, le cyclohexane, est incolore. La phase inférieure est constituée des solutions aqueuses colorées respectivement en jaune très pâle, jaune et orange.

Les deux liquides mélangés ne sont donc pas miscibles.

b. Après agitation, il y a deux phases.

La couleur de chacune des phases supérieures est respectivement jaune pâle, orange et violet.

Les dihalogènes (dichlore, dibrome, diiode) sont plus solubles dans le cyclohexane que dans l'eau.

4 Expérience 2

À la fin de l'expérience 2, on observe la formation d'un précipité dans chaque tube.

➤ Conclusion

5 Les trois atomes de chlore, de brome et d'iode ont deux propriétés chimiques semblables :

- sous forme de molécules diatomiques, ils sont plus solubles dans le cyclohexane que dans l'eau ;
- sous forme d'ions, ils réagissent avec les ions argent pour donner un précipité.

Leur configuration électronique se termine de la même façon ($s^2 p^5$) : Cl, Br et I possèdent le même nombre d'électrons sur leur couche la plus externe, soit 7 électrons de valence. Ils appartiennent bien à la même famille chimique : celle des halogènes.

La mole, unité de quantité de matière Démarches différencierées

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité s'intéresse à la nouvelle définition de la mole, entrée en vigueur en mai 2019.

➤ Démarche experte

La mole était définie à partir d'une mesure de la masse d'un échantillon de carbone, une incertitude sur cette masse impliquait aussi une incertitude sur la mole. La référence à la masse ayant disparu de la nouvelle définition de la mole, il n'était pas obligatoire de modifier la définition du kilogramme pour bénéficier de cette amélioration.

➤ Démarche avancée

1. Jusqu'en 2018, la mole était définie à partir d'une mesure de la masse d'un échantillon de carbone.

2. La mesure de masse entachée d'incertitude se répercutait sur la précision de la mole.

La référence à la masse a disparu de la nouvelle définition de la mole, qui précise maintenant le nombre exact d'entités chimiques dans une mole.

➤ Démarche élémentaire

1. Les cylindres de référence subissent des variations de masse au cours du temps, ceci engendrait une incertitude sur la valeur du kilogramme.

2. Comme la mole était définie à partir d'une mesure de la masse d'un échantillon de carbone, une incertitude sur la masse impliquait aussi une incertitude sur la mole.

3. La référence à la masse a disparu de la nouvelle définition de la mole, qui précise maintenant le nombre exact d'entités chimiques dans une mole.

EXERCICES

■ Vérifier l'essentiel ■ p. 48

- | | | |
|-----------|-----------|-------|
| 1 A et B. | 2 A et C. | 3 A. |
| 4 A. | 5 A et C. | 6 B. |
| 7 C. | 8 A et C. | 9 C. |
| 10 B. | 11 B. | 12 B. |

■ Acquérir les notions

➤ Le noyau de l'atome ■ p. 49

13 On sait que dans l'écriture ${}^A_Z X$, A est le nombre de nucléons et Z le nombre de protons, égal aussi au nombre d'électrons.

■ Platine :

78 électrons, donc on a 78 protons, d'où ${}^{195}_{78}\text{Pt}$.
195 nucléons - 78 protons = 117 neutrons

■ Cuivre :

29 électrons, donc on a 29 protons.
29 protons + 34 neutrons = 63 nucléons, d'où ${}^{63}_{29}\text{Cu}$.

■ Or :

${}^{197}_{79}\text{Au}$
On a 197 nucléons et 79 protons.
197 nucléons - 79 protons = 118 neutrons
79 protons, c'est aussi 79 électrons.

■ Argent :

47 électrons, donc on a 47 protons, d'où ${}^{108}_{47}\text{Ag}$.
108 nucléons - 47 protons = 61 neutrons

		Atome			
		Platine Pt	Cuivre Cu	Or Au	Argent Ag
Symbole du noyau		${}^{195}_{78}\text{Pt}$	${}^{63}_{29}\text{Cu}$	${}^{197}_{79}\text{Au}$	${}^{108}_{47}\text{Ag}$
Nombre	électrons	78	29	79	47
	protons	78	29	79	47
	neutrons	117	34	118	61
	nucléons	195	63	197	108

14 1. L'atome de soufre possède 16 électrons.

2. Son noyau est constitué de 16 protons et 16 neutrons.

3. L'ordre de grandeur de cet atome est 10^{-10} m .

15 1. Le quotient de ces deux diamètres est :

$$\frac{100}{1 \times 10^{-3}} = 1 \times 10^5$$

2. Le diamètre approximatif du noyau est :

$$D_{\text{nøyau}} = \frac{D_{\text{atome}}}{\text{quotient}}$$

$$D_{\text{nøyau}} = \frac{1 \times 10^{-10}}{1 \times 10^5}$$

$$D_{\text{nøyau}} = 1 \times 10^{-15} \text{ m}$$

3. L'atome est constitué, en grande partie, de vide.

16 1. Le symbole du noyau d'uranium est ${}^{235}_{92}\text{U}$, donc :

- 235 est le nombre de nucléons A , c'est-à-dire le nombre de protons et de neutrons ;
- 92 est le numéro atomique Z , c'est-à-dire le nombre de protons.

$235 - 92 = 143$, le nombre de neutrons est 143.

Le noyau d'uranium est donc composé de 92 protons et 143 neutrons.

2. a. La masse du noyau est égale à la masse de ses nucléons :

$$m_{\text{noyau}} = 235 \times m_{\text{nu}}$$

$$m_{\text{noyau}} = 235 \times 1,67 \times 10^{-27}$$

$$m_{\text{noyau}} = 3,92 \times 10^{-25} \text{ kg}$$

b. La masse de l'atome correspondant est égale à la masse du noyau et des électrons.

Comme l'atome est électriquement neutre, on a :
nombre d'électrons = nombre de protons

Donc, il y a 92 électrons.

On peut écrire :

$$m_{\text{atome}} = 235 \times m_{\text{nu}} + 92 \times m_e$$

$$m_{\text{atome}} = 235 \times 1,67 \times 10^{-27} + 92 \times 9,11 \times 10^{-31}$$

$$m_{\text{atome}} = 3,92 \times 10^{-25} + 8,38 \times 10^{-25} \times 10^{-25}$$

$$m_{\text{atome}} = 3,92 \times 10^{-25} + 0,000838 \times 10^{-25}$$

$$m_{\text{atome}} = (3,92 + 0,000838) \times 10^{-25}$$

$$m_{\text{atome}} = 3,92 \times 10^{-25} \text{ kg}$$

3. Relativement au nombre de chiffres significatifs choisi, les deux masses trouvées m_{noyau} et m_{atome} sont égales. La masse des électrons du cortège électronique est donc négligeable par rapport à la masse du noyau.

17 **1.** Des isotopes sont des atomes ou des ions qui ont le même nombre d'électrons et de protons, mais des nombres de neutrons différents.

2. a. Il existe trois isotopes de l'atome d'oxygène.

b. La composition du noyau est :

- pour l'isotope ^{16}O , 8 protons et 8 neutrons ;
- pour l'isotope ^{17}O , 8 protons et 9 neutrons ;
- pour l'isotope ^{18}O , 8 protons et 10 neutrons.

3. a. Il existe deux isotopes de l'atome de chlore.

b. La composition du noyau est :

- pour l'isotope ^{35}Cl , 17 protons et 18 neutrons ;
- pour l'isotope ^{37}Cl , 17 protons et 20 neutrons.

18 Le phosphore 32 est communément utilisé comme traceur isotopique.

Le numéro atomique du phosphore est 15.

1. Donner le nombre de constituants de cet atome.

2. Que signifie « isotopes » ?

3. Écrire le symbole d'un isotope qui possède 16 neutrons.

Corrigé :

1. L'atome de phosphore 32 est composé de 15 électrons, 15 protons et 17 neutrons.
($32 - 15 = 17$).

2. Des isotopes sont des atomes de même numéro atomique A , mais qui diffèrent par leur nombre de neutrons $N = A - Z$.

3. Le symbole d'un isotope qui possède 16 neutrons s'écrit : $^{31}_{15}\text{P}$.

► Le cortège électronique

► p. 50

19 La première configuration est impossible car la sous-couche 2s doit contenir 2 électrons.

La deuxième configuration est impossible car la sous-couche 2p doit être remplie (jusqu'à 6 électrons) avant la sous-couche 3s.

La troisième configuration est vraie.

20 **1.** Le symbole du noyau d'oxygène est ^{16}O , donc :

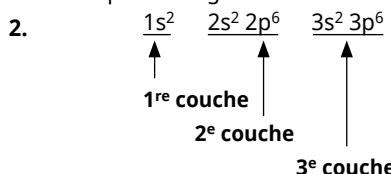
- 16 est le nombre de nucléons A , c'est-à-dire le nombre de protons et de neutrons ;
- 8 est le numéro atomique Z , c'est-à-dire le nombre de protons.

Comme le nombre d'électrons est égal au nombre de protons, donc cet atome possède 8 électrons.

Par ailleurs, d'après l'énoncé, on sait que la configuration de l'atome d'oxygène est $1s^2 2s^2 2p^4$, on peut en déduire le nombre d'électrons (c'est la somme des exposants) : $2 + 2 + 4 = 8$.

2. Oui, la couche 1 est complète avec deux électrons.

21 **1.** Les notations $1s$, $2s$, $2p\dots$ correspondent aux sous-couches électroniques de la configuration électronique de l'argon.



2 électrons sont présents sur la première couche.
8 électrons sont présents sur la deuxième couche, de même pour la troisième couche.

3. Cet atome possède au total 18 électrons ($2 + 8 + 8$).

22 **1.** Le symbole du noyau d'hélium est ^4_2He , donc :

- 4 est le nombre de nucléons A , c'est-à-dire le nombre de protons et de neutrons ;
- 2 est le numéro atomique Z , c'est-à-dire le nombre de protons.

Comme le nombre d'électrons est égal au nombre de protons, donc cet atome possède 2 électrons.

2. Sa configuration électronique à l'état fondamental est $1s^2$.

► Le tableau périodique

► p. 50

23 **1.** Les électrons de valence sont les électrons de la couche la plus externe de l'élément chimique. La configuration électronique du néon est :

$$1s^2 2s^2 2p^6$$

donc le néon possède 8 électrons de valence.

2. La famille des gaz nobles est située dans la dernière colonne du tableau périodique.

3. On peut citer l'hélium He et l'argon Ar.

24 En consultant le tableau périodique en rabat VI, on peut compléter ce tableau :

Famille	Colonne	Nombre d'électrons sur la couche externe
Alcalino-terreux	deuxième	2
Gaz nobles	dernière	2 ou 8
Halogènes	avant-dernière	7
Alcalins	première	1

25 **1.** La dernière colonne du tableau périodique constitue la famille des gaz nobles dont le nombre des électrons de valence est le même (au nombre de 8) sauf pour l'hélium (au nombre de 2). Donc on peut compléter la case bleue vide avec l'atome ${}_{18}\text{Ar}$ qui a pour configuration électronique $1s^2 2s^2 2p^6 \underline{3s^2} 3p^6$ et se situe sous ${}_{10}\text{Ne}$.

2. L'argon Ar appartient à la famille des gaz nobles.

26 **1.** On appelle *famille chimique* tous les éléments chimiques situés dans une même colonne du tableau périodique.

2. Tous les éléments d'une même colonne ont des propriétés chimiques analogues.

3. Le point commun est le même nombre d'électrons sur leur couche électronique externe.

4. Lorsque leur numéro atomique augmente, le nombre d'électrons externes ne change pas, mais ces électrons sont situés sur une couche d'ordre supérieur.

➤ Compter les entités chimiques

■ p. 51

27 **1.** La relation entre N , n et N_A est :

$$N = n \cdot N_A$$

avec n en mol et N_A en mol^{-1} .

$$\mathbf{2.} \quad N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Échantillon	N	n
1	$1,5 \times 10^{21}$	2,5 mmol
2	$1,20 \times 10^{22}$	$2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$
3	$1,3 \times 10^{21}$	$2,1 \times 10^{-3} \text{ mol}$
4	$2,41 \times 10^{24}$	$4,0 \text{ mol}$

28 **1.** D'après le cours, on sait qu'un échantillon de masse $m_{\text{éch.}}$ contient un nombre N d'atomes égal à :

$$N = \frac{m_{\text{éch.}}}{m_{\text{atome}}}$$

La masse de l'échantillon de carbone est $m_{\text{éch.}} = 6 \text{ g}$. Il faut convertir la masse en kg : $m_{\text{éch.}} = 6,0 \times 10^{-3} \text{ kg}$. La masse d'un atome de carbone est

$$m_{\text{atome}} = 2,0 \times 10^{-26} \text{ kg}, \text{ donc :}$$

$$N = \frac{6,0 \times 10^{-3}}{2,0 \times 10^{-26}}$$

$$N = 3,0 \times 10^{23}$$

Cet échantillon contient $N = 3,0 \times 10^{23}$ atomes de carbone.

2. D'après le cours, on sait que la quantité de matière n , exprimée en mol, est :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

avec N le nombre d'entités chimiques et N_A la constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

$$n = \frac{3,0 \times 10^{23}}{6,02 \times 10^{23}}$$

$$n = 0,5 \text{ mol}$$

$3,0 \times 10^{23}$ atomes de carbone représentent une quantité de matière égale à 0,5 mol.

29 **1.** Cet échantillon de fer contient :

$$N = n \cdot N_A$$

$$N = 2,5 \times 6,02 \times 10^{23}$$

$$N = 1,5 \times 10^{24} \text{ atomes de fer}$$

2. La masse d'un atome de fer est :

$$m_{\text{atome}} = \frac{m_{\text{éch.}}}{N}$$

$$m_{\text{atome}} = \frac{140}{1,5 \times 10^{24}}$$

$$m_{\text{atome}} = 9,3 \times 10^{-23} \text{ g}$$

30 **1.** Pour respecter la neutralité de la matière, il y a autant d'ions sodium que d'ions chlorure, soit 24×10^{23} ions.

2. La quantité de matière n d'ions chlorure, présente dans l'échantillon est :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{24 \times 10^{23}}{6,02 \times 10^{23}}$$

$$n = 4,0 \text{ mol}$$

3. La masse m des ions chlorure dans l'échantillon est :

$$m = N \cdot m_{\text{ion}}$$

$$m = 24 \times 10^{23} \times 6,2 \times 10^{-26}$$

$$m = 1,5 \times 10^{-1} \text{ g}$$

Exercices similaires aux exercices résolus

■ p. 52 et 53

32 **1.** Le numéro atomique Z est aussi le nombre de protons (= nombre d'électrons).

$Z = 7$ donc l'azote possède 7 électrons.

La masse m du cortège électronique est la masse des 7 électrons, donc :

$$m = 7 \times m_e$$

$$m = 7 \times 9,11 \times 10^{-31}$$

$$m = 6,38 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

2. La masse m' du noyau de l'atome d'azote est égale à la masse de ses nucléons.

L'atome d'azote a 7 neutrons et 7 protons (puisque $Z = 7$), donc 14 nucléons :

$$m' = 14 \times m_{\text{nu}}$$

$$m' = 14 \times 1,67 \times 10^{-27}$$

$$m' = 2,34 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

3. La masse de l'atome d'azote est la somme de m et m' :

$$m_{\text{atome}} = 2,34 \times 10^{-26} + 6,38 \times 10^{-30}$$

$$m_{\text{atome}} = 2,34 \times 10^{-26} + 6,38 \times 10^{-4} \times 10^{-26}$$

$$m_{\text{atome}} = 2,34 \times 10^{-26} + 0,000638 \times 10^{-26}$$

$$m_{\text{atome}} = (2,34 + 0,000638) \times 10^{-26}$$

$$m_{\text{atome}} = 2,34 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

$m_{\text{atome}} = m'$ donc la masse de l'atome est égale à la masse du noyau.

On peut conclure que la masse des électrons du cortège électronique est négligeable par rapport à la masse du noyau.

33 **1.** Le symbole d'un noyau X est ${}^A_Z X$:

- A est le nombre de nucléons, c'est-à-dire le nombre de protons et de neutrons ;
- Z est le numéro atomique, c'est-à-dire le nombre de protons.

Le noyau de béryllium contient :

- 4 protons, donc $Z = 4$;

- 4 protons et 5 neutrons, donc $A = 4 + 5 = 9$ nucléons.

Le symbole du beryllium est ${}^9_4 \text{Be}$.

2. Comme la masse de l'atome est concentrée dans son noyau, la masse de l'atome de beryllium est :

$$m_{\text{atome}} = 9 \times m_{\text{nu}}$$

$$m_{\text{atome}} = 9 \times 1,67 \times 10^{-27}$$

$$m_{\text{atome}} = 1,50 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

3. a. La masse de tous les électrons est :

$$m_{\text{électrons}} = 4 \times m_e$$

$$m_{\text{électrons}} = 4 \times 9,11 \times 10^{-31}$$

$$m_{\text{électrons}} = 3,64 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

$$\mathbf{b.} m_{\text{électrons}} = 0,000364 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

et $m_{\text{atome}} = 1,50 \times 10^{-26} \text{ kg}$,

$m_{\text{électrons}} < m_{\text{atome}}$ donc la masse des électrons est négligeable par rapport à celle du noyau.

La masse du noyau de beryllium est :

$$m_{\text{noyau}} = 1,50 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

35 **1.** Les éléments chimiques sont classés par numéro atomique Z croissant (Z est le nombre de protons, c'est aussi le nombre d'électrons).

- Dans une même colonne, les éléments chimiques ont le même nombre d'électrons sur la couche la plus externe, ici **1** électron sur la couche 1s pour H, **1** électron sur la couche 2s pour Li, **1** électron sur la couche 3s pour Na.

- Au niveau d'une même ligne, une même couche d'électrons se complète de gauche à droite.

Le sodium Na est situé juste avant le magnésium Mg, donc la configuration électronique de Na ne peut être que $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$.

H 1s ¹		
Li 1s ² 2s ¹	Be ?	
Na 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ¹		Mg 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ²

2. L'autre élément qui doit faire partie de la même famille chimique que le sodium est le lithium Li car il est situé dans la même colonne.

3. Le beryllium comporte 2 électrons de valence car il se trouve dans la même colonne que le magnésium.

(Les électrons de valence sont les électrons de la couche la plus externe.)

Croiser les notions

p. 54

36 **1.** Le soufre qui se trouve deux colonnes avant les gaz nobles possède 6 électrons de valence.

2. Les symboles des isotopes stables sont :

${}^{32}_{16} \text{S}$, ${}^{33}_{16} \text{S}$, ${}^{34}_{16} \text{S}$ et ${}^{36}_{16} \text{S}$.

3. Ces isotopes ne possèdent pas le même nombre de neutrons, ils en possèdent respectivement 16, 17, 18 et 20.

37 **1.** Le nombre de masse $A = 23$ est le nombre de nucléons, c'est-à-dire le nombre de protons et de neutrons.

$N = 12$ neutrons, donc le nombre de protons est $23 - 12 = 11$.

Le noyau de sodium est composé de 11 protons et 12 neutrons.

2. a. Des isotopes sont des atomes de même numéro atomique Z mais qui diffèrent par leur nombre de neutrons.

b. Le noyau isotope qui possède 24 nucléons a un neutron de plus.

3. La configuration électronique du Na est

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$: possédant un seul électron sur sa couche externe, le sodium est situé dans la première colonne du tableau périodique.

4. Ces atomes ont des propriétés chimiques analogues.

5. D'après le cours, on sait que la quantité de matière n , exprimée en mol, est :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

avec N le nombre d'entités chimiques et N_A la constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

On cherche le nombre d'atomes N et on connaît $n = 225 \text{ mmol} = 225 \times 10^{-3} \text{ mol}$, donc :

$$N = n \cdot N_A$$

$$N = 225 \times 10^{-3} \times 6,02 \times 10^{23}$$

$$N = 1,35 \times 10^{23}$$

Il y a $1,35 \times 10^{23}$ atomes de sodium dans 225 mmol de sodium.

6. D'après le cours, on sait qu'un échantillon de masse $m_{\text{éch.}}$ contient un nombre N d'atomes égal à :

$$N = \frac{m_{\text{éch.}}}{m_{\text{atome}}}$$

Donc : $m_{\text{éch.}} = N \cdot m_{\text{atome}}$.

La masse de l'atome $m_{\text{Na}} = 1,84 \times 10^{-26} \text{ kg}$ et $N = 1,35 \times 10^{23}$ atomes.

$$m_{\text{Na}} = 1,35 \times 10^{23} \times 1,84 \times 10^{-26}$$

$$m_{\text{Na}} = 2,48 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{\text{Na}} = 2,48 \text{ g}$$

$1,35 \times 10^{23}$ atomes de sodium représentent une masse de 2,48 g de sodium.

38 **1.** Le nombre Z de protons qui composent ce noyau est : $Z = \frac{q}{e}$.

q est la charge électrique du noyau d'un atome de fluor : $q = 1,44 \times 10^{-18} \text{ C}$.

e est la charge élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$.

$$Z = \frac{1,44 \times 10^{-18}}{1,60 \times 10^{-19}}$$

$$Z = 9$$

2. Le nombre d'électrons est 9 pour respecter la neutralité électrique de l'atome.

3. Le nombre de neutrons N est : $N = A - Z$.

Le symbole du fluor est ${}^{19}\text{F}$ donc $N = 19 - 9 = 10$.

4. a. La masse m de l'atome de fluor est :

$$m = 19 \times m_{\text{nuc.}} + 9 \times m_e$$

$$m = 19 \times 1,67 \times 10^{-27} + 9 \times 9,11 \times 10^{-31}$$

$$m = 3,17 \times 10^{-26} + 81,99 \times 10^{-31}$$

$$m = 3,17 \times 10^{-26} + 0,0008199 \times 10^{-26}$$

$$m = (3,17 + 0,00082) \times 10^{-26}$$

$$m = 3,17 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

b. On peut négliger la masse des électrons par rapport à celle des nucléons.

39 **1.** L'atome de calcium ${}^{40}\text{Ca}$ est composé de 20 électrons, 20 protons et 20 neutrons.

2. La masse m de l'atome de calcium est :

$$m = 40 \times m_{\text{nuc.}} + 20 \times m_e$$

$$m = 40 \times 1,67 \times 10^{-27} + 20 \times 9,11 \times 10^{-31}$$

$$m = 6,68 \times 10^{-26} + 182,2 \times 10^{-31}$$

$$m = 6,68 \times 10^{-26} + 0,0018 \times 10^{-26}$$

$$m = (6,68 + 0,0018) \times 10^{-26}$$

$$m = 6,68 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

La masse m' du noyau de calcium est :

$$m' = 40 \times m_{\text{nuc.}}$$

$$m' = 40 \times 1,67 \times 10^{-27}$$

$$m' = 6,68 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

La masse des électrons est négligeable par rapport à celle du noyau.

3. Le noyau de l'isotope 2 a le symbole ${}^{42}_{20}\text{Ca}$, le noyau de l'isotope 3, ${}^{43}_{20}\text{Ca}$ et le noyau de l'isotope 4, ${}^{44}_{20}\text{Ca}$.

40 On considère la configuration électronique de l'atome de beryllium et de l'atome de magnésium :

$$\text{Be } 1s^2 2s^2$$

$$\text{Mg } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$$

1. Quel est le numéro atomique de ces atomes ?

2. Combien de protons les noyaux de ces atomes contiennent-ils ?

3. Remarquez-vous une différence quant au nombre d'électrons sur la couche externe de ces atomes ?

4. Où ces atomes sont-ils situés dans le tableau périodique ?

5. Comment appelle-t-on les éléments d'une même colonne ?

Corrigé :

1. Le numéro atomique Z est le nombre de protons, c'est aussi le nombre d'électrons.

À partir de la configuration électronique, on peut déduire le nombre d'électrons, donc :

- pour Be, $Z = 2 + 2 = 4$;

- pour Mg, $Z = 2 + 2 + 6 + 2 = 12$.

2. Le noyau de Be contient 4 protons et le noyau de Mg, 12 protons.

3. Le nombre d'électrons de la couche externe des deux atomes est le même : 2 électrons.

4. Ces atomes sont situés dans la deuxième colonne du tableau périodique.

5. Les éléments d'une même colonne constituent une famille d'éléments.

41 **1.** C'est le numéro atomique Z qui caractérise un élément chimique.

2. Les éléments cités sont l'iode I, le brome Br, le tungstène W et le néon Ne.

3. La configuration électronique du Ne est $1s^2 2s^2 2p^6$, il possède donc 8 électrons de valence.

4. Le néon appartient à la famille des gaz nobles car il possède 8 électrons sur sa couche externe.

5. Le noyau de néon est composé de 10 protons et 10 neutrons.

6. Les trois noyaux W sont isotopes car ils possèdent le même numéro atomique mais des nombres de nucléons différents.

42 1. a. L'élément Mg est situé sur la troisième ligne et dans la 2^e colonne du tableau périodique, donc la couche électronique externe porte le numéro 3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H hydrogène												B bore	C carbone	N azote	O oxygène	F fluor	He hélium
2	Li lithium	Be béryllium											Al aluminium	Si silicium	P phosphore	S soufre	Cl chlore	Ar argon
3	Na sodium	Mg magnésium		Ti titane	V vanadium	Cr chrome	Mn manganèse	Fe fer	Co cobalt	Ni nickel	Cu cuivre	Z zinc	G gallium	Ge germanium	A arsenic	S sélénium	Br brome	Kr krypton
4	K potassium	Ca calcium	Sc scandium	Ti titane	V vanadium	Cr chrome	Mn manganèse	Fe fer	Co cobalt	Ni nickel	Cu cuivre	Z zinc	G gallium	Ge germanium	A arsenic	S sélénium	Br brome	Xe xénon
5	Rb rubidium	Sr strontium	Y yttrium	Zr zirconium	Nb niobium	Mo molybdène	Tc technétium	Ru ruthénium	Rh rhodium	Pd palladium	Ag argent	Cd cadmium	In indium	Sn stannine	Tl tellure	Po polonium	Rn radon	
6	Cs césum	Ba barium	La* lanthane	Hf hafnium	Ta tantale	W tungstène	Re rhénium	Os osmium	Ir iridium	Pt platine	Au or	Hg mercure	Tl thallium	Pb plomb	Bi bismuth	Po polonium	At astate	Rn radon

	1	2	3
1	H hydrogène		
2	Li lithium	Be béryllium	
3	Na sodium	Mg magnésium	

b. Il possède 2 électrons sur cette couche.

2. Le tableau périodique indique que le numéro atomique du Mg est $Z=12$, donc il possède 12 électrons ; la seule configuration électronique correspondante est $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$ (en effet, $2+2+6+2=12$).



3. L'élément situé immédiatement avant le magnésium possède un seul électron sur sa couche externe.

4. a. La configuration électronique de l'atome situé juste au-dessus du magnésium est $1s^2\ 2s^2$.

b. Le numéro atomique de cet élément est $Z=4$.

c. Le symbole d'un atome de beryllium qui possède 5 neutrons est ${}^9_4\text{Be}$.

(5 neutrons + 4 protons = 9 nucléons et nombre d'électrons = nombre de protons.)

5. La masse m d'un morceau de magnésium qui contient $N=2,00 \times 10^{23}$ atomes de magnésium est : $m = N \cdot m_{\text{atome}}$

$$m = 2,00 \times 10^{23} \times 4,01 \times 10^{-26}$$

$$m = 8,01 \text{ g}$$

6. 8,01 g de magnésium représentent une quantité de matière n :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{2,00 \times 10^{23}}{6,02 \times 10^{23}}$$

$$n = 0,33 \text{ mol}$$

43 > Démarche avancée

1. Pour vérifier la neutralité électrique de l'atome, on calcule q_{atome} :

$$q_{\text{atome}} = q_{\text{électrons}} + q_{\text{protons}}$$

$$q_{\text{atome}} = 3 \times (-e) + 3 \times e$$

$q_{\text{atome}} = 0 \text{ C}$, donc l'atome est électriquement neutre.

2. La masse de l'atome est :

$$m_{\text{atome}} = 7 \times m_{\text{nú}} + 3 \times m_e$$

$$m_{\text{atome}} = 7 \times 1,67 \times 10^{-27} + 3 \times 9,11 \times 10^{-31}$$

$$m_{\text{atome}} = 1,17 \times 10^{-26} + 2,73 \times 10^{-30}$$

$$m_{\text{atome}} = 1,17 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

La masse du noyau est :

$$m_{\text{noyau}} = 7 \times m_{\text{nú}}$$

$$m_{\text{noyau}} = 7 \times 1,67 \times 10^{-27}$$

$$m_{\text{noyau}} = 1,17 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

Donc la masse de l'atome est essentiellement contenue dans le noyau.

> Démarche élémentaire

1. a. L'atome de lithium possède 3 électrons et 3 protons.

b. La charge des électrons est :

$$q_{\text{électrons}} = 3 \times (-e)$$

$$\begin{aligned}q_{\text{électrons}} &= -3 \times e \\q_{\text{électrons}} &= -3 \times 1,60 \times 10^{-19} \\q_{\text{électrons}} &= -4,80 \times 10^{-19} \text{ C}\end{aligned}$$

La charge des protons est :

$$\begin{aligned}q_{\text{protons}} &= 3 \times e \\q_{\text{protons}} &= 3 \times e \\q_{\text{protons}} &= 3 \times 1,60 \times 10^{-19} \\q_{\text{protons}} &= 4,80 \times 10^{-19} \text{ C}\end{aligned}$$

2. La charge du noyau est :

$$q_{\text{noyau}} = q_{\text{protons}}$$

La charge de l'atome est :

$$\begin{aligned}q_{\text{atome}} &= q_{\text{électrons}} + q_{\text{protons}} \\q_{\text{atome}} &= 3 \times (-e) + 3 \times e \\q_{\text{atome}} &= 0 \text{ C}, \text{ donc l'atome est électriquement neutre.}\end{aligned}$$

3. a. La masse de l'atome de lithium est :

$$\begin{aligned}m_{\text{atome}} &= 7 \times m_{\text{nu}} + 3 \times m_e \\m_{\text{atome}} &= 7 \times 1,67 \times 10^{-27} + 3 \times 9,11 \times 10^{-31} \\m_{\text{atome}} &= 1,17 \times 10^{-26} + 2,73 \times 10^{-30} \\m_{\text{atome}} &= 1,17 \times 10^{-26} \text{ kg}\end{aligned}$$

b. La masse du noyau est :

$$\begin{aligned}m_{\text{noyau}} &= 7 \times m_{\text{nu}} \\m_{\text{noyau}} &= 7 \times 1,67 \times 10^{-27} \\m_{\text{noyau}} &= 1,17 \times 10^{-26} \text{ kg}\end{aligned}$$

Donc la masse de l'atome est essentiellement contenue dans le noyau.

44 1. a. Mendeleïev a classé les éléments par masse croissante.

b. Les critères de classification actuels ne sont pas les mêmes que ceux utilisés par Mendeleïev. Aujourd'hui, les éléments sont classés par numéro atomique Z croissant.

2. Ces éléments inconnus ont les mêmes propriétés chimiques que ceux de la série avec lesquels il les a regroupés.

3. On appelle les séries de Mendeleïev, des familles.

45 1. a. La masse m_1 d'un atome d'aluminium est :

$$\begin{aligned}m_1 &= 27 \times m_{\text{nu}} + 13 \times m_e \\m_1 &= 27 \times 1,67 \times 10^{-27} + 13 \times 9,11 \times 10^{-31} \\m_1 &= 4,51 \times 10^{-26} + 1,2 \times 10^{-29} \\m_1 &= 4,51 \times 10^{-26} \text{ kg}\end{aligned}$$

b. La masse m_2 du noyau est :

$$\begin{aligned}m_2 &= 27 \times m_{\text{nu}} \\m_2 &= 27 \times 1,67 \times 10^{-27} \\m_2 &= 4,509 \times 10^{-26} \text{ kg}\end{aligned}$$

c. $\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$

$$\Delta m = \frac{4,51 \times 10^{-26} - 4,509 \times 10^{-26}}{4,51 \times 10^{-26}} \times 100$$

$$\Delta m = \frac{4,51 - 4,509}{4,51} \times 100$$

$$\Delta m = 2,21 \times 10^{-2}$$

$$\Delta m = 0,02 \%$$

d. La valeur de ce pourcentage montre que m_1 et m_2 sont très proches. On peut conclure que la masse des électrons est négligeable par rapport à celle des nucléons.

2. Soit N le nombre d'atomes d'aluminium que l'on cherche. On sait que $N = n \cdot N_A$ avec n la quantité de matière, fournie par l'énoncé :

$$n = 3,68 \times 10^{-5} \text{ mol par kg de masse corporelle.}$$

Donc, pour une personne de 70 kg :

$$N = 70 \times n \cdot N_A$$

$$N = 70 \times 3,68 \times 10^{-5} \times 6,02 \times 10^{23}$$

$$N = 1,55 \times 10^{21} \text{ atomes d'aluminium}$$

3. $1,55 \times 10^{21}$ atomes d'aluminium correspondent à une masse m égale à :

$$m = N \cdot m_{\text{atome}}$$

$$m = N \cdot m_1$$

$$m = 1,55 \times 10^{21} \times 4,51 \times 10^{-26}$$

$$m = 7,00 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

4. La dose tolérable (en mg par kg...) est :

$$\frac{7,00 \times 10^{-5}}{70} = 1,0 \times 10^{-6} \text{ kg} = 1,0 \text{ mg}$$

46 EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

Les éléments chimiques sont classés horizontalement par numéro atomique Z croissant.

Les éléments ayant le même nombre d'électrons sur leur couche électronique externe sont placés dans la même colonne.

On écrit la structure électronique des 18 éléments, classés par numéro atomique croissant.

On dispose H et He sur la première ligne.

Pour Li, on passe à la ligne suivante car il a le même nombre d'électrons sur sa couche électronique externe que H (un seul). Puis, on aligne les éléments Be, B, C, N, O, F, Ne.

Pour Na, on passe à la 3^e ligne, puis on aligne les éléments Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ar.

Enfin, on déplace He au-dessus de Ne et Ar car ils ont des propriétés chimiques similaires.

47 Un atome est constitué d'un noyau qui est entouré d'un cortège électronique.

La masse d'un atome est concentrée dans son noyau qui comporte des protons et des neutrons.

Le diamètre d'un atome est voisin de 10^{-10} m , son noyau est cent mille fois plus petit.

48 > Analyse

1. Le diamètre du noyau de l'atome est voisin de 10^{-15} m.

2. La masse de l'atome d'hydrogène est :

$$m_{\text{atome}} = 2 \times m_{\text{nú}} + 1 \times m_e$$

$$m_{\text{atome}} = 2 \times 1,67 \times 10^{-27} + 1 \times 9,11 \times 10^{-31}$$

$$m_{\text{atome}} = 3,34 \times 10^{-27} + 9,11 \times 10^{-31}$$

$$m_{\text{atome}} = 3,34 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

La masse du noyau est :

$$m_{\text{nøyau}} = 2 \times m_{\text{nú}}$$

$$m_{\text{nøyau}} = 2 \times 1,67 \times 10^{-27}$$

$$m_{\text{nøyau}} = 3,34 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

3. $m_{\text{atome}} = m_{\text{nøyau}}$ donc on peut conclure que la masse des électrons est négligeable par rapport à la masse du noyau.

> Synthèse

Un atome est constitué d'un noyau de charge électrique positive, entouré d'un cortège électronique composé d'électrons, de charge électrique négative.

La charge électrique du noyau est de la même valeur que celle des électrons, et de signe opposé de celui des électrons. L'atome est donc électriquement neutre.

La masse d'un atome est concentrée dans son noyau qui comporte des protons et des neutrons.

Le neutron, neutre électriquement, a sensiblement la même masse que le proton.

Le diamètre d'un atome est voisin de 10^{-8} cm, celui d'un noyau est cent mille fois plus petit.

49 > Analyse

En traversant une feuille d'or faite d'atomes, la quasi-totalité des particules alpha ne subit aucune déviation ; on peut affirmer qu'elles ne rencontrent aucun obstacle sur leur trajet. Ces particules traversent donc ces atomes sans rencontrer le noyau. Celui-ci doit être très petit par rapport à la taille de l'atome : on peut affirmer que l'atome est presque entièrement constitué de vide. On parle de structure lacunaire de la matière.

> Synthèse

Le quotient du volume de l'atome V_{atome} par le volume de son noyau $V_{\text{nøyau}}$ est :

$$\frac{V_{\text{atome}}}{V_{\text{nøyau}}} = \frac{R^3_{\text{atome}}}{R^3_{\text{nøyau}}} = \frac{(1,44 \times 10^{-10})^3}{(7,00 \times 10^{-15})^3} = 8,70 \times 10^{12}$$

Le volume de l'atome est en effet beaucoup plus grand que celui du noyau, on peut confirmer les propos de Rutherford :

« la matière, c'est presque entièrement du vide. »

50 Protocole expérimental :

- Placer les différents échantillons solides dans des tubes à essais (un échantillon par tube).
- Ajouter dans chaque tube de l'eau distillée, puis y verser quelques gouttes de thymolphtaléine.
- Si la solution prend une couleur bleue, il s'agit d'un alcalino-terreux, qui a donné des ions hydroxyde HO^- . Dans le cas contraire, la solution reste incolore.

La liaison chimique

LE PROGRAMME

• 1. Constitution de la matière de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique

L'objectif de cette partie est d'aborder les deux échelles de description de la matière qui vont rendre compte de ses propriétés physiques et chimiques. Les concepts d'espèce et d'entité chimique introduits au collège sont ainsi enrichis. [...]

Au niveau atomique, la description des entités chimiques est complétée par les ordres de grandeur de taille et de masse de l'atome et du noyau et par le modèle du cortège électronique pour les

trois premières lignes de la classification périodique. La stabilité des gaz nobles, associée à leur configuration électronique, permet de rendre compte de l'existence d'ions monoatomiques et de molécules. En seconde, les schémas de Lewis sont fournis et interprétés. [...]

Notions abordées au collège (cycle 4)

[...] Échelle microscopique : molécules, atomes et ions, constituants de l'atome (noyaux et électrons) et du noyau (neutrons et protons), formule chimique d'une molécule, formules O_2 , H_2 , N_2 , H_2O , CO_2 .

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
[...] Vers des entités plus stables chimiquement. Stabilité chimique des gaz nobles et configurations électroniques associées.	[...] Établir le lien entre stabilité chimique et configuration électronique de valence d'un gaz noble. Déterminer la charge électrique d'ions monoatomiques courants à partir du tableau périodique.
Ions monoatomiques.	Nommer les ions : H^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , F^- ; écrire leur formule à partir de leur nom.
Molécules. Modèle de Lewis de la liaison de valence, schéma de Lewis, doublets liants et non-liants.	Décrire et exploiter le schéma de Lewis d'une molécule pour justifier la stabilisation de cette entité, en référence aux gaz nobles, par rapport aux atomes isolés ($Z \leq 18$).
Approche de l'énergie de liaison. Compter les entités dans un échantillon de matière. [...]	Associer qualitativement l'énergie d'une liaison entre deux atomes à l'énergie nécessaire pour rompre cette liaison. Déterminer la masse d'une entité à partir de sa formule brute et de la masse des atomes qui la composent. [...]

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

p. 60

SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien fait la différence au niveau du cycle 4 entre les notions d'atome, de molécule et d'ion.

➤ Exemple de réponse attendue

L'entité chimique Cl^- correspond à un **ion** car elle possède une charge.

L'entité chimique Cl_2 est une molécule constituée de l'association de plusieurs atomes dont l'ensemble est électriquement neutre.

➤ En classe de 2^{de}

Les élèves pourront comprendre pourquoi une entité chimique, pour gagner en stabilité, peut se trouver sous forme d'atome, d'ion ou de molécule dans la nature.

Dans l'**activité 1**, construite sous forme d'activité de découverte, les élèves détermineront la formule des ions que peuvent former certains atomes pour gagner en stabilité.

Dans l'**activité 2**, ils verront qu'un atome peut aussi devenir stable en formant une molécule.

SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier un deuxième acquis du cycle 4, nécessaire à ce chapitre, qui porte sur l'interprétation d'une formule chimique en termes atomiques.

➤ Exemple de réponse attendue

Dans la molécule d'ammoniac NH_3 :

- la lettre N est le symbole chimique de l'azote ;
- la lettre H est le symbole chimique de l'hydrogène ;
- le chiffre 3 se trouve en indice à droite de la lettre H, donc la molécule contient 3 atomes d'hydrogène. La molécule d'ammoniac est constituée d'un atome d'azote et de trois atomes d'hydrogène.

➤ En classe de 2^{de}

Dans l'**activité 2**, construite sous forme d'activité de découverte, les élèves détermineront la formule et la composition de différentes molécules simples.

SITUATION 3

Dans cette troisième situation, les élèves sont invités à se rappeler l'électroneutralité de la matière rencontrée au cycle 4.

➤ Exemple de réponse attendue

Les ions sodium Na^+ portent une charge +1.

Les ions chlorure Cl^- portent une charge -1.

La matière étant électriquement neutre, il y a autant d'ions sodium que d'ions chlorure dans le chlorure de sodium.

➤ En classe de 2^{de}

Ce point sera abordé dans l'**activité 3** sous forme de démarche d'investigation où les élèves verront comment identifier différents ions et connaître leurs proportions en solution pour arriver à l'électroneutralité de la matière.

ACTIVITÉS

p. 62 ■ ACTIVITÉ 1

Notion d'ions monoatomiques

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Atomes, ions et molécules

■ p. 62

Cette animation permet de visualiser la formation de différents ions par la perte ou le gain d'électron(s) pour gagner en stabilité.

Le **document 2** explique la stabilité des gaz nobles et leur inertie chimique.

Le **document 4** permet de visualiser les atomes pouvant former des ions de même charge.

➤ Exploitation et analyse

1 On rencontre les gaz nobles dans la nature sous forme de gaz monoatomiques. Ils se trouvent dans la dernière colonne du tableau périodique.

2 La couche électronique externe des gaz nobles comporte huit électrons sauf l'hélium qui en a deux.

3 D'après le **document 1**, le chlore se trouve dans l'eau sous forme d'ion Cl^- et le sodium sous forme d'ion Na^+ . Ils deviennent stables en gagnant un électron pour le chlore et en perdant un électron pour le sodium.

4 Les éléments chimiques se trouvant dans la même colonne que le sodium forment des ions ayant la même charge. Ainsi le lithium doit perdre un électron, on aura alors l'ion Li^+ , de même pour l'hydrogène qui formera l'ion H^+ .

5 a. Les éléments chimiques se trouvant dans la colonne du magnésium perdent 2 électrons, donc ils auront une charge +2.

Exemples : Mg^{2+} et Be^{2+} .

b. Les éléments chimiques se trouvant dans la colonne de l'aluminium perdent 3 électrons, donc ils auront une charge +3.

Exemples : Al^{3+} et B^{3+} .

c. Les éléments chimiques se trouvant dans la colonne de l'oxygène gagnent 2 électrons, donc ils auront une charge -2.

Exemples : O^{2-} et S^{2-} .

➤ Synthèse

6 Les atomes instables doivent avoir la configuration électronique du gaz noble le plus proche dans le tableau périodique. Ainsi les atomes se trouvant dans la colonne :

- du chlore, doivent gagner 1 électron, donc forment des ions X^- ;
- de l'oxygène, doivent gagner 2 électrons, donc forment des ions X^{2-} ;
- de l'azote, doivent gagner 3 électrons, donc forment des ions X^{3-} ;
- du sodium, doivent perdre 1 électron, donc forment des ions X^+ ;
- du magnésium, doivent perdre 2 électrons, donc forment des ions X^{2+} ;

- de l'aluminium, doivent perdre 3 électrons, donc forment des ions X^{3+} .

p. 63 ■ ACTIVITÉ 2

Schéma de Lewis d'une molécule

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

La justification de l'utilisation du modèle de Lewis est donnée au **document 1**.

À partir des configurations électroniques, données au **document 4**, il faut déterminer le nombre d'électrons sur la couche de valence. Puis, en appliquant le modèle décrit dans le **document 2**, déterminer le nombre de doublets liants et non liants établis par chaque atome.

La méthode est ensuite appliquée pour justifier les schémas de Lewis de molécules connues depuis le cycle 4.

> Exploitation et analyse

1 Les atomes acquièrent la structure électronique d'un gaz noble, ils sont alors stabilisés.

2 L'acide méthanoïque est constitué (**doc. 3**) des atomes H, C et O.

Le **document 4** donne les configurations électroniques des atomes d'hydrogène, de carbone et d'oxygène (voir tableau 1, en bas de page).

Par exemple, l'oxygène a $2 + 4 = 6$ électrons sur sa couche de valence, il lui en manque 2 pour acquérir la configuration du gaz noble qui suit dans le tableau périodique, le néon.

3 Par exemple, l'oxygène aura 2 électrons (de ses 6 électrons de valence) engagés dans des liaisons, il en restera donc 4 qui ne participent pas à des liaisons de valence (Voir tableau 2, en bas de page).

Tableau 1 :

Atome	Configuration électronique	Configuration électronique du gaz noble qui suit	Électrons manquants
Hydrogène H	$1s^1$	He $1s^2$	1
Carbone C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne $1s^2 2s^2 2p^6$	4
Oxygène O	$1s^2 2s^2 2p^4$	Ne $1s^2 2s^2 2p^6$	2

Tableau 2 :

Atome	Configuration électronique	Électrons de valence	Électrons engagés	Liaisons de valence	Électrons non engagés
Hydrogène H	$1s^1$	1	1	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$
Carbone C	$1s^2 2s^2 2p^2$	4	2	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$
Oxygène O	$1s^2 2s^2 2p^4$	6	2	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$

4 Le nombre de liaisons est déterminé par le **nombre d'électrons qu'il manque** pour obtenir une couche de valence identique à celle du gaz noble qui suit dans le tableau périodique :

H : 1 ; C : 4 ; O : 2.

Les électrons restants s'apparentent pour former des **doublets non liants** :

H : 0 ; C : 0 ; O : 2.

> Synthèse

5 L'hydrogène doit être entouré de 2 électrons, les autres atomes entourés de 8 électrons. Il faut compter tous les doublets autour d'un atome.

6 a. Le nombre d'électrons qu'il manque pour obtenir la même couche de valence que le gaz noble qui suit dans le tableau périodique donne le nombre de doublets liants pour un atome.

Le nombre d'électrons non engagés dans une liaison, divisé par 2, donne le nombre de doublets non liants.

b. Dans les molécules d'eau et de dioxyde de carbone (H_2O et CO_2), chaque atome (H, C et O) possède bien le nombre de doublets liants et non liants déterminé dans les questions précédentes.

De même, pour la molécule de diazote (N_2), chaque atome d'azote possède 3 doublets liants et 1 doublet non liant.

p. 64 ■ ACTIVITÉ 3

Identification d'ions et électroneutralité..... Démarche d'investigation

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Le **document 1** permet de visualiser le dispositif d'une expérience réalisable en classe pour montrer le caractère conducteur ou isolant d'une solution.

Le document 3 donne les mesures obtenues pour les différentes solutions testées ainsi que le résultat des tests d'identification des ions donnés dans le document 2.

► Pistes de résolution

1 Doc. 1 : une solution conductrice laisse passer le courant, donc la lampe sera éclairée et l'ampermètre indiquera une intensité conséquente contrairement à une solution isolante.

Doc. 3 : l'eau déminéralisée et l'eau sucrée contenant du glucose sont isolantes. On peut l'expliquer par le fait qu'elles ne contiennent pas d'ions.

On peut en conclure qu'une solution ionique est une solution conductrice.

Si elle ne contient pas d'ions, elle est isolante.

2 Les résultats de l'expérience montrent que :

- l'eau contenant du chlorure de sodium contient des ions chlorure Cl^- ;
- l'eau déminéralisée et l'eau sucrée ne contiennent pas d'ions car tous les tests sont négatifs ;
- l'eau contenant du chlorure de magnésium contient des ions chlorure Cl^- et magnésium Mg^{2+} ;
- l'eau contenant du chlorure d'aluminium contient des ions chlorure Cl^- et aluminium Al^{3+} .

► Conclusion

3 Une solution ionique est électriquement neutre.

L'eau contenant du chlorure de sodium de formule NaCl contient des ions chlorure Cl^- . Comme elle est électriquement neutre, alors les ions sodium sont Na^+ . Il y a autant d'ions chlorure Cl^- que d'ions sodium Na^+ , donc on a : $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$.

L'eau contenant du chlorure de magnésium MgCl_2 contient 2 fois plus d'ions chlorure Cl^- que d'ions magnésium Mg^{2+} , donc on a : $\text{Mg}^{2+} + 2\text{Cl}^-$.

En suivant le même raisonnement avec l'eau contenant du chlorure d'aluminium, on a Al^{3+} pour les ions aluminium.

La solution contient 3 fois plus d'ions chlorure que d'ions aluminium, donc on a : $\text{Al}^{3+} + 3\text{Cl}^-$.

p. 65 ■ ACTIVITÉ 4

Évaluation de l'énergie de liaison..... TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Exemples de mesures

Pour une variation de masse de la bougie de 0,5 g, on observe une élévation de température de 35 °C, la température initiale étant de 15 °C et la température finale de 50 °C.

■ Documents

À partir des schémas de Lewis fournis au document 1, décompter les liaisons rompues ou formées lors de la transformation chimique.

La notion de quantité de matière n'ayant pas encore été abordée, toutes les données concernent une seule molécule.

► Expérience et analyse

1 a. Soit N le nombre de molécules d'acide stéarique consommées.

Δm est la valeur expérimentale de la diminution de masse de la bougie.

Si la variation de masse de la bougie $\Delta m = m_i - m_f$ soit $\Delta m = 0,5$ g, alors :

$$N = \frac{m_i - m_f}{m_{\text{molécule}}} = \frac{0,5}{4,72 \times 10^{-22}}$$

$$N = 1,06 \times 10^{21} \text{ molécules}$$

b. La température initiale est de 15 °C et la température finale de 50 °C.

D'après le document 2 :

1 calorie est l'énergie qu'il faut fournir pour augmenter de 1 °C la température de 1 g d'eau ;

1 calorie = 4,18 joules.

D'après le document 4, on a 100 g d'eau.

Donc l'énergie $E_{\text{comb.}}$ dégagée par la combustion est :

$$E_{\text{comb.}} = 4,18 \times (50 - 15) \times 100$$

$$E_{\text{comb.}} = 15\,000 \text{ J}$$

c. L'énergie $E_{\text{exp.}}$ dégagée par la combustion d'une molécule d'acide stéarique est :

$$E_{\text{exp.}} = \frac{15\,000}{1,06 \times 10^{21}}$$

$$E_{\text{exp.}} = 1,42 \times 10^{-17} \text{ J}$$

2 a. D'après le document 1 :

- dans le réactif $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$, il faut rompre 17 liaisons C—C, 35 liaisons C—H, 1 double liaison C=O et 1 liaison O—H ;

- dans le réactif 26 O_2 , il faut rompre 26 doubles liaisons O=O.

b. L'énergie E_{rupture} nécessaire pour « casser » une molécule d'acide stéarique et 26 molécules de dioxygène est :

$$E_{\text{rupture}} = 17 \times E_{\text{C—C}} + 35 \times E_{\text{C—H}} + E_{\text{C=O}} + E_{\text{O—H}} + 26 \times E_{\text{O=O}}$$

$$E_{\text{rupture}} = 17 \times 5,73 \times 10^{-19} + 35 \times 6,89 \times 10^{-19} + 1,32 \times 10^{-18} + 7,69 \times 10^{-19} + 26 \times 8,27 \times 10^{-19}$$

$$E_{\text{rupture}} = 5,75 \times 10^{-17} \text{ J}$$

$$c. E_{\text{formation}} = 7,52 \times 10^{-17} \text{ J}$$

$E_{\text{formation}} > E_{\text{rupture}}$, le surplus d'énergie est retrouvé sous forme de chaleur. En effet, l'énergie nécessaire pour rompre les liaisons des réactifs est inférieure à celle dégagée lors de la formation des liaisons des produits.

$$E_{\text{théorique}} = E_{\text{formation}} - E_{\text{rupture}}$$

$$E_{\text{théorique}} = 7,52 \times 10^{-17} - 5,75 \times 10^{-17}$$

$$E_{\text{théorique}} = 1,77 \times 10^{-17} \text{ J}$$

> Conclusion

3 La valeur expérimentale $E_{\text{exp.}}$ est inférieure à la valeur théorique $E_{\text{théorique}}$. Il y a d'importantes pertes de chaleur entre la bougie et la canette (la combustion n'est pas complète, le calcul théorique est réalisé avec des molécules à l'état gazeux. Une partie de l'énergie permet de faire fondre, puis d'évaporer l'acide stéarique...).

EXERCICES

Vérifier l'essentiel

■ p. 70

- | | | |
|--------------|--------------|-------------|
| 1 C. | 2 C. | 3 B. |
| 4 B. | 5 B. | 6 C. |
| 7 C. | 8 B. | 9 B. |
| 10 B. | 11 C. | |

Acquérir les notions

> Stabilisation des atomes par formation d'ions

■ p. 71

- 12** 1. Les gaz nobles cités dans l'énoncé sont : l'hélium He, le néon Ne et l'argon Ar.
2. On trouve les gaz nobles dans l'Univers sous forme d'atomes. Leur couche de valence étant saturée, les atomes sont stables.
3. D'après l'énoncé, on sait que l'argon est présent en plus grande quantité dans l'air que les autres gaz nobles, il coûte donc moins cher.

- 13** 1. L'argon est classé dans la famille des gaz nobles car sa couche de valence est remplie.
2. Il est utilisé dans les ampoules des lampes à incandescence car il est inerte chimiquement. Avec le dioxygène, le filament brûlerait instantanément.
3. On n'utilise plus de lampes à incandescence car la majorité de l'énergie électrique consommée par la lampe était perdue sous forme de chaleur.

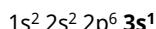
- 14** 1. D'après l'étiquette :

Pour 1 litre : en mg • AR*	
Ca²⁺	Calcium • 468 • 58%
Mg²⁺	Magnésium • 74,5 • 19%
(Na⁺)	Sodium • 9,4
(SO₄²⁻)	Sulfate • 1121
(HCO₃⁻)	Bicarbonate • 372
Résidu sec à 180°C 2078 mg/l	

- les cations sont les ions calcium Ca^{2+} , magnésium Mg^{2+} , sodium Na^+ ;
- aucun anion monoatomique n'apparaît sur l'étiquette.

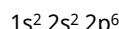
2. Les ions calcium Ca^{2+} et les ions magnésium Mg^{2+} sont dans la même colonne car ils ont la même charge.

15 1. La forte réactivité du sodium est due à sa **couche de valence** qui n'est pas pleine :



2. L'atome de sodium Na doit perdre un électron pour avoir la configuration électronique du gaz noble le plus proche, le néon.

La formule de l'ion sodium est Na^+ , sa configuration électronique est :



3. La matière étant électriquement neutre, pour compenser les charges négatives de l'ion oxyde O^{2-} , il faut dans le solide ionique Na_2O deux fois plus d'ions sodium Na^+ que d'ions oxyde O^{2-} .

16 1. Na^+ : ions sodium. Cl^- : ions chlorure. Mg^{2+} : ions magnésium. Ca^{2+} : ions calcium.

2. Pour compenser les charges positives de l'ion magnésium Mg^{2+} , il faut deux fois plus d'ion chlorure Cl^- .

17 Le tableau périodique simplifié est représenté ci-dessous.

¹H Hydrogène							⁴He Hélium
³Li Lithium	⁹Be Béryllium	¹¹B Bore	¹²C Carbone	¹⁴N Azote	¹⁶O Oxygène	¹⁹F Fluor	²⁰Ne Néon
¹¹Na Sodium	¹²Mg Magnésium	¹³Al Aluminium	¹⁴Si Silicium	¹⁵P Phosphore	¹⁶S Soufre	¹⁷Cl Chlore	¹⁸Ar Argon

1. Dans quelle colonne les gaz nobles se trouvent-ils ?
2. Déterminer la formule des ions formés à partir du fluor F, du soufre S et du lithium Li. Justifier la réponse.

Corrigé :

1. Les gaz nobles se trouvent dans la dernière colonne de droite : He, Ne et Ar.
2. Pour avoir la même configuration électronique que le gaz noble le plus proche dans le tableau périodique, les atomes doivent gagner / ou perdre 1 électron ou plusieurs électrons, ils formeront des ions de type X^- , X^{2-} , ... / ou X^+ , X^{2+} , ...
- Le fluor F : cet atome doit gagner 1 électron pour avoir la même configuration électronique que le

gaz noble qui suit dans le tableau périodique, c'est-à-dire le néon, donc il formera l'ion fluorure F^- .

• Le soufre S : cet atome doit gagner 2 électrons pour avoir la même configuration électronique que le gaz noble qui suit dans le tableau périodique, c'est-à-dire l'argon, donc il formera l'ion sulfure S^{2-} .

• Le lithium Li : cet atome doit perdre 1 électron pour avoir la même configuration électronique que le gaz noble qui le précède dans le tableau périodique, c'est-à-dire l'hélium, donc il formera l'ion lithium Li^+ .

18 Voir tableau 1, en bas de page.

19 1. a. • L'atome de potassium K doit perdre 1 électron pour avoir la configuration électronique du gaz noble le plus proche, l'argon.

L'atome de potassium K peut former l'ion potassium K^+ .

• L'atome de chlore Cl doit gagner 1 électron pour avoir la configuration électronique du gaz noble le plus proche, l'argon.

L'atome de chlore Cl peut former l'ion chlorure Cl^- .

b. Les ions potassium portent une charge +1 et les ions chlorure une charge -1. La matière étant électriquement neutre, il y a autant d'ions chlorure que d'ions potassium.

2. a. • Pour avoir la même configuration électronique que le néon (gaz noble qui le précède dans le tableau périodique), le béryllium doit perdre 2 électrons.

L'atome de beryllium Be peut former l'ion beryllium Be^{2+} .

• Pour avoir la même configuration électronique que le néon, le fluor doit gagner 1 électron.

L'atome de fluor F peut former l'ion fluorure F^- .

b. Si on dissout le fluorure de beryllium dans l'eau, il y a deux fois plus d'ions fluorure que d'ions beryllium car la charge des ions fluorure est deux fois moins élevée que celle des ions beryllium.

20 1. Pour avoir la configuration électronique du gaz noble qui le précède dans le tableau périodique, c'est-à-dire le néon, l'atome d'aluminium doit perdre 3 électrons, donc la formule de l'ion est Al^{3+} .

2. Pour compenser les charges positives de l'ion aluminium Al^{3+} , il faut trois fois plus d'ion chlorure Cl^- .

► Stabilisation des atomes par formation de molécules

■ p. 72

21 Voir tableau 2, en bas de page.

Tableau 1 :

Formule de l'atome	Al	Be	O
Configuration électronique	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$	$1s^2 2s^2$	$1s^2 2s^2 2p^4$
Perd / Gagne des électrons	perd	perd	gagne
Nombre d'électrons perdus / gagnés	3	2	2
Formule de l'ion	Al^{3+}	Be^{2+}	O^{2-}
Cation / Anion	cation	cation	anion

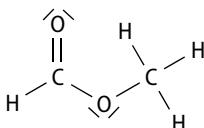
Tableau 2 :

Atome	Configuration électronique	Configuration électronique du gaz noble qui suit	Liaisons de valence	Électrons non engagés	Doublets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne $1s^2 2s^2 2p^6$	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	0
N	$1s^2 2s^2 2p^3$	Ne $1s^2 2s^2 2p^6$	$8 - 5 = 3$	$5 - 3 = 2$	$\frac{2}{2} = 1$
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	Ne $1s^2 2s^2 2p^6$	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	$\frac{4}{2} = 2$
H	$1s^1$	He $1s^2$	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	0

22 1. Les configurations électroniques des atomes de carbone, d'oxygène et d'hydrogène sont fournies dans l'exercice 21. Il y a :

- 2 atomes de carbone possédant chacun 4 électrons de valence ;
 - 2 atomes d'oxygène possédant chacun 6 électrons de valence ;
 - 4 atomes d'hydrogène possédant chacun 1 électron de valence ;
- soit en tout :
- $$2 \times 4 + 2 \times 6 + 4 \times 1 = 24$$
- électrons de valence.

2. Schéma de Lewis :



a. On dénombre 8 doublets liants.

b. On dénombre 4 doublets non liants.

3. $8 + 4 = 12$ doublets en tout, donc il y a :

$12 \times 2 = 24$ électrons représentés.

Dans une représentation de Lewis, tous les électrons de valence sont représentés.

23 1. Formule brute de l'acide acétysalicylique :



Formule brute du paracétamol : $\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$

2. Tous les électrons de valence des atomes de la molécule ne sont pas représentés car il manque les doublets non liants dans les modèles moléculaires.

3. Pour justifier le schéma de Lewis de chaque molécule, il faut déterminer à partir de la configuration électronique, le nombre de doublets liants et non liants pour chacun des atomes de la molécule, puis comparer ces nombres avec ceux déduits des schémas de Lewis. Voir tableau 1, en bas de page.

Les configurations électroniques des gaz nobles :

- néon $\text{Ne} 1s^2 2s^2 2p^6$

- hélium $\text{He} 1s^2$

Grâce aux configurations électroniques :

- le carbone C possède 4 doublets liants et 0 doublet non liant ;

- l'azote N possède 3 doublets liants et 1 doublet non liant ;

- l'oxygène O possède 2 doublets liants et 2 doublets non liants ;

- l'hydrogène H possède 1 doublet liant et 0 doublet non liant.

Chaque atome possède bien le nombre de doublets liants et non liants déduit des schémas de Lewis fournis.

24 1. L'atome d'hydrogène H de configuration électronique $1s^1$ établit 1 liaison de valence.

L'atome de chlore Cl de configuration électronique $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ établit 1 liaison de valence.

Voir tableau 2, en bas de page.

2. Pour l'atome d'hydrogène, pas de doublets non liants.

Pour l'atome de chlore Cl, il reste 6 électrons de valence non engagés qui forment 3 doublets non liants.

Tableau 1 :

Atome	Configuration électronique	Gaz noble qui suit dans le tableau périodique	Doublets liants	Électrons non engagés	Doublets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
N	$1s^2 2s^2 2p^3$	Ne	$8 - 5 = 3$	$5 - 3 = 2$	$\frac{2}{2} = 1$
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	Ne	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	$\frac{4}{2} = 2$
H	$1s^1$	He	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$

Tableau 2 :

Atome	Configuration électronique	Configuration électronique du gaz noble qui suit	Liaisons de valence	Électrons non engagés	Doublets non liants
H	$1s^1$	$\text{He } 1s^2$	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	0
Cl	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$	$\text{Ar } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$	$8 - 7 = 1$	$7 - 1 = 6$	$\frac{6}{2} = 3$

3. D'après le schéma de Lewis, l'atome d'hydrogène possède 1 doublet liant et 0 doublet non liant, et l'atome de chlore 1 doublet liant et 3 doublets non

liants, donc il y a bien concordance entre le schéma de Lewis et les informations déduites des configurations électroniques des atomes.

25 Les nombres de doublets liants et non liants des atomes de carbone, d'azote, d'oxygène et d'hydrogène sont donnés dans le tableau ci-après.

Molécule	Schéma fourni	Explication	Schéma corrigé
CO_2	$\text{I} \equiv \text{C} \equiv \bar{\text{O}}$	Le schéma fourni est faux car : - l'atome d'oxygène possède 2 doublets liants et 2 doublets non liants.	$\langle \text{O} = \text{C} = \text{O} \rangle$
NH_3	$\text{H} - \underline{\text{N}} - \text{H} - \text{H}$	Le schéma fourni est faux car : - l'atome d'hydrogène forme 1 doublet liant ; - l'atome d'azote possède 3 doublets liants et 1 doublet non liant.	$\text{H} - \overline{\text{N}} - \text{H}$ H
HCN	$\text{H} = \text{C} \equiv \text{N}$	Le schéma fourni est faux car : - l'atome d'hydrogène forme 1 doublet liant ; - l'atome de carbone a 4 doublets liants ; - l'atome d'azote possède 3 doublets liants et 1 doublet non liant.	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{N} \end{array}$
CH_2O	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{O} \\ \end{array}$	Le schéma fourni est faux car : - l'atome d'hydrogène forme 1 doublet liant ; - l'atome de carbone a 4 doublets liants ; - l'atome d'oxygène possède 2 doublets liants et 2 doublets non liants.	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{H} \end{array}$

Atome	Configuration électronique	Configuration électronique du gaz noble qui suit	Liaisons de valence	Électrons non engagés	Doublets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne $1s^2 2s^2 2p^6$	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	0
N	$1s^2 2s^2 2p^3$	Ne $1s^2 2s^2 2p^6$	$8 - 5 = 3$	$5 - 3 = 2$	$\frac{2}{2} = 1$
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	Ne $1s^2 2s^2 2p^6$	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	$\frac{4}{2} = 2$
H	$1s^1$	He $1s^2$	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	0

26 1. Les configurations électroniques des atomes d'azote, d'oxygène et d'hydrogène sont fournis dans l'exercice 21.

Atome	Configuration électronique	Configuration électronique du gaz noble qui suit	Liaisons de valence	Électrons non engagés	Doublets non liants
N	$1s^2 2s^2 2p^3$	Ne $1s^2 2s^2 2p^6$	$8 - 5 = 3$	$5 - 3 = 2$	$\frac{2}{2} = 1$
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	Ne $1s^2 2s^2 2p^6$	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	$\frac{4}{2} = 2$
H	$1s^1$	He $1s^2$	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	0

2. D'après les schémas de Lewis :

- l'atome d'azote possède 3 doublets liants et 1 doublet non liant ;
- l'atome d'oxygène possède 2 doublets liants et 2 doublets non liants ;
- l'atome d'hydrogène possède 1 doublet liant et 0 doublet non liant ;

donc il y a bien concordance entre les schémas de Lewis et les informations déduites des configurations électroniques des atomes.

➤ Caractéristiques des molécules ■ p. 73

27 **1.** La formule de l'ion magnésium est Mg^{2+} , c'est-à-dire que l'atome de magnésium a perdu 2 électrons, donc la masse de l'ion m_{ion} est égale à la masse de l'atome Mg m_{Mg} moins la masse de 2 électrons m_e :

$$m_{\text{ion}} = m_{\text{Mg}} - 2 \times m_e$$

La masse d'un atome de magnésium est donnée en g, penser à la convertir en kg, donc :

$$m_{\text{Mg}} = 4,04 \times 10^{-23} \times 10^{-3} = 4,04 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

$$m_{\text{ion}} = m_{\text{Mg}} - 2 \times m_e$$

$$m_{\text{ion}} = 4,04 \times 10^{-26} - 2 \times 9,1 \times 10^{-31}$$

$$m_{\text{ion}} = (4,04 - 1,82 \times 10^{-4}) \times 10^{-26}$$

$$m_{\text{ion}} = (4,04 - 0,000182) \times 10^{-26}$$

$$m_{\text{ion}} = 4,04 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

La masse de l'ion magnésium est $4,04 \times 10^{-26}$ kg.

2. La masse de l'atome de magnésium est donnée :

$$m_{\text{Mg}} = 4,04 \times 10^{-23} \text{ g} = 4,04 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

$m_{\text{ion}} = m_{\text{Mg}}$ donc la masse de l'ion magnésium est égale à celle de l'atome de magnésium.

3. Ces résultats permettent de conclure que la masse des électrons est négligeable par rapport à celle du noyau.

28 **1.** La masse m d'une molécule de vitamine C de formule brute $C_6H_8O_6$ est :

$$m = 6 \times m_C + 8 \times m_H + 6 \times m_O$$

$$m = 6 \times 1,99 \times 10^{-23} + 8 \times 1,66 \times 10^{-24} + 6 \times 2,66 \times 10^{-23}$$

$$m = 2,93 \times 10^{-22} \text{ g}$$

2. Dans un citron qui contient 75 mg = 75×10^{-3} g de vitamine C, il y a N molécules de vitamine C :

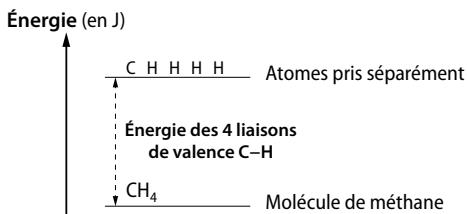
$$N = \frac{m_{\text{éch.}}}{m_{\text{molécule}}} = \frac{75 \times 10^{-3}}{2,93 \times 10^{-22}}$$

$$N = 2,6 \times 10^{20} \text{ molécules de vitamine C}$$

29 **1.** D'après le schéma de Lewis, il faut rompre 4 liaisons de valence C—H.

2. La molécule est plus stable que les atomes pris séparément.

3. Diagramme d'énergie :



Exercices similaires aux exercices résolus ■ p. 74 et 75

31 **1.** Comme les ions bromure sont chargés négativement (ce sont des anions), alors les ions zinc sont chargés positivement (ce sont des cations).

2. Le nombre N d'ions d'une espèce chimique est le quotient de la masse de l'ion par la masse de l'atome :

$$N = \frac{m_{\text{ion}}}{m_{\text{atome}}}$$

• Nombre N d'ions bromure dans un litre de solution :

$$N = \frac{27,9}{1,33 \times 10^{-22}} = 2,10 \times 10^{23} \text{ ions bromure}$$

• Nombre N' d'ions zinc dans un litre de solution :

$$N' = \frac{11,4}{1,09 \times 10^{-22}} = 1,05 \times 10^{23} \text{ ions zinc}$$

3. Une solution étant électriquement neutre, le quotient du nombre d'anions par le nombre de cations donne la proportion entre les deux types d'ions :

$\frac{2,10 \times 10^{23}}{1,05 \times 10^{23}} = 2,00$. Il y a deux fois plus d'ions bromure Br^- que d'ions zinc, donc la formule de l'ion zinc est Zn^{2+} .

33 **1.** Pour justifier le schéma de Lewis de la molécule, il faut déterminer à partir de la configuration électronique le nombre de doublets liants et non liants pour chacun des atomes de la molécule, puis comparer ces nombres avec ceux déduits du schéma de Lewis.

Atome	Configuration électronique	Gaz noble qui suit dans le tableau périodique	Doublets liants	Électrons non engagés	Doublets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
Cl	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$	Ar	$8 - 7 = 1$	$7 - 1 = 6$	$\frac{6}{2} = 3$

Les configurations électroniques des gaz nobles :

- néon **Ne** $1s^2 2s^2 2p^6$
- argon **Ar** $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

Grâce aux configurations électroniques :

- le carbone C possède 4 doublets liants et 0 doublet non liant ;
- le chlore Cl possède 1 doublet liant et 3 doublets non liants.

Donc le schéma de Lewis est justifié.

2. D'après ce qui précède, pour passer de la molécule aux atomes pris séparément, il faut rompre 4 liaisons C—Cl.

3. La rupture des liaisons correspond à une augmentation de l'énergie, donc à une désstabilisation de la molécule.

Croiser les notions

p. 76

34 1. Dans le tableau périodique, l'atome de soufre se trouve deux colonnes avant le gaz noble, l'argon, il formera donc l'ion S^{2-} .

1 1H Hydrogène															4 2He Hélium
7 3Li Lithium	9 4Be Béryllium	11 5B Bore	12 6C Carbone	14 7N Azote	16 8O Oxygène	19 9F Fluor	20 10Ne Néon								
23 11Na Sodium	24 12Mg Magnésium	27 13Al Aluminium	28 14Si Silicium	31 15P Phosphore	32 16S Soufre	35 17Cl Chlore	40 18Ar Argon								

2. À partir des configurations électroniques :

- l'atome d'hydrogène H possède 1 doublet liant et 0 doublet non liant ;
- l'atome de soufre S possède 2 doublets liants et 2 doublets non liants.

Voir tableau, en bas de page.

3. La formule du sulfure d'hydrogène est H_2S car l'atome de soufre possède 2 doublets liants alors que l'atome d'hydrogène n'en possède qu'un. Il faut donc deux fois plus d'atomes d'hydrogène que de soufre.

4. D'après le schéma de Lewis :

- l'atome de soufre possède 2 doublets liants et 2 doublets non liants ;
- l'atome d'hydrogène possède 1 doublet liant et 0 doublet non liant ;

donc il y a bien concordance entre le schéma de Lewis et les informations déduites des configurations électroniques des atomes.

35 1. Les différents sels sont : NaCl, KCl et MgCl₂. Donc, on doit déterminer la formule des ions sodium, chlorure, potassium et magnésium.

- L'atome de sodium Na se trouve une colonne après le néon (gaz noble), il formera donc l'ion Na^+ .
- L'atome de chlore Cl se trouve une colonne avant l'argon (gaz noble), il formera donc l'ion Cl^- .
- L'atome de potassium K se trouve une colonne après l'argon (gaz noble), il formera donc l'ion K^+ .
- L'atome de magnésium Mg se trouve deux colonnes après le néon (gaz noble), il formera donc l'ion Mg^{2+} .

2. a. Le nombre N d'ions d'une espèce chimique est le quotient de la masse de l'ion par la masse de l'atome :

$$N = \frac{m_{\text{ion}}}{m_{\text{atome}}}$$

• Nombre N d'ions sodium Na^+ dans la solution :

$$N = \frac{9,83}{3,82 \times 10^{-23}} = 2,57 \times 10^{23} \text{ ions}$$

• Nombre N d'ions chlorure Cl^- dans la solution :

$$N = \frac{16,83}{5,89 \times 10^{-23}} = 2,86 \times 10^{23} \text{ ions}$$

• Nombre N d'ions potassium K^+ dans la solution :

$$N = \frac{0,90}{6,49 \times 10^{-23}} = 1,39 \times 10^{22} \text{ ions}$$

• Nombre N d'ions magnésium Mg^{2+} dans la solution :

$$N = \frac{0,30}{4,04 \times 10^{-23}} = 7,43 \times 10^{21} \text{ ions}$$

b. On compte les charges positives (cations) et les charges négatives (anions) :

• somme des charges des cations

$$= 2,57 \times 10^{23} + 1,39 \times 10^{22} + 2 \times 7,43 \times 10^{21}$$

$$= 2,86 \times 10^{23} \text{ charges positives}$$

• somme des charges des anions

$$= 2,86 \times 10^{23} \text{ charges négatives}$$

Il y a autant de charges positives que de charges négatives, l'électroneutralité de la solution analysée est bien vérifiée.

Atome	Configuration électronique	Gaz noble qui suit dans le tableau périodique	Doublets liants	Électrons non engagés	Doublets non liants
H	$1s^1$	He	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
S	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$	Ar	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	$\frac{4}{2} = 2$

36 1. Dans le tableau périodique :

- l'atome de magnésium se trouve deux colonnes après le gaz noble, le néon, il formera donc l'ion Mg^{2+} ;
- l'atome de calcium se trouve deux colonnes après le gaz noble, l'argon, il formera donc l'ion Ca^{2+} .

Familles (colonnes)		Périodes (lignes)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		H hydrogène												B bore	C carbone	N azote	O oxygène	F fluor	He hélium
1		Li lithium	Be beryllium											Al aluminium	Si silicium	P phosphore	S soufre	Cl chlore	Ne néon
2		Mg magnésium												Ge germanium	A arsenic	S sélénium	Br brome	Ar argon	Kr krypton
3				Sc scandium	Ti titane	V vanadium	Cr chrome	Mn manganèse	Fe fer	Co cobalt	Ni nickel	Cu cuivre	Z zinc	G gallium					
4		Ca calcium																	
19		K potassium																	

2. a. Cette eau est dure car $30\text{ }^{\circ}\text{C} < TH < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b. • $TH = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ et 1 °f équivaut à 4 mg de calcium par litre d'eau, donc la masse m_{Ca} de calcium par litre d'eau est :

$$m_{Ca} = 35 \times 4 = 140 \text{ mg}$$

• $TH = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ et 1 °f équivaut à 2,4 mg de magnésium par litre d'eau, donc la masse m_{Mg} de magnésium par litre d'eau est :

$$m_{Mg} = 35 \times 2,4 = 84 \text{ mg}$$

c. Le nombre N d'ions d'une espèce chimique est le quotient de la masse de l'ion par la masse de l'atome :

$$N = \frac{m_{\text{ion}}}{m_{\text{atome}}}$$

$$\bullet N_{Ca^{2+}} = \frac{m_{\text{ion}}}{m_{\text{atome}}}$$

$$N_{Ca^{2+}} = \frac{140 \times 10^{-3}}{6,66 \times 10^{-23}}$$

$$N_{Ca^{2+}} = 2,1 \times 10^{21} \text{ ions}$$

$$\bullet N_{Mg^{2+}} = \frac{m_{\text{ion}}}{m_{\text{atome}}}$$

$$N_{Mg^{2+}} = \frac{84 \times 10^{-3}}{4,04 \times 10^{-23}}$$

$$N_{Mg^{2+}} = 2,1 \times 10^{21} \text{ ions}$$

3. Le calcaire ne contient pas que des ions calcium et magnésium mais aussi des anions quand il cristallise et éventuellement d'autres résidus solides.

37 1. Voir tableau, en bas de page.

2. D'après les schémas de Lewis :

- l'atome d'hydrogène possède 1 doublet liant et 0 doublet non liant ;

- l'atome de carbone possède 4 doublets liants et 0 doublet non liant ;

- l'atome d'oxygène possède 2 doublets liants et 2 doublets non liants ;

- l'atome d'azote possède 3 doublets liants et 1 doublet non liant ;

donc il y a bien concordance entre les schémas de Lewis et les informations déduites des configurations électroniques des atomes.

3. La masse m d'une molécule d'urée de formule brute CH_4N_2O est :

$$m = m_C + 4 \times m_H + 2 \times m_N + m_O$$

$$m = 1,99 \times 10^{-23} + 4 \times 1,66 \times 10^{-24} + 2 \times 2,32 \times 10^{-23} + 2,66 \times 10^{-23}$$

$$m = 9,95 \times 10^{-23} \text{ g}$$

4. Il y a $x\%$ d'azote dans la molécule d'urée, donc :

$$x = \frac{m_{\text{azote}}}{m_{\text{urée}}} \times 100$$

$$x = \frac{2 \times 2,32 \times 10^{-23}}{9,95 \times 10^{-23}} \times 100$$

$$x = 46,6 \%$$

Atome	Configuration électronique	Gaz noble qui suit dans le tableau périodique	Doublets liants	Électrons non engagés	Doublets non liants
H	$1s^1$	He	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	Ne	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	$\frac{4}{2} = 2$
N	$1s^2 2s^2 2p^3$	Ne	$8 - 5 = 3$	$5 - 3 = 2$	$\frac{2}{2} = 1$

38 1. Les configurations électroniques des atomes de carbone, d'oxygène et d'hydrogène sont fournies dans l'exercice 21.

Voir tableau 1, en bas de page.

L'atome de carbone possède 4 doublets liants et 0 doublet non liant.

L'atome d'oxygène possède 2 doublets liants et 2 doublets non liants.

L'atome d'hydrogène possède 1 doublet liant et 0 doublet non liant.

Il y a bien concordance entre le schéma de Lewis et les informations déduites des configurations électroniques des atomes.

2. Pour libérer l'ion hydrogène H^+ , lié à l'oxygène, il faut rompre la liaison O—H, donc il faut fournir $7,69 \times 10^{-19} \text{ J}$.

3. L'ion formé est alors l'ion hydrogène H^+ et il reste $C_2H_3O_2^-$.

39 1. Le carbone forme 4 liaisons pour acquérir la configuration électronique du néon ($1s^2 2s^2 2p^6$). Il n'y a pas de doublet non liant.

L'hydrogène forme 1 liaison pour acquérir la configuration électronique de l'hélium ($1s^2$). Il n'y a pas de doublet non liant.

Voir tableau 2, en bas de page.

2. La masse $m_{\text{molécule}}$ de la molécule C_nH_{2n+2} en fonction de n et de la masse des atomes m_C et m_H est :

$$m_{\text{molécule}} = n \times m_C + (2n + 2) \times m_H$$

3. $m_{\text{molécule}} = 9,62 \times 10^{-23} \text{ g}$ donc :

$$9,62 \times 10^{-23} = n \times 1,99 \times 10^{-23} + (2n + 2) \times 1,66 \times 10^{-24}$$

$$9,62 \times 10^{-23} = [n \times 1,99 + (2n + 2) \times 0,166] \times 10^{-23}$$

$$9,62 = n \times 1,99 + (2n + 2) \times 0,166$$

$$n \times (1,99 + 0,166 \times 2) + 2 \times 0,166 = 9,62$$

$$n \times (2,322) = 9,62 - 0,332$$

$$2,322 n = 9,288$$

$n = 4$, la formule brute de la molécule est donc C_4H_{10} .

4. D'après le schéma de Lewis :

- l'atome d'hydrogène possède 1 doublet liant et 0 doublet non liant ;

- l'atome de carbone possède 4 doublets liants et 0 doublet non liant ;

donc il y a bien concordance entre le schéma de Lewis et les informations déduites des configurations électroniques des atomes.

40 > Démarche avancée

On recherche tout d'abord le nombre de doublets liants et non liants établis par chacun des atomes présents dans la molécule grâce aux configurations électroniques des atomes.

Tableau 1 :

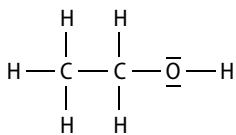
Atome	Configuration électronique	Gaz noble qui suit dans le tableau périodique	Doublets liants	Électrons non engagés	Doublets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	Ne	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	$\frac{4}{2} = 2$
H	$1s^1$	He	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$

Tableau 2 :

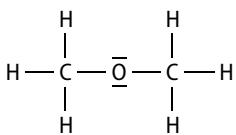
Atome	Configuration électronique	Gaz noble qui suit dans le tableau périodique	Doublets liants	Électrons non engagés	Doublets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
H	$1s^1$	He	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$

Atome	Configuration électronique	Gaz noble qui suit dans le tableau périodique	Doublets liants	Électrons non engagés	Doublets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	Ne	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	$\frac{4}{2} = 2$
H	$1s^1$	He	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$

D'après l'énoncé, l'éthanol C_2H_6O (présent dans les alcools) comporte une liaison O—H, donc le schéma de Lewis de l'éthanol est :



Le schéma de Lewis du méthoxyméthane C_2H_6O est :

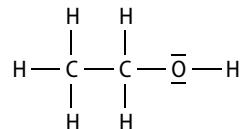


> Démarche élémentaire

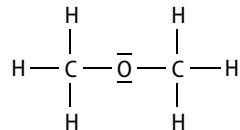
- Grâce aux configurations électroniques :
 - le carbone C possède 4 doublets liants et 0 doublet non liant ;
 - l'oxygène O possède 2 doublets liants et 2 doublets non liants ;
 - l'hydrogène H possède 1 doublet liant et 0 doublet non liant.

Voir tableau, en bas de page.

2. D'après l'énoncé, l'éthanol C_2H_6O (présent dans les alcools) comporte une liaison O—H, donc le schéma de Lewis de l'éthanol est :



Le schéma de Lewis du méthoxyméthane C_2H_6O est donc :



D'après les schémas de Lewis :

- l'atome d'hydrogène possède 1 doublet liant et 0 doublet non liant ;
 - l'atome de carbone possède 4 doublets liants et 0 doublet non liant ;
 - l'atome d'oxygène possède 2 doublets liants et 2 doublets non liants ;
- donc il y a bien concordance entre les schémas de Lewis et les informations déduites des configurations électroniques des atomes.

41 1. Pour justifier le schéma de Lewis de l'éthanol, il faut déterminer à partir de la configuration électronique le nombre de doublets liants et non liants pour chacun des atomes de l'éthanol, puis comparer ces nombres avec ceux déduits du schéma de Lewis.

Atome	Configuration électronique	Gaz noble qui suit dans le tableau périodique	Doublets liants	Électrons non engagés	Doublets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	Ne	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	$\frac{4}{2} = 2$
H	$1s^1$	He	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$

Atome	Configuration électronique	Gaz noble qui suit dans le tableau périodique	Douplets liants	Électrons non engagés	Douplets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	Ne	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	$\frac{4}{2} = 2$
H	$1s^1$	He	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$

Les configurations électroniques des gaz nobles :

- néon **Ne** $1s^2 2s^2 2p^6$
- hélium **He** $1s^2$

Grâce aux configurations électroniques :

- le carbone C possède 4 douplets liants et 0 doublét non liant ;
- l'oxygène O possède 2 douplets liants et 2 doublét non liants ;
- l'hydrogène H possède 1 doublét liant et 0 doublét non liant.

Chaque atome possède bien le nombre de doublét liants et celui de doublét non liants, déduits du schéma de Lewis fourni.

2. Pour dissocier la molécule d'éthanal, il faut rompre ces liaisons :

Nature des liaisons à rompre	Nombre de liaisons
C—H	4
C—C	1
C=O	1

3. La formation de ces liaisons nécessite de l'énergie ($4,65 \times 10^{-18}$ J), elle conduit à une stabilisation de la molécule d'éthanal par rapport aux atomes pris séparément.

42 1. Le fluor gagne 1 électron afin d'acquérir la configuration électronique ($1s^2 2s^2 2p^6$) du gaz noble qui suit dans le tableau périodique, le néon, donc il formera l'ion fluorure F^- .

Le soufre gagne 2 électrons afin d'acquérir la configuration électronique ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$) du gaz noble qui suit dans le tableau périodique, l'argon, donc il formera l'ion sulfure S^{2-} .

2. Le gain d'un électron ou de deux électrons ne change pas la masse de l'ion : $m_{\text{ion}} = m_{\text{atome}}$.

3. • Pour l'ion F^- :

$$\frac{|z_{F^-}|}{m_{F^-}} = \frac{1}{3,16 \times 10^{-23}}$$

$$\frac{|z_{F^-}|}{m_{F^-}} = 3,16 \times 10^{22}$$

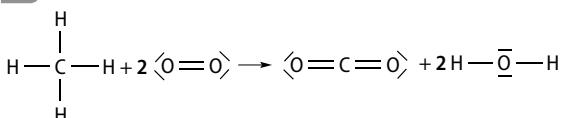
• Pour l'ion S^{2-} :

$$\frac{|z_{S^{2-}}|}{m_{S^{2-}}} = \frac{2}{5,32 \times 10^{-23}}$$

$$\frac{|z_{S^{2-}}|}{m_{S^{2-}}} = 3,76 \times 10^{22}$$

4. Le quotient calculé pour l'ion S^{2-} est supérieur à celui calculé pour l'ion F^- , donc l'ion le plus accéléré est l'ion S^{2-} .

43



1. Pour la combustion d'une molécule de méthane, il faut rompre 4 liaisons C—H et 2 liaisons O=O.

2. Il se forme 2 liaisons C=O et $2 \times 2 = 4$ liaisons O—H.

3. a. D'après le tableau fourni, l'énergie nécessaire à la rupture d'une liaison C—H est inférieure à l'énergie libérée lors de la formation d'une liaison O—H. (Le nombre de ces liaisons est le même pour la combustion d'une molécule de méthane.)

b. D'après le tableau fourni, l'énergie nécessaire à la rupture d'une liaison O=O est inférieure à l'énergie libérée lors de la formation d'une liaison C=O. (Le nombre de ces liaisons est le même pour la combustion d'une molécule de méthane.)

c. Globalement, il y a plus d'énergie libérée que d'énergie consommée. Cette différence d'énergie est libérée sous forme de chaleur.

44

EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

Pour être stable, un **atome** peut former :

– un **ion** en gagnant ou perdant un ou plusieurs électrons pour avoir la **configuration électronique du gaz noble** qui le suit dans le **tableau périodique**. Exemples : H, Na, Cl et Al.

– une **molécule** en partageant des électrons avec d'autres atomes en formant des **liaisons de valence** (doublets liants) entre deux atomes où chaque atome fournit un électron.

Ainsi, chaque atome acquiert la **configuration électronique du gaz noble** qui le suit dans le **tableau périodique**.

Exemples : dihydrogène et eau.

45 Lors de la formation d'ions ou de molécules dans la nature, les atomes se stabilisent en acquérant la configuration électronique du gaz noble le plus proche dans le tableau périodique.

■ Acquérir des compétences ■ p. 79

► Démarche experte

• Détermination du nombre d'ions de chaque espèce dans une maille :

- **Maille de fluorure de calcium** : on a 8 ions calcium au sommet du cube comptant chacun pour $\frac{1}{8}$ et 6 ions calcium au centre de chaque face du cube comptant pour $\frac{1}{2}$, soit au total dans la maille :

$$8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4 \text{ ions calcium}$$

Dans la maille (schéma), il y a 8 ions fluorure.

- **Maille de fluorure de sodium** : on a 8 ions fluorure au sommet du cube comptant chacun pour $\frac{1}{8}$ et 6 ions fluorure au centre de chaque face du cube comptant pour $\frac{1}{2}$, soit au total dans la maille :

$$8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4 \text{ ions fluorure}$$

Dans la maille (schéma), il y a 12 ions sodium au milieu des arêtes du cube se partageant avec quatre mailles différentes, donc comptant pour $\frac{1}{4}$ dans la maille représentée, ainsi que 1 ion sodium au centre de la maille, soit au total dans la maille :

$$12 \times \frac{1}{4} + 1 = 4 \text{ ions sodium}$$

• Détermination de la charge des ions

Il y a deux fois plus d'ions fluorure F⁻ que d'ions calcium dans le fluorure de calcium et le même nombre d'ions fluorure et d'ions sodium dans le fluorure de sodium.

Un solide ionique étant électriquement neutre, la charge des ions calcium doit être deux fois plus élevée que celle des ions fluorure. La formule des ions calcium est donc Ca²⁺.

La charge des ions sodium doit être de la même valeur que celle des ions fluorure. La formule des ions sodium est donc Na⁺.

► Démarche avancée

1. a. On a 8 ions calcium au sommet du cube comptant chacun pour $\frac{1}{8}$ et 6 ions calcium au centre de chaque face du cube comptant pour $\frac{1}{2}$, soit au total dans la maille :

$$8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4 \text{ ions calcium}$$

Dans la maille (schéma), il y a 8 ions fluorure.

b. On a 8 ions fluorure au sommet du cube comptant chacun pour $\frac{1}{8}$ et 6 ions fluorure au centre de chaque face du cube comptant pour $\frac{1}{2}$, soit au total dans la maille :

$$8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4 \text{ ions fluorure}$$

Dans la maille (schéma), il y a 12 ions sodium au milieu des arêtes du cube se partageant avec quatre mailles différentes, donc comptant pour $\frac{1}{4}$ dans la maille représentée, ainsi que 1 ion sodium au centre de la maille, soit au total dans la maille :

$$12 \times \frac{1}{4} + 1 = 4 \text{ ions sodium}$$

2. Il y a deux fois plus d'ions fluorure F⁻ que d'ions calcium dans le fluorure de calcium et le même nombre d'ions fluorure et d'ions sodium dans le fluorure de sodium.

3. Un solide ionique étant électriquement neutre, la charge des ions calcium doit être deux fois plus élevée que celle des ions fluorure. La formule des ions calcium est donc Ca²⁺.

La charge des ions sodium doit être de la même valeur que celle des ions fluorure. La formule des ions sodium est donc Na⁺.

► Solide ionique :

• On dissout le bloc de sel dans un bêcher rempli d'eau.

• On relie les pinces crocodiles à deux tiges métalliques trempant dans la solution.

La diode s'éclaire montrant que le sel contient des ions, donc le sel est un solide ionique.

Solide moléculaire :

• On dissout le morceau de sucre dans un bêcher rempli d'eau.

• On relie les pinces crocodiles à deux tiges métalliques trempant dans la solution.

La diode ne s'éclaire pas, donc le sucre est un solide moléculaire.

► Démarche experte

• Le lithium (1s² 2s¹) perd l'électron de sa couche 2s¹ afin d'acquérir la configuration électronique (1s²) du gaz noble qui le précède dans le tableau périodique, l'hélium, donc il formera l'ion Li⁺.

• Le magnésium (1s² 2s² 2p⁶ 3s²) perd les électrons de sa couche 3s² afin d'acquérir la configuration électronique (1s² 2s² 2p⁶) du gaz noble qui le

précède dans le tableau périodique, le néon, donc il formera l'ion Mg^{2+} .

• La perte d'un électron ou de deux électrons ne change pas la masse de l'ion : $m_{ion} = m_{atome}$.

• On calcule pour chaque ion le quotient $\frac{m}{|z|}$.

- Pour l'ion Mg^{2+} :

$$\frac{m_{Mg^{2+}}}{|Z_{Mg^{2+}}|} = \frac{3,99 \times 10^{-23}}{2}$$

$$\frac{m_{Mg^{2+}}}{|Z_{Mg^{2+}}|} = 2,00 \times 10^{-23}$$

- Pour l'ion Li^+ :

$$\frac{m_{Li^+}}{|Z_{Li^+}|} = \frac{1,16 \times 10^{-23}}{1}$$

$$\frac{m_{Li^+}}{|Z_{Li^+}|} = 1,16 \times 10^{-23}$$

Le quotient calculé pour l'ion Mg^{2+} est supérieur à celui calculé pour l'ion Li^+ . C'est l'ion Mg^{2+} qui aura la trajectoire de plus grand rayon, donc il sera récupéré au point I' et l'ion Li^+ au point I.

Démarche avancée

1. • Le lithium ($1s^2 2s^1$) perd l'électron de sa couche $2s^1$ afin d'acquérir la configuration électronique ($1s^2$) du gaz noble qui le précède dans le tableau périodique, l'hélium, donc il formera l'ion Li^+ .

• Le magnésium ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$) perd les électrons de sa couche $3s^2$ afin d'acquérir la configuration électronique ($1s^2 2s^2 2p^6$) du gaz noble qui le précède dans le tableau périodique, le néon, donc il formera l'ion Mg^{2+} .

2. La perte d'un électron ou de deux électrons ne change pas la masse de l'ion : $m_{ion} = m_{atome}$.

3. • Pour l'ion Mg^{2+} :

$$\frac{m_{Mg^{2+}}}{|Z_{Mg^{2+}}|} = \frac{3,99 \times 10^{-23}}{2}$$

$$\frac{m_{Mg^{2+}}}{|Z_{Mg^{2+}}|} = 2,00 \times 10^{-23}$$

• Pour l'ion Li^+ :

$$\frac{m_{Li^+}}{|Z_{Li^+}|} = \frac{1,16 \times 10^{-23}}{1}$$

$$\frac{m_{Li^+}}{|Z_{Li^+}|} = 1,16 \times 10^{-23}$$

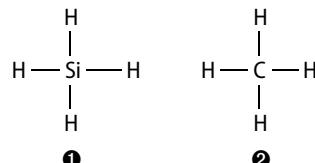
4. Le quotient calculé pour l'ion Mg^{2+} est supérieur à celui calculé pour l'ion Li^+ . C'est l'ion Mg^{2+} qui aura la trajectoire de plus grand rayon.

5. L'ion Mg^{2+} sera récupéré au point I' et l'ion Li^+ au point I

49 > Le problème à résoudre

Voir tableau, en bas de page.

Les configurations électroniques permettent de déterminer la formule de Lewis des molécules de silane ① et de méthane ② :



Nature des liaisons à rompre	Nombre de liaisons
Si—H	4
C—H	4

Pour chaque molécule, il faut rompre 4 liaisons simples entre l'atome central et les atomes d'hydrogène.

D'après les documents 1 et 2, c'est la molécule de silane qui est la moins stabilisée lors de sa formation à partir des atomes pris séparément. L'énergie de liaison Si—H est inférieure à celle de C—H, c'est donc la liaison Si—H qui est la plus facile à rompre.

Atome	Configuration électronique	Gaz noble qui suit dans le tableau périodique	Doublets liants	Électrons non engagés	Doublets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	Ne	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
Si	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$	Ar	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$
H	$1s^1$	He	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	$\frac{0}{2} = 0$

Transformations de la matière

LE PROGRAMME

• 2. Modélisation des transformations de la matière et transfert d'énergie

L'objectif de cette partie est d'identifier et de distinguer les trois types de transformation de la matière, de les modéliser par des réactions et d'écrire les équations ajustées en utilisant les lois de conservation appropriées. Une première approche des énergies mises en jeu lors de ces trois types de transformations permet de montrer que l'énergie transférée lors d'une transformation dépend des quantités de matière des espèces mises en jeu.

L'étude des transformations chimiques, entamée au collège, est complétée par les notions de stœchiométrie, d'espèce spectatrice et de réactif limitant. L'analyse de l'évolution d'un système pour modéliser sa transformation chimique par une réaction illustre une démarche de modélisation au niveau macroscopique. Elle nécessite de mettre en place une démarche expérimentale rigoureuse pour passer :

- d'une description des modifications visibles ;

- aux espèces chimiques, présentes dans l'état initial et qui ont réagi ;
- à celles, présentes dans l'état final et qui ont été formées ;
- et enfin, à l'écriture d'une réaction rendant compte au mieux des changements observés au niveau macroscopique.

Pour que les transformations soient plus concrètes, des exemples provenant de la vie quotidienne sont proposés : combustions, corrossions, détartrage, synthèses d'arôme ou de parfum, etc.

Notions abordées au collège (cycle 4)

Transformations physiques : changement d'état, conservation de la masse, variation du volume, température de changement d'état.

Transformations chimiques : conservation de la masse, redistribution d'atomes, notion d'équation chimique, réactions entre espèces acides et basiques en solution, réactions d'une espèce acide sur un métal, mesure de pH.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
A) Transformation physique	
Écriture symbolique d'un changement d'état. Modélisation microscopique d'un changement d'état. [...]	Citer des exemples de changements d'état physique de la vie courante et dans l'environnement. Établir l'écriture d'une équation pour un changement d'état. Distinguer fusion et dissolution. [...]
B) Transformation chimique	
Modélisation macroscopique d'une transformation par une réaction chimique. Écriture symbolique d'une réaction chimique. Notion d'espèce spectatrice. Stoechiométrie, réactif limitant. [...]	Modéliser, à partir de données expérimentales, une transformation par une réaction, établir l'équation de réaction associée et l'ajuster. Identifier le réactif limitant à partir des quantités de matière des réactifs et de l'équation de réaction. <i>Déterminer le réactif limitant lors d'une transformation chimique totale, à partir de l'identification des espèces chimiques présentes dans l'état final.</i> Modéliser, par l'écriture d'une équation de réaction, la combustion du carbone et du méthane, la corrosion d'un métal par un acide, l'action d'un acide sur le calcaire, l'action de l'acide chlorhydrique sur l'hydroxyde de sodium en solution. [...]
Capacité mathématique : utiliser la proportionnalité.	

Synthèse d'une espèce chimique présente dans la nature.	Établir, à partir de données expérimentales, qu'une espèce chimique synthétisée au laboratoire peut être identique à une espèce chimique synthétisée dans la nature. Réaliser le schéma légendé d'un montage à reflux et d'une chromatographie sur couche mince. <i>Mettre en œuvre un montage à reflux pour synthétiser une espèce chimique présente dans la nature.</i> <i>Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince pour comparer une espèce synthétisée et une espèce extraite de la nature.</i>
C) Transformation nucléaire	
[...] Écriture symbolique d'une réaction nucléaire. [...]	[...] Identifier la nature physique, chimique ou nucléaire d'une transformation à partir de sa description ou d'une écriture symbolique modélisant la transformation.

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

p. 82

SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier que les élèves font la différence entre une transformation physique et une transformation chimique (notion abordée au cycle 4).

➤ Exemple de réponse attendue

Voir tableau, en bas de page.

Parmi les trois transformations proposées, seule la troisième est une transformation chimique car c'est la seule au cours de laquelle il y a formation de nouvelles entités microscopiques.

Les deux autres sont des transformations physiques (pas de formation de nouvelles entités).

➤ En classe de 2^{de}

Dans l'**activité 1**, les élèves pourront se remémorer les notions abordées au cycle 4 (différences entre transformations physiques et chimiques) et on y ajoute les transformations nucléaires.

SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier un deuxième acquis du cycle 4, la notion de réactif et de produit d'une transformation chimique.

➤ Exemple de réponse attendue

Les réactifs sont ceux qui réagissent entre eux et disparaissent, donc il s'agit du charbon de bois et du dioxygène.

Le produit se forme au cours de la transformation, il s'agit donc du dioxyde de carbone.

➤ En classe de 2^{de}

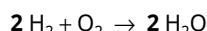
Nous reviendrons sur la modélisation d'une transformation chimique par une réaction chimique dont on écrira l'équation ajustée. Ce modèle sera complété par les notions de stœchiométrie, d'espèces spectatrices et de réactif limitant (**activités 2 et 3**).

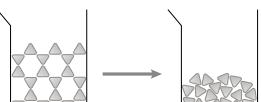
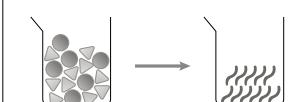
SITUATION 3

Dans cette troisième situation, les élèves sont invités à réutiliser la conservation des atomes, déjà vue au cycle 4.

➤ Exemple de réponse attendue

Non, cette équation n'est pas correcte car les atomes ne sont pas conservés, il faut l'ajuster en ajoutant des **nombres stœchiométriques** :



Transformations de la matière	Transformation physique	Transformation physique	Transformation chimique
Comportement des entités microscopiques	Restent les mêmes et changent de disposition	Restent les mêmes et se mêlent	Disparaissent pour laisser apparaître de nouvelles entités
Représentation possible			

► En classe de 2^{de}

L'ajustement de l'équation chimique prend tout son sens l'année de 2^{de}, avec la notion de réactif limitant, abordée dans les **activités 2 et 3**, et dans le **cours**.

ACTIVITÉS

p. 84 ■ ACTIVITÉ 1

Les transformations de la matière : une histoire d'échelle

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet de différencier rapidement les trois types de transformations, et de se rendre compte qu'il s'agit principalement d'un problème d'échelle.

■ Documents

Les **documents 2, 3 et 4** décrivent chaque type de transformation.

La description est succincte, mais suffisante pour mettre en évidence les différences.

► Exploitation et analyse

1 Classement de la plus petite particule à la plus grande particule : noyau, atome, molécule.

2 Tableau complété : voir en bas de page.

► Synthèse

3 Transformer le plomb en or est une transformation nucléaire, cela nécessite beaucoup plus d'énergie qu'une transformation chimique. Au Moyen-Âge, les alchimistes ne disposaient pas de cette énergie.

p. 85 ■ ACTIVITÉ 2

La chimie, c'est de la cuisine ! Démarches différencierées

► Démarche experte

Il faut chercher le nombre initial de tranches de pain et de jambon dont dispose le boulanger.

En comparant ces quantités initiales aux proportions dans lesquelles elles seront utilisées pour

faire des sandwiches (équation de « fabrication »), on pourra en déduire l'ingrédient manquant : le réactif limitant.

• Nombre de tranches de pain :

$$\frac{\text{masse de pain}}{\text{masse d'une tranche de pain}}$$

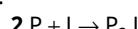
$$= \frac{m_p}{M_p} = \frac{12,0 \times 10^3}{60} = 200$$

• Nombre de tranches de jambon :

$$\frac{\text{masse de jambon}}{\text{masse d'une tranche de jambon}}$$

$$= \frac{m_j}{M_j} = \frac{2,2 \times 10^3}{20} = 110$$

D'après les proportions données dans l'équation de la transformation :



si on utilise 200 tranches de pain, il faut utiliser 100 tranches de jambon pour former 100 sandwiches. Or le boulanger dispose de 110 tranches de jambon. Donc, l'ingrédient qui manquera en premier est le pain. Il y a « trop » de jambon.

► Démarche avancée

1 On connaît la masse de pain dont dispose le boulanger, ainsi que la masse d'une tranche de pain.

On en déduit le nombre n_p de tranches de pain :

$$n_p = \frac{\text{masse de pain}}{\text{masse d'une tranche de pain}}$$

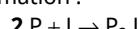
$$n_p = \frac{m_p}{M_p} = \frac{12,0 \times 10^3}{60} = 200$$

De la même façon, on calcule le nombre n_j de tranches de jambon :

$$n_j = \frac{\text{masse de jambon}}{\text{masse d'une tranche de jambon}}$$

$$n_j = \frac{m_j}{M_j} = \frac{2,2 \times 10^3}{20} = 110$$

2 D'après les proportions données dans l'équation de la transformation :



État initial	État final	Type de transformation
Atome d'uranium U	Atome de plutonium Pu	nucléaire
Molécules de dioxygène liquide O ₂ (l)	Molécules de dioxygène gazeux O ₂ (g)	physique
Molécules de méthane CH ₄ et de dioxygène O ₂	Molécules de dioxyde de carbone CO ₂ et d'eau H ₂ O	chimique

si on utilise 200 tranches de pain, il faut utiliser 100 tranches de jambon pour former 100 sandwiches. Or le boulanger dispose de 110 tranches de jambon. Donc, l'ingrédient qui manquera en premier est le pain. Il y a « trop » de jambon.

> Démarche élémentaire

1 $m_p = 12,0 \text{ kg} = 12,0 \times 10^3 \text{ g}$

$$m_j = 2,2 \text{ kg} = 2,2 \times 10^3 \text{ g}$$

2 Nombre n_p de tranches de pain disponibles dans le stock :

$$n_p = \frac{\text{masse de pain}}{\text{masse d'une tranche de pain}}$$

$$n_p = \frac{m_p}{M_p} = \frac{12,0 \times 10^3}{60} = 200$$

Le boulanger peut faire 100 sandwiches.

3 Pour réaliser 100 sandwiches, 100 tranches de jambon sont nécessaires.

4 Nombre n_j de tranches de jambon disponibles dans le stock :

$$n_j = \frac{\text{masse de jambon}}{\text{masse d'une tranche de jambon}}$$

$$n_j = \frac{m_j}{M_j} = \frac{2,2 \times 10^3}{20} = 110$$

5 $110 > 100$, il y a donc plus de jambon que nécessaire, le pain est totalement consommé en premier, c'est le réactif limitant.

p. 86 ■ ACTIVITÉ 3

Déterminer le réactif limitant TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet de déterminer expérimentalement le réactif limitant.

L'expérience est visuelle, on « voit » le réactif en excès à la fin de la transformation.

L'activité est ici proposée avec trois mélanges, mais peut aussi être faite avec deux mélanges seulement. Dans ce cas-là, il n'est pas forcément utile de mesurer le volume de gaz dégagé car ce n'est pas cette mesure qui sert à déterminer la nature du réactif limitant.

Avec le troisième mélange, il s'agit d'aller un peu plus loin dans la notion de stoechiométrie et la compréhension de ce que limite vraiment le réactif limitant (il limite la transformation, lorsqu'il est consommé, il n'y a plus formation de produits).

> Expérience et exploitation

2 Tableau complété :

	Mélange		
	1	2	3
Couleur de la solution dans l'état initial	jaune	jaune	jaune
Couleur de la solution dans l'état final	bleue	jaune	jaune
Reste-t-il du solide dans l'état final ?	oui	non	non
Volume de gaz formé dans l'état final	112 mL	269 mL	269 mL

3 • Mélange 1 :

Il reste du solide NaHCO_3 à la fin de la réaction, l'hydrogénocarbonate de sodium est en excès et donc les ions oxonium H_3O^+ (aq) sont limitants.

De plus, la couleur finale de la solution est bleue : cela confirme qu'elle ne contient plus d'ions H_3O^+ (aq).

• Mélanges 2 et 3 :

Il n'y a plus de solide à la fin de la réaction et la solution est jaune.

La solution contient des ions H_3O^+ (aq), réactif en excès, et l'hydrogénocarbonate de sodium a totalement disparu, réactif limitant.

4 Dans les mélanges 2 et 3, la quantité initiale du réactif limitant est la même.

La quantité initiale du réactif en excès (qu'il y en ait un peu plus ou beaucoup plus) n'a pas d'influence sur la quantité de gaz formé.

5	Mélange 1	Mélange 2	Mélange 3
NaHCO ₃ (s)	<p>Massé d'une molécule : $m_{\text{Na}} + m_{\text{H}} + m_{\text{C}} + 3 \times m_{\text{O}} = 1,40 \times 10^{-22} \text{ g}$</p> <p>Nombre de molécules : $\frac{1,0}{1,40 \times 10^{-22}} = 7,14 \times 10^{21}$</p> <p>Quantité de matière : $\frac{7,14 \times 10^{21}}{6,02 \times 10^{23}} = 0,0119 \text{ mol}$</p>	0,0119 mol	0,0119 mol
H ₃ O ⁺ (aq)	<p>Massé d'ions H₃O⁺ (aq) : $m = c_m \cdot V = 19 \times 0,005$ $m = 0,095 \text{ g}$</p> <p>Massé d'un ion H₃O⁺ (aq) : $3 \times m_{\text{H}} + m_{\text{O}} = 3 \times 1,67 \times 10^{-24} + 2,67 \times 10^{-23} = 3,17 \times 10^{-23} \text{ g}$</p> <p>Nombre d'ions : $\frac{0,095}{3,17 \times 10^{-23}} = 3,00 \times 10^{21}$</p> <p>Quantité de matière : $\frac{3,00 \times 10^{21}}{6,02 \times 10^{23}} = 0,00498 \text{ mol}$</p>	<p>Massé d'ions H₃O⁺ (aq) : $m = c_m \cdot V = 19 \times 0,020$ $m = 0,38 \text{ g}$</p> <p>Massé d'un ion H₃O⁺ (aq) : $3 \times m_{\text{H}} + m_{\text{O}} = 3 \times 1,67 \times 10^{-24} + 2,67 \times 10^{-23} = 3,17 \times 10^{-23} \text{ g}$</p> <p>Nombre d'ions : $\frac{0,38}{3,17 \times 10^{-23}} = 12,00 \times 10^{21}$</p> <p>Quantité de matière : $\frac{12,00 \times 10^{21}}{6,02 \times 10^{23}} = 0,0199 \text{ mol}$</p>	<p>Massé d'ions H₃O⁺ (aq) : $m = c_m \cdot V = 19 \times 0,030$ $m = 0,57 \text{ g}$</p> <p>Massé d'un ion H₃O⁺ (aq) : $3 \times m_{\text{H}} + m_{\text{O}} = 3 \times 1,67 \times 10^{-24} + 2,67 \times 10^{-23} = 3,17 \times 10^{-23} \text{ g}$</p> <p>Nombre d'ions : $\frac{0,57}{3,17 \times 10^{-23}} = 18,00 \times 10^{21}$</p> <p>Quantité de matière : $\frac{18,00 \times 10^{21}}{6,02 \times 10^{23}} = 0,0299 \text{ mol}$</p>

6 D'après les coefficients stœchiométriques de l'équation (doc. 3) :

NaHCO₃(s) + H₃O⁺(aq) → CO₂(g) + 2 H₂O(l) + Na⁺(aq)
la réaction de 1 mol de NaHCO₃(s) nécessite exactement 1 mol de H₃O⁺(aq).

- Mélange 1 : 0,00498 mol < 0,0119 mol, donc on vérifie bien que H₃O⁺(aq) est limitant.

- Mélange 2 : 0,0119 mol < 0,0199 mol, donc on vérifie bien que NaHCO₃(s) est limitant.

- Mélange 3 : 0,0119 mol < 0,0299 mol, donc on vérifie bien que NaHCO₃(s) est limitant.

Conclusion

7 Le réactif limitant « limite » la réaction chimique (il limite la transformation des réactifs en produits).

p. 87 ■ ACTIVITÉ 4

Synthèse de l'arôme de jasmin..... TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet de comprendre les différentes étapes d'un protocole de synthèse.

■ Documents

Le document 2 fournit le chromatogramme obtenu. Pour que le TP puisse être fait en 1 h 30, il a été choisi de ne pas faire réaliser la chromatographie aux élèves, seule l'interprétation du chromatogramme est proposée.

Si l'enseignant dispose de suffisamment de temps, il peut être intéressant de faire réaliser l'expérience aux élèves.

► Expérience et exploitation

1 b. Les vapeurs issues du mélange réactionnel en ébullition montent dans le réfrigérant. Elles se liquéfient au contact des parois froides et retournent dans le ballon. On peut donc dire qu'il y a un flux de vapeurs vers le haut, puis un reflux (= recul) vers le bas.

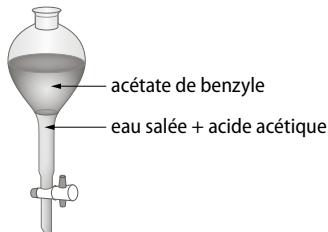
c. On chauffe le milieu réactionnel pour accélérer la réaction.

d. Au cours de la réaction, il se forme de l'eau. L'acétate de benzyle est un peu soluble dans l'eau, mais totalement insoluble dans l'eau salée. En ajoutant de l'eau salée à la fin de l'expérience, on réalise une extraction de l'acétate de benzyle qui était dissout dans l'eau.

2 L'alcool benzylque est le réactif limitant, il n'y en a plus à la fin de la réaction.

Dans l'ampoule, il y a donc de l'eau salée, de l'acide acétique totalement miscible avec l'eau salée, et de l'acétate de benzyle qui n'est pas soluble dans l'eau salée.

La densité de l'acétate de benzyle étant plus faible, il sera situé au-dessus de l'eau salée.



3 a. Non, la phase liquide récupérée à la fin de la synthèse est composée d'un mélange de deux espèces chimiques car il y a deux taches au-dessus du dépôt C.

b. Oui, il y a eu synthèse d'acétate de benzyle car une des taches du dépôt C est arrivée au même niveau que la tache du dépôt B.

c. Non, il n'y a pas synthèse d'huile essentielle de jasmin car elle est composée d'un mélange de quatre espèces chimiques, visibles au-dessus du dépôt D.

Conclusion

4 D'après le **document 1**, il est très difficile et très cher d'extraire l'acétate de benzyle de la nature (travail pénible, de nombreuses heures de travail pénible, beaucoup de main-d'œuvre à payer).

EXERCICES

Vérifier l'essentiel

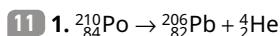
p. 92

- | | | |
|-------------------|------------------|------------------|
| 1 B. | 2 B et C. | 3 A et C. |
| 4 B et C. | 5 B. | 6 A et B. |
| 7 A et C. | 8 A et B. | 9 C. |
| 10 A et B. | | |

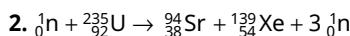
Acquérir les notions

Transformations nucléaires

p. 93



Noyaux		Particules	
père	fils	captée	émise
${}_{84}^{210}\text{Po}$	${}_{82}^{206}\text{Pb}$	-	${}_2^4\text{He}$



Noyaux		Particules	
père	fils	captée	émises
${}_{92}^{235}\text{U}$	${}_{38}^{94}\text{Sr}$ et ${}_{54}^{139}\text{Xe}$	${}_0^1\text{n}$	3 ${}_0^1\text{n}$

12 L'équation **1.** est fausse car les noyaux père et fils sont identiques.

L'équation **3.** est fausse car les noyaux père et fils sont identiques.

Transformations physiques

p. 93

13 Proposition **a** :

On ajoute un morceau de sucre dans le café, et on agite. Le sucre se *dissout*.

Proposition **d** :

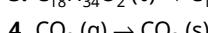
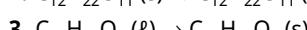
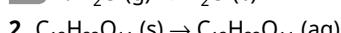
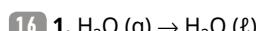
Pour préparer un gâteau, on chauffe des morceaux de chocolat dans une casserole. Le chocolat *fond*.

14

	Avant	Après
Fusion d'un solide		
Dissolution d'un solide soluble dans un solvant		
Dissolution d'un solide insoluble dans un solvant		

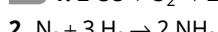
15 Voici trois exemples de changement d'état physique :

- l'eau dans une casserole qui s'évapore (éaporation) ;
- le beurre qui fond (fusion) en préparant un gâteau ;
- l'eau qui forme des glaçons (solidification) en plaçant de l'eau liquide au congélateur.



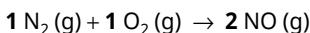
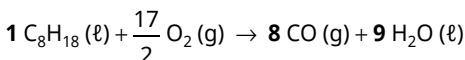
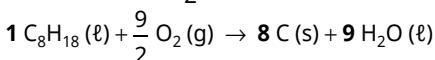
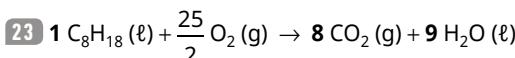
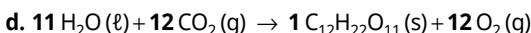
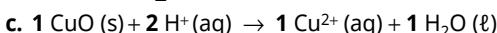
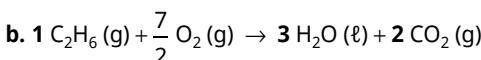
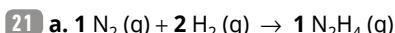
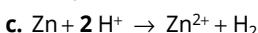
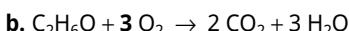
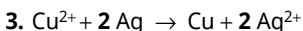
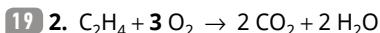
Transformations chimiques

p. 94



18 1.

	Réactifs	Produit(s)	Espèce(s) spectatrice(s)
Transformation A	C et O ₂	CO ₂	N ₂
Transformation B	Cu ²⁺ et Zn	Zn ²⁺ et Cu	SO ₄ ²⁻ et H ₂ O



24 Un airbag peut vous sauver la vie au cours d'une avalanche. Il s'agit d'un coussin qui se gonfle très rapidement pendant la chute dans le but de vous maintenir à la surface de la coulée de neige. En cas de chute, une étincelle déclenche la décomposition thermique de l'azoture de sodium NaN₃(s) qui forme du sodium métallique Na(s) et libère du diazote gazeux N₂(g).

1. Identifier le(s) réactif(s) et le(s) produit(s) de la réaction chimique.

2. Écrire l'équation chimique équilibrée en ajustant les nombres stœchiométriques.

3. Pourquoi l'airbag gonfle-t-il pendant la chute ?

Corrigé :

1. Le réactif : NaN₃(s).

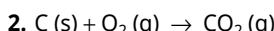
Les produits : Na(s) et N₂(g).

2. 2 NaN₃(s) → 2 Na(s) + 3 N₂(g)

3. Un des produits est un gaz, il occupe beaucoup plus de place que le solide initial, donc le ballon se gonfle.

25 **1.** Les réactifs : C(s) et O₂(g).

Le produit : un gaz, formé d'atomes de carbone et d'oxygène, qui trouble l'eau de chaux, il ne peut s'agir que du dioxyde de carbone CO₂.



3. À la fin de la réaction, il reste encore du charbon, donc le carbone C est en excès et le dioxygène O₂ est limitant.

26

	État initial		État final			Réactif limitant
	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂ O	H ₂ O ₂
Exp. 1						H ₂
Exp. 2						H ₂ et O ₂
Exp. 3						O ₂

27 D'après les coefficients stœchiométriques, la réaction de 1 mol de Fe nécessite 2 mol de H⁺.

Expérience 1 :

Pour 2 mol de Fe, il faut 4 mol de H⁺. Or on en a 6, donc Fe est limitant.

Expérience 2 :

Pour 3 mol de Fe, il faut 6 mol de H⁺. Or on en a 4, donc H⁺ est limitant.

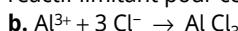
Expérience 3 :

Pour 5 mol de Fe, il faut 10 mol de H⁺ : les deux réactifs sont limitants.



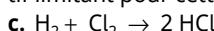
D'après l'équation chimique, pour 3 mol de O₂, il faut 6 mol de Mg.

Or on a seulement 3 mol de Mg, donc Mg est le réactif limitant pour cette transformation.



D'après l'équation chimique, pour 3 mol de Al³⁺, il faut 9 mol de Cl⁻.

Or on a seulement 3 mol de Cl⁻, donc Cl⁻ est le réactif limitant pour cette transformation.



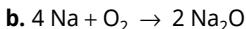
D'après l'équation chimique, pour 3 mol de H₂, il faut 3 mol de Cl₂.

Donc H₂ et Cl₂ sont des réactifs limitants pour cette transformation.

29 a. $\text{Cl}_2 + 2 \text{HI} \rightarrow 2 \text{HCl} + \text{I}_2$

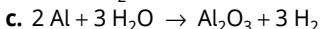
D'après l'équation chimique, pour 1 mol de Cl_2 , il faut 2 mol de HI .

D'après l'énoncé, on a 8 mol de Cl_2 , donc il faut 16 mol de HI .



D'après l'équation chimique, pour 4 mol de Na , il faut 1 mol de O_2 .

D'après l'énoncé, on a 8 mol de Na , donc il faut 2 mol de O_2 .



D'après l'équation chimique, pour 2 mol de Al , il faut 3 mol de H_2O .

D'après l'énoncé, on a 8 mol de Al , donc il faut 12 mol de O_2 .

> Synthèse d'une espèce chimique ■ p. 95

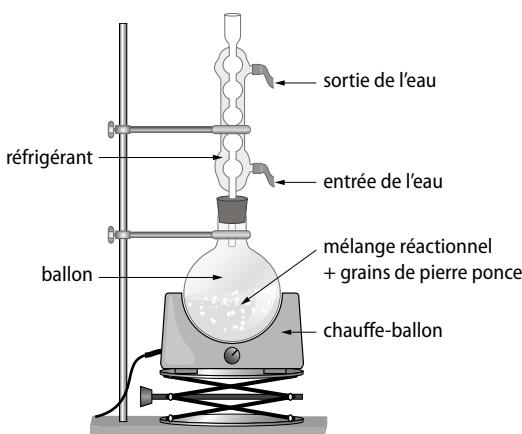
30 1. Rôle de la pierre ponce : réguler l'ébullition.

2. En cas de surchauffe, on peut descendre le support rapidement et arrêter le chauffage du mélange réactionnel, c'est plus rapide que de couper l'alimentation électrique du chauffe-ballon.

3. On fixe le ballon à une potence pour tenir le montage et éviter qu'il ne bascule. Et si on doit descendre le support rapidement (question 2.), il faut que le ballon reste suspendu.

4. Non, on ne doit pas fermer l'extrémité supérieure du réfrigérant car entre le début du chauffage (initialement, le montage est froid) et l'ébullition, la pression à l'intérieur de l'ensemble « ballon et réfrigérant » change.

31 1. Schéma de montage de chauffage à reflux :

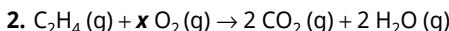


2. L'arôme de banane obtenu par synthèse est identique à celui obtenu par extraction car les deux taches situées au-dessus des dépôts A et B sont à la même hauteur.

Exercices similaires aux exercices résolus

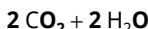
■ p. 96 et 97

33 1. D'après la description de la transformation, de nouvelles espèces chimiques se forment ($\text{CO}_2(\text{g})$ et $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$). Ces espèces chimiques n'existaient pas à l'état initial, il s'agit donc d'une transformation chimique.



Pour que l'équation soit ajustée, il faut, pour chaque type d'atome, le même nombre d'atomes dans les réactifs et les produits.

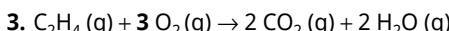
Pour l'élément oxygène, à droite de l'équation, on a :



2 × 2 + 2 = 6 O, il faut donc à gauche de l'équation autant de O.

Comme à gauche on a O_2 , on en déduit que $x = 3$.

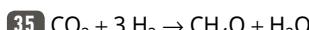
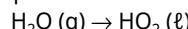
Pour respecter la conservation de l'élément oxygène O, il faut $x = 3$.



D'après les nombres stœchiométriques, la réaction de 1 mol de C_2H_4 nécessite 3 mol de O_2 .

On en déduit, par proportionnalité, que la combustion de 5 mol de C_2H_4 nécessite $5 \times 3 = 15$ mol de O_2 . Or le récipient contient 20 mol de O_2 , donc O_2 est en excès et C_2H_4 est le réactif limitant.

4. Équation de liquéfaction de l'eau :



1. D'après les nombres stœchiométriques, la réaction de 1 mol de CO_2 nécessite 3 mol de H_2 .

On en déduit, par proportionnalité, que la réaction nécessite $3 \times 0,20 = 0,60$ mol de H_2 . Or la synthèse est réalisée (d'après l'énoncé) à partir de 0,40 mol de H_2 , donc les réactifs CO_2 et H_2 ne sont pas introduits dans les proportions stœchiométriques.

2. La quantité initiale ($n_2 = 0,40$ mol) de H_2 est inférieure à la quantité nécessaire ($n = 0,60$ mol), donc H_2 est le réactif limitant.

Croiser les notions ■ p. 98

36 1. Transformation physique.

2. Transformation nucléaire.

3. Transformation chimique.

4. Transformation physique.

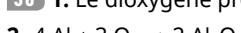
37 1. Transformation physique.

2. Transformation nucléaire.

3. Transformation chimique.

4. Transformation chimique.

38 1. Le dioxygène provient de l'air.



3. Le dioxygène O₂ de l'air est en large excès, c'est l'aluminium Al le réactif limitant.

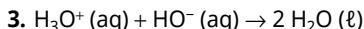
4. L'alumine est étanche à l'air, elle empêche donc le dioxygène de réagir avec les atomes d'aluminium qui sont en profondeur. Seule une corrosion en surface est possible.

39 **1.** Oui, une transformation chimique s'est produite car une nouvelle espèce chimique s'est formée, l'eau H₂O.

2. Les réactifs sont H₃O⁺ et HO⁻.

Le produit est H₂O.

Les espèces spectatrices sont Cl⁻ et Na⁺.



4. D'après les nombres stœchiométriques, la réaction de 1 mol de H₃O⁺ nécessite 1 mol de HO⁻. On en déduit, par proportionnalité, que la réaction de 5 mol de H₃O⁺ nécessite 5 mol de HO⁻.

Or la solution ne contient que 3 mol de HO⁻, donc HO⁻ est le réactif limitant.

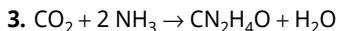
40 **1.** H₂ (l) → H₂ (g) est une transformation physique.

2. a. 2 H₂ + O₂ → 2 H₂O est une transformation chimique.

b. Pour 2 mol de H₂, il faut 1 mol de O₂, donc pour 40 mol de H₂, il faut 20 mol de O₂.

41 **1.** C'est la première fois que l'on a réussi à reproduire la nature, donc il n'y a pas de « force vitale » responsable de la création et de l'existence de la matière. L'Homme sait le faire.

2. Formule brute de l'urée : CN₂H₄O.



4. L'industriel doit utiliser 2,5 × 10³ mol de CO₂.

5. On cherche d'abord le nombre N de molécules de CO₂ et la masse m d'une molécule de CO₂.

D'après le cours, on sait que la quantité de matière n, exprimée en mol, est :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

avec N le nombre d'entités chimiques et N_A la constante d'Avogadro : N_A = 6,02 × 10²³ mol⁻¹.

Donc N = n · N_A.

$$N = 2,5 \times 10^3 \times 6,02 \times 10^{23}$$

$$N = 1,51 \times 10^{27} \text{ molécules de CO}_2$$

La masse m d'une molécule de CO₂ est :

$$m = m_C + 2 \times m_O$$

$$m = 2,00 \times 10^{-23} + 2 \times 2,67 \times 10^{-23}$$

$$m = 7,34 \times 10^{-23} \text{ g}$$

La masse de CO₂ que l'industriel devra utiliser est :

$$N \cdot m$$

$$1,51 \times 10^{27} \times 7,34 \times 10^{-23} = 1,10 \times 10^5 \text{ g} = 110 \text{ kg}$$

6. Il y a trop de CO₂ dans l'atmosphère, donc tout ce qui consomme du CO₂ est favorable à la planète et permet de limiter l'effet de serre.

42 **1.** Étape 1 : dispositif ②.

Étape 2 : dispositif ③.

Étape 3 : dispositif ④.

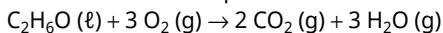
2. a. Le chauffage est utile pour accélérer la transformation chimique.

b. Le réfrigérant refroidit les vapeurs du mélange réactionnel et les liquéfient. Une fois sous forme liquide, elles retournent dans le ballon.

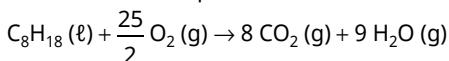
3. La filtration sur Büchner est plus rapide, et le solide obtenu est plus « sec »

43 **1.** La combustion du carburant est une transformation chimique car de nouvelles espèces chimiques sont formées, le dioxyde de carbone CO₂ et l'eau H₂O.

2. • Combustion complète de l'éthanol :



• Combustion complète de l'octane :



3. a. D'après l'énoncé, le carburant est constitué de 85 % d'éthanol et de 15 % d'octane.

Le réservoir contient 50,0 L de carburant, donc les volumes V₁ et V₂ sont :

$$V_1 = \frac{85}{100} \times 50,0 \text{ L} = 42,5 \text{ L}$$

$$V_2 = \frac{15}{100} \times 50,0 \text{ L} = 7,5 \text{ L}$$

b. Parmi les données, on a les masses volumiques ρ de l'éthanol et de l'octane, donc, pour calculer les masses, on utilise la formule $\rho = \frac{m}{V}$ dont on en déduit :

$$m = \rho \cdot V$$

$$m_1 = \rho_1 \cdot V_1$$

$$m_1 = 789 \times 42,5$$

$$m_1 = 33\,532,5 \text{ g}$$

$$m_1 = 3,35 \times 10^4 \text{ g}$$

$$m_1 = 33,5 \text{ kg}$$

$$m_2 = \rho_2 \cdot V_2$$

$$m_2 = 703 \times 7,5$$

$$m_2 = 5\,272,5 \text{ g}$$

$$m_2 = 5,27 \times 10^3 \text{ g}$$

$$m_2 = 5,27 \text{ kg}$$

c. D'après le cours, on sait que :

- la quantité de matière n, exprimée en mol, est :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

avec N le nombre d'entités chimiques et N_A la constante d'Avogadro N_A = 6,02 × 10²³ mol⁻¹ ;

- un échantillon de masse m_{éch.} contient un nombre N d'atomes égal à :

$$N = \frac{m_{\text{éch.}}}{m_{\text{atome}}}$$

Donc : $n = \frac{m_{\text{éch.}}}{m_{\text{atome}}} \times \frac{1}{N_A}$

La masse d'une molécule d'éthanol C_2H_6O est :

$$m = 2 \times 2,00 \times 10^{-23} + 6 \times 1,67 \times 10^{-24} + 1 \times 2,67 \times 10^{-23}$$

$$m = 7,67 \times 10^{-23} \text{ g}$$

Donc :

$$n_1 = \frac{m_1}{m} \times \frac{1}{N_A} = \frac{3,35 \times 10^4}{7,67 \times 10^{-23} \times 6,02 \times 10^{23}}$$

$$n_1 = 726 \text{ mol}$$

La masse d'une molécule d'octane C_8H_{18} est :

$$m = 8 \times 2,00 \times 10^{-23} + 18 \times 1,67 \times 10^{-24}$$

$$m = 1,9 \times 10^{-22} \text{ g}$$

Donc :

$$n_2 = \frac{m_2}{m} \times \frac{1}{N_A} = \frac{5,27 \times 10^3}{1,9 \times 10^{-22} \times 6,02 \times 10^{23}}$$

$$n_2 = 46,1 \text{ mol}$$

4. a. On peut considérer que l'air est disponible « à volonté », donc le réactif limitant est l'éthanol pour sa combustion, et l'octane pour la sienne.

b. Il faut traiter les deux combustions séparément.

• *Combustion de l'éthanol :*

D'après les nombres stœchiométriques, la réaction de 1 mol d'éthanol C_2H_6O nécessite 3 mol de O_2 .

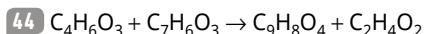
Pour 726 mol d'éthanol, il faut $3 \times 726 = 2\,178$ mol de O_2 .

• *Combustion de l'octane :*

D'après les nombres stœchiométriques, la réaction de 1 mol d'octane C_8H_{18} nécessite $\frac{25}{2}$ mol de O_2 .

Pour 46,1 mol d'octane, il faut $\frac{25}{2} \times 46,1 = 576$ mol de O_2 .

• Au total, il faut donc $2\,178 + 576 = 2,75 \times 10^3$ mol de O_2 .



1. Les réactifs : l'anhydride éthanoïque $C_4H_6O_3$ et l'acide salicylique $C_7H_6O_3$.

2. L'élément C :

$$4 + 7 = 9 + 2 \text{ donc il y a conservation de C.}$$

L'élément H :

$$6 + 6 = 8 + 4 \text{ donc il y a conservation de H.}$$

L'élément O :

$$3 + 3 = 4 + 2 \text{ donc il y a conservation de O.}$$

3. On doit mesurer un volume V d'anhydride éthanoïque égal à :

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{21,6}{1,08} \text{ soit } V = 20,0 \text{ mL.}$$

4. a. La masse m d'une molécule d'anhydride éthanoïque $C_4H_6O_3$ est :

$$m = 4 \times m_C + 6 \times m_H + 3 \times m_O$$

$$m = 4 \times 2,00 \times 10^{-23} + 6 \times 1,67 \times 10^{-24} + 3 \times 2,67 \times 10^{-23}$$

$$m = 1,70 \times 10^{-22} \text{ g}$$

D'après le cours, on sait que la quantité de matière n , exprimée en mol, est :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

avec N le nombre d'entités chimiques et N_A la constante d'Avogadro $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

$$N = \frac{m_{\text{éch. anydride}}}{m_{\text{molécule anydride}}}$$

$$N = \frac{21,6}{1,70 \times 10^{-22}}$$

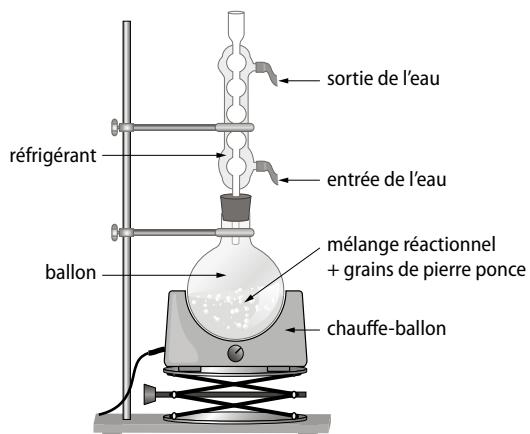
$$N = 1,27 \times 10^{23} \text{ molécules}$$

$$\text{Donc } n = \frac{1,27 \times 10^{23}}{6,02 \times 10^{23}} \text{ soit :}$$

$$n = 0,211 \text{ mol d'anhydride éthanoïque}$$

b. Les nombres stœchiométriques sont tous égaux à 1, donc pour 0,211 mol d'anhydride éthanoïque, il faut 0,211 mol d'acide salicylique, or on utilise seulement 0,0722 mol d'acide salicylique.
 $0,0722 < 0,211$ donc l'acide salicylique est le réactif limitant.

5. a. Schéma :



b. Un tel montage permet d'accélérer la réaction sans perte du mélange réactionnel par évaporation.

6. L'aspirine est très peu soluble dans le mélange réactionnel à basse température, donc elle devient solide lorsqu'on le refroidit.

7. On a bien synthétisé l'aspirine car la tache la plus haute du chromatogramme, au-dessus du dépôt E, est à la même hauteur que la tache issue du témoin T. L'aspirine obtenue n'est pas pure car il y a aussi une autre tache, il s'agit probablement du réactif en excès.

45 EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

Les deux transformations chimiques sont l'inverse l'une de l'autre.

La plus « efficace » des deux est la photosynthèse, donc globalement, les plantes ont besoin d'eau, elles consomment du dioxyde de carbone CO₂ et fabriquent du dioxygène O₂.

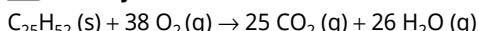
Les animaux ont besoin des plantes puisque pour leur respiration, ils ont besoin de dioxygène O₂ et rejettent du dioxyde de carbone CO₂.

46 Ce prototype de véhicule consomme du dihydrogène (présent dans son réservoir). Il consomme aussi du dioxygène (présent dans l'air) et fabrique de l'eau.

Les espèces chimiques initialement présentes (H₂ et O₂) disparaissent, les atomes sont conservés mais réorganisés pour former une nouvelle espèce chimique qui n'était pas présente à l'état initial (l'eau H₂O). Il s'agit donc d'une transformation chimique.

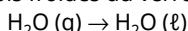
■ Acquérir des compétences ■ p. 101

47 > Analyse



1. Non, car la réaction consomme du gaz O₂ mais forme aussi des gaz, du CO₂ et H₂O.

2. L'eau produite par la combustion se liquéfie au contact des parois froides du verre :



3. Le CO₂ produit par la combustion a une plus grande masse volumique que celle de l'air, il s'accumule donc dans la partie basse du verre, là où se produit la combustion. Il empêche alors probablement la combustion de se faire (**doc. 4**) car il prive la flamme du dioxygène nécessaire à la combustion.

4. Initialement, le mélange gazeux dans le verre est chaud. Lorsque la flamme s'éteint, il se refroidit rapidement et se contracte. C'est cette contraction qui est majoritairement responsable de la montée de l'eau, qui se produit surtout après extinction de la flamme.

La faible montée de l'eau avant l'extinction peut être interprétée de la façon suivante : si on considère que toute la vapeur d'eau produite se liquéfie, alors, d'après les nombres stœchiométriques, on consomme plus de gaz que ce que l'on en produit.

5. On pourrait penser que les « environ 20 % » d'eau dans le verre, sont dus aux 21 % de dioxygène présent dans l'air, qui ont été consommés au cours de la combustion.

> Synthèse

La bougie s'éteint car elle a consommé tout le dioxygène : faux, car la bougie s'éteint avant d'avoir consommé tout le dioxygène, à cause de la formation du CO₂.

L'eau monte car elle prend la place du dioxygène : faux, car l'eau monte essentiellement à cause de la contraction des gaz à l'intérieur du verre, lorsqu'ils se refroidissent.

48 > Démarche experte

Il faut d'abord déterminer les quantités de matière initiales (en mol) de réactifs : calcaire et acide éthanoïque. On utilise ensuite les nombres stœchiométriques de l'équation de la réaction pour déterminer s'il y a assez de vinaigre pour faire disparaître la totalité de la coquille. Pour le calcaire, on calcule la masse d'une molécule de calcaire, puis le nombre de molécules présentes dans 6,0 g de la coquille. Enfin, on en déduit la quantité de matière correspondante.

Pour l'acide éthanoïque, on détermine d'abord la masse d'acide éthanoïque dans 150 mL de vinaigre. Puis, on reprend le même raisonnement que pour le calcaire (masse d'une molécule d'acide éthanoïque, nombre de molécules d'acide éthanoïque dans 150 mL de vinaigre). Enfin, on en déduit la quantité de matière correspondante.

■ Calcaire CaCO₃ :

- On calcule la masse m d'une molécule de calcaire CaCO₃ :

$$m = m_{\text{Ca}} + m_{\text{C}} + 3 \times m_{\text{O}}$$

$$m = 40,07 \times 10^{-23} + 12,01 \times 10^{-23} + 3 \times 16,00 \times 10^{-23}$$

$$m = 1,67 \times 10^{-22} \text{ g}$$

- On calcule le nombre N de molécules de calcaire dans 6,0 g de la coquille :

$$N = \frac{m_{\text{éch. calcaire}}}{m_{\text{molécule calcaire}}}$$

$$N = \frac{6,0}{1,67 \times 10^{-22}}$$

$$N = 3,6 \times 10^{22} \text{ molécules}$$

- On en déduit la quantité de matière n correspondante :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{3,6 \times 10^{22}}{6,02 \times 10^{23}}$$

$$n = 0,060 \text{ mol}$$

■ Acide éthanoïque C₂H₄O₂ :

- On détermine d'abord la masse $m_{\text{éch.}}$ d'acide éthanoïque dans 150 mL de vinaigre :

$$m_{\text{éch.}} = 150 \times \frac{8}{1000} = 12 \text{ g}$$

- On calcule la masse m d'une molécule d'acide éthanoïque C₂H₄O₂ :

$$m = 2 \times m_{\text{C}} + 4 \times m_{\text{H}} + 2 \times m_{\text{O}}$$

$$m = 2 \times 12,01 \times 10^{-23} + 4 \times 1,00 \times 10^{-23} + 2 \times 16,00 \times 10^{-23}$$

$$m = 1,00 \times 10^{-22} \text{ g}$$

- On calcule le nombre N de molécules d'acide éthanoïque dans 150 mL de vinaigre :

$$N = \frac{m_{\text{éch.}}}{m_{\text{molécule}}} \\ N = \frac{12}{1,00 \times 10^{-22}}$$

$$N = 1,2 \times 10^{23} \text{ molécules}$$

- On en déduit la quantité de matière n correspondante :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{1,2 \times 10^{23}}{6,02 \times 10^{23}}$$

$$n = 0,20 \text{ mol}$$

Conclusion :

D'après les nombres stœchiométriques de l'équation de la réaction, pour 0,060 mol de calcaire, il faut $2 \times 0,060 = 0,12$ mol d'acide éthanoïque. Or on dispose de 0,20 mol d'acide éthanoïque, c'est plus qu'il n'en faut. Donc, l'élève dispose suffisamment de vinaigre.

► Démarche avancée

- On calcule la masse m d'une molécule de calcaire CaCO_3 :

$$m = m_{\text{Ca}} + m_{\text{C}} + 3 \times m_{\text{O}}$$

$$m = 6,66 \times 10^{-23} + 2,00 \times 10^{-23} + 3 \times 2,67 \times 10^{-23}$$

$$m = 1,67 \times 10^{-22} \text{ g}$$

- On calcule le nombre N de molécules de calcaire dans 6,0 g de la coquille :

$$N = \frac{m_{\text{éch. calcaire}}}{m_{\text{molécule calcaire}}}$$

$$N = \frac{6,0}{1,67 \times 10^{-22}}$$

$$N = 3,6 \times 10^{22} \text{ molécules}$$

- On en déduit la quantité de matière n correspondante :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{3,6 \times 10^{22}}{6,02 \times 10^{23}}$$

$$n = 0,060 \text{ mol}$$

- On détermine d'abord la masse $m_{\text{éch.}}$ d'acide éthanoïque dans 150 mL de vinaigre :

$$m_{\text{éch.}} = 150 \times \frac{8}{1\,000} = 12 \text{ g}$$

- On calcule la masse m d'une molécule d'acide éthanoïque $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$:

$$m = 2 \times m_{\text{C}} + 4 \times m_{\text{H}} + 2 \times m_{\text{O}}$$

$$m = 2 \times 2,00 \times 10^{-23} + 4 \times 1,67 \times 10^{-24} + 2 \times 2,67 \times 10^{-23}$$

$$m = 1,00 \times 10^{-22} \text{ g}$$

- On calcule le nombre N de molécules d'acide éthanoïque dans 150 mL de vinaigre :

$$N = \frac{m_{\text{éch.}}}{m_{\text{molécule}}} \\ N = \frac{12}{1,00 \times 10^{-22}}$$

$$N = 1,2 \times 10^{23} \text{ molécules}$$

- On en déduit la quantité de matière n correspondante :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{1,2 \times 10^{23}}{6,02 \times 10^{23}}$$

$$n = 0,20 \text{ mol}$$

3. D'après les nombres stœchiométriques de l'équation de la réaction, pour 0,060 mol de calcaire, il faut $2 \times 0,060 = 0,12$ mol d'acide éthanoïque. Or on dispose de 0,20 mol d'acide éthanoïque, c'est plus qu'il n'en faut. Donc, l'élève dispose suffisamment de vinaigre.

► Démarche élémentaire

- a. La masse m d'une molécule de calcaire CaCO_3 est :

$$m = m_{\text{Ca}} + m_{\text{C}} + 3 \times m_{\text{O}}$$

$$m = 6,66 \times 10^{-23} + 2,00 \times 10^{-23} + 3 \times 2,67 \times 10^{-23}$$

$$m = 1,67 \times 10^{-22} \text{ g}$$

- b. Le nombre N de molécules de calcaire dans 6,0 g de la coquille est :

$$N = \frac{m_{\text{éch. calcaire}}}{m_{\text{molécule calcaire}}}$$

$$N = \frac{6,0}{1,67 \times 10^{-22}}$$

$$N = 3,6 \times 10^{22} \text{ molécules}$$

- c. La quantité de matière n correspondante dans la coquille est :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{3,6 \times 10^{22}}{6,02 \times 10^{23}}$$

$$n = 0,060 \text{ mol}$$

- a. La masse $m_{\text{éch.}}$ d'acide éthanoïque dans 150 mL de vinaigre à 8 % est :

$$m_{\text{éch.}} = 150 \times \frac{8}{1\,000} = 12 \text{ g}$$

- On calcule la masse m d'une molécule d'acide éthanoïque $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$:

$$m = 2 \times m_{\text{C}} + 4 \times m_{\text{H}} + 2 \times m_{\text{O}}$$

$$m = 2 \times 2,00 \times 10^{-23} + 4 \times 1,67 \times 10^{-24} + 2 \times 2,67 \times 10^{-23}$$

$$m = 1,00 \times 10^{-22} \text{ g}$$

- On calcule le nombre N de molécules d'acide éthanoïque dans 150 mL de vinaigre :

$$N = \frac{m_{\text{éch.}}}{m_{\text{molécule}}}$$

$$N = \frac{12}{1,00 \times 10^{-22}}$$

$N = 1,2 \times 10^{23}$ molécules

- On en déduit la quantité de matière n correspondante :

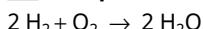
$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{1,2 \times 10^{23}}{6,02 \times 10^{23}}$$

$n = 0,20$ mol

3. D'après les nombres stœchiométriques de l'équation de la réaction, pour 0,060 mol de calcaire, il faut $2 \times 0,060 = 0,12$ mol d'acide éthanoïque. Or on dispose de 0,20 mol d'acide éthanoïque, c'est plus qu'il n'en faut. Donc, l'élève dispose suffisamment de vinaigre.

49 > Le problème à résoudre



- On calcule la masse m d'une molécule de dihydrogène H_2 :

$$m = 2 \times m_{\text{H}}$$

$$m = 2 \times 1,67 \times 10^{-24}$$

$$m = 3,34 \times 10^{-24} \text{ g}$$

- On calcule le nombre N de molécules de dihydrogène H_2 :

$$N = \frac{m_{\text{éch.}}}{m_{\text{molécule}}}$$

$$N = \frac{50,0 \times 10^3}{3,34 \times 10^{-24}}$$

$N = 1,5 \times 10^{28}$ molécules de H_2

- On en déduit la quantité de matière n correspondante :

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{1,5 \times 10^{28}}{6,02 \times 10^{23}}$$

$n = 25 \times 10^3$ mol de H_2

- D'après les nombres stœchiométriques de l'équation de la réaction, pour 2 mol de H_2 , il faut 1 mol de O_2 , donc pour 25×10^3 mol de H_2 , il faut $12,5 \times 10^3$ mol de O_2 .

Le nombre N de molécules de O_2 nécessaires est alors :

$$N = n \cdot N_A$$

$$N = 12,5 \times 10^3 \times 6,02 \times 10^{23}$$

$N = 7,5 \times 10^{27}$ molécules de O_2

La masse m d'une molécule de dioxygène O_2 est :

$$m = 2 \times m_{\text{O}}$$

$$m = 2 \times 2,67 \times 10^{-23}$$

$$m = 5,34 \times 10^{-23} \text{ g}$$

Conclusion :

La masse de dioxygène consommé est donc :

$7,5 \times 10^{27} \times 5,34 \times 10^{-23} = 4,0 \times 10^5 \text{ g}$, environ 400 kg de O_2 !!

Transferts d'énergie

LE PROGRAMME

• 2. Modélisation des transformations de la matière et transfert d'énergie

[...] Une première approche des énergies mises en jeu lors des trois types de transformations de la matière permet de montrer que l'énergie transférée lors d'une transformation dépend des quantités de matière des espèces mises en jeu. [...]

Notions abordées au collège (cycle 4)

Transformations physiques : changement d'état, conservation de la masse, variation du volume, température de changement d'état.

Transformations chimiques : conservation de la masse, redistribution d'atomes, notion d'équation chimique, réactions entre espèces acides et basiques en solution, réactions d'une espèce acide sur un métal, mesure de pH.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
A) Transformation physique	
<p>[...]</p> <p>Transformations physiques endothermiques et exothermiques.</p> <p>Énergie de changement d'état et applications.</p>	<p>[...]</p> <p>Identifier le sens du transfert thermique lors d'un changement d'état et le relier au terme exothermique ou endothermique.</p> <p>Exploiter la relation entre l'énergie transférée lors d'un changement d'état et l'énergie massique de changement d'état de l'espèce.</p> <p><i>Relier l'énergie échangée à la masse de l'espèce qui change d'état.</i></p>
B) Transformation chimique	
<p>[...]</p> <p>Transformations chimiques endothermiques et exothermiques.</p>	<p>[...]</p> <p><i>Suivre l'évolution d'une température pour déterminer le caractère endothermique ou exothermique d'une transformation chimique et étudier l'influence de la masse du réactif limitant.</i></p> <p>Capacité mathématique : utiliser la proportionnalité.</p>
C) Transformation nucléaire	
<p>[...]</p> <p>Aspects énergétiques des transformations nucléaires : Soleil, centrales nucléaires.</p>	<p>[...]</p> <p>Relier l'énergie convertie dans le Soleil et dans une centrale nucléaire à des réactions nucléaires.</p>

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

p. 104

SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis au chapitre 4 la notion de transformation nucléaire, en particulier qu'ils savent distinguer une transformation nucléaire d'une transformation chimique ou physique à partir de l'équation modélisant la réaction.

➤ Exemple de réponse attendue

L'élément chimique radium est transformé en deux autres éléments, radon et hélium, il s'agit donc d'une transformation nucléaire.

➤ En classe de 2^{de}

L'activité 4 qui inclut trois animations est réalisable en **classe inversée**. Elle permet de relier l'énergie libérée par le Soleil, ou convertie en électricité dans les centrales nucléaires, à des transformations nucléaires.

Le **document 4** présente un axe de la recherche scientifique actuelle à travers le projet ITER.

SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier un acquis du cycle 4 nécessaire à ce chapitre qui porte sur les diverses formes d'énergie.

> Exemple de réponse attendue

L'énergie est stockée sous forme d'énergie chimique dans la pile, transférée ensuite sous forme d'énergie électrique dans le circuit électrique, et enfin convertie en énergie lumineuse par la lampe.

> En classe de 2^{de}

Les élèves découvriront que certaines transformations qui libèrent ou consomment de l'énergie thermique sont utilisées dans des applications comme le fonctionnement du réfrigérateur (dans l'**activité 1**) ou les centrales nucléaires (dans l'**activité 4**).

SITUATION 3

Dans cette troisième situation, les élèves sont invités à justifier qu'un transfert d'énergie a bien lieu dans une situation relativement simple. Pour cela, ils doivent identifier deux systèmes physiques : l'un, le cycliste, transférant de l'énergie à l'autre, le vélo.

> Exemple de réponse attendue

Les jambes du cycliste en rotation possèdent une énergie cinétique. Elles entraînent la rotation du pédalier et finalement, par le biais de la chaîne et de la roue arrière, l'avancée du vélo qui possède donc une énergie cinétique : il s'agit donc bien d'un transfert d'énergie (cinétique) du cycliste au vélo.

> En classe de 2^{de}

Dans l'**activité 1**, les élèves identifient le sens du transfert thermique lors d'un changement d'état et le relient au terme exothermique ou endothermique. Dans l'**activité 3** expérimentale, les mesures de la variation de température du système permettent de distinguer transformations chimiques endothermiques et transformations chimiques exothermiques.

ACTIVITÉS

p. 106 ■ ACTIVITÉ 1

Transfert thermique lors d'un changement d'état

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

L'objectif de cette activité est d'identifier le caractère endothermique ou exothermique de certains

changements d'états à travers une application que tous les élèves connaissent.

> Exploitation et analyse

- 1** a. D'après le **document 2**, dans l'évaporateur, il se produit une vaporisation du fluide frigorigène.
b. Le transfert thermique s'effectue de l'intérieur du réfrigérateur vers le fluide dans l'évaporateur.
c. Ce résultat (réponse à la question **b**) permet de conclure que la vaporisation est endothermique, ce qui est précisé dans le **document 4**.

- 2** a. D'après le **document 2**, dans le condenseur, il se produit une liquéfaction du fluide frigorigène.
b. Cette appellation de condenseur n'est pas correcte puisqu'il ne s'agit pas d'une condensation. Liquéfaction serait plus adaptée.
c. La liquéfaction est exothermique.

> Synthèse

- 3** La vaporisation du fluide frigorigène dans l'évaporateur est endothermique, le fluide reçoit alors un transfert thermique de l'intérieur du réfrigérateur, ce qui abaisse la température de l'intérieur. Le fluide passe ensuite dans le condenseur où il est liquéfié, il cède alors un transfert thermique vers l'air extérieur de la cuisine. Et ainsi de suite lors de chaque cycle.

p. 107 ■ ACTIVITÉ 2

Détermination de l'énergie massique de vaporisation de l'eau TP Démarches différencierées

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

L'énergie fournie par le chauffe-ballon n'est pas entièrement utilisée pour vaporiser l'eau à cause de pertes, notamment dans l'air, que l'on pourra évoquer avec les élèves comme de possibles sources d'erreurs.

Il est nécessaire de faire fonctionner le montage une dizaine de minutes pour réaliser les mesures afin d'atteindre le régime permanent de distillation : la température de la verrerie ne varie plus et les pertes sont moindres.

Pendant une durée donnée, le volume d'eau vaporisée au niveau du ballon est égal au volume d'eau liquéfiée dans le réfrigérant et tombant dans l'éprouvette graduée.

Au déclenchement du chronomètre, on remplace l'rlenmeyer par une éprouvette graduée. Lorsque l'on arrête le chronomètre, on remplace l'éprouvette par l'rlenmeyer et on lit le volume d'eau vaporisée (puis liquéfiée) dans l'éprouvette graduée.

■ Exemples de mesures

Avec un chauffe-ballon de puissance maximale $P = 150 \text{ W}$, on mesure le volume d'eau vaporisée au bout de 10 minutes : $V = 31 \text{ mL}$, ce qui correspond à une masse $m = \rho \cdot V$;

$$m = 1,0 \times 31 = 31 \text{ g} \text{ soit } m = 31 \times 10^{-3} \text{ kg}.$$

On calcule la valeur du transfert thermique Q ayant permis la vaporisation de ce volume d'eau ($\Delta t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$) :

$$Q = P \cdot \Delta t = 150 \times 600 = 9,00 \times 10^4 \text{ J}$$

On en déduit la valeur de l'énergie massique de vaporisation de l'eau L_{vap} (eau) :

$$L_{\text{vap}} (\text{eau}) = \frac{Q}{m}$$

$$L_{\text{vap}} (\text{eau}) = \frac{9,00 \times 10^4}{31 \times 10^{-3}} = 2,9 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Les pertes d'énergie expliquent l'écart par rapport à la valeur de référence $2,6 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

➤ Démarche experte

Protocole expérimental :

- Réaliser le montage du **document 2**.
- Noter la valeur de la puissance P inscrite sur le chauffe-ballon : $P = \dots \text{ W}$.
- Placer un volume d'eau dans le chauffe-ballon mis en fonctionnement à puissance maximale.
- Après quelques minutes, déclencher un chronomètre et remplacer l'rlenmeyeur par une éprouvette graduée.
- Mesurer le volume d'eau vaporisée au bout de 10 min : $V = \dots \text{ mL}$.

À partir de la formule $Q = P \cdot \Delta t$ (**doc. 3**), on calcule la valeur du transfert thermique ayant permis la vaporisation de ce volume d'eau ($\Delta t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$).

Le volume d'eau vaporisée correspond à une masse $m = \rho \cdot V$;

$$m = \dots \times \dots = \dots \text{ g} \text{ soit } m = \dots \times 10^{-3} \text{ kg}.$$

On en déduit la valeur de l'énergie massique de vaporisation de l'eau L_{vap} (eau) :

$$L_{\text{vap}} (\text{eau}) = \frac{Q}{m}$$

$$L_{\text{vap}} (\text{eau}) = \dots = \dots \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

On compare ensuite cette valeur à celle donnée : $L_{\text{vap}} (\text{eau}) = 2,3 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Sources d'erreurs : le transfert thermique cédé par le chauffe-ballon n'est pas entièrement reçu par l'eau pour être vaporisée, une partie est perdue dans l'atmosphère.

➤ Démarche avancée

1. Le volume d'eau évaporée mesuré est $V = \dots \text{ mL}$.

La masse d'eau correspondante est :

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \times \dots$$

$$m = \dots \text{ g} \text{ soit } m = \dots \times 10^{-3} \text{ kg}.$$

2. a. La valeur du transfert thermique Q fourni par le chauffe-ballon en 10 min est :

$$Q = P \cdot \Delta t$$

$$Q = \dots \times 10 \times 60$$

$$Q = \dots \text{ J}$$

b. La valeur de l'énergie massique de vaporisation de l'eau L_{vap} (eau) est :

$$L_{\text{vap}} (\text{eau}) = \frac{Q}{m}$$

$$L_{\text{vap}} (\text{eau}) = \dots = \dots \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

c. Le transfert thermique cédé par le chauffe-ballon n'est pas entièrement reçu par l'eau pour être vaporisée, une partie est perdue dans l'atmosphère.

➤ Démarche élémentaire

2. a. La valeur de la masse volumique de l'eau est $\rho = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

b. La masse d'eau vaporisée est :

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \times \dots$$

$$m = \dots \text{ g} \text{ soit } m = \dots \times 10^{-3} \text{ kg}.$$

3. La valeur du transfert thermique Q fourni par le chauffe-ballon en 10 min est :

$$Q = P \cdot \Delta t$$

$$Q = \dots \times 10 \times 60$$

$$Q = \dots \text{ J}$$

4. a. La valeur de l'énergie massique de vaporisation de l'eau L_{vap} (eau) est :

$$L_{\text{vap}} (\text{eau}) = \frac{Q}{m}$$

$$L_{\text{vap}} (\text{eau}) = \dots = \dots \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

b. Le transfert thermique cédé par le chauffe-ballon n'est pas entièrement reçu par l'eau pour être vaporisée, une partie est perdue dans l'atmosphère.

p. 108

ACTIVITÉ 3

Transfert thermique lors d'une transformation chimique TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Les solutions d'acide chlorhydrique et de soude étant relativement concentrées ($1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$), il est nécessaire de porter des gants et des lunettes lors des manipulations.

■ Exemples de mesures

• Expérience 1 :

La température du système chimique passe de $T_i = 19,8^\circ\text{C}$ à $T_f = 25,4^\circ\text{C}$.

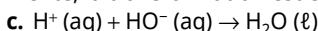
• Expérience 2 :

Avec 2,0 g d'hydrogénocarbonate de sodium, la température du système passe de $T_i = 20,5^\circ\text{C}$ à $T_f = 16,0^\circ\text{C}$.

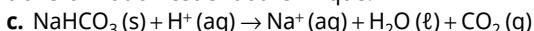
Avec 1,0 g d'hydrogénocarbonate de sodium, la température du système passe de $T_i = 20,5^\circ\text{C}$ à $T_f = 18,0^\circ\text{C}$.

> Expériences et analyse

1 b. La température du système chimique augmente, la transformation est exothermique.



2 b. La température du système diminue, la transformation est endothermique.



d. Les nombres stœchiométriques des deux réactifs étant égaux, le réactif limitant est celui introduit en plus petite quantité :

$$n_i(\text{NaHCO}_3) = \frac{m_i(\text{NaHCO}_3)}{(m_{\text{Na}} + m_{\text{H}} + m_{\text{C}} + 3 \times m_{\text{O}}) \times N_A}$$
$$n_i(\text{NaHCO}_3) = \frac{2,0}{(3,82 \times 10^{-23} + 1,67 \times 10^{-24} + 1,99 \times 10^{-23} + 3 \times 2,66 \times 10^{-23}) \times 6,02 \times 10^{23}}$$
$$n_i(\text{NaHCO}_3) = 2,4 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$n_i(\text{H}^+) = n(\text{H}^+ + \text{Cl}^-) = \frac{m_i(\text{HCl})}{(m_{\text{H}} + m_{\text{Cl}}) \times N_A}$$

$$n_i(\text{H}^+) = \frac{c_{\text{mA}} \times V_A}{(m_{\text{H}} + m_{\text{Cl}}) \times N_A}$$

$$n_i(\text{H}^+) = \frac{36,5 \times 25 \times 10^{-3}}{(1,67 \times 10^{-24} + 5,89 \times 10^{-23}) \times 6,02 \times 10^{23}}$$

$$n_i(\text{H}^+) = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$n_i(\text{NaHCO}_3) < n_i(\text{H}^+)$ donc NaHCO_3 est le réactif limitant.

3 a. La baisse de température est moins importante que celle mesurée dans la question 2.

b. Dans l'expérience 2, $\text{NaHCO}_3(\text{s})$ est introduit en plus petite quantité que dans l'expérience 1. La quantité initiale d'acide chlorhydrique et donc d'ions H^+ étant la même, $\text{NaHCO}_3(\text{s})$ est encore le réactif limitant car il est introduit en plus petite quantité que les ions H^+ .

> Conclusion

4 a. On suit l'évolution de la température du système chimique : si la température du système chimique baisse, la transformation est endothermique. Si elle augmente, la transformation est exothermique.

b. Plus la masse du réactif limitant est grande, plus la variation de température est importante.

p. 109 ■ ACTIVITÉ 4

Énergie libérée lors des transformations nucléaires..... Classe inversée

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Animations

(→ disponibles par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Fusion nucléaire

■ p. 109

Cette animation permet de visualiser une modélisation de la fusion d'un noyau de deutérium et d'un noyau de tritium, et de comprendre qu'elle n'est possible dans les étoiles que dans des conditions extrêmes de température.

► Fission nucléaire

■ p. 109

Cette animation permet de visualiser une modélisation de la fission d'un noyau d'uranium 235 et les réactions en chaîne provoquées par les neutrons produits.

► Le projet ITER

■ p. 109

Cette animation permet de visualiser le fonctionnement du réacteur du projet ITER, de modifier le chauffage du plasma et le confinement nécessaire à la fusion nucléaire. Un deuxième onglet montre le réacteur en fonctionnement jusqu'à la génératrice en rotation grâce à la chaleur libérée par la fusion nucléaire.

> Exploitation et analyse

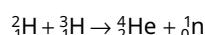
1 L'interaction forte dans les noyaux des atomes assure la cohésion des noyaux et est responsable de l'énergie qu'ils stockent.

2 Un neutron provoque la fission d'un noyau d'uranium, celui-ci libère 2 ou 3 neutrons qui peuvent à leur tour provoquer la fission d'autres noyaux d'uranium, et ainsi de suite.

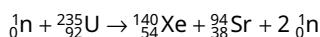
3 Les scientifiques cherchent à maîtriser la fusion nucléaire car elle libère plus d'énergie que la fission nucléaire, présente moins de risques (pas de réactions en chaîne) et ne produit pas de déchets hautement radioactifs comme la fission nucléaire.

> Synthèse

4 a. L'équation de fusion nucléaire qui libère l'énergie du Soleil est :



b. L'équation de la fission de l'uranium dans les centrales nucléaires est :



EXERCICES

Vérifier l'essentiel

■ p. 114

- 1 A et B. 2 A, B et C. 3 A et C.
4 A et B. 5 C. 6 C.
7 B.

Acquérir les notions

➤ Transfert thermique lors d'un changement d'état ■ p. 115

8 1. Sous pression atmosphérique à la température de 20 °C, le butane, le propane et l'isobutane sont à l'état gazeux.

2. Ces espèces chimiques subissent donc une vaporisation après leur sortie de la bombe aérosol.

3. La vaporisation de ces espèces chimiques est endothermique, l'énergie nécessaire est prise au niveau de la partie du corps aspergé, ce qui entraîne une diminution de sa température.

9 1. À la température usuelle de 20 °C, le dioxygène est à l'état gazeux car $T_{\text{ébullition}} < 20^\circ\text{C}$.

2. a. La vaporisation du dioxygène est endothermique car $L_{\text{vaporisation}} > 0$.

b. Le dioxygène se vaporisant reçoit donc le transfert thermique du milieu extérieur.

c. Le transfert thermique est :

$$Q = m \cdot L = 0,180 \times 2,1 \times 10^5$$

$$Q = 3,9 \times 10^4 \text{ J}$$

10 1. Le bronze étant un mélange, sa température de fusion n'est pas une constante : elle varie avec les proportions du mélange. Donc, on ne trouvera pas la valeur de la température de fusion du bronze dans des ouvrages.

2. Le transfert thermique Q (exprimé en J) mis en jeu lors du changement d'état est donné par la relation :

$$Q = m \cdot L$$

avec m la masse de l'espèce chimique ayant changé d'état (exprimée en kg),

et L l'énergie massique du changement d'état de l'espèce chimique (exprimée en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$).

$$Q = 2,1 \times 2,0 \times 10^5$$

$$Q = 4,2 \times 10^5 \text{ J}$$

11 1. Le changement d'état subi par l'éthanol est la vaporisation.

2. L'éthanol reçoit de l'énergie de l'extérieur par transfert thermique.

3. La vaporisation de l'éthanol est donc endothermique.

4. Lorsque l'on sort de l'eau après un bain, sans se sécher, l'eau est vaporisée par évaporation endothermique entraînant la sensation de froid.

12 1. La valeur de l'énergie massique de solidification de l'eau est :

$$L_{\text{solidification}} = -3,3 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

2. La solidification de l'eau est exothermique car $L_{\text{solidification}} < 0$.

3. Le transfert thermique est :

$$Q = m \cdot L = 0,120 \times 3,3 \times 10^5$$

$$Q = 4,0 \times 10^4 \text{ J}$$

➤ Transfert thermique lors d'une transformation chimique ■ p. 116

13 1. Une transformation chimique endothermique nécessite de l'énergie, le système chimique reçoit de l'énergie par transfert thermique.

2. On peut déterminer le caractère endothermique ou exothermique d'une transformation chimique en suivant l'évolution de la température du système chimique au cours de la transformation.

3. Une combustion est un exemple de transformation chimique exothermique.

14 1. Le contenu de l'rlenmeye est liquide après la transformation chimique car un des produits de la transformation est de l'eau liquide.

2. Cette transformation chimique est endothermique car la température du système a diminué.

15 1. La transformation chimique est exothermique.

2. La chaufferette est conservée dans un emballage hermétique pour que la poudre de fer ne soit pas en contact avec le dioxygène de l'air, et pour que la transformation chimique ne commence qu'à l'ouverture de l'emballage.

3. Le mode d'emploi indique qu'il faut l'agiter plusieurs fois après ouverture pour que le dioxygène de l'air rentre bien en contact avec le fer en poudre.

4. Une telle chaufferette ne peut être réutilisée car une fois utilisée, le fer a totalement réagi, c'est le réactif limitant.

16 1. $\text{CaO} (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\ell) \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 (\text{s})$

2. a. Le liquide à réchauffer reçoit un transfert thermique.

b. Le compartiment inférieur a cédé ce transfert thermique.

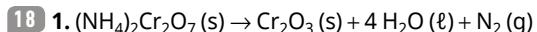
3. La transformation chimique est donc exothermique.

17 1. Une transformation chimique a bien eu lieu car au moins une nouvelle espèce chimique s'est formée : du dioxyde de carbone.

2. Cette transformation est endothermique car la température diminue.

3. a. L'hydrogénocarbonate de sodium était le réactif limitant après ajout de la première spatule. En effet, la transformation s'était arrêtée car il n'y en avait plus. Lorsque l'on a rajouté une seconde spatule, la transformation a repris.

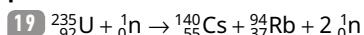
b. La température va encore diminuer après ajout de la seconde spatule, elle sera finalement inférieure à 19,8 °C.



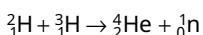
2. La décomposition est exothermique, ce qui permet au système chimique de maintenir sa température autour de 180 °C et, à la transformation chimique, de se poursuivre : l'énergie libérée par la transformation chimique lui permet de s'auto-entretenir.

➤ Énergie libérée par une transformation nucléaire

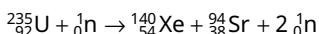
■ p. 117



Transformation de type fission nucléaire, se produit dans une centrale nucléaire.



Transformation de type fusion nucléaire, se produit dans le Soleil.



Transformation de type fission nucléaire, se produit dans une centrale nucléaire.

20 **1.** et **2.** Deutérium et tritium subissent une fusion nucléaire dans le Soleil. L'uranium subit une fission nucléaire dans les centrales nucléaires.

3. Un gramme d'uranium enrichi peut libérer 3,00 milliards de joules. C'est donc la fusion qui libère plus d'énergie à masses égales.

4. Le quotient des énergies libérées est $\frac{400}{3,00} = 133$.

21 **1.** Ces équations correspondent bien à des réactions de fusion nucléaire car un noyau-père percuté par un neutron se scinde en 2 noyaux-fils en libérant des neutrons.

2. Les neutrons libérés peuvent à leur tour provoquer de nouvelles fissions, il s'agit donc de réactions en chaînes.

22 **a.** En 2017, les centrales nucléaires françaises ont produit $1,4 \times 10^{18} \text{ J}$ d'énergie électrique avec un rendement de 33 %.

$$33 \% \rightarrow 1,4 \times 10^{18}$$

$$100 \% \rightarrow ?$$

donc l'énergie convertie en électricité l'année 2017 en France est :

$$1,4 \times 10^{18} \times \frac{100}{33} = 4,2 \times 10^{18} \text{ J}$$

b. La valeur de l'énergie nucléaire moyenne libérée chaque seconde dans les centrales nucléaires françaises est :

$$\frac{4,2 \times 10^{18}}{365 \times 24 \times 60 \times 60} = 1,3 \times 10^{11} \text{ J}$$

2. Le quotient de l'énergie nucléaire libérée par le Soleil par celle produite en moyenne par les centrales nucléaires françaises est :

$$\frac{4 \times 10^{26}}{1,3 \times 10^{11}} = 3 \times 10^{15}$$

L'énergie libérée par la fusion nucléaire au cœur du Soleil est en moyenne 3 millions de milliards de fois plus grande que celle produite par la fission de toutes les centrales nucléaires de France.

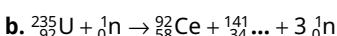
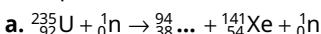
23 L'uranium 238 représente plus de 98 % de l'uranium existant à l'état naturel, l'uranium 235 environ 0,7 %.

Ces deux isotopes ont des propriétés nucléaires différentes.

L'uranium 238 est radioactif alpha : il se désintègre en émettant un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ tandis que l'uranium 235 est fissile.

1. Pourquoi l'uranium utilisé dans les centrales nucléaires est enrichi en isotope 235 ?

2. Il existe de nombreuses possibilités de fusion de l'uranium 235. Deux d'entre elles sont données par les équations suivantes :



Compléter ces équations.

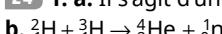
Corrigé :

1. L'uranium utilisé dans les centrales nucléaires est enrichi en isotope 235 car seul cet isotope est fissile et c'est la fission de cet isotope qui libère l'énergie dans les centrales nucléaires.

2. a. $Z = 38$ correspond à l'élément strontium Sr, donc ${}^{94}_{38}\text{Sr}$.

b. $Z = 34$ correspond à l'élément sélénium Se, donc ${}^{141}_{34}\text{Se}$.

24 **1. a.** Il s'agit d'une fusion nucléaire.



2. a. Il s'agit d'une fission nucléaire.

b. On dit que ces réactions nucléaires sont provoquées car elles nécessitent l'impact d'un neutron.

3. À masse égale, la fusion nucléaire libère beaucoup plus d'énergie que la fission nucléaire.

Exercices similaires aux exercices résolus

p. 118 et 119

26 1. Le transfert thermique a lieu de l'or se solidifiant vers l'air environnant.

La solidification de l'or est donc exothermique.

2. Le transfert thermique Q cédé par l'or est :

$$Q = m \cdot L_{\text{sol}}$$

Il faut déterminer la masse d'or m .

Le volume $V = 0,026 \text{ L}$ d'or correspond à une masse m égale à :

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 19,3 \times 0,026$$

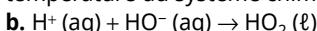
$$m = 0,50 \text{ kg}$$

$$Q = m \cdot L_{\text{sol}}$$

$$Q = 0,50 \times -6,4 \times 10^4$$

$$Q = -3,2 \times 10^4 \text{ J}$$

28 1. a. La transformation est exothermique car la température du système chimique augmente.



$$\bullet n_i(\text{H}^+) = \frac{m_i[(\text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})]}{(m_{\text{H}} + m_{\text{Cl}}) \times N_A} = \frac{c_{m1} \cdot V_1}{(m_{\text{H}} + m_{\text{Cl}}) \times N_A}$$

$$n_i(\text{H}^+) = \frac{7,3 \times 50,0 \times 10^{-3}}{(1,67 \times 10^{-24} + 5,89 \times 10^{-23}) \times 6,02 \times 10^{23}}$$

$$n_i(\text{H}^+) = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\bullet n_i(\text{HO}^-) = \frac{m_i[(\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})]}{(m_{\text{Na}} + m_{\text{H}} + m_{\text{O}}) \times N_A}$$
$$= \frac{c_{m2} \cdot V_2}{(m_{\text{Na}} + m_{\text{H}} + m_{\text{O}}) \times N_A}$$

$$n_i(\text{HO}^-) = \frac{40,0 \times 20,0 \times 10^{-3}}{(3,82 \times 10^{-23} + 1,67 \times 10^{-24} + 2,66 \times 10^{-23}) \times 6,02 \times 10^{23}}$$

$$n_i(\text{OH}^-) = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

• $n_i(\text{H}^+) < n_i(\text{HO}^-)$ et leur nombres stœchiométriques étant égaux, l'acide chlorhydrique est le réactif limitant.

2. La masse de réactif limitant étant moins grande dans la seconde expérience, la température augmentera mais restera inférieure à 23,1 °C (température finale de la première expérience).

Croiser les notions

p. 120

29 1. Les solides ioniques introduits se dissolvent dans l'eau, ils subissent une dissolution.

2. Les dissolutions du chlorure de sodium et du chlorure d'ammonium dans l'eau sont endothermiques, celle de l'hydroxyde de sodium dans l'eau est exothermique.

3. Le chlorure d'ammonium est l'espèce chimique la plus adaptée pour fabriquer une poche de froid car sa dissolution dans l'eau est la plus endothermique.

30 1. a. La dégradation du glucose par l'organisme a pour effet de maintenir la température corporelle à 37 °C en libérant de l'énergie.

b. C'est une transformation chimique exothermique.

c. L'eau est éliminée par la sudation et par l'air expiré (sous forme de vapeur). Le dioxyde de carbone est éliminé dans l'air expiré.

2. Pendant un effort intense, le corps se recouvre de sueur contenant des ions et de l'eau qui est peu à peu vaporisée par évaporation.

a. La vaporisation de l'eau est endothermique.

b. La sudation permet à l'organisme de ne pas trop dépasser 37 °C pendant un effort en consommant de l'énergie reçue du corps par transfert thermique.

31 1. a. Non, la solidification de l'eau est une transformation physique.

b. De la glace qui fond constitue un système qui reçoit de l'énergie.

Le processus inverse, solidification de l'eau, libère de l'énergie, donc est exothermique.

2. La dissolution du nitrate d'ammonium est endothermique. L'énergie nécessaire à cette dissolution est fournie par l'eau qui perd suffisamment d'énergie pour que son état physique change.

EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

Dans une **centrale nucléaire**, une **transformation nucléaire** a lieu : la **fission** de l'**uranium**.

Sous l'impact d'un **neutron**, un noyau d'uranium se scinde en deux noyaux plus légers en libérant des neutrons et de l'**énergie** convertie ensuite en électricité.

Les neutrons libérés peuvent à leur tour provoquer la fission de noyaux d'uranium et ainsi de suite, c'est un **mécanisme de réactions en chaîne**.

Au cœur du **Soleil**, la **température** atteint 15 millions de degrés Celsius permettant la **fusion** de certains noyaux, ce qui libère une grande quantité d'**énergie**.

33 Le Soleil est une sphère de gaz, principalement du dihydrogène dont le cœur atteint la température de quinze millions de degrés Celsius et une densité très élevée. Dans ces conditions, les noyaux isotopes de l'hydrogène, deutérium et tritium, fusionnent pour former un noyau d'hélium en libérant un neutron et une grande quantité d'énergie. Cette transformation nucléaire, appelée **fusion nucléaire**, est responsable de l'énergie libérée par le Soleil.

■ Acquérir des compétences

■ p. 121

34 1. On ne prend en compte seulement 90 % de l'énergie apportée par le circuit électrique car on considère que les 10 % autres sont perdus dans l'atmosphère.

2. La valeur de l'énergie massique de vaporisation de l'eau L_{vap} (eau) est :

$$L_{\text{vap}}(\text{eau}) = \frac{Q}{m}$$

$$L_{\text{vap}}(\text{eau}) = \frac{P \cdot \Delta t}{m} = \frac{1,3 \times 0,9 \times 3600}{0,018}$$

$$L_{\text{vap}}(\text{eau}) = 2,3 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

La valeur déterminée expérimentalement correspond à la valeur de référence.

35 > Analyse

1. D'après le document 2, l'énergie libérée par la fusion de noyaux de l'isotope ^1H est 24 MeV.

$$24 \text{ MeV} = 24 \times 10^6 \times 1,602 \times 10^{-19}$$

$$24 \text{ MeV} = 3,8 \times 10^{-12} \text{ J}$$

2. L'énergie E libérée par le Soleil depuis sa formation est :

$$E = P \cdot \Delta t$$

$$E = 3,9 \times 10^{26} \times 4,6 \times 10^9 \times 365,25 \times 24 \times 3600$$

$$E = 5,7 \times 10^{43} \text{ J}$$

3. $3,8 \times 10^{-12} \text{ J}$ correspond à une perte de masse de $4,3 \times 10^{-29} \text{ kg}$.

$5,7 \times 10^{43} \text{ J}$ correspond à une perte de masse du Soleil de :

$$\frac{5,7 \times 10^{43} \times 4,3 \times 10^{-29}}{3,8 \times 10^{-12}} = 6,5 \times 10^{26} \text{ kg}$$

> Synthèse

Dans le Soleil se produisent des réactions de fusion nucléaire, qui libèrent une grande quantité d'énergie. Comme Albert Einstein l'a énoncé, cette énergie provient de la perte de masse.

Les calculs précédents permettent d'estimer la perte de masse du Soleil depuis sa formation à $6,5 \times 10^{26} \text{ kg}$,

$$\frac{6,5 \times 10^{26}}{2,0 \times 10^{30}} = 3,3 \times 10^{-4} = 0,034 \% \text{ de sa masse actuelle : la perte de masse du Soleil depuis sa formation est très faible par rapport à sa masse actuelle.}$$

36 > Le problème à résoudre

Si la pompe à chaleur fournit 3 000 W à l'habitation, le fluide cède un transfert thermique $Q = -3 000 \text{ J}$ chaque seconde.

Or $L_{\text{liquéfaction}} = -L_{\text{vaporisation}} = -216 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Chaque seconde, la masse m du fluide R-134a liquéfié est donc :

$$m = \frac{Q}{L} = \frac{-3 000}{-216 \times 10^3} = 13,9 \times 10^{-3} \text{ kg soit } 13,9 \text{ g.}$$

37 1. Le ballon se gonfle car du dioxyde de carbone gazeux est formé au cours de la transformation chimique.

2. Température initiale $T_i = 21,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Température finale $T_f = 17,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

La transformation est donc endothermique.

3. $n_i(\text{NaHCO}_3) = \frac{m_i(\text{NaHCO}_3)}{(m_{\text{Na}} + m_{\text{H}} + m_{\text{C}} + 3 \times m_{\text{O}}) \times N_A}$

$$n_i(\text{NaHCO}_3) = \frac{4,0}{(3,82 \times 10^{-23} + 1,67 \times 10^{-24} + 1,99 \times 10^{-23} + 3 \times 2,66 \times 10^{-23}) \times 6,02 \times 10^{23}}$$

$$n_i(\text{NaHCO}_3) = 4,8 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$n_i(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = \frac{m_i(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)}{(2 \times m_{\text{C}} + 4 \times m_{\text{H}} + 2 \times m_{\text{O}}) \times N_A}$$

$$n_i(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = \frac{c_m \cdot V}{(2 \times m_{\text{C}} + 4 \times m_{\text{H}} + 2 \times m_{\text{O}}) \times N_A}$$

$$n_i(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = \frac{60,0 \times 100 \times 10^{-3}}{(2 \times 1,99 \times 10^{-23} + 4 \times 1,67 \times 10^{-24} + 2 \times 2,66 \times 10^{-23}) \times 6,02 \times 10^{23}}$$

$$n_i(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol}$$

Les nombres stœchiométriques des deux réactifs étant égaux et $n_i(\text{NaHCO}_3) < n_i(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)$, NaHCO_3 est donc le réactif limitant.

4. Si l'on utilise 8,0 grammes d'hydrogénocarbonate de sodium :

$$n_i(\text{NaHCO}_3) = \frac{m_i(\text{NaHCO}_3)}{(m_{\text{Na}} + m_{\text{H}} + m_{\text{C}} + 3 \times m_{\text{O}}) \times N_A}$$

$$n_i(\text{NaHCO}_3) = \frac{8,0}{(3,82 \times 10^{-23} + 1,67 \times 10^{-24} + 1,99 \times 10^{-23} + 3 \times 2,66 \times 10^{-23}) \times 6,02 \times 10^{23}}$$

$$n_i(\text{NaHCO}_3) = 9,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

Les nombres stœchiométriques des deux réactifs étant égaux et $n_i(\text{NaHCO}_3) < n_i(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)$, NaHCO_3 est donc encore le réactif limitant.

La quantité de dioxyde de carbone produite sera doublée, le ballon sera plus volumineux et la température finale sera inférieure à $17,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Constitution et transformations de la matière

1. DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES FAMILIERS

a. Pour trouver un encadrement de la concentration en masse de diiode de la solution S , on peut réaliser une échelle de teintes de diiode.

Les solutions-filles sont préparées par dilution d'une solution-mère de concentration en masse connue, dans des tubes à essais identiques.

Les solutions-filles ont ainsi des concentrations en masse connues.

Il suffit ensuite de verser un peu de solution S dans un tube à essais, identique à ceux des solutions-filles, et de comparer la teinte de la solution S à celles des solutions-filles.

b. Les récipients utilisés (tubes à essais ou bêchers) doivent être tous identiques car la teinte d'une solution colorée dépend de l'épaisseur de solution traversée.

c. Jérémy prélève un volume V_0 de solution-mère de concentration en masse c_{m0} avec une pipette jaugée.

Il le verse dans une fiole jaugée et y ajoute du solvant pour obtenir un volume V_1 de solution-fille de concentration en masse c_{m1} .

La masse de soluté est conservée au cours d'une dilution, donc $m_0 = m_1$, soit :

$$c_{m0} \cdot V_0 = c_{m1} \cdot V_1$$

Pour préparer dans une fiole jaugée 100 mL d'une solution S' de volume $V_1 = 100$ mL, il faut prélever un volume $V_0 = 10$ mL de la solution S à l'aide d'une pipette jaugée de 10 mL.

a. Le noyau de soufre est composé de 32 nucléons, donc $A = 32$.

D'après la configuration électronique (**doc. 3**), le soufre possède 16 électrons, donc $Z = 16$ puisque le nombre d'électrons est égal au nombre de protons (électroneutralité de l'atome).

Le noyau de soufre est constitué de 16 protons et de 16 neutrons ($N = A - Z = 32 - 16 = 16$).

b. Des isotopes sont des noyaux de même numéro atomique Z et de nombre de nucléons A différent.

c. Le noyau isotope est constitué de 16 protons ($Z = 16$) et de N' neutrons.

$$A' = \frac{m_{\text{atome}}}{m_{\text{nu}}}$$

$$A' = \frac{5,7 \times 10^{-26}}{1,67 \times 10^{-27}}$$

$$A' = 34$$

$N' = A' - Z = 34 - 16 = 18$. Le noyau isotope a donc 18 neutrons au lieu de 16, soit 2 neutrons de plus.

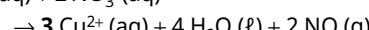
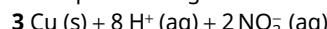
d. Le soufre forme l'ion S^{2-} en gagnant 2 électrons pour acquérir la configuration électronique du gaz noble le plus proche, l'argon Ar.

2. LE CUIVRE DANS UNE PIÈCE DE 10 CENTIMES

1. Le mélange de métaux constituant une pièce de 10 centimes est homogène car on ne distingue pas ses constituants à l'œil nu.

2. La transformation chimique produit du monoxyde d'azote qui se transforme spontanément en dioxyde d'azote, mortel par inhalation, il faut donc réaliser l'expérience sous une hotte aspirante.

3. a. La quantité d'ions cuivre produits est égale à la quantité d'atomes de cuivre ayant réagi car les **nombres stœchiométriques** de ces deux espèces chimiques sont égaux.



b. On peut affirmer que le réactif limitant est le cuivre car la pièce est totalement dissoute.

4. a. La couleur de la solution S obtenue correspond à celle de la solution S_3 , donc $c_{mS} = c_{m3}$. m_{Cu} est la masse de cuivre présente dans la pièce de monnaie, alors :

$$m_{\text{Cu}} = c_{m3} \cdot V$$

$$m_{\text{Cu}} = 37,5 \times 100 \times 10^{-3}$$

$$m_{\text{Cu}} = 3,75 \text{ g}$$

b. Le pourcentage massique du cuivre dans la pièce est :

masse de Cu présente dans la pièce de monnaie

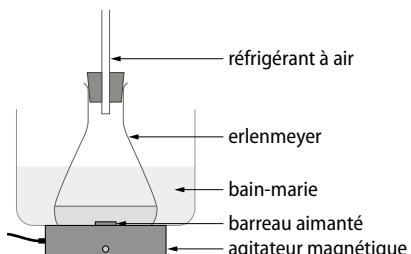
masse de la pièce de monnaie

$$= \frac{3,75}{4,10} = 91 \%$$

c. La détermination par comparaison de la concentration en masse c_{mS} est approximative, en réalité c_{mS} doit être légèrement différente de c_{m3} .

3. LE PARACÉTAMOL

1. a. et b. Schéma légendé :



Montage de chauffage à reflux

2. a. Soit n la quantité de matière d'anhydride éthanoïque $C_4H_6O_3$:

$$n = \frac{N}{N_A} \text{ et } N = \frac{m(C_4H_6O_3)}{m_{\text{molécule}}} \text{ donc :}$$

$$n = \frac{m(C_4H_6O_3)}{m_{\text{molécule}} \times N_A}$$

$$n = \frac{m(C_4H_6O_3)}{(4 \times m_C + 6 \times m_H + 3 \times m_O) \times N_A}$$

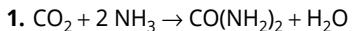
$$m = \rho \cdot V \text{ donc } n = \frac{\rho \cdot V}{(4 \times m_C + 6 \times m_H + 3 \times m_O) \times N_A}$$

4.

Atome	Configuration électronique	Doublets liants	Nombre d'électrons non engagés	Doublets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	0
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	2
H	$1s^1$	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	0

Sur le schéma de Lewis, le nombre de doublets liants prévus est 4 pour les atomes de carbone, 2 pour les atomes d'oxygène et 1 pour les atomes d'hydrogène. De même, on a bien 2 doublets non liants pour les atomes d'oxygène.

4. RÉDUIRE LE DIOXYDE DE CARBONE DANS L'ATMOSPHÈRE



2. a. Le nombre de doublets liants d'un atome correspond au nombre d'électrons manquants pour

AN :

$$n = \frac{1,08 \times 3,5}{(4 \times 2,00 \times 10^{-23} + 6 \times 1,67 \times 10^{-24} + 3 \times 2,67 \times 10^{-23}) \times 6,02 \times 10^{23}}$$

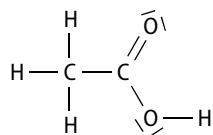
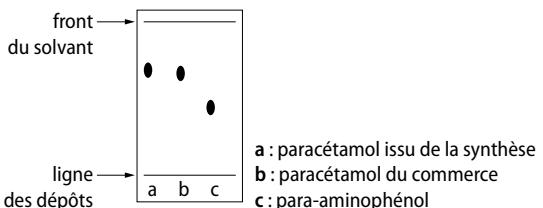
$$n = \frac{0,222 \times 10^{23}}{6,02 \times 10^{23}} = 0,037 \text{ mol} = 37 \text{ mmol}$$

b. En tenant compte des nombres stœchiométriques, le para-aminophénol est le réactif limitant. $C_6H_7NO + C_4H_6O_3 \rightarrow C_8H_9NO_2 + C_2H_4O_2$

3. a. Voir fiche pratique 8, page 305 du livre élève.

b. Si le système réactionnel est dans son état final, tout le para-aminophénol doit être consommé. Sur le chromatogramme, il n'y aura plus de tache correspondant à celle du para-aminophénol, par contre du paracétamol aura été formé. On doit obtenir une tache à la même hauteur que celle obtenue avec le paracétamol du commerce.

Schéma :



obtenir la même couche de valence que le gaz rare qui suit dans le tableau périodique.

Le nombre d'électrons non engagés dans une liaison, divisée par 2, donne le nombre de doublets non liants.

Atome	Configuration électronique	Doublets liants	Nombre d'électrons non engagés	Doublets non liants
C	$1s^2 2s^2 2p^2$	$8 - 4 = 4$	$4 - 4 = 0$	0
N	$1s^2 2s^2 2p^3$	$8 - 5 = 3$	$5 - 3 = 2$	1
O	$1s^2 2s^2 2p^4$	$8 - 6 = 2$	$6 - 2 = 4$	2
H	$1s^1$	$2 - 1 = 1$	$1 - 1 = 0$	0

b. Sur le schéma de Lewis, le nombre de doublets liants prévus est 4 pour l'atome de carbone, 2 pour l'atome d'oxygène, 3 pour les atomes d'azote et 1 pour les atomes d'hydrogène.

De même, on a bien 1 doublet non liant pour les atomes d'azote et 2 doublets non liants pour l'atome d'oxygène.

3. a. La masse d'une molécule d'urée est :

$$m_{\text{urée}} = m_C + 2 \times m_N + m_O + 4 \times m_H$$

$$\mathbf{b.} \quad m_{\text{urée}} = 2,00 \times 10^{-23} + 2 \times 2,32 \times 10^{-23} + 2,67 \times 10^{-23} + 4 \times 1,67 \times 10^{-24}$$

$$m_{\text{urée}} = 9,95 \times 10^{-23} \text{ g}$$

c. On peut mesurer sa température de fusion (environ 132 °C) à l'aide d'un banc Kofler.

4. a.

Nature des liaisons à rompre	Nombre de liaisons
N—H	4
C—N	2
C=O	1

b. La formation de ces liaisons conduit à une stabilisation de la molécule par rapport aux atomes pris séparément.

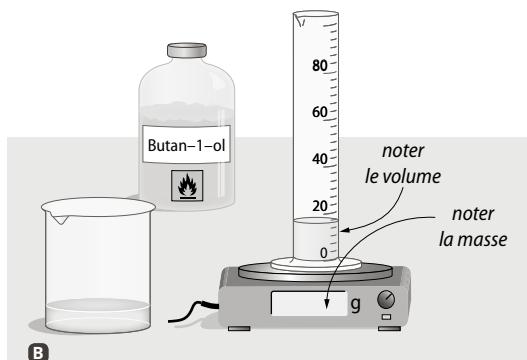
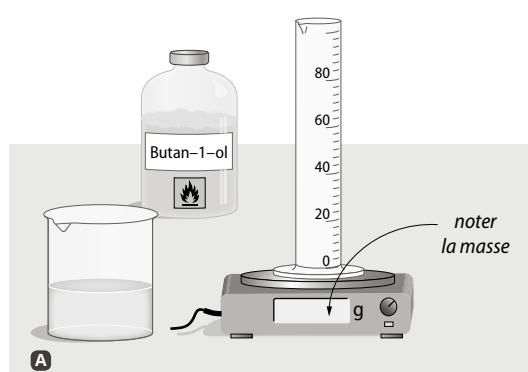
5. D'UNE ODEUR ÂCRE À UNE ODEUR FRUITÉE

1. a. C'est le montage **B** (montage de chauffage à reflux) qui convient, celui dont le réfrigérant à eau est placé sur le ballon.

b. Les autres montages ne conviennent pas car ce sont des montages de distillation.

2. a. *Expérience* : on détermine la masse volumique ρ du butan-1-ol en mesurant des masses et des volumes. Puis, on la compare à la valeur de référence donnée dans les tables (valeur de référence : $\rho_{\text{butan-1-ol}} = 0,81 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$).

Schémas :



b. On identifie l'eau produite par le test du sulfate de cuivre anhydre qui bleuit en présence d'eau.

3. a. La température va commencer à diminuer à 100 °C.

b. La vaporisation de l'eau est un changement d'état endothermique, qui absorbe de l'énergie.

4. Le transfert thermique Q est donc positif et vaut :

$$Q = m \cdot L_{\text{vap}}$$

$$Q = 0,0180 \times 2,3 \times 10^6$$

$$Q = 4,1 \times 10^4 \text{ J} = 41 \text{ kJ}$$

6. AU SOLEIL D'ITER

1. a. Le deutérium et le tritium sont deux isotopes de l'hydrogène.

b. Ce qui les différencie, c'est le nombre de nucléons A .

2. a. N est le nombre de noyaux présents dans 1,0 g de noyaux de deutérium D :

$$N = \frac{m_{\text{éch.}}}{m_D} = \frac{1,0 \times 10^{-3}}{3,34358 \times 10^{-27}} = 3,0 \times 10^{23} \text{ noyaux}$$

b. N' est le nombre de noyaux présents dans 1,0 g de noyaux de tritium T :

$$N' = \frac{m_{\text{éch.}}}{m_T} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{5,00736 \times 10^{-27}} = 3,0 \times 10^{23} \text{ noyaux}$$

c. Cela correspond à une quantité de matière :

$$n_D = n_T = \frac{N}{N_A} = \frac{3,0 \times 10^{23}}{6,02 \times 10^{23}} = 0,5 \text{ mol}$$

3. a. La fusion de 1,0 g de noyaux de deutérium avec 1,5 g de noyaux de tritium pourrait libérer l'énergie E' : $E' = E \times 3,0 \times 10^{23}$

$$E' = 28,2 \times 10^{-13} \times 3,0 \times 10^{23}$$

$$E' = 8,5 \times 10^{11} \text{ J}$$

b. Pour convertir cette valeur E' en tep, on divise par $4,2 \times 10^{10}$.

La fusion de 1,0 g de noyaux de deutérium avec 1,5 g de noyaux de tritium pourrait libérer 20 tep.

c. La fusion, pour une même masse de réactifs, libère entre quatre à cinq fois plus d'énergie que la fission.

Description d'un mouvement

LE PROGRAMME

• 1. Décrire un mouvement

La mécanique est un domaine très riche du point de vue de l'observation et de l'expérience, mais aussi du point de vue conceptuel et méthodologique. Elle permet d'illustrer de façon pertinente la démarche de modélisation.

Deux caractéristiques inhérentes à l'apprentissage de la mécanique méritent d'être soulignées :

- d'une part l'omniprésence des situations de mouvement qui a permis d'animer chez les élèves des raisonnements spontanés, souvent opératoires mais erronés et donc à déconstruire ;
- d'autre part la nécessaire maîtrise de savoirs et savoir-faire d'ordre mathématique qui conditionne l'accès aux finalités et concepts propres à la mécanique.

Ce thème prépare la mise en place du principe fondamental de la dynamique ; il s'agit en effet de construire un lien précis entre force appliquée et variation de la vitesse. Si la rédaction du programme est volontairement centrée sur les notions et méthodes, les contextes d'étude ou d'application sont nombreux et variés : transports, aéronautique,

exploration spatiale, biophysique, sport, géophysique, planétologie, astrophysique ou encore histoire des sciences.

Lors des activités expérimentales, il est possible d'utiliser les outils courants de captation et de traitement d'images mais également les capteurs présents dans les smartphones. L'activité de simulation peut également être mise à profit pour étudier un système en mouvement, ce qui fournit l'occasion de développer des capacités de programmation. Au-delà des finalités propres à la mécanique, ce domaine permet d'aborder l'évolution temporelle des systèmes, quels qu'ils soient. Ainsi, la mise en place des bilans est-elle un objectif important d'une formation pour et par la physique-chimie, en ce qu'elle construit des compétences directement réutilisables dans d'autres disciplines (économie, écologie, etc.).

Notions abordées au collège (cycle 4)

Vitesse (direction, sens, valeur), mouvements uniformes, rectilignes, circulaires, relativité des mouvements, interactions, forces, expression scalaire de la loi de gravitation universelle, force de pesanteur.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Système. Échelles caractéristiques d'un système. Référentiel et relativité du mouvement.	Identifier les échelles temporelles et spatiales pertinentes de description d'un mouvement. Choisir un référentiel pour décrire le mouvement d'un système. Expliquer, dans le cas de la translation, l'influence du choix du référentiel sur la description du mouvement d'un système.
Description du mouvement d'un système par celui d'un point. Position. Trajectoire d'un point.	Décrire le mouvement d'un système par celui d'un point et caractériser cette modélisation en termes de perte d'informations. Caractériser différentes trajectoires. Capacité numérique : représenter les positions successives d'un système modélisé par un point lors d'une évolution unidimensionnelle ou bidimensionnelle à l'aide d'un langage de programmation.
Vecteur déplacement d'un point. Vecteur vitesse moyenne d'un point. Vecteur vitesse d'un point. Mouvement rectiligne.	Définir le vecteur vitesse moyenne d'un point. Approcher le vecteur vitesse d'un point à l'aide du vecteur déplacement $\overrightarrow{MM'}$ où M et M' sont les positions successives à des instants voisins séparés de Δt ; le représenter. Caractériser un mouvement rectiligne uniforme ou non uniforme. <i>Réaliser et/ou exploiter une vidéo ou une chronophotographie d'un système en mouvement et représenter des vecteurs vitesse ; décrire la variation du vecteur vitesse.</i> Capacité numérique : représenter des vecteurs vitesse d'un système modélisé par un point lors d'un mouvement à l'aide d'un langage de programmation. Capacités mathématiques : représenter des vecteurs. Utiliser des grandeurs algébriques.

SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis au niveau du cycle 4 qu'un mouvement peut être rectiligne ou circulaire et qu'il est aussi qualifié d'uniforme lorsque les positions d'un objet, repérées à intervalles de temps réguliers, sont équidistantes ou de mouvement non uniforme, si ces positions ne sont pas équidistantes.

➤ Exemple de réponse attendue

La pomme tombe verticalement, le mouvement est donc rectiligne. La distance entre les positions successives de la pomme augmente, le mouvement n'est donc pas uniforme.

➤ En classe de 2^{de}

La notion de vitesse et de sa représentation dans l'espace sont évoquées dans l'**activité expérimentale 3** où la notion de segment fléché évolue vers une représentation vectorielle.

Dans l'**activité 4**, l'étude de la variation du vecteur vitesse, dans le cas de mouvements rectilignes, permet de caractériser ce type de mouvement.

SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier un deuxième acquis du cycle 4, nécessaire à ce chapitre, qui porte sur le calcul de la vitesse d'un objet en mouvement et de revoir la conversion d'unités : $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et vice versa. Pour cette situation, réinvestir la relation entre la distance parcourue, la durée de parcours et la vitesse.

➤ Exemple de réponse attendue

- La distance d parcourue par la joggeuse doit être convertie en mètre :

$$d = 10 \text{ km}$$

$$d = 10 \times 10^3 \text{ m}$$

- La durée de parcours Δt doit être convertie en seconde :

$$\Delta t = 50 \text{ min}$$

$$\Delta t = 50 \times 60 \text{ s} = 3 \times 10^3 \text{ s}$$

- La vitesse v est donnée par la relation : $v = \frac{d}{\Delta t}$.

AN :

$$v = \frac{d}{\Delta t} \quad v = \frac{10 \times 10^3}{3 \times 10^3} = \frac{10}{3} \quad v = 3,3 \text{ m/s}$$

➤ En classe de 2^{de}

Dans une logique spiralaire, la vitesse d'un système est traitée dans le programme de 2^{de}.

Dans l'**activité 1**, la grandeur algébrique de la vitesse est liée aux échelles spatiales et temporelles

qui sont en rapport avec l'étude de différents systèmes en mouvement. Les élèves doivent être capables de convertir ces différentes valeurs en mètre par seconde.

SITUATION 3

Dans cette troisième situation, les élèves sont invités à se rappeler que le mouvement d'un point d'un objet dépend de l'observateur, c'est-à-dire de la personne ou de l'objet capable de retrancrire un mouvement. Le mouvement d'un objet n'est donc pas perçu de la même manière selon les observateurs.

➤ Exemple de réponse attendue

Le mouvement est différent pour chacune des deux personnes.

Chaque personne ou observateur constitue chacun un référentiel différent.

Pour l'observateur assis dans le train (en face du passager), le passager paraît immobile. Ici, le référentiel est le train.

Pour l'observateur situé à l'extérieur du train, le passager est animé du même mouvement que le train. Ici, le référentiel est le quai.

➤ En classe de 2^{de}

Le terme de référentiel est abordé en 2^{de}, notamment dans l'**activité 2** sous forme d'une classe inversée. Les élèves sont amenés dans cette activité à identifier et choisir plusieurs référentiels afin d'expliquer l'influence du choix d'un référentiel sur la description d'un mouvement.

ACTIVITÉS**p. 132 ■ ACTIVITÉ 1****Échelles caractéristiques d'un système** *Tâche complexe***Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux****■ Documents**

Les différents documents mettent en évidence les différentes échelles permettant de repérer le mouvement des systèmes.

Le **document 3** est extrait du site internet <https://www.marinetraffic.com/fr> qui permet de voir en direct la position des bateaux du monde entier.

Le **document 4** fait référence au site <https://maps.esri.com/rc/sat2/index.html> qui permet de localiser les différents satellites en orbite autour de la Terre.

■ Animation

(→ disponible par l'application *Bordas Flashpage*, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Coordonnées géographiques

■ p. 132

Cette animation permet de comprendre pourquoi un point à la surface de la Terre est repéré par deux angles, la latitude et la longitude, et de repérer un lieu à l'aide de ces deux angles.

► Le problème à résoudre

- Le **document 1** fournit uniquement une échelle spatiale, l'échelle sur la carte, qui permet de déterminer l'ordre de grandeur d'une distance.

- Le **document 2** propose une échelle de distance, mais sur l'écran du GPS apparaissent également l'altitude et une indication des distances parcourues ou encore à parcourir, ce qui implique que le temps est mesuré afin de mettre à jour les données affichées en temps réel.

- Sur le **document 3**, la position du bateau est déterminée à l'aide de ses coordonnées géographiques, latitude et longitude.

L'échelle temporelle est donnée par la mise à jour des données toutes les 10 minutes.

- La position d'un satellite en orbite autour de la Terre est donnée à partir du **document 4**, par des grandeurs qui sont l'inclinaison, l'apogée et le périhélie. L'échelle temporelle est ici la période du satellite, c'est-à-dire la durée qu'il met pour effectuer un tour de la Terre, ce qui permet également de calculer sa vitesse.

Conclusion : l'avion est repéré dans l'espace aérien par sa longitude, sa latitude et son altitude qui constituent l'**échelle spatiale**.

L'**échelle temporelle** est ici de l'ordre de la seconde afin de pouvoir connaître en temps réel la position de cet avion qui évolue à une vitesse de $850 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, soit $236 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

p. 133 ■ ACTIVITÉ 2

Choix d'un référentiel Classe inversée

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet à l'aide de quatre animations d'introduire la notion de référentiel et de montrer que le mouvement d'un point d'un système dépend du référentiel choisi.

Pour repérer les positions d'un point dans un repère associé à un référentiel, on introduit un programme Python qui sera enrichi dans les **activités 3 et 4**.

■ Animations

(→ disponibles par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Relativité du mouvement

0 : 08 ■ p. 133

Les trois caméras disponibles dans cette animation constituent des référentiels différents qui permettent d'introduire la notion de relativité du mouvement.

► Mouvement rétrograde

■ p. 133

Cette animation permet d'observer le mouvement de la planète Mars dans deux référentiels différents, le référentiel héliocentrique lié au Soleil et le référentiel géocentrique lié à la planète Terre. Il est à noter que dans cette animation, les tailles et les distances ne sont pas respectées.

Cette animation met également en évidence la perte d'information liée à la rotation de la planète Mars.

► Composition des vitesses

■ p. 133

Dans cette animation, le mouvement du système bateau est étudié par rapport à deux référentiels, le sol et l'eau. Cette animation permet de montrer que le système bateau peut :

- avoir des vitesses différentes par rapport à chaque référentiel ;
- dans un cas particulier, être immobile dans un référentiel et en mouvement par rapport à un autre référentiel.

► Mouvement du centre de masse

0 : 05 ■ p. 133

Cette animation rappelle la notion de trajectoire qui, pour un point particulier du système marteau, est la plus simple. Elle permet aussi de montrer que la modélisation d'un système par un point induit une perte d'informations au niveau du mouvement du système.

■ Programme Python

■ p. 133

(→ disponible sur les manuels numériques enseignant et élève, et sur le site lycee.editions-bordas.fr)

Le programme Python du **document 5** permet de tracer dans un repère les positions d'un point en mouvement à l'aide de ses coordonnées x et y.

Les programmes **Python** présentent une structure commune : la partie d'initialisation et la partie de commande.

Partie d'initialisation

```
import matplotlib.pyplot as plt  
x=[1,2,3,4,5]  
y=[1,1.2,1.4,1.6,1.8]
```

Partie de commande

```
plt.plot(x,y, »ro »)  
plt.xlabel(«abscisses (m) »)  
plt.ylabel(«ordonnées (m) »)  
plt.title(«trajectoire balle »)  
plt.show()
```

Dans la **partie d'initialisation**, il est nécessaire de définir :

- les bibliothèques à importer (la bibliothèque 'matplotlib.pyplot' contient toutes les fonctions permettant le tracé de graphiques) ;
- les variables du programme et leur valeur initiale (on note x les différentes valeurs des abscisses et y les différentes valeurs des ordonnées).

Dans la **partie de commande**, il est demandé :

- de tracer des points sur le graphique en rouge « r » et en rond « o » ;
- de régler la fenêtre de visualisation avec $[x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}]$;
- d'ajouter un titre pour chaque axe et pour le graphique ;
- d'afficher les positions d'un point en mouvement à l'aide de ses coordonnées x et y .

➤ Exploitation et analyse

1 a. Les trois caméras sont associées aux référentiels suivants :

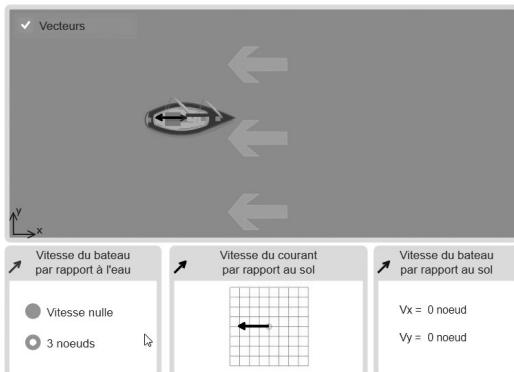
- la première caméra est fixée à la roue (rayon) ;
- la deuxième caméra est fixée à la fourche avant du vélo (au cadre) ;
- la troisième caméra est fixée au sol, c'est-à-dire au référentiel terrestre.

b. Le référentiel lié à la fourche du vélo est le référentiel qui a un mouvement de translation par rapport au sol.

2 a. Dans le référentiel héliocentrique, le mouvement d'un point particulier de Mars est quasi-circulaire, alors que dans le référentiel géocentrique, le mouvement est curviligne.

b. On perd toute information relative à la rotation de Mars sur elle-même.

3 Si la vitesse du bateau a pour valeur 3 nœuds et se déplace de gauche à droite horizontalement ($V_x = 3$ nœuds), le bateau paraîtra immobile si le courant a une vitesse horizontale de 3 nœuds mais orientée de droite à gauche.



4 Le mouvement sera vertical et donc rectiligne, uniforme si la coordonnée y augmente de manière constante, vers le haut si les valeurs de y augmentent.

➤ Synthèse

5 La vitesse et la trajectoire varient en fonction du référentiel choisi pour étudier le mouvement d'un système. Il est donc nécessaire de préciser le système étudié et le référentiel choisi.

Le vecteur vitesse..... TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité propose, après avoir filmé le mouvement d'une balle ou d'une bille lâchée sans vitesse initiale d'une hauteur comprise entre 1 et 1,5 m, de calculer les valeurs algébriques de la vitesse, puis de tracer les vecteurs vitesse.

■ Animation

(→ disponible par l'application *Bordas Flashpage*, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Composantes d'un vecteur

■ p. 134

Cette animation permet d'introduire la notion de vecteur et d'afficher leurs composantes ou coordonnées.

■ Programme Python

■ p. 134

(→ disponible sur les manuels numériques enseignant et élève, et sur le site lycee.editions-bordas.fr)

Le programme Python du **document 4** permet de vérifier la cohérence des tracés. Il apporte par rapport au programme de l'**activité 2**, l'échelle temporelle, le calcul des valeurs de la vitesse et le tracé des vecteurs vitesse.

Dans le cas d'une chute verticale, on donne à x une valeur constante.

Les programmes **Python** présentent une structure commune : la partie d'initialisation et la partie de commande.

Partie d'initialisation

```
import matplotlib.pyplot as plt
x=[1,2,3,5,4,2,4,5]
y=[1,1.3,1.5,1.4,1.3]
t=[0,0.1,0.3,0.5,0.9]
```

Partie de commande

```
X=[ ]
Y=[ ]
T=[ ]
for i in range(1,len(x)-1):
    X.append((x[i+1]-x[i])/(t[i+1]-t[i]))
    Y.append((y[i+1]-y[i])/(t[i+1]-t[i]))
yv=y[1:len(y)-1]
plt.quiver(xv,yv,X,Y,angles='xy',scale_units='xy',scale=10)
plt.plot(x,y, 'ro')
plt.axis([0,5,0,5,2])
plt.show()
```

Dans la **partie d'initialisation**, il est nécessaire de définir :

- les bibliothèques à importer (la bibliothèque 'matplotlib.pyplot' contient toutes les fonctions permettant le tracé de graphiques) ;

- les variables du programme et leur valeur initiale (on note x les différentes valeurs des abscisses, y les différentes valeurs des ordonnées et t les différentes valeurs des instants).

Dans la **partie de commande**, il est demandé :

- de calculer les coordonnées X et Y des vecteurs vitesses avec la méthode des points encadrants ;
- de tracer les vecteurs en utilisant le paramètre « scale » pour ajuster l'échelle de représentation des vecteurs ;
- de tracer des points sur le graphique en rouge « r » et en rond « o » ;
- de régler la fenêtre de visualisation avec $[X_{\min}, X_{\max}, Y_{\min}, Y_{\max}]$;
- d'ajouter un titre pour chaque axe et pour le graphique ;
- d'afficher les vecteurs vitesses.

> Exploitation et analyse

1 La durée Δt entre les différentes positions occupées par le point M est la durée entre deux images successives de la balle, durée mesurée sur la trajectoire enregistrée.

2 Sur la trajectoire enregistrée de la balle, mesurer la distance entre M_i et M_{i+1} , puis utiliser l'échelle spatiale pour calculer la distance réelle.

3 La valeur du vecteur vitesse v_i est calculée à partir de la formule : $v_i = \frac{M_i M_{i+1}}{\Delta t}$, par exemple, $v_4 = \frac{M_4 M_5}{\Delta t}$.

On peut dresser un tableau (voir ci-dessous).

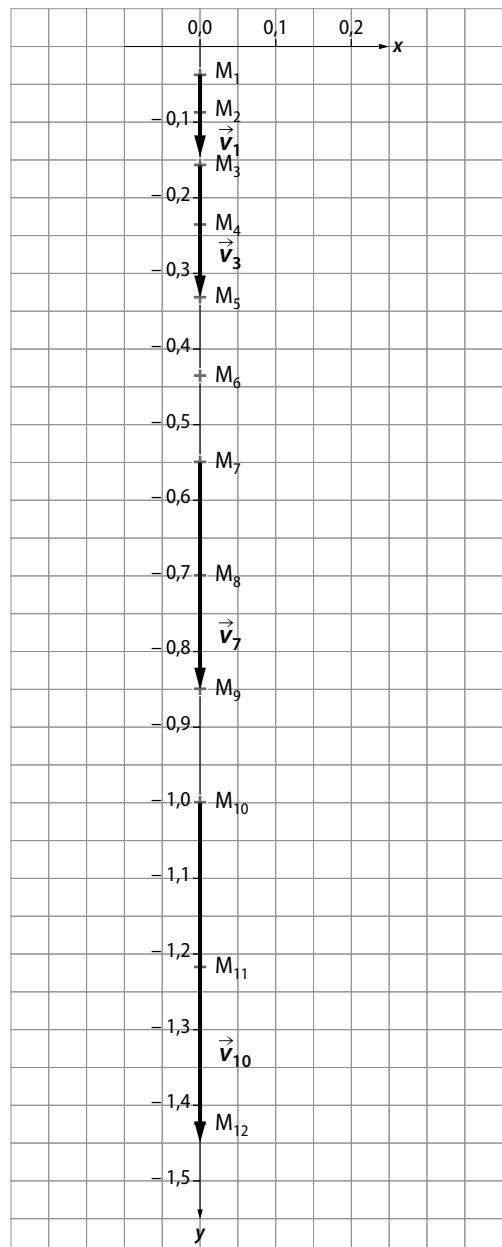
La valeur des vecteurs vitesse v_i va dépendre de la durée Δt .

Pour $\Delta t = 0,05$ s, voici un exemple d'échelle appropriée : 1 cm pour $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

4 Un exemple de construction de vecteurs vitesses sur une trajectoire imprimée : voir ci-contre.

> Conclusion

5 Le vecteur vitesse du point M conserve sa direction (la verticale) et son sens (vers le bas), mais sa valeur augmente. Donc le vecteur vitesse du point M varie.



Position	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	...
Distance $M_i M_{i+1}$ (en m)	$M_0 M_1$ = ...	$M_1 M_2$ = ...	$M_2 M_3$ = ...	$M_3 M_4$ = ...	$M_4 M_5$ = ...	$M_5 M_6$ = ...	$M_6 M_7$ = ...	$M_i M_{i+1}$ = ...
Distance réelle (en m)								
Δt	... s							
v_i								

Mouvement rectiligne et vecteur vitesse ... TP Démarche d'investigation

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité propose, après avoir filmé le mouvement d'un drone ou d'un objet comme une balle, lancé verticalement, de tracer comme dans l'**activité 3** des vecteurs vitesse d'un point du système étudié. Il est demandé ensuite de décrire la variation du vecteur vitesse lors de différentes phases du mouvement.

■ Programme Python

■ p. 135

(→ disponible sur les manuels numériques enseignant et élève, et sur le site lycee.editions-bordas.fr)

Le programme Python du **document 2** apporte au programme de l'**activité 3**, la variation des coordonnées d'un vecteur vitesse. Il peut permettre de vérifier les constructions vectorielles réalisées par les élèves.

Les programmes **Python** présentent une structure commune : la partie d'initialisation et la partie de commande.

Partie d'initialisation

```
import matplotlib.pyplot as plt
x=[2,3.38,5.12,7.22,9.68]
y=[0.8,1.352,2.048,2.888,3.872]
t=[1,1.3,1.6,1.9,2.2]
```

Partie de commande

```
X=[ ]
Y=[ ]

for i in range(0,len(x)-1):
    X.append((x[i+1]-x[i])/(t[i+1]-t[i]))
    Y.append((y[i+1]-y[i])/(t[i+1]-t[i]))

xv=x[0:len(x)-1]
yv=y[0:len(y)-1]

VarX=[ ]
VarY=[ ]
for i in range(0, len(X)-1):
    VarX.append(X[i+1]-X[i])
    VarY.append(Y[i+1]-Y[i])

xvar=x[1:len(x)-1]
yvar=y[1:len(y)-1]

plt.subplot(2,1,1)
plt.quiver(xv,yv,X,Y,angles="xy",scale_
units="xy",scale=5,color="green")
plt.plot(x,y, "ro ")
plt.title("Vecteurs vitesse ")
plt.axis([1,10,0.5,4])
```

```
plt.subplot(2,1,2)
plt.quiver(xvar,yvar,VarX,VarY,angles="xy",
scale_units="xy",scale=2,color="blue")
plt.plot(x,y, "ro ")
plt.title("Vecteurs variations de
vitesse ")
plt.axis([0,10,0,6])

plt.show()
```

Dans la **partie d'initialisation**, il est nécessaire de définir :

- les bibliothèques à importer (la bibliothèque 'matplotlib.pyplot' contient toutes les fonctions permettant le tracé de graphiques) ;
- les variables du programme et leur valeur initiale (on note x les différentes valeurs des abscisses, y les différentes valeurs des ordonnées et t les différentes valeurs des instants).

Dans la **partie de commande**, il est demandé :

- de calculer les coordonnées X et Y des vecteurs vitesse avec la méthode des points encadrants ;
- de tracer les vecteurs en utilisant le paramètre « scale » pour ajuster l'échelle de représentation des vecteurs ;
- de calculer les coordonnées VarX et VarY des vecteurs variation de vitesse ;
- de tracer ces vecteurs variation de vitesse ;
- de tracer les points, de définir les couleurs et de régler la fenêtre de visualisation ;
- d'afficher les vecteurs vitesse et les vecteurs variation de vitesse.

► Pistes de résolution

1 Le tracé des vecteurs vitesse s'obtient comme dans l'**activité 3**.

2 Dans la phase ascensionnelle, la valeur du vecteur vitesse augmente, elle reste ensuite constante, puis diminue avant que le drone ne se stabilise.

► Conclusion

3 Dans la première phase, le mouvement du drone est rectiligne non uniforme (accéléré).

Dans la deuxième phase, le mouvement du drone est rectiligne uniforme.

Dans la troisième phase, le mouvement du drone est rectiligne non uniforme (ralenti).

EXERCICES

Vérifier l'essentiel

■ p. 140

- | | | | | | | | |
|----------|---------|-----------|---------|-----------|----|----------|---------|
| 1 | B. | 2 | C. | 3 | B. | 4 | B et C. |
| 5 | B. | 6 | B. | 7 | B. | 8 | C. |
| 9 | A et B. | 10 | B et C. | 11 | B. | | |

■ Acquérir les notions

► Système et référentiel

■ p. 141

12 Le système est constitué par les sismomètres embarqués dans la sonde InSight.

13 On peut identifier ces systèmes : le parachutiste, le parachute, le bateau jaune qui tire le parachute, une personne sur le bateau jaune, le bateau rouge au loin...

14 L'échelle spatiale est l'altitude, exprimée en mètre (m).

L'échelle temporelle est le temps, exprimé en seconde (s).

15 Les échelles les mieux adaptées à la situation sont :

- pour l'échelle spatiale, un repère orthonormé plan avec graduations en décimètre ;
- pour l'échelle temporelle, la seconde.

16 Andréa est immobile dans le référentiel ascenseur.

17 **1.** Thomas Pesquet est immobile dans le référentiel ISS.

2. Pour un observateur situé à la surface de la Terre, le spationaute a le mouvement de la station ISS, ce mouvement est rectiligne uniforme.

18 **1.** Le mouvement d'une voiture par rapport à l'autre est un mouvement en translation.

2. a. L'autre voiture paraîtra immobile.

b. L'autre voiture aura un mouvement rectiligne non uniforme (accéléré).

► Modélisation du système

■ p. 142

19 **1.** Ces trois parties du vélo n'ont pas le même mouvement : un point situé sur la roue, un point situé sur le cadre et un point situé sur la chaîne.

2. On peut associer le mouvement le plus simple au point lié au cadre du vélo.

3. On peut citer par exemple ces trois points : un point situé sur le guidon, un point situé sur la selle et un point situé sur la fourche avant (si elle n'est pas amortie).

20 **1.** Un point situé sur l'axe de la roue a le mouvement le plus simple à étudier.

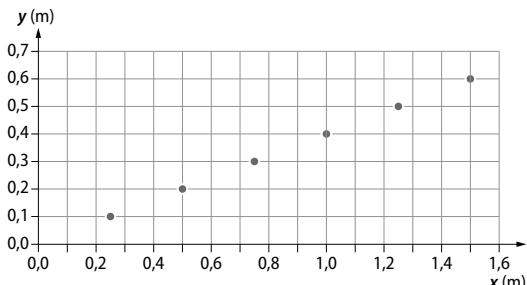
2. a. Si on choisit un autre point pour modéliser le mouvement de la roue, le mouvement ne sera pas le même, il sera circulaire.

b. Si on réduit l'observation au point situé sur l'axe de la roue, on perd l'information liée au mouvement de rotation de la roue autour de son axe.

21 **1.** Le point numéroté **1** a pour coordonnées (0 ; 2) et le point **2** (4 ; 1,3).

2. Un point qui touche le sol a une ordonnée $y = 0$, c'est le point **4** qui a pour coordonnées (3 ; 0).

► Représentation graphique :



2. Tableau complété :

x (en m)	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
y (en m)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60

23 **• Trajectoire A :** trajectoire rectiligne (le point décrit une droite).

• Trajectoire B : trajectoire rectiligne (le point décrit une droite).

• Trajectoire C : trajectoire circulaire (le point décrit un arc de cercle).

• Trajectoire D : trajectoire curviligne (le point décrit une courbe).

24 **A :** la nacelle, système en mouvement, a une trajectoire circulaire.

B : la balle de golf, système en mouvement, a une trajectoire curviligne.

C : le surfeur, système en mouvement, a une trajectoire curviligne.

D : l'athlète, système en mouvement, a une trajectoire rectiligne.

► Déplacement et vitesse

■ p. 143

25 **1.** Donner les caractéristiques du vecteur déplacement, c'est donner sa direction, son sens et sa valeur.

À l'aide de l'échelle donnée sur le plan, le vecteur déplacement a pour valeur $MM' = 614$ m, une direction ouest-est et est orienté vers l'est.

2. Ce promeneur a parcouru la distance MM' en 20 min, soit $\Delta t = 20 \times 60 = 1\,200$ s.

La valeur de la vitesse moyenne v du promeneur est :

$$v = \frac{MM'}{\Delta t}$$

$$v = \frac{614}{1\,200}$$

$$v = 51 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

3. Le vecteur vitesse moyenne a donc une valeur de $0,51 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; il a le même sens et la même direction que le vecteur déplacement MM'.

26 **1.** Les coordonnées des points sont : M(0,5 ; 1) et M'(3,5 ; 3).

2. Les coordonnées du vecteur déplacement sont : MM'(3 ; 2).

En effet, $3,5 - 0,5 = 3$ et $3 - 1 = 2$.

27 **1.** Le vecteur déplacement a une valeur de 101 m.

2. Cette distance de 101 m a été parcourue pendant une durée $\Delta t = 9 \times 5 \text{ s} = 45 \text{ s}$.

(Il y a 10 points rouges sur l'enregistrement, donc **9 fois** 5 s.)

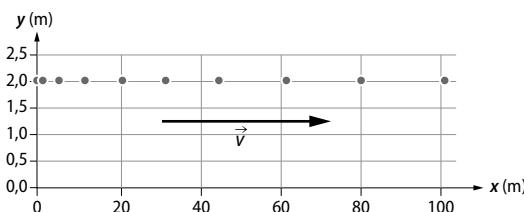
La valeur de la vitesse moyenne v du point est :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

$$v = \frac{101}{45}$$

$$v = 2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

3. L'échelle étant de 1 cm pour $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, le vecteur vitesse mesurera 2,2 cm.



28 **1.** On mesure la distance entre les positions M_4 et M_5 , on trouve : $M_4M_5 = 0,8 \text{ cm}$.

Il est possible de mesurer la distance entre les positions M_0 et M_7 , puis on divise la valeur M_0M_7 par 7, ainsi on obtient une valeur plus précise de M_4M_5 .

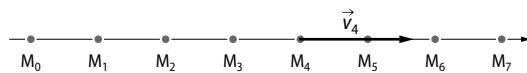
2. La vitesse v est donnée par la relation : $v = \frac{d}{\Delta t}$.

$$v_4 = \frac{M_4M_5}{\Delta t}$$

$$v_4 = \frac{0,8}{0,25}$$

$$v_4 = 3,2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

3. L'échelle est de 1 cm pour $2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, donc par proportionnalité, pour $3,2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, le vecteur vitesse \vec{v}_4 doit mesurer 1,6 cm.



29 **1.** L'enregistrement 1 correspond à un mouvement rectiligne uniforme.

L'enregistrement 2 correspond à un mouvement rectiligne non uniforme (accéléré).

L'enregistrement 3 correspond à un mouvement rectiligne non uniforme (ralenti).

2. Pour l'enregistrement 1, le vecteur vitesse reste constant.

Pour l'enregistrement 2, le vecteur vitesse augmente.

Pour l'enregistrement 3, le vecteur vitesse diminue.

Exercices similaires aux exercices résolus

p. 144 et 145

31 **1.** Dans la situation **A**, la valeur de la vitesse v_1 reste constante.

Dans la situation **B**, la valeur de la vitesse v_2 augmente régulièrement.

2. Selon la représentation graphique **A** de la vitesse, $v_1 = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3. a. Selon la représentation graphique **B** de la vitesse :

– à l'instant $t = 0 \text{ s}$, $v_2 = 1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

– à l'instant $t = 5 \text{ s}$, $v_2 = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

b. Ces deux valeurs sont différentes :

$$v_2(t = 5) > v_2(t = 0)$$

4. Dans la situation **A**, le mouvement est uniforme (la valeur de la vitesse ne varie pas).

Dans la situation **B**, le mouvement est non uniforme et accéléré (la valeur de la vitesse varie et augmente au cours du temps).

5. Il est impossible ici de savoir si la trajectoire est rectiligne car on ne dispose pas des représentations des positions du point matériel étudié au cours du temps.

33 **1.** La pomme mesure sur la chronophotographie 4,0 mm pour une grandeur réelle de 8 cm = 80 mm.

L'échelle est donc ici de $\frac{1}{20} \left(\frac{4,0}{80} = \frac{1}{20} \right)$.

2. La vitesse v est donnée par la relation : $v = \frac{d}{\Delta t}$.

$\Delta t = 0,033 \text{ s}$ et il faut déterminer la distance parcourue par le centre de la pomme :

a. entre la 6^e position et la 7^e position

Sur la chronophotographie, on mesure 5 mm.

À l'aide de l'échelle, la distance réelle est donc de 10 cm ($5 \times 20 \text{ mm} = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$).

La valeur de la vitesse du centre de la pomme en 6^e position est :

$$v_6 = \frac{10}{0,033}$$

$$v_6 = 30 \times 10^1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} = 3,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

b. entre la 9^e position et la 10^e position

Sur la chronophotographie, on mesure 8 mm.

À l'aide de l'échelle, la distance réelle est donc de 16 cm ($8 \times 20 \text{ mm} = 160 \text{ mm} = 16 \text{ cm}$).

La valeur de la vitesse du centre de la pomme en 9^e position est :

$$v_9 = \frac{16}{0,033}$$

$$v_9 = 48 \times 10^1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} = 4,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

3. La valeur de la vitesse augmente ici, le mouvement est donc rectiligne non uniforme (accéléré).

Croiser les notions

I p. 146

34 **1. a.** Tom et Chloé sont immobiles par rapport au référentiel « tapis », mais en mouvement rectiligne et uniforme par rapport au référentiel « mur du métro ».

b. Par rapport au tapis, leur vitesse est nulle. Par rapport au mur du métro, ils possèdent la même vitesse que le tapis, soit $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. a. Par rapport au tapis, sa vitesse est de $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Par rapport au mur du métro, sa vitesse sera de $2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($1,2 + 1 = 2,2$).

b. Dans les deux référentiels, le mouvement de Tom est rectiligne uniforme.

35 **1.** Margot et Samira sont immobiles par rapport au référentiel « train ». Elles sont en mouvement par rapport au référentiel terrestre.

2. a. Elles sont maintenant immobiles par rapport au référentiel terrestre.

b. Elles sont en mouvement dans le référentiel géocentrique.

36 **1.** Le mouvement des points C et M est étudié dans le référentiel « patinoire », c'est le référentiel terrestre.

2. Le point C a un mouvement rectiligne et uniforme.

Le point M est animé d'un mouvement curviligne non uniforme.

3. a. Le point C est le point dont la trajectoire est la plus simple.

b. L'information perdue est la rotation du palet autour du point C.

c. Le palet a été lancé avec un mouvement de rotation.

> Démarche avancée

1. D'après la courbe $x=f(t)$, les deux grandeurs x et t sont proportionnelles. On a donc $x=k \cdot t$ avec k le coefficient de proportionnalité, soit $k=\frac{x}{t}$.

Ce coefficient correspond à la vitesse puisqu'il est le quotient de la distance parcourue x par la durée de parcours. Il est donc possible d'écrire :

$$x = v \cdot t \text{ ou } v = \frac{x}{t}$$

2. On détermine la vitesse de la voiture en calculant la valeur moyenne du coefficient de proportionnalité k ou en traçant, à l'aide d'un tableur-grapheur, la courbe $x=f(t)$.

Les fonctionnalités du logiciel donnent la valeur du coefficient directeur.

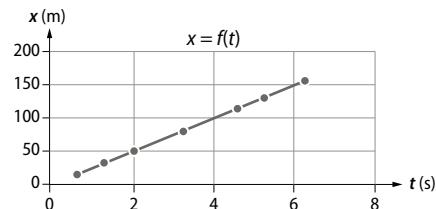
t (en s)	0,66	1,32	1,98	3,30	4,62	5,28	6,27
x (en m)	16,5	33,0	49,5	82,5	115	132	157
$k = \frac{x}{t}$ (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	25	25	25	25	24,9	25	25

La valeur de la vitesse v est $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

En multipliant cette valeur par 3,6, on obtient $v = 90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Démarche élémentaire

1. a. Courbe $x=f(t)$:



b. Ces deux grandeurs sont proportionnelles.

c. À l'aide du logiciel, on obtient la relation suivante entre ces deux grandeurs : $x = 25t$.

2. a. La vitesse v correspond au coefficient de proportionnalité k entre ces deux grandeurs, soit ici :

$$k = \frac{x}{t} = v = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

b. En multipliant $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ par 3,6, on obtient $v = 90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

38 **1.** Les cinq valeurs de la vitesse v du sprinteur sont obtenues à partir de la relation $v = \frac{x}{\Delta t} = \frac{20}{\Delta t}$.

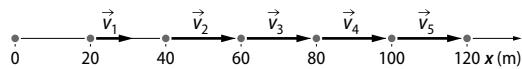
t (en s)	0	20	40	60	80	100
x (en m)	0	2,87	4,65	6,32	7,97	9,69
Δt (en s)	-	2,87	1,78	1,67	1,65	1,72
$v = \frac{x}{\Delta t}$ (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	-	7,0	11,2	12,0	12,1	11,6

2. L'échelle appropriée peut être de 1 cm pour $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

ℓ est la longueur du vecteur vitesse.

$v = \frac{x}{\Delta t}$ (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	-	7,0	11,2	12,0	12,1	11,6
v	-	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
ℓ (en mm)	-	7,0	11,2	12,0	12,1	11,6

Les vecteurs vitesse sont représentés ci-dessous :



3. Le mouvement du sprinteur est rectiligne non uniforme.

39 • Graphique A : mouvement uniforme.

• Graphique B : système au repos.

• Graphique C : mouvement non uniforme.

• Graphique D : mouvement non uniforme.

40 1. a. Le système dont on étudie le mouvement est la personne qui va sauter à l'élastique.

b. Ce mouvement est étudié dans le référentiel terrestre.

2. La partie A à D du graphique correspond à la phase **①** du saut.

La partie D à F du graphique correspond à la phase **②** du saut.

Le point F du graphique correspond à la phase **③** du saut.

La partie F à G du graphique correspond à la phase **④** du saut.

3. a. La valeur de la vitesse maximale atteinte par le système est déterminée graphiquement, elle vaut $28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. En multipliant cette valeur par 3,6, on obtient $101 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

b. La première phase du mouvement a duré 3 secondes.

4. Lors de la première phase, le mouvement est rectiligne non uniforme (uniformément accéléré).

41 1. Le vecteur vitesse \vec{v}_1 a pour coordonnées $(2 ; 1)$.

2. a. Ce vecteur a pour norme $\|\vec{v}_1\|$:

$$\|\vec{v}_1\| = \sqrt{2^2 + 1^2} = 2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

b. Ce vecteur a pour norme $2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, sa direction et son sens sont indiqués sur le graphique.

42 1. Étymologiquement, le mot *chronophotographie* se décompose en trois parties :

- *khrônos*, qui signifie « temps » ;

- *phôtos*, qui signifie « lumière » ;

- *graphos*, qui signifie « écriture » .

Ce terme a été inventé par Étienne-Jules Marey.

Voici une définition :

La technique de chronophotographie permet de décomposer un mouvement par des photographies successives et rapprochées.

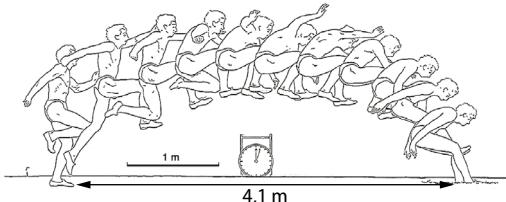
2. L'échelle spatiale est déterminée à l'aide d'une règle d'un mètre posée sur le sol (d'après le schéma).

L'échelle temporelle est obtenue à partir de l'intervalle entre deux images, qui est d'un quatorzième de seconde (d'après le texte).

3. On mesure sur le schéma la longueur entre l'extrémité du pied d'appui du sauteur et l'impact du pied dans le sable, on trouve $5,8 \text{ cm} = 58 \text{ mm}$.

Sur le schéma, l'échelle spatiale indique 14 mm pour 1 m.

Par proportionnalité, on en déduit la longueur du saut : $\frac{58}{14} = 4,1 \text{ m}$.



4. La vitesse v est donnée par la relation : $v = \frac{d}{\Delta t}$.

L'intervalle entre deux images est d'un quatorzième de seconde, donc la durée Δt du saut est :

$$\Delta t = 10 \times \frac{1}{14} = 0,71 \text{ s}$$

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

$$v = \frac{4,1}{0,71}$$

$$v = 5,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

43 1. Le système ici est la palanquée qui est constituée de deux plongeurs.

2. L'échelle spatiale est la profondeur exprimée en mètre (m), l'échelle temporelle est la minute (min).

3. Ces plongeurs ont atteint la profondeur maximale de 60 m.

4. Du point A au point B, la palanquée remonte de 16 m en 2 min, la vitesse de remontée est donc de $8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

44 Une balle de ping-pong est lâchée. Son mouvement est enregistré.

Voici l'image obtenue :



- Comment se nomme ce type d'image ?
- L'image est-elle bien orientée ?
- Caractériser le mouvement du centre de la balle.

Corrigé :

- Cette image est une chronophotographie.
- L'image n'est pas bien orientée : la chute est verticale, la main doit être en haut.
- Le mouvement du centre de la balle est rectiligne non uniforme (accéléré).

45 1. Dans un premier temps, il faut déterminer, à l'aide de l'enregistrement et de l'échelle indiquée, les distances M_1M_2 puis M_4M_5 . Les valeurs sont :

$$M_1M_2 = \frac{7 \times 35}{77} = 3,2 \text{ m}$$

$$M_4M_5 = \frac{27 \times 35}{77} = 12,3 \text{ m}$$

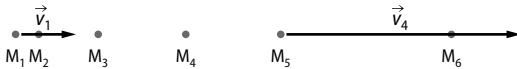
Chaque position est séparée de la position suivante par une durée $\Delta t = \frac{4}{5} = 0,8 \text{ s}$ (l'enregistrement est réalisé pendant **4 s** et il y a **5** intervalles de temps). La valeur de la vitesse est :

$$\text{- en } M_1, v_1 = \frac{M_1M_2}{\Delta t} = \frac{3,2}{0,8} = 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1};$$

$$\text{- en } M_4, v_4 = \frac{M_4M_5}{\Delta t} = \frac{12,3}{0,8} = 15,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

2. On choisit pour les vecteurs vitesse par exemple une échelle de 1 cm pour $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Le vecteur v_1 mesure 0,8 cm et le vecteur v_4 mesure 3,1 cm.



3. Ce mouvement est rectiligne non uniforme (le vecteur vitesse augmente).

46 Dans cet exposé court, il est nécessaire de prendre en compte la notion de référentiel. En effet, le référentiel peut être terrestre ou lié au parachutiste qui filme ou prend en photo la scène.

Il faut également décrire la variation du vecteur vitesse et ainsi décrire le mouvement du parachutiste qui va ouvrir son parachute dans les deux référentiels.

La réponse attendue à la problématique est d'indiquer que le parachutiste ne remonte pas dans un référentiel et donne l'impression de remonter dans l'autre.

EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

Avant l'ouverture du parachute, par rapport au référentiel sol, le mouvement du parachutiste est rectiligne accéléré au début, puis uniforme.

Si ce parachutiste est filmé par un autre parachutiste qui a sauté en même temps, le parachutiste paraît immobile dans ce second référentiel.

À l'ouverture du parachute par rapport au sol, le parachutiste continue de descendre, mais son mouvement est dans un premier temps ralenti, puis devient uniforme quand la vitesse du parachutiste se stabilise. Par contre, pour la caméra liée au second parachutiste, qui lui continue de descendre à une vitesse supérieure au parachutiste qui vient d'ouvrir son parachute, ce dernier semble remonter.

47 Les trajectoires des avions de la patrouille de France sont dans un premier temps curvilignes, puis rectilignes après le virage. La vitesse de ces avions n'est pas connue, il est donc impossible de décrire le mouvement de ces avions à partir de la photographie.

Acquérir des compétences ■ p. 149

48 > Analyse

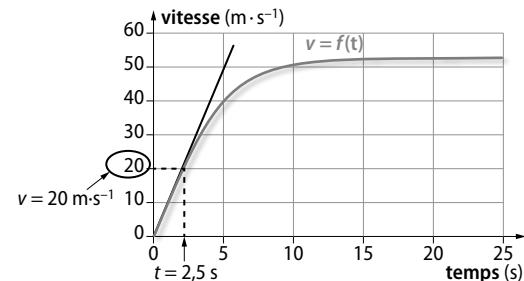
1. a. Le graphique donne la variation de la vitesse v d'un système « parachutiste avant l'ouverture de son parachute » en fonction du temps t .

La seule relation correspondant à ce graphique $v = f(t)$ est donc $v = g \cdot t$.

De plus, cette relation correspond à une fonction linéaire, qui concorde avec la portion rectiligne sur ce graphique.

b. La chute libre ne dure que 2,5 s. Cette valeur est obtenue graphiquement et elle correspond à la date t où la représentation $v = f(t)$ ne se trouve plus sur la portion rectiligne correspondant au modèle de la chute libre.

La vitesse maximale atteinte en chute libre est alors de $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



2. Pour convertir en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ une valeur exprimée en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, on divise la valeur par 3,6.

Voici la réponse sous forme de tableau :

Attraction	Première (tour du haut)	Seconde (tour du bas)
Vitesse (en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	115	63
Vitesse (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	31,9	17,5

> Synthèse

Pour déterminer si ces deux tours peuvent être qualifiées de « chute libre », il est possible de travailler sur le graphique.

En considérant la tour du haut, pour une vitesse de $31,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, la chute n'est plus libre. Cette tour n'est donc pas en chute libre sur la totalité de la descente.

Pour la tour du bas, il est nécessaire de déterminer, à partir de la relation $v = \sqrt{2g \cdot h}$, la hauteur maximale h (ou la distance maximale) parcourue en chute libre.

$$v = \sqrt{2g \cdot h} \text{ donc } v^2 = 2g \cdot h \text{ soit } h = \frac{v^2}{2g}.$$

Pour la vitesse maximale atteinte en chute libre de $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, cette hauteur h est :

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{20 \times 20}{2 \times 9,81}$$

$$h = 20,4 \text{ m}$$

Or ici la hauteur de chute de la tour du bas est de 56 m. Ici, la chute n'est pas libre non plus.

49 > Le problème à résoudre

La distance (50 cm) entre les deux pieds du golfeur donne l'échelle des distances.

L'intervalle de temps entre deux positions de la balle est de 1/500 seconde soit 2 ms.

La distance mesurée (1,2 cm) entre les deux pieds sur le document, puis ramenée à sa valeur réelle

grâce à l'échelle $\left(\frac{1,2}{50}\right)$, permet de déterminer la

vitesse sur un intervalle de temps correspondant à la trajectoire affichée.

La vitesse est donnée par cette relation :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

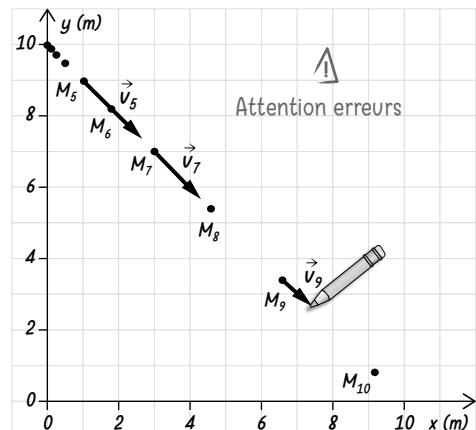
$$v = \frac{2,3}{13 \times 0,002} \quad (5,5 \text{ cm} \times \frac{1,2}{50} = 2,3 \text{ m})$$

$$v = 88 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

En multipliant par 3,6, $v = 316 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

50 > Démarche experte

La distance entre les points successifs de la représentation augmente, la vitesse doit donc aussi augmenter, cette représentation est donc fausse.



Afin de corriger cette erreur, il faut déterminer les valeurs des vecteurs vitesse. Pour cela :

- mesurer les distances M_5M_6 , M_7M_8 et M_9M_{10} ;
- utiliser l'échelle spatiale pour trouver les distances réelles ;
- déterminer les valeurs des vitesses.

Les vecteurs vitesse doivent ensuite être tracés en choisissant une échelle adaptée.

À l'aide de l'échelle spatiale du repère orthonormé, on obtient ces valeurs de distance :

$$M_5M_6 = 1,0 \text{ m} ; M_7M_8 = 2,0 \text{ m} \text{ et } M_9M_{10} = 3,4 \text{ m}.$$

$\Delta t = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ s}$ (5 images par seconde), les valeurs des vitesses sont alors :

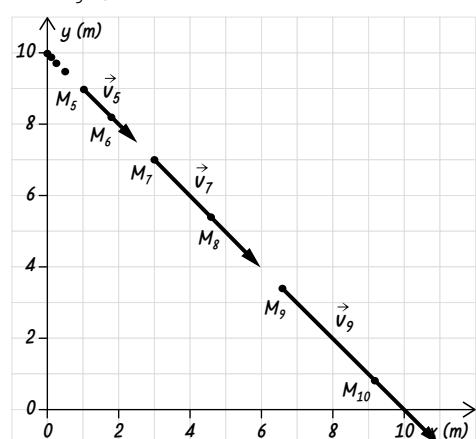
$$v_5 = \frac{M_5M_6}{\Delta t} = \frac{1,0}{0,2} = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_7 = \frac{M_7M_8}{\Delta t} = \frac{2,0}{0,2} = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_9 = \frac{M_9M_{10}}{\Delta t} = \frac{3,4}{0,2} = 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

On propose l'échelle suivante pour tracer les vecteurs vitesse : 1 cm pour $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Le vecteur \vec{v}_5 mesure 1 cm, le vecteur \vec{v}_7 2 cm et le vecteur \vec{v}_9 3,4 cm.



> Démarche avancée

1. Les valeurs des vitesses sont obtenues à partir de ces relations :

$$v_5 = \frac{M_5 M_6}{\Delta t} ; v_7 = \frac{M_7 M_8}{\Delta t} ; v_9 = \frac{M_9 M_{10}}{\Delta t}.$$

$\Delta t = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ s}$ (5 images par seconde) et les distances sont mesurées sur la trajectoire.

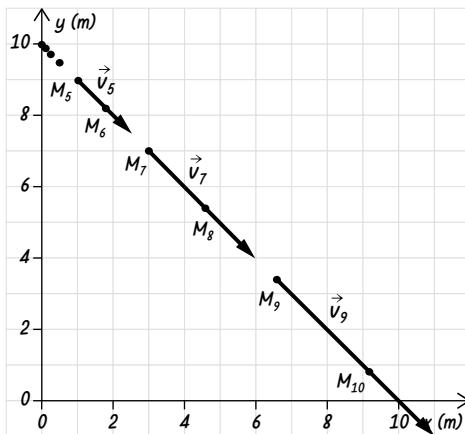
À l'aide de la graduation des axes du repère orthonormé, dans lequel est tracée la trajectoire, il faut calculer les valeurs réelles de ces distances, on obtient :

$$M_5 M_6 = 1,0 \text{ m} ; M_7 M_8 = 2,0 \text{ m} \text{ et } M_9 M_{10} = 3,4 \text{ m}.$$

Les valeurs des vitesses sont alors : $v_5 = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $v_7 = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $v_9 = 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. a. On peut utiliser l'échelle où 1 cm sur la trajectoire correspond à $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

b. Le vecteur \vec{v}_5 mesure 1 cm, le vecteur \vec{v}_7 2 cm et le vecteur \vec{v}_9 3,4 cm.



51 1. Protocole expérimental :

- Fixer une caméra au-dessus de la voiture ou sur le côté.
- Pour obtenir les coordonnées de la position d'un point de la voiture, placer sur la vidéo un objet de dimensions connues ou une règle afin d'étalonner l'image de la vidéo.
- À l'aide d'un logiciel de traitement vidéo et après avoir réglé correctement le logiciel (échelle, repère, taille de l'image), pointer un point de la voiture facilement repérable (s'il n'y en a pas, il est possible de coller sur la voiture une pastille bien visible).

2. a. La vitesse augmente de manière constante, la fonction représentée $v = f(t)$ est une fonction linéaire (une droite passant par l'origine).

b. Le système est donc animé d'un mouvement rectiligne non uniforme (uniformément accéléré).

c. À $t = 0,3 \text{ s}$, le système a une vitesse de $2,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3. Il faudra mesurer la vitesse au même instant, c'est-à-dire à $t = 0,3 \text{ s}$.

Modélisation d'une action sur un système

LE PROGRAMME

• 1. Décrire un mouvement

La mécanique est un domaine très riche du point de vue de l'observation et de l'expérience, mais aussi du point de vue conceptuel et méthodologique. Elle permet d'illustrer de façon pertinente la démarche de modélisation.

Deux caractéristiques inhérentes à l'apprentissage de la mécanique méritent d'être soulignées :

- d'une part, l'omniprésence des situations de mouvement qui a permis d'ancrez chez les élèves des raisonnements spontanés, souvent opératoires mais erronés et donc à déconstruire ;
- d'autre part, la nécessaire maîtrise de savoirs et savoir-faire d'ordre mathématique qui conditionne l'accès aux finalités et concepts propres à la mécanique.

Ce thème prépare la mise en place du principe fondamental de la dynamique ; il s'agit en effet de construire un lien précis entre force appliquée et variation de la vitesse. Si la rédaction du programme est volontairement centrée sur les notions et méthodes, les contextes d'étude ou d'application sont nombreux et variés : transports, aéronautique, exploration spatiale, biophysique, sport,

géophysique, planétologie, astrophysique ou encore histoire des sciences.

Lors des activités expérimentales, il est possible d'utiliser les outils courants de captation et de traitement d'images mais également les capteurs présents dans les smartphones. L'activité de simulation peut également être mise à profit pour étudier un système en mouvement, ce qui fournit l'occasion de développer des capacités de programmation.

Au-delà des finalités propres à la mécanique, ce domaine permet d'aborder l'évolution temporelle des systèmes, quels qu'ils soient. Ainsi, la mise en place des bilans est-elle un objectif important d'une formation pour et par la physique-chimie, en ce qu'elle construit des compétences directement réutilisables dans d'autres disciplines (économie, écologie, etc.).

Notions abordées au collège (cycle 4)

Vitesse (direction, sens, valeur), mouvements uniformes, rectilignes, circulaires, relativité des mouvements, interactions, forces, expression scalaire de la loi de gravitation universelle, force de pesanteur.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Modélisation d'une action par une force.	Modéliser l'action d'un système extérieur sur le système étudié par une force. Représenter une force par un vecteur ayant une norme, une direction, un sens.
Principe des actions réciproques (troisième loi de Newton).	Exploiter le principe des actions réciproques.
Caractéristiques d'une force. Exemples de forces : - force d'interaction gravitationnelle ; - poids ; - force exercée par un support et par un fil.	Distinguer actions à distance et actions de contact. Identifier les actions modélisées par des forces dont les expressions mathématiques sont connues <i>a priori</i> . Utiliser l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle. Utiliser l'expression vectorielle du poids d'un objet, approché par la force d'interaction gravitationnelle s'exerçant sur cet objet à la surface d'une planète. Représenter qualitativement la force modélisant l'action d'un support dans des cas simples relevant de la statique.

SITUATION 1

Il s'agit de vérifier que les élèves ont bien acquis la notion d'interaction (ici à distance) représentée sur l'illustration par la pomme qui tombe sur la Terre, et que l'interaction est associée à la loi de gravitation universelle et au poids à la surface de la Terre.

>Exemple de réponse attendue

La Terre exerce une action sur la pomme. Cette action de la Terre est une action à distance qui attire vers elle cette pomme et la fait tomber.

>En classe de 2^{de}

Le programme de la classe de 2^{de} a pour but de développer ces notions.

L'**activité 1** permet de remémorer la notion d'action mécanique exercée par un corps extérieur sur un système. Elle remet aussi en place le vocabulaire de la force qui est la modélisation d'une action mécanique, elle-même représentée par un vecteur. Dès cette activité et durant tout le lycée, la mécanique du point est étudiée et donc le système est ramené à un point (le centre de masse sans l'évoquer pour l'heure).

SITUATION 2

Il s'agit ici de passer de l'attraction d'un astre sur un système (poids de ce système) à l'attraction du même système par un autre astre.

L'exemple, fréquemment utilisé au collège, de la comparaison du poids d'un astronaute sur Terre et sur la Lune est donc utilisé. La finalité étant de rappeler que la différence n'est pas due à la masse de l'astronaute qui ne change pas, mais à l'intensité de pesanteur à la surface d'un astre.

>Exemple de réponse attendue

L'attraction exercée par la Terre sur l'astronaute à sa surface est plus intense que l'attraction exercée par la Lune. Il peut donc se déplacer plus facilement sur la Lune.

>En classe de 2^{de}

L'**activité 3** mettra en évidence, dans la démarche spirale, la différence notée en faisant établir l'expression littérale de l'intensité de pesanteur g et son expression vectorielle à partir de l'expression vectorielle de la force de gravitation universelle établie à l'**activité 2**.

SITUATION 3

Enfin, dans cette troisième situation, il s'agit de vérifier que les élèves savent effectuer une procédure courante, en l'occurrence, effectuer un calcul,

la relation littérale étant fournie dans les acquis indispensables.

La notion d'unité et la conversion sont abordées puisque la distance est donnée en km.

>Exemple de réponse attendue

La valeur F de la force de gravitation modélise l'interaction entre deux objets massiques A et B.

Cette valeur est donnée par la relation suivante :

$$F = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2}$$

valeur de la force de gravitation (en N) masses de A et B (en kg)
 constante de gravitation universelle (G = 6,67 × 10⁻¹¹ N · m²/kg²) distance entre les centres de A et B (en m)

Ici, A est la Terre T et B est le Soleil S, on a alors :

$$F_{T/S} = F_{S/T} = G \times \frac{M_S \times M_T}{d^2}$$

En convertissant la distance d en mètre, on a donc :

$$F_{T/S} = F_{S/T} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,99 \times 10^{30} \times 5,97 \times 10^{24}}{(150 \times 10^9)^2}$$

$$F_{T/S} = F_{S/T} = 3,52 \times 10^{22} \text{ N}$$

>En classe de 2^{de}

La loi de gravitation universelle, acquis incontournable du cycle 4 pour le programme de 2^{de}, va être développée dans l'**activité 2**.

De son expression littérale scalaire qui doit être connue, on passe à l'expression vectorielle que les élèves devront savoir utiliser (capacité exigible du programme de 2^{de}).

La représentation de la force qui modélise l'interaction est aussi l'occasion d'aborder la 3^e loi de Newton (principe des actions réciproques) qui sera développée dans l'**activité 4**.

ACTIVITÉSp. 154 ■ **ACTIVITÉ 1****Actions mécaniques et forces****Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux**

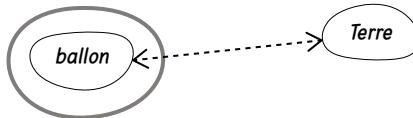
Cette activité permet de rappeler la notion d'interaction (**doc. 1**) et de modélisation d'une action mécanique exercée sur un système par une force (**doc. 2**), la force étant représentée par un vecteur dont les aspects mathématiques sont rappelés dans la fiche méthode 10, p. 327.

Dès à présent, le système est ramené à un point matériel.

> Exploitation et analyse

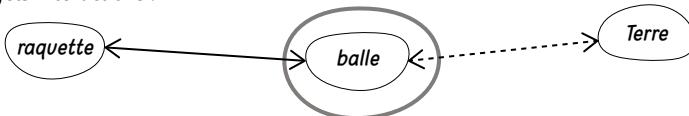
A Système étudié : le ballon de rugby qui tombe

1 Diagramme objets-interactions :



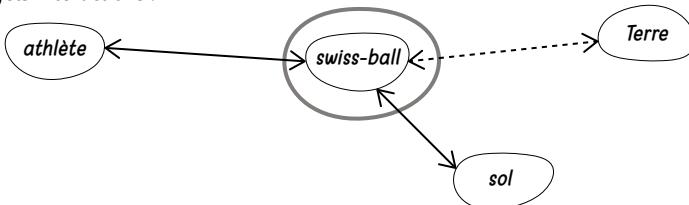
B Système étudié : la balle de tennis qui est frappée

1 Diagramme objets-interactions :



C Système étudié : le swiss-ball posé sur le sol

1 Diagramme objets-interactions :



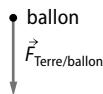
A Système étudié : le ballon de rugby qui tombe

2 Il n'y a qu'une action mécanique, celle de la Terre sur le ballon.

3 Cette action a mis en mouvement le ballon dès qu'il a quitté les mains du joueur.

> Synthèse

4 Représentation :



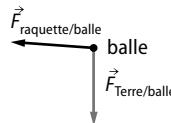
B Système étudié : la balle de tennis qui est frappée

2 Il y a deux actions : l'action de la Terre sur la balle et l'action de la raquette sur la balle.

3 Ces actions modifient la vitesse et/ou la trajectoire de la balle.

> Synthèse

4 Représentation :



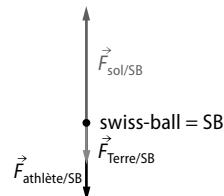
C Système étudié : le swiss-ball posé sur le sol

2 Il y a trois actions : l'action de la Terre, du sol et de l'athlète sur le swiss-ball.

3 Ces actions déforment le swiss-ball.

> Synthèse

4 Représentation :



p. 155 ■ ACTIVITÉ 2

La force d'interaction gravitationnelle..... Démarches différencierées

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Documents

Le document 1 et les notions rencontrées lors du cycle 4 permettent d'établir l'expression littérale de la valeur de la force de gravitation universelle.

Le document 2 permet de rappeler que les actions mécaniques sont mutuellement exercées et donc les valeurs des forces sont égales :

$$F_{\text{Terre/Lune}} = F_{\text{Lune/Terre}} = G \cdot \frac{m_{\text{T}} \cdot m_{\text{L}}}{d^2}$$

> Démarche experte

• Pour représenter les forces, il faut d'abord calculer leur valeur.

Donnée : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.

$$F_{\text{Terre/Lune}} = F_{\text{Lune/Terre}} = G \cdot \frac{m_T \cdot m_L}{d^2}$$

$$F_{\text{Terre/Lune}} = F_{\text{Lune/Terre}}$$

$$= 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 7,35 \times 10^{22}}{(3,84 \times 10^5 \times 10^3)^2}$$

$$F_{\text{Terre/Lune}} = F_{\text{Lune/Terre}} = 1,98 \times 10^{20} \text{ N}$$

- D'après l'échelle ($1,0 \text{ cm} \leftrightarrow 1,0 \times 10^{20} \text{ N}$) fournie dans le **document 3**, on représentera la force par un vecteur de longueur $\ell = 2,0 \text{ cm}$ (2 chiffres significatifs).

- D'après le **document 2**, la Terre attire la Lune vers elle et réciproquement, donc :

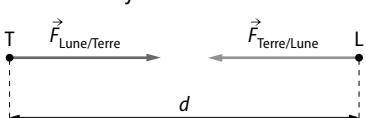
- les caractéristiques du vecteur $\vec{F}_{\text{Terre/Lune}}$ qui s'applique à la Lune, donc en L, sont :

- le point d'application : L
- la direction : la droite TL
- le sens : de L vers T
- la valeur : $1,98 \times 10^{20} \text{ N}$ donc environ $\ell = 2,0 \text{ cm}$

- les caractéristiques du vecteur $\vec{F}_{\text{Lune/Terre}}$ qui s'applique à la Terre, donc en T, sont $\vec{F}_{\text{Lune/Terre}}$:

- le point d'application : T
- la direction : la droite TL
- le sens : de T vers L
- la valeur : $1,98 \times 10^{20} \text{ N}$ donc environ $\ell' = 2,0 \text{ cm}$

• Représentation des forces à l'échelle :



► Démarche avancée

- a. D'après le **document 1** et l'extrait de texte dans *Proposition VI*, la force de gravitation est proportionnelle aux masses des systèmes.

- *Proposition VI*, que les forces sont proportionnelles aux quantités de matière que chaque planète contient (en l'occurrence ce qui correspond aux masses) :

$$F = k \cdot m \cdot m'$$

- *Proposition LXXVI*, que les forces sont « en raison renversée du carré des distances de leurs centres » :

$$F = \frac{k'}{d^2}$$

On retrouve l'expression de la valeur de la force de gravitation universelle :

$$F_{\text{Terre/Lune}} = F_{\text{Lune/Terre}} = G \cdot \frac{m_T \cdot m_L}{d^2}$$

- a. La valeur de la force $F_{\text{Terre/Lune}}$ est :

$$F_{\text{Terre/Lune}} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 7,35 \times 10^{22}}{(3,84 \times 10^5 \times 10^3)^2}$$

$$F_{\text{Terre/Lune}} = 1,98 \times 10^{20} \text{ N}$$

D'après l'échelle ($1,0 \text{ cm} \leftrightarrow 1,0 \times 10^{20} \text{ N}$) fournie dans le **document 3**, on représentera la force par un vecteur de longueur $\ell = 2,0 \text{ cm}$ (2 chiffres significatifs).

$$\bullet \quad F_{\text{Terre/Lune}} = F_{\text{Lune/Terre}} = 1,98 \times 10^{20} \text{ N}$$

D'après le **document 2**, la Terre attire la Lune vers elle et réciproquement, donc :

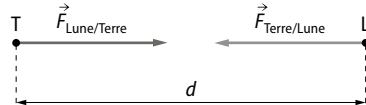
- les caractéristiques du vecteur $\vec{F}_{\text{Terre/Lune}}$ qui s'applique à la Lune, donc en L, sont :

- le point d'application : L
- la direction : la droite TL
- le sens : de L vers T
- la valeur : $1,98 \times 10^{20} \text{ N}$ donc environ $\ell = 2,0 \text{ cm}$

- les caractéristiques du vecteur $\vec{F}_{\text{Lune/Terre}}$ qui s'applique à la Terre, donc en T, sont :

- le point d'application : T
- la direction : la droite TL
- le sens : de T vers L
- la valeur : $1,98 \times 10^{20} \text{ N}$ donc environ $\ell' = 2,0 \text{ cm}$

Représentation des forces à l'échelle :



► Démarche élémentaire

- a. D'après le **document 1** et l'extrait de texte dans *Proposition VI*, la force de gravitation est proportionnelle aux masses des systèmes.

- b. D'après le **document 1** et l'extrait de texte dans *Proposition LXXVI*, la force de gravitation est inversément proportionnelle au carré de la distance entre les systèmes.

- c. L'expression conforme est la numéro 3 :

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

- a. La Terre attire la Lune dans la direction Terre/Lune et de la Lune vers la Terre.

- b. La Lune attire la Terre dans la direction Terre/Lune et de la Terre vers la Lune.

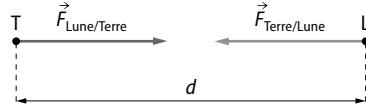
- a. La valeur de la force $F_{\text{Terre/Lune}}$ est :

$$F_{\text{Terre/Lune}} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 7,35 \times 10^{22}}{(3,84 \times 10^5 \times 10^3)^2}$$

$$F_{\text{Terre/Lune}} = 1,98 \times 10^{20} \text{ N}$$

- b. D'après l'échelle ($1,0 \text{ cm} \leftrightarrow 1,0 \times 10^{20} \text{ N}$) fournie dans le **document 3**, la longueur ℓ du vecteur $\vec{F}_{\text{Terre/Lune}}$ correspondant est $2,0 \text{ cm}$ (2 chiffres significatifs).

c. Représentation des forces à l'échelle :



Poids et masse, une vraie différence ! Tâche complexe

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Si l'activité 2 a été réalisée, l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle a été établie. Si elle n'a pas été faite, cette expression est donnée au document 1 et devra au préalable être expliquée aux élèves.

Le document 2 donne le graphique $P = f(m)$, ce qui permet de rappeler la notion de proportionnalité et l'expression du poids $P = m \cdot g$, acquis du cycle 4. Le but de cette activité est d'établir :

- que l'expression du poids d'un système correspond à la force d'interaction gravitationnelle à la surface d'un astre ;
- la relation permettant de calculer l'intensité de pesanteur g , et donc de montrer que sa valeur diffère suivant l'astre ;
- enfin, l'expression vectorielle du poids, capacité exigible de ce programme.

► Le problème à résoudre

- Le poids d'un objet (système S) sur un astre A est la force qui modélise l'attraction d'un astre A exercée à sa surface sur cet objet de masse m .

D'après la relation vectorielle rappelée au document 1, on peut écrire :

$$\vec{F}_{\text{astre/système}} = G \cdot \frac{m_A \cdot m}{R^2} \cdot \vec{u}_{SA}$$

- Le document 2 permet de rappeler que le poids d'un objet sur Terre est proportionnel à la masse, donc que l'expression de la valeur du poids d'un objet est : $P = m \cdot g$.

Mais comme le poids modélise l'action de la Terre sur l'objet, la force \vec{P} est dirigée suivant le rayon de la Terre et de l'objet vers la Terre.

En généralisant à la surface de n'importe quel astre, le poids est dirigé suivant le rayon de l'astre et de l'objet vers le centre de l'astre :

$$\vec{P} = m \cdot g \cdot \vec{u}_{SA}$$

- En égalisant les deux expressions qui correspondent aux mêmes actions mécaniques, on a :

$$\vec{F}_{\text{astre/système}} = G \cdot \frac{m_A \cdot m}{R^2} \cdot \vec{u}_{SA} = m \cdot g \cdot \vec{u}_{SA} = \vec{P}$$

En identifiant les termes, on peut écrire :

$$G \cdot \frac{m_A \cdot m}{R^2} \cdot \vec{u}_{SA} = m \cdot g \cdot \vec{u}_{SA}$$

$$m \cdot \frac{G \cdot m_A}{R^2} \cdot \vec{u}_{SA} = m \cdot g \cdot \vec{u}_{SA}$$

$$\vec{g} = \left(\frac{G \cdot m_A}{R^2} \right) \cdot \vec{u}_{SA}$$

Ainsi la valeur de l'intensité de pesanteur g à la surface d'un astre A dépend de la masse de cet astre m_A et de son rayon R , et est indépendante de la masse de l'objet :

$$g = \frac{G \cdot m_A}{R^2}$$

On peut calculer la valeur de l'intensité de pesanteur à la surface des différents astres proposés dans le tableau du document 3 ($G = 6,67 \times 10^{-11}$) : voir tableau, en bas de page.

L'intensité de pesanteur g est bien différente à la surface de ces astres, le poids en est donc tout autant différent pour un objet de masse m puisque le poids est proportionnel au produit de la masse m par cette constante g .

La troisième loi de Newton TP Démarche d'investigation

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

On désire simuler l'expérience de Karen L. Nyberg sur Terre, le système ne pouvant être isolé (sans action mécanique) à la surface de la Terre.

Nous allons essayer de limiter les frottements afin que le poids et la réaction du support se compensent (système pseudo-isolé).

■ Vidéo

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

Astre attracteur	Mercure	Vénus	Terre	Lune	Mars	Jupiter
Masse m_A (en kg)	$3,30 \times 10^{23}$	$4,87 \times 10^{24}$	$5,97 \times 10^{24}$	$7,35 \times 10^{22}$	$6,42 \times 10^{23}$	$1,90 \times 10^{27}$
Rayon de l'astre R (en km)	2 440	6 052	6 371	1 737	3 390	$6,991 \times 10^4$
Intensité de la pesanteur g à la surface de l'astre (en N · kg⁻¹)	3,70	8,87	9,81	1,62	3,73	25,9

► Expérience du cheveu

0 : 15 ■ p. 157

Karen L. Nyberg appuie avec un cheveu, tendu entre ses deux mains, sur une barre verticale de l'ISS. Cette action a pour effet de la propulser en sens inverse.

■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Principe d'action/réaction

■ p. 157

Cette animation explique le principe de la propulsion avec une fusée et un ballon de baudruche.

➤ Pistes de résolution

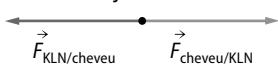
1 Afin de pouvoir négliger les frottements, sur un sol parfaitement lisse, on munit un élève d'une chaise à roulettes (ou d'un skateboard ou de rollers).

L'élève doit exercer une action mécanique sur un mur ou le bord d'une table.

2 **a.** Karen L. Nyberg (KLN) exerce une action sur un cheveu.

b. C'est l'action du cheveu sur elle qui l'a propulsée.

■ Représentation des forces :



➤ Conclusion

4 On peut ainsi conclure que la direction de ces forces est identique mais de sens opposé.

Lors de l'expérience, plus l'élève poussera fort, plus il ira loin. La valeur de ces forces est donc égale :

$$\vec{F}_{KLN/cheveu} = -\vec{F}_{cheveu/KLN}$$

EXERCICES

■ Vérifier l'essentiel

■ p. 162

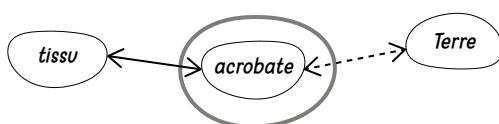
- | | | |
|----------------------|-------------------|-------------------|
| 1 A et B. | 2 A. | 3 C. |
| 4 B. | 5 B. | 6 B et C. |
| 7 A, B et C. | 8 C. | 9 B. |
| 10 A, B et C. | 11 A et C. | 12 A et C. |

■ Acquérir les notions

► De l'action mécanique à la force

■ p. 163

■ 1. Diagramme objets-interactions :



2. Il y a l'action à distance de la Terre sur l'acrobate et l'action de contact du tissu sur l'acrobate.

3. Les forces modélisant ces actions sont $\vec{F}_{Terre/acrobate} = \vec{P}_{acrobate}$ et $\vec{F}_{tissu/acrobate}$.

■ 14 Action mécanique A

1. Le système d'étude est le javelot et le système qui agit est la main du lanceur.

2. La force qui modélise cette action a pour direction celle du javelot et pour sens celui du lancer. La valeur de cette force est inconnue.

Action mécanique B

1. Le système d'étude est le javelot et le système qui agit est la Terre.

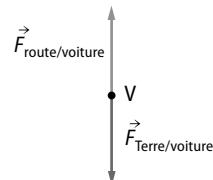
2. La force qui modélise cette action a pour direction la verticale et pour sens vers le bas.

La valeur de cette force est celle du poids du javelot : $P = m \cdot g$.

15 **1.** La voiture subit l'action à distance de la Terre et l'action de contact de la route.

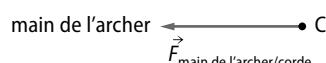
2. La voiture étant immobile, les forces se compensent (voir chapitre 8).

Représentation des forces modélisant les actions mécaniques :



16 La force modélisant l'action exercée par la main sur la corde doit être représentée au point C par un vecteur $\vec{F}_{main\ de\ l'archer/corde}$ dont les caractéristiques sont :

- la direction : l'horizontale ;
- le sens : de la corde vers la main de l'archer ;
- la valeur : 225 N ;
- la longueur $\ell = \frac{225 \times 1,0}{100} = 2,3$ cm (2 chiffres significatifs).



17 Voir page suivante.

18 **1.** L'action du pied sur un ballon est une action de contact.

2. L'action de la Terre sur un ballon est une action à distance.

3. L'action de la Terre sur la Lune est une action à distance.

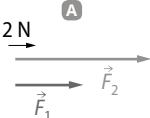
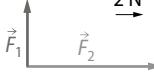
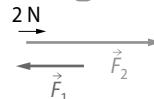
4. L'action du vent sur une planche à voile est une action de contact.

17 On lit l'échelle : 0,4 cm représente 2 N.

Les vecteurs rouges mesurent 0,9 cm, donc $F_1 = 0,9 \times \frac{2}{0,4} = 4,5 \text{ N}$; $F_1 \approx 5 \text{ N}$.

Les vecteurs verts mesurent 1,8 cm, donc $F_2 = 1,8 \times \frac{2}{0,4} = 9 \text{ N}$.

Tableau des caractéristiques des forces :

Cas A	Cas B	Cas C
 <ul style="list-style-type: none"> Les caractéristiques de la force \vec{F}_1 sont : <ul style="list-style-type: none"> - la direction : l'horizontale ; - le sens : de la gauche vers la droite ; - la valeur : $\approx 5 \text{ N}$. Les caractéristiques de la force \vec{F}_2 sont : <ul style="list-style-type: none"> - la direction : l'horizontale ; - le sens : de la gauche vers la droite ; - la valeur : 9 N. 	 <ul style="list-style-type: none"> Les caractéristiques de la force \vec{F}_1 sont : <ul style="list-style-type: none"> - la direction : la verticale ; - le sens : de bas en haut ; - la valeur : $\approx 5 \text{ N}$. Les caractéristiques de la force \vec{F}_2 sont : <ul style="list-style-type: none"> - la direction : l'horizontale ; - le sens : de la gauche vers la droite ; - la valeur : 9 N. 	 <ul style="list-style-type: none"> Les caractéristiques de la force \vec{F}_1 sont : <ul style="list-style-type: none"> - la direction : l'horizontale ; - le sens : de la droite vers la gauche ; - la valeur : $\approx 5 \text{ N}$. Les caractéristiques de la force \vec{F}_2 sont : <ul style="list-style-type: none"> - la direction : l'horizontale ; - le sens : de la gauche vers la droite ; - la valeur : 9 N.

19 1. L'action du supraconducteur sur l'aimant est une action à distance.

2. Les caractéristiques de la force qui modélise cette action sont :

- la direction : la verticale ;
- le sens : de bas en haut ;
- la valeur : égale au poids de l'aimant.

Exemples de forces

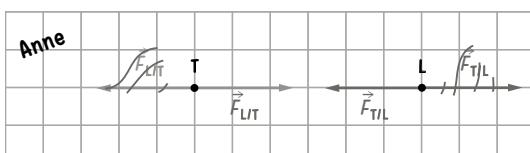
p. 164

20 • Copie d'Anne :

La terre et la Lune se repoussent sinon elles se percuteraient : FAUX.

Commentaires et correction : les forces modélisent l'action de la Terre sur la Lune et celle de la Lune sur la Terre, elles sont des actions d'attraction, la Terre et la Lune s'attirent mutuellement et non pas se repoussent.

Les forces sont donc représentées dans la bonne direction mais dans des sens inverses.

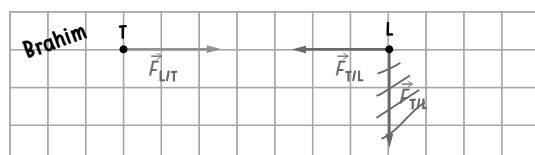


• Copie de Brahim :

La Lune subit une interaction qui la fait tourner autour de la Terre, donc dans le sens de rotation : FAUX.

Commentaires et correction : la Terre attire la Lune mais celle-ci est en rotation autour de la Terre, car elle a une vitesse suffisante pour ne pas « tomber » sur la Terre.

La direction de la force de la Terre sur la Lune n'est pas bonne, elle doit être sur la droite (TL).



• Copie de Sophia :

La Terre et la Lune s'attirent mutuellement avec la même intensité mais en sens opposés : VRAI.

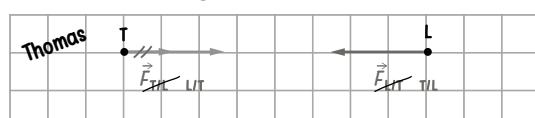
Commentaire : la représentation de Sophia est correcte.

• Copie de Thomas :

La Terre attire plus la Lune que l'inverse parce qu'elle est plus lourde : FAUX.

Commentaires et correction : la Terre et la Lune s'attirent mutuellement avec la même intensité.

La force de la Terre sur la Lune n'est pas représentée avec la bonne valeur, les deux vecteurs doivent avoir la même longueur.



21 1. L'interaction modélisée par la force représentée sur le schéma est l'action de Jupiter sur son satellite Io.

2. L'expression vectorielle de cette force d'interaction $\vec{F}_{J/I}$ est :

$$\vec{F}_{J/I} = G \cdot \frac{M_J \cdot M_I}{d^2} \cdot \vec{u}_{IJ}$$

22 1. L'expression vectorielle de la force d'interaction $\vec{F}_{I/J}$ est :

$$\vec{F}_{I/J} = -G \cdot \frac{M_I \cdot M_J}{d^2} \cdot \vec{u}_{IJ} \text{ ou } \vec{F}_{I/J} = G \cdot \frac{M_I \cdot M_J}{d^2} \cdot \vec{u}_{JI}$$

2. En convertissant la distance d en mètre, on a :

$$d = 4,22 \times 10^5 \times 10^3 = 4,22 \times 10^8 \text{ m}$$

La valeur de cette force est :

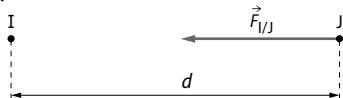
$$F_{I/J} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{8,93 \times 10^{22} \times 1,90 \times 10^{27}}{(4,22 \times 10^8)^2}$$

$$F_{I/J} = 6,35 \times 10^{22} \text{ N}$$

3. Les données indiquent une échelle de 1,0 cm pour une valeur de force de $3,00 \times 10^{22}$ N. Ainsi, la longueur ℓ du vecteur est :

$$\ell = \frac{6,35 \times 10^{22} \times 1,0}{3,00 \times 10^{22}} \text{ soit } \ell = 2,1 \text{ cm.}$$

Schéma :



23 1. D'après le tableau, l'intensité de pesanteur semble dépendre de la masse de la planète et, d'après l'énoncé (texte), de l'altitude à laquelle on se trouve.

2. D'après les expressions de ces forces :

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

$$\vec{F}_{\text{astre/système}} = m \cdot \left(\frac{G \cdot m_A}{(R+h)^2} \right) \cdot \vec{u}_{SA}$$

on en déduit :

$$\vec{g} = \frac{G \cdot m_A}{(R+h)^2} \cdot \vec{u}_{SA}$$

L'intensité de pesanteur dépend bien de la masse de l'astre m_A et de l'altitude h (ainsi que du rayon de l'astre R).

24 1. La masse m du livre de physique-chimie Seconde est : $m = 767 \text{ g} = 767 \times 10^{-3} \text{ kg}$.

2. L'expression vectorielle du poids est : $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$.

3. L'intensité du poids du livre sur Terre est :

$$P = 767 \times 10^{-3} \times 9,81 = 7,52 \text{ N}$$

4. En utilisant l'échelle 1,0 cm pour 1,0 N, le vecteur représentant le poids est d'environ 7,5 cm (2 chiffres significatifs).

Représentation du poids :



25 1. Pour déterminer la valeur du poids, on a utilisé un dynamomètre.

2. La longueur du vecteur représentant le poids est de 3,5 cm et l'échelle indique que 1,0 cm représente 5,0 N, donc :

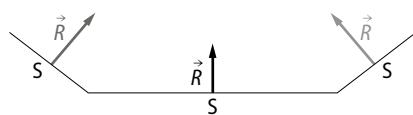
$$P = 3,5 \times 5,0 = 17,5 \text{ N}$$

$$P = 18 \text{ N} \text{ (2 chiffres significatifs)}$$

3. Comme $P = m \cdot g$ alors $m = \frac{P}{g}$.

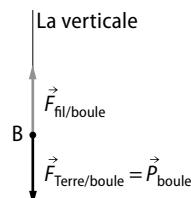
$$m = \frac{18}{9,81} = 1,8 \text{ kg}$$

26 1. et 2.

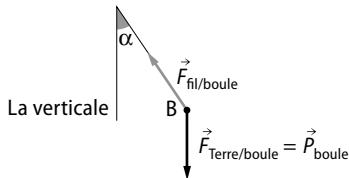


27 Les actions mécaniques qui s'exercent sur la boule B sont la force exercée par le fil sur la boule et la force exercée par la Terre sur la boule.

1. La boule B au repos :



2. La boule B écartée de la verticale d'un angle α :

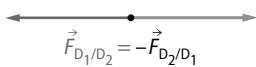


> Principe des actions réciproques ■ p. 165

28 1. D'après la troisième loi de Newton, les dynamomètres D_1 et D_2 exercent l'un sur l'autre des actions :

- de même direction ;
- de sens opposés ;
- de même valeur.

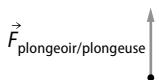
2. Représentation des forces :



29 1. La plongeuse exerce une action de poussée verticale vers le bas sur le plongeoir.

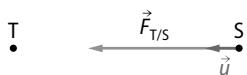


2. D'après la troisième loi de Newton, la plongeuse exerce donc une action de propulsion verticale vers le haut.



Exercices similaires aux exercices résolus ■ p. 166 et 167

31 1. La force modélisant l'interaction exercée par la Terre T sur un satellite S est $\vec{F}_{T/S}$. (\hat{u} est le vecteur unitaire.)



2. L'expression de la valeur de la force modélisant l'interaction exercée par la Terre T sur le satellite S est :

$$F_{T/S} = G \cdot \frac{M_T \cdot m_S}{d^2}$$

En convertissant la distance d en mètre, on a :

$$d = (6\ 371 + 2,00 \times 10^4) \text{ km}$$

$$d = (6\ 371 \times 10^3 + 2,00 \times 10^4 \times 10^3) \text{ m}$$

$$d = (6\ 371 \times 10^3 + 2,00 \times 10^7) \text{ m}$$

$$F_{T/S} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 700}{(6\ 371 \times 10^3 + 2,00 \times 10^7)^2}$$

$$F_{T/S} = 401 \text{ N} \quad (3 \text{ chiffres significatifs})$$

33 1. Les forces qui modélisent les actions subies par le LEM en équilibre à la surface de la Lune sont :

- la force $\vec{F}_{\text{Lune/LEM}}$ qui modélise l'attraction de la Lune sur le LEM, c'est-à-dire le poids du LEM \vec{P}_{LEM} sur la Lune, on a $\vec{F}_{\text{Lune/LEM}} = \vec{P}_{\text{LEM}}$ lunaire ;

- l'action du sol lunaire sur le LEM $\vec{F}_{\text{sol/LEM}}$.

2. L'expression de la force modélisant l'action exercée par la Lune L sur le LEM est :

$$\vec{F}_{L/LEM} = G \cdot \frac{M_L \cdot m_{LEM}}{d^2} \cdot \vec{u}_{LEM/L}$$

$$\text{soit } \vec{F}_{L/LEM} = m_{LEM} \cdot \frac{M_L \cdot G}{d^2} \cdot \vec{u}_{LEM/L}$$

$$\vec{P}_{LEM} = m_{LEM} \cdot \vec{g}_L ; \text{ comme } \vec{F}_{L/LEM} = \vec{P}_{LEM} \text{ alors :}$$

$$\vec{P}_{LEM} = m_{LEM} \cdot \frac{M_L \cdot G}{d^2} \cdot \vec{u}_{LEM/L} \text{ d'où :}$$

$$P_{LEM} = m_{LEM} \cdot \frac{M_L \cdot G}{d^2}$$

AN :

On convertit :

- la distance d en mètre :

$$d = 1\ 737 \text{ km} = 1\ 737 \times 10^3 \text{ m} ;$$

- la masse m_{LEM} en kilogramme :

$$m_{LEM} = 15 \text{ t} = 15 \times 10^3 \text{ kg} .$$

$$P_{LEM} = 15 \times 10^3 \times \frac{7,35 \times 10^{22} \times 6,67 \times 10^{-11}}{(1\ 737 \times 10^3)^2}$$

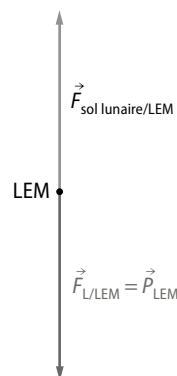
$$P_{LEM} = 24 \times 10^3 \text{ N}$$

$$P_{LEM} = 24 \text{ kN} \quad (2 \text{ chiffres significatifs})$$

Les données indiquent une échelle de 1,0 cm pour une valeur de force de 10 kN. Ainsi, la longueur ℓ du vecteur poids est :

$$\ell = \frac{24}{10} \text{ soit } \ell = 2,4 \text{ cm} \quad (2 \text{ chiffres significatifs}).$$

Schéma :



Croiser les notions ■ p. 168

34 Deux billes sphériques, A et B, exercent une interaction gravitationnelle l'une sur l'autre. Leurs centres sont séparés d'une distance de 20 mètres.

La sphère A a une masse de 40 kg et la sphère B une masse de 80 kg.

Ci-dessous trois propositions sur la force que chaque sphère exerce sur l'autre. Laquelle est correcte ?

- La valeur de la force qui modélise l'action exercée sur B est le double de la valeur de la force qui modélise l'action exercée sur A.
- La valeur de la force qui modélise l'action exercée sur B est la même que la valeur de la force qui modélise l'action exercée sur A.
- La valeur de la force qui modélise l'action exercée sur B est la moitié de la valeur de la force qui modélise l'action exercée sur A.

Corrigé :

La bonne proposition est la **b.** puisque en valeur $F_{A/B} = F_{B/A}$.

35 1. L'expression vectorielle modélisant l'interaction $\vec{F}_{C/J}$ est :

$$\vec{F}_{C/J} = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2} \cdot \vec{u}_{JC}$$

(C pour corps céleste et J pour Julie.)

2. Julie n'a pas pris en compte la distance la séparant du centre du corps céleste qui l'attire.

3. a. La valeur de la force modélisant l'interaction exercée par la Terre T sur Julie est :

$$F_{T/J} = G \cdot \frac{M_T \cdot m}{R_T^2}$$

$$F_{T/J} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 55}{(6\,371 \times 10^3)^2} = 540 \text{ N}$$

La valeur de la force modélisant l'interaction exercée par le Soleil S sur Julie est :

$$F_{S/J} = G \cdot \frac{M_S \cdot m}{d_{TS}^2}$$

$$F_{S/J} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{334\,000 \times 5,97 \times 10^{24} \times 55}{(1,50 \times 10^8 \times 10^3)^2}$$

$$F_{S/J} = 0,325 \text{ N}$$

$$\mathbf{b.} \frac{F_{T/J}}{F_{S/J}} = \frac{540}{0,325} = 1,66 \times 10^3$$

L'action d'attraction du Soleil sur Julie est négligeable par rapport à celle de la Terre sur Julie.

36 1. L'expression vectorielle de la force $\vec{F}_{\text{Soleil/Terre}}$ est :

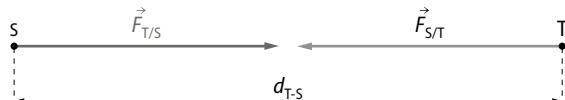
$$\vec{F}_{S/T} = G \cdot \frac{M_S \cdot M_T}{d_{ST}^2} \cdot \vec{u}_{TS}$$

$$\mathbf{2. a.} F_{S/T} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,99 \times 10^{30} \times 5,97 \times 10^{24}}{(1,50 \times 10^8 \times 10^3)^2}$$

$$F_{S/T} = 3,52 \times 10^{22} \text{ N}$$

$$\mathbf{b.} F_{T/S} = F_{S/T} = 3,52 \times 10^{22} \text{ N}$$

c. En utilisant une échelle de 1,0 cm pour 1,0 $\times 10^{22}$ N, les vecteurs forces auront des longueurs de 3,5 cm.



3. a. Soit m la masse de l'objet.

$$\text{Si } P = F_{\text{Terre/Soleil}} = m \cdot g \text{ alors } m = \frac{P}{g} = \frac{F_{\text{Terre/Soleil}}}{g},$$

$$\text{d'où } m = \frac{3,52 \times 10^{22}}{9,81} = 3,59 \times 10^{21} \text{ kg}$$

b. La masse de l'objet serait plus faible que la masse du Soleil $\left(\frac{M_S}{m} = \frac{1,99 \times 10^{30}}{3,59 \times 10^{21}} = 554 \times 10^6\right)$ puisque la distance qui le sépare du centre du Soleil serait elle aussi plus faible.

37 1. a. La distance d entre le guide et le centre de la Terre est : $d = h + R_T$.

b. La Terre est représentée par le point T et le guide par le point G.

L'expression vectorielle de la force $\vec{F}_{\text{Terre/guide}}$ est :

$$\vec{F}_{T/G} = G \cdot \frac{M_T \cdot m_G}{d^2} \cdot \vec{u}_{GT}$$

2. $R_T = 6\,371 \text{ km} = 6\,371 \times 10^3 \text{ m}$ et $d = h + R_T$, donc $d = (4\,810 + 6\,371 \times 10^3) \text{ m}$.

$$\text{La valeur de la force est : } F_{T/G} = G \cdot \frac{M_T \cdot m_G}{d^2}.$$

AN :

$$F_{T/G} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 75,0}{(4\,810 + 6\,371 \times 10^3)^2}$$

$$F_{T/G} = 735 \text{ N}$$

$$\mathbf{3.} P = m \cdot g$$

$$\mathbf{AN :} P = 75,0 \times 9,81 = 736 \text{ N}$$

4. La différence (minime) de 1 N provient de l'altitude à laquelle se trouve l'alpiniste qui fait que la valeur de l'intensité de pesanteur g à cette altitude n'est pas égale à la valeur de l'intensité de pesanteur à Paris.

38 > Démarche avancée

Assimiler la force de gravitation universelle au poids d'un objet O à proximité de la surface de la Terre T revient à écrire :

$$\vec{F}_{T/O} = \vec{P}$$

$$\vec{F}_{T/O} = G \cdot \frac{M_T \cdot m_O}{d^2} \cdot \vec{u}_{OT} = m_O \cdot \frac{M_T \cdot G}{d^2} \cdot \vec{u}_{OT}$$

d étant égale au rayon de la Terre R_T , alors on a :

$$\vec{F}_{T/O} = m_O \cdot \frac{M_T \cdot G}{R_T^2} \cdot \vec{u}_{OT}$$

$$\vec{F}_{T/O} = \vec{P} = m_O \cdot \vec{g} = m_O \cdot \frac{M_T \cdot G}{R_T^2} \cdot \vec{u}_{OT}$$

$$\vec{g} = \frac{M_T \cdot G}{R_T^2} \cdot \vec{u}_{OT}$$

Or on peut lire des valeurs différentes de l'intensité de pesanteur g au pôle Nord, à l'Équateur et à Paris. En considérant que l'altitude est de 0 pour ces trois lieux, la seule grandeur qui peut varier dans l'expression est le rayon de la Terre R_T qui n'est pas constant. La Terre n'est donc pas parfaitement sphérique.

Démarche élémentaire

1. a. L'expression vectorielle de la force de gravitation exercée par la terre T sur un objet O à proximité de masse m_O est :

$$\vec{F}_{T/O} = G \cdot \frac{M_T \cdot m_O}{R_T^2} \cdot \vec{u}_{OT}$$

b. Comme $\vec{F}_{T/O} = \vec{P} = m_O \cdot \vec{g} = m_O \cdot \frac{M_T \cdot G}{R_T^2} \cdot \vec{u}_{OT}$

alors l'expression vectorielle du champ de pesanteur \vec{g} est :

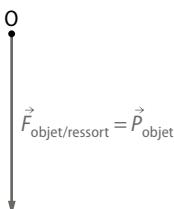
$$\vec{g} = \frac{M_T \cdot G}{R_T^2} \cdot \vec{u}_{OT}$$

2. a. La seule grandeur qui peut varier dans l'expression de g est le rayon de la Terre R_T .

b. Si R_T n'est pas constant, alors la Terre n'est pas parfaitement sphérique.

39 1. a. L'action de l'objet sur le ressort correspond à l'attraction de la Terre sur l'objet qui est modélisée par le poids de l'objet.

b. L'échelle choisie étant de 1,0 cm pour 2,0 N, le vecteur représentant cette force sera de 2,4 cm ($= \frac{4,8}{2}$).



2. D'après l'énoncé, l'allongement du ressort est proportionnel à la valeur de la force :

8,0 cm correspondent à une force de 4,8 N donc 6,5 cm correspondent à une force P :

$$P = 6,5 \times \frac{4,8}{8,0} = 3,9 \text{ N}$$

m est la masse de l'objet.

$$\text{Comme } m = \frac{P}{g} \text{ alors } m = \frac{3,9}{9,81} = 0,40 \text{ kg.}$$

40 1. Protocole expérimental :

- Positionner le dynamomètre sur un support adapté.
- Étalonner le dynamomètre.
- Suspendre l'objet et lire la valeur du poids mesurée.
- Calculer la masse m de l'objet à l'aide de la relation $P = m \cdot g$ soit $m = \frac{P}{g}$.

2. a. Sur le dynamomètre à ressort **A**, on lit que P est compris entre 0,5 et 1 N, et de façon très imprécise 0,75 N.

Sur le dynamomètre circulaire **B**, on lit 7,7 mais le calibre est de $\times 0,1$ N, donc $P = 0,77$ N.

b. Le dynamomètre circulaire bicalibre semble plus adapté à la mesure.

3. a. $N = 17$.

Avec la calculatrice, on obtient :

- une valeur moyenne du poids $\bar{P} = 0,77$ N ;

- un écart-type $s_x = 0,013$;

- une incertitude-type $u_x = \frac{s_x}{\sqrt{N}}$.

$$u_x = \frac{0,013}{\sqrt{17}} = 0,0032 \text{ N} = 0,01 \text{ N} \quad (\text{l'incertitude-type est arrondie par excès, à la même décimale que la valeur mesurée}).$$

$$\mathbf{b.} 0,75 \text{ N} + 0,01 \text{ N} = 0,76 \text{ N}$$

$$0,77 \text{ N} + 0,01 \text{ N} = 0,78 \text{ N}$$

P est donc compris entre 0,76 et 0,78 N.

Comme $m = \frac{P}{g}$ alors m est compris entre $\frac{0,76}{9,81} = 0,077 \text{ kg}$ et $\frac{0,78}{9,81} = 0,080 \text{ kg}$.

Donc $m = [77 ; 80] \text{ g.}$

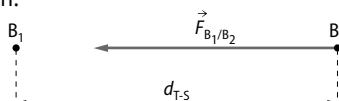
41 1. L'expression vectorielle de la force \vec{F}_{B_1/B_2} est :

$$\vec{F}_{B_1/B_2} = G \cdot \frac{m \cdot m}{d^2} \cdot \vec{u}_{B_2 B_1} = G \cdot \frac{m^2}{d^2} \cdot \vec{u}_{B_2 B_1}$$

$$\mathbf{2.} \vec{F}_{B_1/B_2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{(209 \times 10^{-3})^2}{(61,5 \times 10^{-3})^2}$$

$$\vec{F}_{B_1/B_2} = 7,70 \times 10^{-10} \text{ N}$$

En choisissant une échelle de 1,0 cm pour $1,0 \times 10^{-10} \text{ N}$, le vecteur force aura une longueur de 7,7 cm.



$$\mathbf{3. a.} P = m \cdot g = 209 \times 10^{-3} \times 9,81 = 2,05 \text{ N}$$

$$\mathbf{b.} \frac{P}{F} = \frac{2,05}{7,70 \times 10^{-10}} = 2,66 \times 10^9$$

La valeur du poids est très grande par rapport à celle de l'attraction de B_1 sur B_2 que l'on peut donc négliger.

42 1. L'expression vectorielle du champ de pesanteur à la surface de la Terre est :

$$\vec{g} = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} \cdot \vec{u}_{OT}$$

2. L'expression de la masse de la Terre est :

$$M_T = \frac{g \cdot R_T^2}{G}$$

3. La masse de la Terre qu'en a déduit Cavendish est :

$$M_T = \frac{9,81 \times (6\ 371 \times 10^3)^2}{6,754 \times 10^{-11}}$$

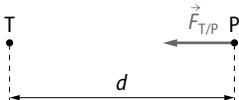
$$M_T = 5,90 \times 10^{24} \text{ kg}$$

43 1. Jules Verne fait référence à la loi de gravitation universelle énoncée par Newton.

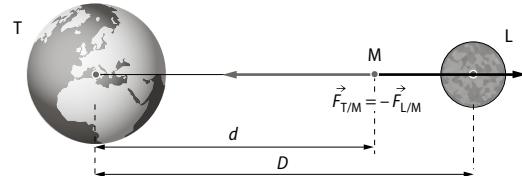
2. a. L'expression vectorielle de la force modélisant l'interaction gravitationnelle exercée par la terre T sur le projectile P de masse m est :

$$\vec{F}_{T/P} = G \cdot \frac{M_T \cdot m}{d^2} \cdot \vec{u}_{PT}$$

b. Représentation de la force $\vec{F}_{T/P}$:



3. Au point M, le projectile est soumis à l'attraction de la Terre dirigée suivant la droite (TM), de M vers T, et à l'attraction de la Lune dirigée suivant la droite (ML), de M vers L. Ces deux actions sont modélisées par des forces ayant la même direction, la même valeur mais sont de sens opposés, elles se compensent (s'annulent).



4. La dernière phrase du texte de Jules Verne :

« Mais en tenant compte de la différence des masses, il était facile de calculer que ce point serait situé aux quarante-sept cinquante deuxième du voyage, soit en chiffres, à soixante-dix-huit mille cent quatorze lieues de la Terre. »

En valeur, on peut écrire :

$$G \cdot \frac{M_T \cdot m}{d^2} = G \cdot \frac{M_L \cdot m}{(D-d)^2} \text{ soit } \frac{M_T}{d^2} = \frac{M_L}{(D-d)^2} \text{ d'où :}$$

$$\frac{(D-d)^2}{d^2} = \frac{M_L}{M_T} \text{ soit } \frac{D-d}{d} = \sqrt{\frac{M_L}{M_T}}.$$

Ainsi $D - d = d \cdot \sqrt{\frac{M_L}{M_T}}$ donc :

$$D = d + d \cdot \sqrt{\frac{M_L}{M_T}} = d \left(1 + \sqrt{\frac{M_L}{M_T}} \right)$$

$$d = \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{M_L}{M_T}}}$$

AN :

$$d = \frac{3,84 \times 10^8}{1 + \sqrt{\frac{7,35 \times 10^{22}}{5,97 \times 10^{24}}}}$$

$$d = 3,46 \times 10^8 \text{ m} = 3,46 \times 10^5 \text{ km}$$

1 lieue = 4,83 km donc :

$$d = \frac{3,46 \times 10^5}{4,83} = 7,16 \times 10^4 \text{ lieues}$$

Or, dans l'extrait de son texte, Jules Verne donne la valeur de 78 114 lieues.

Les deux valeurs de distance sont proches, Jules Verne n'ayant pas à l'époque les mêmes valeurs des masses de la Terre et de la Lune, ni de la distance Terre-Lune.

44 EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

La pomme qui tombe de l'arbre nous montre l'effet de l'**attraction terrestre** sur la pomme, mais quand elle touche la Terre, la **réaction du sol** l'empêche de tomber encore et encore.

En ce qui concerne l'astronaute, c'est la même chose, c'est la **réaction du sol** sur son corps qui lui permet de ressentir la sensation de **poids** (pesanteur). En revanche, s'il n'y a rien pour l'arrêter, il est en **chute libre** et durant la chute, il y a absence de sensation de poids : il est donc en **impesanteur**. Dans ce cas, il subit une accélération égale à l'**intensité de pesanteur**. Celle-ci diminue quand on s'éloigne de la surface de la Terre, mais l'astronaute subit bel et bien l'attraction de la Terre dans l'ISS (l'intensité de pesanteur g_T a diminué de 10 % à l'altitude de l'ISS), mais étant en orbite, il tombe perpétuellement autour de la Terre.

Autre exemple Wikipédia :

L'**impesanteur** n'est pas provoqué par l'éloignement de la Terre ou de tout autre corps céleste attractif : l'accélération due à l'**intensité de la pesanteur** à une hauteur de 100 km par exemple n'est inférieure que de 3 % par rapport à la surface de la Terre.

L'**impesanteur** est ressenti lorsque l'accélération subie égale l'**intensité de la pesanteur**, ce qui recouvre aussi le cas où le champ de gravité serait quasiment nul (loin de toute matière).

D'ordinaire, ce qui est ressenti comme le **poids** n'est pas l'**attraction exercée par la Terre** (ou tout autre astre) sur nous-mêmes, mais la **réaction du sol** (ou de toute autre surface sur laquelle nous sommes posés) à cette force (le poids). Ainsi, l'impesanteur est ressentie par exemple lorsque nous sommes en **chute libre**, ou sur une orbite libre autour de la Terre (cas des astronautes). Cela est dû au fait que les astronautes et leur habitat sont très près les uns des autres et tombent tous avec la même accélération (ici c'est un référentiel d'inertie).

45 Le flyboard® éjecte de l'eau sous pression, il y a donc une action mécanique du flyboard® sur l'eau, modélisée par la force $\vec{F}_{\text{flyboard/eau}}$ verticale et vers le bas.

La troisième loi de Newton impose alors :

$$\vec{F}_{\text{flyboard/eau}} = -\vec{F}_{\text{eau/flyboard}}$$

Il y a donc une force verticale vers le haut qui modélise l'action de l'eau sur le flyboard®.

Or le système étudié étant le flyboard®, on s'intéresse aux actions que subit ce dernier.

C'est cette action de l'eau sur le flyboard® qui le propulse donc vers le haut.

Lorsque la valeur de cette force $\vec{F}_{\text{eau/flyboard}}$ est égale à celle du poids \vec{P} du pilote, celui-ci est en équilibre et reste immobile.

Acquérir des compétences

p. 171

46 > Analyse

a. Plus le satellite est lancé avec une vitesse élevée, plus il « retombe » loin. Dans l'ordre croissant, on a donc : $v_1 < v_2 < v_3 < v_4$.

b. D'après le schéma du **document 1**, la vitesse de lancement v_3 permet d'avoir une trajectoire circulaire autour de la Terre.

c. Un satellite qui est lancé avec une vitesse trop faible risque de retomber et de s'écraser sur la Terre (s'il ne brûle pas en rentrant dans l'atmosphère).

2. a. D'après le tableau du **document 2**, pour échapper à la gravitation de la Terre depuis sa surface, il faut atteindre la vitesse de libération de $11,2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ soit $11,2 \times 3\,600 = 4,03 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

b. Cette vitesse est 4 fois plus grande que celle utilisée par le programme Apollo 11 ($1,0 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$).

c. Ces vitesses sont différentes car l'une correspond à la vitesse nécessaire pour échapper à l'attraction de la Terre depuis la surface et l'autre depuis un point A en orbite autour de la Terre.

> Synthèse

La vitesse de libération pour échapper à la gravitation à partir de la surface de la Terre étant trop

importante ($4,03 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), la stratégie de la mission Apollo 11 a consisté à procéder en deux étapes :

- le premier allumage a permis de placer la fusée en orbite autour de la Terre ;
- le second allumage de $10 \times 10^3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ correspond à la vitesse au point A (**doc. 1**) (vitesse supérieure à v_4), qui lui a permis d'échapper à l'attraction de la Terre pour avoir une trajectoire elliptique.

47 > Le problème à résoudre

L'ISS est modélisé par le point I.

$$\text{On sait que : } \vec{F}_{T/I} = G \cdot \frac{M_T \cdot m_I}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u}_{IT}$$

$$\text{et } \vec{g} = \frac{G \cdot M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u}_{IT}$$

Or on lit sur le graphique qu'à la surface de la Terre, soit à $h = 0 \text{ m}$, la valeur de l'intensité de pesanteur $g_0 = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

$$\text{Comme } g_0 = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} \text{ alors } R_T = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{g_0}}$$

$$R_T = \sqrt{\frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{9,81}}$$

$$R_T = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$$

$$g_I = \frac{G \cdot M_T}{(R_T + h)^2}$$

$$g_I = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{(6,37 \times 10^6 + 400 \times 10^3)^2}$$

$$g_I = 8,69 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Ainsi, $\frac{g_I}{g_0} = \frac{8,69}{9,81} = 0,886$ soit 89 %, donc à l'altitude

de l'ISS, l'intensité de pesanteur est bien de l'ordre de 90 % de sa valeur à la surface de la Terre.

48 > Démarche experte

Par analogie avec la force modélisant l'interaction gravitationnelle, la force modélisant l'interaction électrostatique a pour expression vectorielle :

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B} = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \cdot \vec{u}_{BA}$$

Donc, ici la force modélisant l'interaction entre deux protons de charge e et distants de d , la valeur de cette force a pour expression : $F = k \cdot \frac{e^2}{d^2}$.

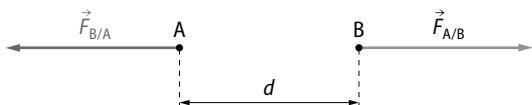
$$\text{D'où } F = 9,0 \times 10^9 \times \frac{(1,6 \times 10^{-19})^2}{(1,0 \times 10^{-15})^2}$$

$$F = 2,3 \times 10^2 \text{ N}$$

D'après l'échelle fournie, 1,0 cm représente $1,0 \times 10^2 \text{ N}$, donc les forces seront représentées par un vecteur de longueur 2,3 cm.

Les deux particules étant des protons, donc de charges de même signe, elles se repoussent par conséquent.

Représentation des forces :



> Démarche avancée

1. a. L'expression vectorielle de la force modélisant l'interaction électrostatique est :

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B} = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \cdot \hat{u}_{BA}$$

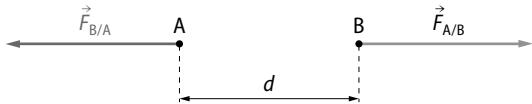
b. La force modélise l'interaction entre deux protons de charge e et distants de d , la valeur de cette force a pour expression : $F = k \cdot \frac{e^2}{d^2}$.

$$F = 9,0 \times 10^9 \times \frac{(1,6 \times 10^{-19})^2}{(1,0 \times 10^{-15})^2}$$

$$F = 2,3 \times 10^2 \text{ N}$$

2. D'après l'échelle fournie, 1,0 cm représente $1,0 \times 10^2 \text{ N}$, donc les forces seront représentées par un vecteur de longueur 2,3 cm.

Représentation des forces répulsives :



49 1. Protocole expérimental :

- Mesurer la masse de deux objets de masses différentes.
- Filmer le lâcher de ces objets depuis la fenêtre du laboratoire.
- Grâce à un logiciel de pointage, repérer la date précise où l'objet touche le sol.
- Comparer ces dates suivant la masse de l'objet.

2. a. On peut penser que le marteau, plus lourd que la plume, toucherait le sol en premier.

Or, d'après l'hypothèse de Galilée, les deux objets touchent le sol simultanément, c'est-à-dire au même moment.

b. D'après la vidéo, le marteau et la plume touchent le sol en même temps, donc l'hypothèse de Galilée est vérifiée.

c. La seule action mécanique qui s'exerce sur chaque objet est l'attraction de l'astre (Terre ou Lune) sur lequel il se trouve, qui est modélisée par le poids de l'objet.

d. La vitesse de chute d'un objet semble dépendre de l'intensité de pesanteur liée à l'astre.

Le principe d'inertie

LE PROGRAMME

• 3. Principe d'inertie

La mécanique est un domaine très riche du point de vue de l'observation et de l'expérience, mais aussi du point de vue conceptuel et méthodologique. Elle permet d'illustrer de façon pertinente la démarche de modélisation.

Deux caractéristiques inhérentes à l'apprentissage de la mécanique méritent d'être soulignées :

- d'une part l'omniprésence des situations de mouvement qui a permis d'ancrez chez les élèves des raisonnements spontanés, souvent opératoires mais erronés et donc à déconstruire ;
- d'autre part la nécessaire maîtrise de savoirs et savoir-faire d'ordre mathématique qui conditionne l'accès aux finalités et concepts propres à la mécanique.

Ce thème prépare la mise en place du principe fondamental de la dynamique ; il s'agit en effet de construire un lien précis entre force appliquée et variation de la vitesse. Si la rédaction du programme est volontairement centrée sur les notions et méthodes, les contextes d'étude ou d'application sont nombreux et variés : transports, aéronautique, exploration spatiale, biophysique, sport,

géophysique, planétologie, astrophysique ou encore histoire des sciences.

Lors des activités expérimentales, il est possible d'utiliser les outils courants de captation et de traitement d'images mais également les capteurs présents dans les smartphones. L'activité de simulation peut également être mise à profit pour étudier un système en mouvement, ce qui fournit l'occasion de développer des capacités de programmation.

Au-delà des finalités propres à la mécanique, ce domaine permet d'aborder l'évolution temporelle des systèmes, quels qu'ils soient. Ainsi, la mise en place des bilans est-elle un objectif important d'une formation pour et par la physique-chimie, en ce qu'elle construit des compétences directement réutilisables dans d'autres disciplines (économie, écologie, etc.).

Notions abordées au collège (cycle 4)

Vitesse (direction, sens, valeur), mouvements uniformes, rectilignes, circulaires, relativité des mouvements, interactions, forces, expression scalaire de la loi de gravitation universelle, force de pesanteur.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Modèle du point matériel. Principe d'inertie. Cas de situations d'immobilité et de mouvements rectilignes uniformes. Cas de la chute libre à une dimension.	Exploiter le principe d'inertie ou sa contraposée pour en déduire des informations soit sur la nature du mouvement d'un système modélisé par un point matériel, soit sur les forces. Relier la variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel à l'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme est non nulle, en particulier dans le cas d'un mouvement de chute libre à une dimension (avec ou sans vitesse initiale).

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

p. 174

SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier, d'une part, que les élèves ont assimilé que la description du vecteur vitesse d'un point en mouvement met en jeu trois caractéristiques : sa direction, son sens et sa norme et, d'autre part, qu'ils parviennent à associer un

mouvement rectiligne uniforme à la non-variation du vecteur vitesse au cours du temps.

Dans la situation proposée, il s'agit d'identifier, parmi trois chronophotographies présentant les tracés du vecteur vitesse d'un point à différents instants de son mouvement, les cas pour lesquels le vecteur ne varie ni en direction, ni en sens, ni en norme.

➤ Exemple de réponse attendue

- Dans le cas **A**, le vecteur vitesse du point en mouvement ne varie ni en direction, ni en sens, ni en norme.

Le point décrit un mouvement rectiligne uniforme (ce qui est confirmé par la chronophotographie).

- Dans le cas **B**, le vecteur vitesse du point ne varie ni en direction, ni en sens, mais en revanche sa norme augmente au cours du temps.

Le point décrit un mouvement rectiligne accéléré.

- Dans le cas **C**, le vecteur vitesse du point varie en direction, mais conserve une norme constante au cours du temps.

Le point décrit un mouvement curviligne uniforme.

Le mouvement s'effectue vers la droite : on peut ainsi considérer que le sens du vecteur reste le même sur la portion de figure proposée.

➤ En classe de 2^{de}

Dans une approche spirale de l'enseignement de la physique-chimie, les caractéristiques du vecteur vitesse sont utilisées dans ce chapitre.

Dans l'**activité 2**, construite sous forme de démarche expérimentale, les élèves seront amenés à représenter des vecteurs vitesse d'un système modélisé par un point lors d'un mouvement, puis à décrire la variation du vecteur vitesse.

SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier que les élèves connaissent les effets d'une action mécanique qui agit sur un système.

➤ Exemple de réponse attendue

Une action mécanique exercée sur un système peut modifier le mouvement de ce système, le mettre en mouvement ou le déformer.

La trajectoire d'un objet céleste est modifiée lorsqu'il arrive à proximité d'une planète massive car il est soumis à une action mécanique exercée par cette planète. Cette action mécanique est modélisée par une force notée $\vec{F}_{\text{planète/objet}}$ et nommée « force d'attraction gravitationnelle ».

➤ En classe de 2^{de}

Dans l'**activité 1**, construite sous forme d'activité de découverte, les élèves seront amenés à relier la nature du mouvement d'un objet à l'existence d'actions mécaniques qui agissent sur lui. Le cas du mouvement circulaire sera évoqué.

SITUATION 3

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis qu'une force se représente sur un schéma par un vecteur : un segment fléché qui a une direction et

un sens. Les forces mises en jeu ici sont le poids \vec{P} d'un snowboardeur et la réaction \vec{R} de la piste sur le snowboardeur.

➤ Exemple de réponse attendue

La direction de la force de pesanteur (ou poids) \vec{P} est verticale (et son sens est orienté vers la Terre ou vers le bas).

La direction de la réaction \vec{R} de la piste sur le snowboardeur est perpendiculaire à la piste (et son sens est orienté vers le haut).

Les deux forces n'ont donc pas la même direction (ni le même sens).

Schéma :



➤ En classe de 2^{de}

Dans une approche spirale de l'enseignement de la physique-chimie, la modélisation d'une action par une force est réinvestie dans ce chapitre.

Dans l'**activité 1**, construite sous forme d'activité de découverte, ou dans l'**activité 4**, construite sous forme d'activité documentaire, les élèves seront amenés à réaliser le bilan des actions mécaniques qui agissent sur un objet. Leur modélisation permettra d'identifier les situations pour lesquelles la somme des forces est nulle ou non nulle.

ACTIVITÉS

p. 176 ■ ACTIVITÉ 1

Le principe d'inertie

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité consiste à montrer comment le principe d'inertie permet d'interpréter la nature d'un mouvement. Elle amène les élèves à savoir identifier des actions mécaniques qui se compensent (ou pas) et à en déduire des informations sur la nature d'un mouvement.

➤ Exploitation et analyse

- 1 a. Pendant le lancer, les positions successives du centre de la pierre de curling sont, d'une part, alignées et d'autre part, de plus en plus espacées les unes des autres : son mouvement est donc rectiligne accéléré.

Lorsque les balayeurs frottent la glace (sur la première partie de la piste après la ligne de jeu), les frottements sont quasiment absents. Les positions successives du centre de la pierre de curling, toujours alignées, sont à égale distance les unes des autres : le mouvement est donc rectiligne uniforme.

b. Lorsque les balayeurs cessent de frotter la glace (sur la seconde partie de la piste après la ligne de jeu), les frottements sont présents. Le mouvement devient rectiligne ralenti.

2 a. • Lors du lancer (mouvement rectiligne accéléré), la pierre de curling est soumise à l'action :

- de la Terre (modélisée par son poids \vec{P}) ;
- de la piste (modélisée par la réaction \vec{R}) ;
- du lanceur (modélisée par la force $\vec{F}_{\text{lanceur/pierre}}$).

• Lors de son mouvement rectiligne uniforme, la pierre de curling est soumise à l'action :

- de la Terre (modélisée par son poids \vec{P}) ;
- de la piste (modélisée par la réaction \vec{R}).

• Lors de son mouvement rectiligne ralenti, la pierre de curling est soumise à l'action :

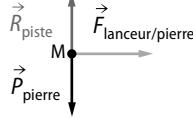
- de la Terre (modélisée par son poids \vec{P}) ;
- de la piste (modélisée par la réaction \vec{R}) ;

• Lors de son mouvement rectiligne ralenti, la pierre de curling est soumise à l'action :

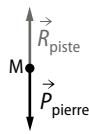
- de la Terre (modélisée par son poids \vec{P}) ;
- de la piste (modélisée par la réaction \vec{R}) ;
- de la glace responsable de frottements (modélisée par la force $\vec{f}_{\text{glace/pierre}}$).

b. Le centre de la pierre est modélisé par un point M.

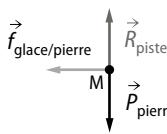
• Lors de la phase accélérée du mouvement :



• Lors de la phase uniforme du mouvement :



• Lors de la phase ralentie du mouvement :



➤ Synthèse

3 La seconde phase du mouvement de la pierre peut être interprétée par le principe d'inertie. En effet, ce principe énonce que « tout corps demeure dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme, s'il n'est soumis à aucune action mécanique ou si les actions mécaniques qui s'exercent sur lui se compensent. »

Or, lors de la seconde phase du mouvement, le centre de la pierre est en mouvement rectiligne uniforme et la pierre est soumise à des actions qui se compensent (la somme vectorielle des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur la pierre est nulle : $\sum \vec{F} = \vec{F}_{\text{piste/pierre}} + \vec{F}_{\text{Terre/pierre}} = \vec{0}$).

4 a. Si on ne supprime pas tous les frottements (cas de la dernière phase du mouvement), le mouvement de la pierre de curling n'est plus rectiligne uniforme (il devient rectiligne ralenti). En effet, la pierre n'est plus soumise à des actions qui se compensent.

b. Il est impossible pour le lanceur de donner une trajectoire circulaire au centre de la pierre tant qu'elle reste soumise à des actions qui se compensent (c'est-à-dire en l'absence de frottements). Il faut l'intervention d'une autre action (frottements de la glace, choc avec une autre pierre, par exemple, etc.) pour modifier son mouvement rectiligne uniforme (ou son état de repos).

p. 177 ■ **ACTIVITÉ 2**

Mouvement sur un plan incliné TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

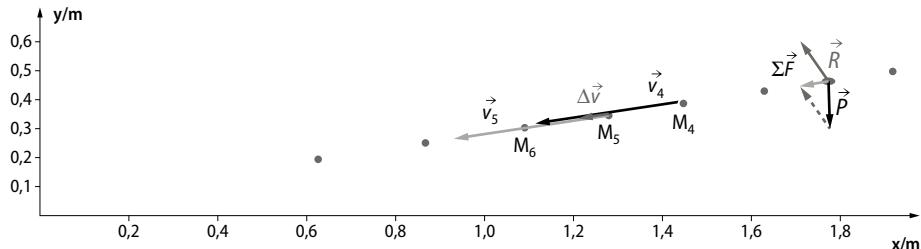
Cette activité consiste dans le cas d'un mouvement à une dimension sans vitesse initiale, à mettre en évidence expérimentalement le lien entre la variation, entre deux instants voisins, du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel et l'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme est non nulle.

Le tracé du vecteur variation de vitesse (présenté en correction ci-dessous) n'est pas attendu en classe de 2^{de}, seule une description de sa variation est exigée ici (voir l'exemple de réponse attendue **1 d.**).

Cette activité est également l'occasion de réaliser une vidéo, puis une chronophotographie à l'aide d'un logiciel de pointage.

> Exploitation et analyse

Exemple de document recensant l'ensemble des pointages effectués :



1 a. Le mouvement décrit par le point M (point qui modélise le glaçon) est rectiligne accéléré.

b. L'échelle du document est de 9,8 cm pour 1,2 m, soit 1,0 cm pour 12,2 cm.

La durée Δt entre deux positions successives est $\Delta t = 67 \text{ ms}$ (fréquence de prise de vue : 15 images par seconde).

c. Au point M_4 , la distance M_4M_5 sur le document vaut 1,4 cm, soit $M_4M_5 = 17,23 \text{ cm}$ en réalité.

La vitesse v_4 au point M_4 est $v_4 = \frac{M_4M_5}{\Delta t}$, soit

$$v_4 = 2,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (2,6 \text{ cm à l'échelle } 1 \text{ cm pour } 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}).$$

Au point M_5 , la distance M_5M_6 sur le document vaut 1,6 cm, soit $M_5M_6 = 19,7 \text{ cm}$ en réalité.

La vitesse v_5 au point M_5 est $v_5 = \frac{M_5M_6}{\Delta t}$, soit

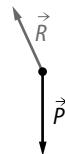
$$v_5 = 2,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (2,9 \text{ cm à l'échelle } 1 \text{ cm pour } 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}).$$

d. Le vecteur vitesse conserve la même direction (parallèle au plan incliné) et le même sens (vers le bas). Sa valeur augmente.

2 a. Le glaçon est soumis à l'action de la Terre (modélisée par son poids \vec{P}) et à l'action du plan incliné (modélisée par la réaction du plan \vec{R}).

b. D'après la contraposée du principe d'inertie, ces actions mécaniques ne se compensent pas car le glaçon ne décrit pas un mouvement rectiligne uniforme et n'est pas au repos.

c. Schéma :



> Conclusion

3 Les résultats expérimentaux confirment le lien entre la variation du vecteur vitesse et l'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme n'est pas nulle.

En effet, le tracé de la somme vectorielle $\Sigma \vec{F} = \vec{P} + \vec{R}$ (réponse **2 c.** et construction ci-contre) montre une somme de forces non nulle : $\Sigma \vec{F} \neq \vec{0}$.

Par ailleurs, l'étude du vecteur vitesse du système à des divers instants du mouvement met en évidence une variation (réponse **1 d.**). Ainsi l'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme n'est pas nulle est à l'origine d'une variation du vecteur vitesse du système.

(On peut remarquer que la variation du vecteur vitesse s'effectue selon la direction et le sens de la somme $\Sigma \vec{F}$).

ACTIVITÉ 3

p. 178

Chute libre et variation

de vitesse Démarches différencierées

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Dans cette activité, les élèves relient, dans le cas d'une chute libre verticale sans vitesse initiale, la variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel au poids du système. Les élèves sont amenés à utiliser la simulation d'une chute libre, à tracer des vecteurs vitesse et à réaliser un bilan des actions mécaniques qui agissent sur un système.

■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Chute Libre

p. 178

La simulation permet de visualiser la chronophotographie de la chute libre d'un boulet lâché sans vitesse initiale du sommet de la tour de Pise.

Un curseur permet de relever les coordonnées x et y du centre du boulet ainsi que les instants t correspondants.

> Démarche experte

- Visualiser la chronophotographie de la chute libre d'un boulet lâché sans vitesse initiale du sommet de la tour de Pise. La fréquence de prise de vue sera réglée à 4 images par seconde comme sur le **document 2**.
- À l'aide du curseur, relever les coordonnées y du centre du boulet pour deux instants t voisins : par exemple, aux instants $t_{10} = 2,50$ s et $t_{11} = 2,75$ s.
- En déduire, par un calcul, la valeur de la vitesse du centre du boulet à ces deux instants.
- Reproduire la chronophotographie sur une feuille et représenter les vecteurs vitesse du centre du boulet en choisissant une échelle adaptée.
- Décrire la variation entre ces deux instants du vecteur vitesse.
- Représenter sur la chronophotographie les forces qui modélisent les actions agissant sur le boulet. On considère que l'action de l'air est négligeable.
- Conclure en reliant la variation du vecteur vitesse du centre du boulet à l'existence d'actions extérieures, qui agissent sur le boulet, modélisées par des forces dont la somme n'est pas nulle, ici le poids.

> Démarche avancée

1 À partir de la chronophotographie de la chute libre d'un boulet lâché sans vitesse initiale (fréquence de prise de vue : 4 images par seconde), relever (à l'aide du curseur) les coordonnées y du centre du boulet pour deux instants t voisins, par exemple, à $t_{10} = 2,50$ s et à $t_{11} = 2,75$ s.

- $y_{10} = 18,9$ m et $y_{11} = 12,5$ m, alors :

$$v_{10} = \frac{y_{10} - y_{11}}{\Delta t}$$

$$v_{10} = \frac{18,9 - 12,5}{0,25} = 25,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- $y_{11} = 12,5$ m et $y_{12} = 5,5$ m, alors :

$$v_{11} = \frac{y_{11} - y_{12}}{\Delta t}$$

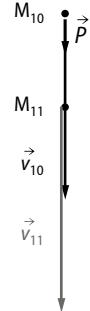
$$v_{11} = \frac{12,5 - 5,5}{0,25} = 28,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

2 **a.** et **b.** Échelle de représentation : 1 cm pour $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Entre les instants t_{10} et t_{11} , le vecteur vitesse du centre du boulet conserve la même direction (verticale), le même sens (vers le bas) mais en revanche sa norme augmente : le vecteur vitesse varie.

« Sa variation est verticale et orientée vers le bas. »

c. Le boulet est uniquement soumis à l'action de la Terre modélisée par son poids \vec{P} .



3 Les tracés montrent que la variation du vecteur vitesse est verticale et orientée vers le bas (ou vers la Terre). Il en est de même de la somme vectorielle $\Sigma \vec{F}$ des forces qui agissent sur le boulet (ici égale au poids \vec{P} : la force est verticale et orientée vers le bas ou vers la Terre). Ainsi l'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme n'est pas nulle est à l'origine d'une variation du vecteur vitesse du système.

> Démarche élémentaire

1 **a.** $y_{10} = 18,9$ m et $y_{11} = 12,5$ m, alors :

$$v_{10} = \frac{y_{10} - y_{11}}{\Delta t}$$

$$v_{10} = \frac{18,9 - 12,5}{0,25} = 25,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

b. $y_{11} = 12,5$ m et $y_{12} = 5,5$ m, alors :

$$v_{11} = \frac{y_{11} - y_{12}}{\Delta t}$$

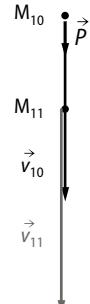
$$v_{11} = \frac{12,5 - 5,5}{0,25} = 28,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

2 **a.** et **b.** Échelle de représentation : 1 cm pour $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Entre les instants t_{10} et t_{11} , le vecteur vitesse du centre du boulet conserve la même direction (verticale), le même sens (vers le bas) mais en revanche sa norme augmente : le vecteur vitesse varie.

« Sa variation est verticale et orientée vers le bas. »

c. Le boulet est uniquement soumis à l'action de la Terre modélisée par son poids \vec{P} .



3 **a.** Les tracés confirment le lien entre la variation du vecteur vitesse (verticale et orientée vers le bas ou vers la Terre) et la somme vectorielle $\Sigma \vec{F}$ des forces appliquées, ici égale au poids \vec{P} (force verticale et orientée vers le bas ou vers la Terre). L'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme n'est pas nulle est à l'origine d'une variation du vecteur vitesse du système.

b. Pour accéder à une meilleure approximation du vecteur vitesse, il faut réduire la durée Δt entre deux positions successives. Pour cela, il faut augmenter la fréquence de prise de vue (par exemple 6 images/s).

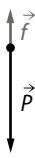
Remarque : cela augmente en revanche l'incertitude relative sur la mesure de longueur.

Les phases d'un saut en parachute

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet aux élèves d'exploiter le principe d'inertie et sa contraposée pour en déduire des informations sur les forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur un système. Elle amène également les élèves, dans le cas d'un mouvement de chute libre à une dimension sans vitesse initiale, à relier l'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme est non nulle à la variation du vecteur vitesse.

➤ Exploitation et analyse

a. Nature des différentes phases du mouvement				
1	Mouvement rectiligne accéléré	Mouvement rectiligne uniforme	Mouvement rectiligne ralenti	Mouvement rectiligne uniforme
	b. Bilan des actions mécaniques qui agissent sur le parachutiste			
	les actions ne se compensent pas	les actions se compensent	les actions ne se compensent pas	les actions se compensent
a. Valeur P du poids du parachutiste				
$P = m \cdot g$ $P = 80 \times 9,8 = 78,4 \text{ N soit } P = 78 \text{ N}$				
b. Valeur f de la force de frottements par rapport à celle de P				
$f < P$ $f = P$ $f > P$ $f = P$				
c. Modélisation des actions mécaniques				
2				
	②	①	③	①
d. Direction et sens de la somme $\vec{F} = \vec{P} + \vec{f}$				
Vertical vers le bas $\vec{F} = \vec{0}$ Vertical vers le haut $\vec{F} = \vec{0}$				
a. Comparaison du sens de \vec{F} et celui de \vec{v}				
3	\vec{F} est dans le même sens que \vec{v}	$\vec{F} = \vec{0}$ et $\vec{v} = \vec{cte}$	\vec{F} est dans le sens opposé à \vec{v}	$\vec{F} = \vec{0}$ et $\vec{v} = \vec{cte}$
	b. Évolution de la vitesse			
	v augmente	v est constante	v diminue	v est constante

> Synthèse

- 4 Dans le cas d'une chute libre verticale, le vecteur vitesse conserve la même direction (verticale) et le même sens (vers la Terre). Sa valeur, quant à elle, varie en fonction du sens de la somme des forces appliquées au système :
- si $\Sigma \vec{F}$ est dans le même sens que \vec{v} , alors la norme du vecteur vitesse augmente ;
 - si $\Sigma \vec{F}$ est de sens opposé à \vec{v} , alors sa norme diminue.

EXERCICES

Vérifier l'essentiel

- | | | |
|------|-----------|-----------|
| 1 A. | 2 A et C. | 3 B et C. |
| 4 C. | 5 B et C. | 6 C. |
| 7 C. | 8 A et B. | |

Acquérir les notions

> Le principe d'inertie

■ p. 185

- 9 1. a. D'après le principe d'inertie, un système qui n'est soumis à aucune action mécanique est soit immobile, soit en mouvement rectiligne uniforme. L'objet se déplaçant, son mouvement est rectiligne uniforme.
b. D'après le principe d'inertie, aucune action mécanique n'est nécessaire pour maintenir constante la vitesse d'un objet.
2. L'objet, toujours soumis à aucune action mécanique, pourrait être immobile.

10 1. La chronophotographie B correspond au mouvement du palet. Ce dernier est soumis à des actions mécaniques qui se compensent, $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$, donc son mouvement est rectiligne et uniforme (ce que traduit la chronophotographie B).

2. La représentation des forces reste la même lorsque le palet est immobile. Si $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$, alors \vec{v} est constant ou $\vec{v} = \vec{0}$ (et inversement).

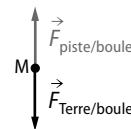
11 1. Avant la mise en mouvement de la rame de métro, le passager est soumis à l'action de la Terre et celle du plancher du métro (la réaction du « sol »). Il reste soumis aux mêmes actions mécaniques après la mise en mouvement de la rame de métro.

2. Le passager étant immobile (dans le référentiel terrestre) avant la mise en mouvement de la rame, il persévère dans son état de repos même lors de la mise en mouvement de la rame de métro. Il a

ainsi la sensation d'être « projeté » vers l'arrière du métro qui avance.

12 1. Les forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur la boule de bowling se compensent. D'après le principe d'inertie : tout système persévère dans son mouvement rectiligne uniforme si les actions mécaniques qui s'exercent sur lui se compensent.

2. La boule de bowling est modélisée par un point matériel noté M.



■ p. 184

13 1. Dans cette situation :

- a. le snowboardeur ne peut pas être soumis à une action mécanique ;
- b. le snowboardeur peut être soumis à des actions mécaniques modélisées par des forces dont la somme est nulle ;
- c. le snowboardeur peut être soumis à aucune action mécanique.

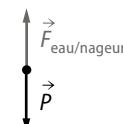
2. La représentation A modélise la situation car les actions se compensent : $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$.

La force \vec{F}_1 modélise l'action de la piste sur le snowboardeur, la force \vec{F}_2 l'action de la Terre sur le snowboardeur.

La force \vec{F}_3 pourrait par exemple modéliser l'action de poussée exercée par la piste sur le snowboardeur lorsque celui-ci patine (cas d'un mouvement vers la droite) ou les frottements de la piste (cas d'un mouvement vers la gauche).

14 1. Dans cette situation, d'après le principe d'inertie, puisque le nageur est immobile, alors il est soumis à des actions mécaniques qui se compensent.

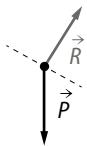
2. a. Le nageur est représenté par un point matériel. Échelle de représentation : 1 cm pour 200 N.



b. L'eau est responsable de l'action exercée vers le haut.

15 1. D'après le principe d'inertie, puisque le skieur est animé d'un mouvement rectiligne uniforme, alors il est soumis à des actions mécaniques qui se compensent.

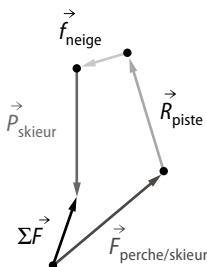
2. Le skieur est représenté par un point matériel. Il est soumis à l'action de la Terre, modélisée par son poids \vec{P} , et à l'action de la piste, modélisée par la réaction \vec{R} de la piste.



> Variation de vitesse et somme des forces

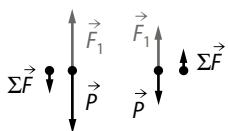
■ p. 186

16 1. $\Sigma \vec{F} = \vec{F}_{\text{perche/skieur}} + \vec{R}_{\text{piste}} + \vec{f}_{\text{neige}} + \vec{P}_{\text{skieur}} \neq \vec{0}$

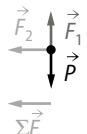


2. D'après la contraposée du principe d'inertie, puisque la somme des forces $\Sigma \vec{F}$ qui modélisent les actions mécaniques agissant sur le système n'est pas nulle, alors le mouvement n'est pas rectiligne et uniforme.

17 1. Cas A et B : $\Sigma \vec{F} = \vec{P} + \vec{F}_1$



Cas C : $\Sigma \vec{F} = \vec{P} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_2$



2. La variation du vecteur est liée à l'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme $\Sigma \vec{F}$ est non nulle.

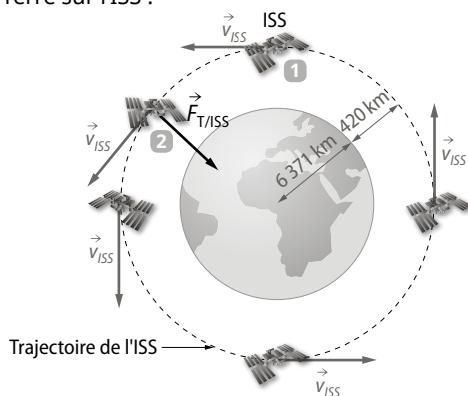
- Cas A : la variation du vecteur vitesse est verticale et orientée vers le bas. La valeur de la vitesse augmente.
- Cas B : la variation du vecteur vitesse est verticale et orientée vers le haut. La valeur de la vitesse augmente.
- Cas C : la variation du vecteur vitesse est horizontale et orientée vers la gauche, la valeur de la vitesse augmente.

Dans chaque cas, le mouvement est rectiligne accéléré, mais vertical et orienté vers le bas pour le cas A, vertical et orienté vers le haut pour le cas B, horizontal et orienté vers la gauche pour le cas C.

18 1. Si elle n'était soumise à aucune action mécanique, l'ISS poursuivrait un mouvement rectiligne uniforme.

2. a. C'est l'action de la Terre sur l'ISS qui modifie la trajectoire rectiligne que la station tendrait à suivre en l'absence d'action mécanique : la trajectoire du centre de l'ISS est ainsi circulaire.

b. Représentation de la force modélisant l'action de la Terre sur l'ISS :



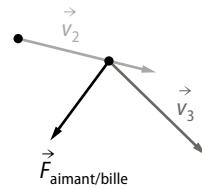
3. a. Le vecteur vitesse de l'ISS change de direction et de sens au cours du temps.

b. La variation du vecteur vitesse est liée à la force $\vec{F}_{T/ISS}$ modélisant l'action de la Terre sur l'ISS. Elle s'effectue dans la direction et le sens de cette force.

19 1. a. D'après la contraposée du principe d'inertie, puisque le mouvement n'est pas rectiligne et uniforme, alors la somme des forces qui modélisent les actions agissant sur le système n'est pas nulle. Ici, la bille est soumise à l'action de la Terre, l'action de la « table » et l'action de l'aimant. Ces trois actions ne se compensent pas.

b. Le vecteur vitesse n'est pas constant. Il change de direction entre les instants t_2 et t_3 .

2. et 3. Représentation du vecteur vitesse aux instants t_2 et t_3 , et de la force modélisant l'action de l'aimant :

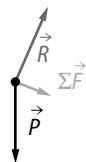


La variation du vecteur vitesse est liée à la force $\vec{F}_{\text{aimant/bille}}$: le vecteur vitesse varie selon la direction et le sens de la force.

20 1. a. La vitesse du skateboardeur augmente au cours du temps.

b. D'après la contraposée du principe d'inertie, les actions qui agissent sur le système ne se compensent pas.

2. a. et b. Représentation des forces modélisant les actions et de la somme des forces :



c. La variation du vecteur vitesse est liée à la somme des forces. Elle s'effectue selon la direction et le sens de $\vec{\Sigma F}$ (parallèlement à la piste et vers le bas).

3. 1. a. La vitesse du skateboardeur reste constante au cours du temps.

b. D'après le principe d'inertie, les actions qui agissent sur le système se compensent.

2. a. Représentation des forces modélisant les actions : voir ci-contre.

b. La somme des forces modélisant les actions est alors nulle : $\vec{\Sigma F} = \vec{0}$.

c. La variation du vecteur vitesse est liée à la somme des forces. Le vecteur vitesse ne varie pas et $\vec{\Sigma F} = \vec{0}$.

> Application à des situations de chute verticale

■ p. 187

21 1. a. Seule la représentation C convient car une seule force y est représentée.

\vec{F}_2 représente le poids \vec{P} qui modélise l'action de la Terre sur le parachutiste.

b. La variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse d'un système en chute libre est reliée au poids \vec{P} du système, ici modélisé par le vecteur \vec{F}_2 .

Le vecteur vitesse du parachutiste varie donc verticalement et vers le bas (sa valeur augmente au cours du temps).

c. Le mouvement est rectiligne accéléré.

2. Un système en chute libre verticale n'est pas soumis à des actions mécaniques qui se compensent. Son mouvement ne peut donc pas être rectiligne et uniforme (d'après la contraposée du principe d'inertie). Il ne peut donc pas tomber verticalement avec une vitesse constante.

22 1. a. La force \vec{F}_1 modélise l'action de l'air sur le système (les frottements de l'air).

b. Le modèle B peut convenir à un mouvement rectiligne accéléré dans l'atmosphère.

2. a. Un système en chute libre verticale à vitesse constante (mouvement rectiligne et uniforme) est soumis à des actions qui se compensent. La somme des forces qui modélisent ces actions est nulle.

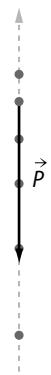
b. Le modèle A peut convenir à un mouvement rectiligne uniforme dans l'atmosphère.

23 1. Une balle de golf lancée verticalement vers le haut décrit un mouvement rectiligne ralenti.

La chronophotographie C convient.

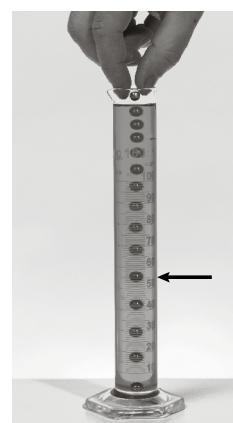
2. Représentation de la force modélisant l'action de la Terre (le poids de la balle) : voir ci-contre.

3. La variation du vecteur vitesse est liée au poids de la balle. Elle s'effectue selon la direction et le sens de \vec{P} (verticalement et vers la Terre).



24 1. a. L'action de la Terre permet la mise en mouvement de la bille.

b. Jusqu'à la 10^e position (indiquée pour une flèche sur la photo ci-dessous), le mouvement de la bille est rectiligne et accéléré. Ensuite, le mouvement devient rectiligne uniforme.



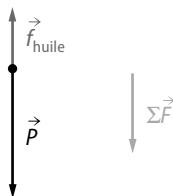
2. a. D'après la réciproque du principe d'inertie, puisque le mouvement de la bille est rectiligne uniforme, alors elle est soumise à des actions mécaniques qui se compensent.

b. Son vecteur vitesse \vec{v} reste constant. La variation du vecteur vitesse du système entre deux instants voisins est donc nulle.

3. a. Lors de la première phase, l'action de la Terre sur la bille (modélisée par son poids \vec{P}) l'emporte sur l'action exercée par l'huile (modélisée par les forces de frottements \vec{f}_{huile}).

b. Représentation de la somme des forces :

$$\Sigma \vec{F} = \vec{P} + \vec{f}_{\text{huile}}$$



c. La variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse d'un système est reliée à l'existence d'actions mécaniques modélisées par des forces dont la somme $\Sigma \vec{F}$ n'est pas nulle. Le vecteur vitesse varie donc verticalement et vers le bas : sa valeur augmente.

25 1. a. D'après le principe d'inertie, le voltigeur est soumis à des actions qui se compensent.

b. Le voltigeur est soumis :

- à l'action de la Terre, modélisée par son poids \vec{P} de valeur $P = m \cdot g$,

$$P = 75 \times 9,8 = 735 \text{ N soit } P \approx 7,4 \times 10^2 \text{ N;}$$

- à l'action de l'air, modélisée par les frottements \vec{f}_{air} de valeur $f = 735 \text{ N}$ soit $f \approx 7,4 \times 10^2 \text{ N}$.

À l'échelle 1 cm pour 300 N, la norme de chaque vecteur est de 2,5 cm.

Schéma :



2. a. L'intensité des forces de frottement augmente. La norme du vecteur \vec{f}_{air} augmente.

b. Représentation de la somme des forces modélisant les actions : voir ci-contre.

3. a. Cette action mécanique engendre la mise en mouvement du voltigeur.

b. Le vecteur vitesse du voltigeur varie selon le sens et la direction de la somme des forces (verticalement vers le haut).

4. Le voltigeur n'est pas en chute libre car il n'est pas soumis à la seule action de la Terre. Les sensations de chute sont « reproduites » par l'action de l'air, qui compense ou par l'action de la Terre.

Exercices similaires aux exercices résolus

p. 188 et 189

27 1. Avant le démarrage, le bloc de marbre est immobile.

D'après la réciproque du principe d'inertie, il est donc soumis à des actions mécaniques qui se compensent. Le bloc de marbre est soumis :

- à l'action de la Terre, modélisée par le poids \vec{P} du bloc,

$$P = m \cdot g \text{ soit } P = 125 \times 9,8 = 1,2 \times 10^3 \text{ N ;}$$

- à l'action du plateau du camion, modélisée par la réaction \vec{R}_{plateau} du plateau, $R = 1,2 \times 10^3 \text{ N}$ ($R = P$ puisque les actions mécaniques se compensent).

On choisit cette échelle de représentation :

$$1 \text{ cm} \leftrightarrow 500 \text{ N.}$$

Ainsi, la longueur ℓ du vecteur \vec{P} ou \vec{R} est :

$$\ell = \frac{1200}{500} \text{ soit } \ell = 2,4 \text{ cm.}$$

Schéma :



2. a. Selon le principe d'inertie, étant toujours soumis à des actions qui se compensent, le bloc de marbre persévere dans son état de repos alors que le véhicule, lui, se met en mouvement. Le bloc de marbre reste donc immobile par rapport à la Terre (dans le référentiel terrestre) alors que le camion démarre : le bloc est « projeté » vers l'arrière du véhicule.

b. Lorsque le bloc quitte le plateau, il est uniquement soumis à l'action de la Terre, modélisée par son poids \vec{P} . Son mouvement est alors rectiligne accéléré (dans le référentiel terrestre).

Avec la même échelle choisie plus haut, voici le schéma de la situation :

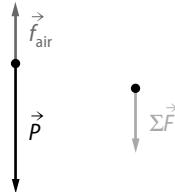


29 1. D'après la chronophotographie, le mouvement est rectiligne accéléré de M_0 à M_5 . Sur cette phase, d'après la contraposée du principe d'inertie, les actions mécaniques qui agissent sur la parachutiste ne se compensent pas.

- 2. a.** Lors de la première phase de la chronophotographie, l'action de la Terre sur la parachutiste (modélisée par son poids \vec{P}) l'emporte sur l'action exercée par l'air (modélisée par les forces de frottements \vec{f}_{air}).

Représentation de la somme des forces :

$$\Sigma \vec{F} = \vec{P} + \vec{f}_{\text{air}}$$



- b.** La variation du vecteur vitesse est reliée au vecteur somme des forces $\Sigma \vec{F}$.

Le vecteur vitesse varie donc verticalement vers le bas. La valeur de la vitesse augmente donc au cours du temps : le mouvement est accéléré.

Croiser les notions

■ p. 190

- 30 1.** Théorie de Galilée : **b** et **d**.

Théorie d'Aristote : **a** et **c**.

- 2.** La théorie de Galilée constitue une première formulation du principe d'inertie :

Tout corps possède une inertie qui l'oblige à conserver sa vitesse à moins qu'une force extérieure ne l'oblige à s'arrêter ou à modifier sa vitesse.

- 3. a.** Galilée réalise une expérience de pensée en émettant l'hypothèse d'un plan parfaitement horizontal et en l'absence de tout frottement.

- b.** L'action de l'air sur la bille responsable de frottements rend difficile l'observation réelle du principe formulé.

- 31 1. a.** Spiderman est soumis à l'action de la Terre, modélisée par son poids \vec{P} et à l'action du fil, modélisée par la tension \vec{T} .

- b.** Ces actions se compensent car le mouvement de Spiderman est rectiligne uniforme.

- c.** La valeur P de son poids est $P = m \cdot g$.

$$P = 70 \times 9,8 \text{ soit } P \approx 70 \times 10 \text{ d'où } P = 7,0 \times 10^2 \text{ N.}$$

- d.** En utilisant l'échelle proposée, la norme de chaque vecteur est de 2 cm.

Schéma :



- 2. a.** En chute libre, Spiderman est uniquement soumis à l'action de la Terre, donc à des actions qui ne se compensent pas.

- b.** Son mouvement est rectiligne accéléré.

- c.** Le vecteur vitesse \vec{v} varie dans le même sens que son poids \vec{P} : vers le bas (sa valeur augmente).

32 ■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

D Portance

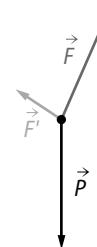
■ p. 190

Cette animation fait apparaître les forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur une balle en sustentation dans un flux d'air.

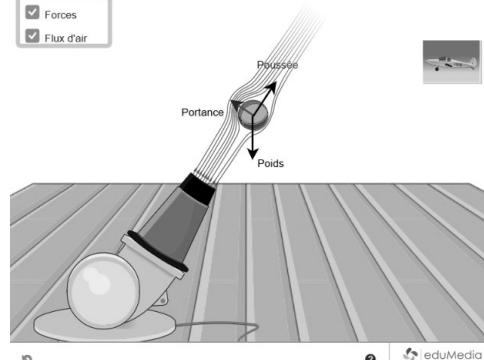
- 1.** Sur la représentation, seules deux forces sont représentées (le poids et la poussée). La somme de ces deux forces n'est pas nulle. La balle est donc soumise à des actions mécaniques qui ne se compensent pas. D'après la contraposée du principe d'inertie, la balle ne peut donc pas être immobile.

- 2.** D'après la contraposée du principe d'inertie, la balle décrit un mouvement qui n'est pas rectiligne et uniforme. Il est dans le cas présent curviligne accéléré. En effet, la variation du vecteur vitesse est reliée à la somme des forces $\Sigma \vec{F}$, ici orientée vers la droite.

- 3.** D'après le principe d'inertie, un système est au repos à condition qu'il soit soumis à des actions qui se compensent. Il faut donc l'intervention d'une troisième force \vec{F}' (la portance) telle que $\vec{F} + \vec{F}' + \vec{P} = \vec{0}$.



<input checked="" type="checkbox"/> Forces
<input checked="" type="checkbox"/> Flux d'air



33 > Démarche experte

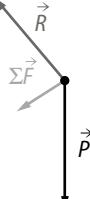
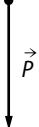
Pour chaque phase du mouvement, suivre les étapes suivantes.

- Réaliser le bilan des actions mécaniques qui agissent sur le skieur.
- Représenter (sans souci d'échelle) ces actions par des forces sur un schéma en utilisant le modèle du

point matériel. En déduire que la somme des forces $\vec{\Sigma}F$ est nulle (ou non nulle).

- En exploitant le principe d'inertie et sa contraposée, déduire de la somme des forces $\vec{\Sigma}F$ des informations sur la nature du mouvement du skieur.
- En exploitant le lien entre la somme des forces $\vec{\Sigma}F$ et la variation du vecteur vitesse, proposer une description de la variation du vecteur vitesse.

> Démarche élémentaire

Phase ①	Phase ②	Phase ③
 <p>Phase ①</p> <p>1. Lors de la première phase (horizontale), le système est soumis à des actions qui se compensent. Ces actions sont modélisées par le poids \vec{P} du système et la réaction normale \vec{R} de la piste dont la somme $\vec{\Sigma}F$ est nulle.</p> 	 <p>Phase ②</p> <p>1. Lors de la deuxième phase, le système est soumis à des actions qui ne se compensent pas. Ces actions sont modélisées par le poids \vec{P} du système et la réaction normale \vec{R} de la piste dont la somme n'est pas nulle $\vec{\Sigma}F \neq \vec{0}$.</p> 	 <p>Phase ③</p> <p>1. Lors de la troisième phase, le système est uniquement soumis à l'action de son poids.</p> 

2. La somme $\vec{\Sigma}F$ des forces qui modélisent les actions mécaniques exercées sur le skieur est nulle au cours de la première phase. Elle est parallèle à la piste et orientée vers le bas lors de la deuxième phase, et égale au poids lors de la dernière phase.

3. La variation du vecteur vitesse est liée à la somme des forces $\vec{\Sigma}F$. Le vecteur vitesse du skieur varie selon le sens et la direction de la somme des forces.

4. Le mouvement est rectiligne uniforme au cours de la première phase ($\vec{\Sigma}F = \vec{0}$ et le vecteur vitesse ne varie pas), il est rectiligne ralenti lors de la deuxième phase ($\vec{\Sigma}F \neq \vec{0}$ et le vecteur vitesse est opposé à $\vec{\Sigma}F$), puis rectiligne accéléré lors de la dernière phase étudiée ($\vec{\Sigma}F \neq \vec{0}$ et le vecteur vitesse est de même sens que $\vec{\Sigma}F$).

34 Le but du tir à la corde est de forcer l'équipe adverse à franchir une ligne tracée au sol.

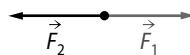
Au début, la corde est immobile. Après quelques instants, l'équipe de droite réussit à mettre la corde en mouvement. Elle déplace ensuite lentement la corde avec une vitesse constante et gagne le match. On modélise la corde par un point matériel.

Pour chaque étape, représenter sur un schéma les actions de chaque équipe par une force. Justifier les réponses.

Corrigé :

- **Phase 1 :**

La corde est immobile, les actions de chaque équipe, modélisées par les forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 , se compensent.



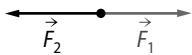
• **Phase 2 :**

La corde est mise en mouvement vers la droite, les actions de chaque équipe ne se compensent pas. La force \vec{F}_1 l'emporte et le vecteur vitesse varie dans le sens de la force \vec{F}_1 : vers la droite.



• **Phase 3 :**

La corde est en mouvement rectiligne uniforme, les actions de chaque équipe, modélisées par les forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 , se compensent à nouveau.



35 1. a. À $t = 50$ s, la vitesse maximale v_{\max} est atteinte : $v_{\max} = 375 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

b. À $t = 20$ s, la vitesse est $v = 200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

c. Entre $t = 0$ s et $t = 20$ s, la variation de la vitesse est de $200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit une augmentation de la vitesse de $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ chaque seconde.

Entre $t = 20$ s et $t = 50$ s, cette augmentation diminue : $\Delta v = 175 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit une augmentation d'environ $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ chaque seconde.

2. Mouvement A → instant t_3 .

Mouvement B → instant t_1 .

Mouvement C → instant t_2 .

3. a. Schéma 1 → instant t_3 .

Schéma 2 → instant t_1 .

Schéma 3 → instant t_2 .

b. Schéma 1 : la somme des forces $\vec{\Sigma}F$ est verticale et orientée vers le haut.

Schéma 2 : la somme des forces $\vec{\Sigma}F$ est verticale et orientée vers le bas.

Schéma 3 : la somme des forces $\vec{\Sigma}F$ est nulle.

c. Lorsque la somme des forces $\vec{\Sigma}F$ est verticale et orientée vers le bas (schéma 2), elle est exercée dans le même sens que le mouvement : le mouvement est accéléré.

Lorsque la somme des forces $\vec{\Sigma}F$ est verticale et orientée vers le haut (schéma 1), elle est exercée dans le sens opposé au mouvement : le mouvement est ralenti.

Lorsque la somme des forces $\vec{\Sigma}F$ est nulle (schéma 3), le mouvement est rectiligne uniforme. Ce qui est en accord avec la réponse donnée en 2.

36 1. La couche d'huile permet de réduire les frottements.

2. Le mouvement est rectiligne accéléré sur la partie inclinée du plan, puis rectiligne uniforme sur sa partie horizontale.

3. a. et b. La bille est soumise à l'action de la Terre et à l'action du plan en bois (la réaction du plan).

$$\vec{\Sigma}F = \vec{P} + \vec{R}$$

Voir représentation ci-contre.

c. La variation du vecteur vitesse de la bille est liée à la somme des forces $\vec{\Sigma}F$.

Le vecteur vitesse varie selon la direction et le sens de $\vec{\Sigma}F$. La vitesse « augmente vers le bas ».

4. a. La bille est soumise à l'action de la Terre et à l'action du plan en bois (la réaction du plan) : voir représentation ci-contre.

b. Ces actions se compensent : $\vec{\Sigma}F = \vec{0}$.

5. Un mouvement peut exister sans action mécanique motrice, c'est-à-dire sans qu'une action agisse sur le système pour entretenir le mouvement. Dans ce cas, le mouvement est rectiligne uniforme.



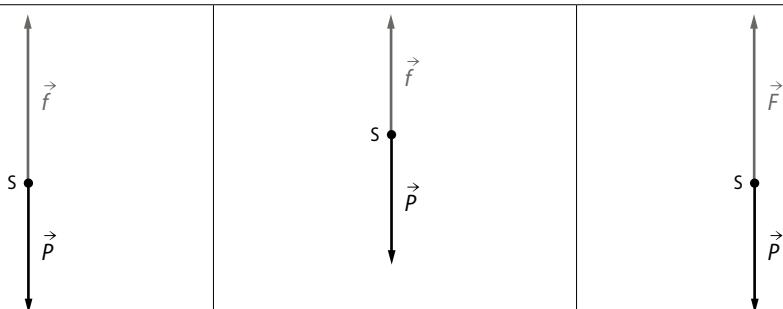
1. Nature des trois phases du mouvement du module

Phase ① Mouvement rectiligne ralenti à l'ouverture du parachute	Phase ② Mouvement rectiligne uniforme	Phase ③ Mouvement rectiligne ralenti lors de l'action des propulseurs
2. Bilan des actions mécaniques qui agissent sur le système		
le système n'est pas soumis à des actions qui se compensent	les actions se compensent	le système n'est pas soumis à des actions qui se compensent

3. a. Modélisation des actions mécaniques qui agissent sur le système

Le poids \vec{P} modélise l'action de la Terre sur le système, la force \vec{f} modélise l'action de l'air sur le système (parachute et capsule). La force \vec{F} modélise l'action des gaz éjectés sur le système.

$P = m \cdot g$ soit $P = 2,6 \times 10^4$ N. Échelle de représentation : 1 cm pour $2,6 \times 10^4$ N.



b. Sens de la somme des forces $\vec{\Sigma F}$:

La somme $\vec{\Sigma F}$ est verticale et orientée vers le haut*.

La somme $\vec{\Sigma F}$ est verticale et orientée vers le haut*.

Dans le cas d'un mouvement **ralenti**, le sens du vecteur vitesse \vec{v} est opposé à celui de la somme des forces $\vec{\Sigma F}$ qui modélisent les actions agissant sur le système.

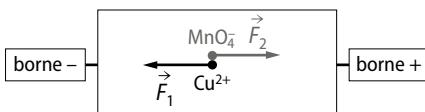
* car le mouvement du système est vertical et s'effectue vers la Terre.

38 1. a. « Les ions sont attirés par la borne de signe opposé à leur charge. »

\vec{F}_1 désigne la force qui modélise l'action de la borne négative - du générateur sur l'ion Cu^{2+} .

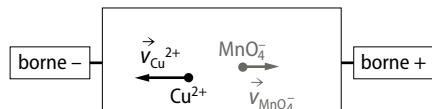
\vec{F}_2 désigne la force qui modélise l'action de la borne positive + du générateur sur l'ion MnO_4^- .

Schéma :



b. Le vecteur vitesse des ions Cu^{2+} varie selon le sens et la direction de \vec{F}_1 , celui des ions MnO_4^- selon le sens et la direction de \vec{F}_2 .

2. a Schéma :



b. « Quelques fractions de seconde plus tard, pour chaque ion, les frottements dus à la solution conductrice compensent l'action attractive des électrodes. » : chaque ion est alors soumis à des actions mécaniques qui se compensent et leur mouvement devient donc rectiligne et uniforme (d'après le principe d'inertie).

3. Lors de la mise en marche du générateur, les actions mécaniques qui agissent sur des ions de charges différentes étant de sens opposés, la variation du vecteur vitesse de chaque type d'ions s'effectue dans un sens différent. Cela permet leur séparation.

39 ■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Mouvement d'un avion

■ p. 192

Cette animation fait apparaître les forces qui modélisent les actions mécaniques de l'air sur un avion en vol.

EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

Un avion en **mouvement** dans l'air atmosphérique est soumis à diverses actions mécaniques exercées d'une part par l'air et d'autre part par la Terre.

Son poids \vec{P} modélise l'action exercée par la Terre : cette force est verticale et orientée vers le bas.

La portance \vec{F}_1 modélise l'action exercée par l'air sur les ailes de l'avion en mouvement : elle est verticale et orientée vers le haut. Son intensité diminue lorsque la vitesse de l'avion est réduite.

La traînée \vec{f} modélise les frottements de l'air sur l'avion : il s'agit d'une force horizontale et opposée au mouvement. L'intensité des frottements est d'autant plus importante que la vitesse de l'avion est grande.

Enfin, la poussée \vec{F}_2 modélise l'action de l'air sur l'hélice en rotation de l'avion. Cette force est horizontale et orientée vers l'avant de l'appareil, elle permet le mouvement de l'appareil.

Lorsque ces quatre actions se compensent, la **somme des forces $\Sigma\vec{F}$ qui modélisent ces actions mécaniques agissant sur le système** (avion) est nulle : $\Sigma\vec{F} = \vec{P} + \vec{F}_1 + \vec{f} + \vec{F}_2 = \vec{0}$.

D'après le **principe d'inertie**, puisque l'avion n'est soumis à aucune action, alors l'avion est animé d'un mouvement rectiligne uniforme : $\vec{v} = \text{constante}$.

Lors d'une panne moteur (ou d'une réduction de la vitesse de rotation de l'hélice), la valeur de la poussée diminue dans un premier temps. L'avion n'est alors plus soumis à des actions qui se compensent : $\Sigma\vec{F} = \vec{P} + \vec{F}_1 + \vec{f} + \vec{F}_2 \neq \vec{0}$. La **somme des forces $\Sigma\vec{F}$ qui modélisent ces actions mécaniques agissant sur le système** (avion) est horizontale et orientée vers l'arrière de l'appareil. Le vecteur vitesse de l'avion varie.

La **variation de ce vecteur vitesse** s'effectue selon la direction et le sens de $\Sigma\vec{F}$, c'est-à-dire dans le sens opposé au mouvement. La vitesse de l'appareil diminue et le mouvement est ralenti.

Si la panne persiste, alors $\vec{F}_2 = \vec{0}$. La vitesse de l'appareil devient de plus en plus faible entraînant une baisse de la portance \vec{F}_1 et la traînée \vec{f} .

$\Sigma\vec{F} = \vec{P} + \vec{F}_1 + \vec{f} \neq \vec{0}$ et $\Sigma\vec{F}$ est alors incliné vers le bas.

La vitesse de l'appareil diminue toujours et sa trajectoire est curviligne.

La **variation du vecteur vitesse** s'effectue toujours selon la direction et le sens de $\Sigma\vec{F}$, c'est-à-dire dans le sens opposé au mouvement et vers le bas.

40 Lors de l'ouverture du parachute, l'action de l'air sur le système (parachute + parachutiste) l'emporte sur l'action de la Terre. En effet, en raison de la vitesse et de la surface de contact dont les valeurs sont importantes, l'intensité des forces de frottements de l'air est bien supérieure à celle du poids. La somme des forces est alors verticale et orientée vers le haut ; elle est opposée au sens du mouvement. Le vecteur vitesse variant dans le même sens que la somme des forces, le mouvement est ralenti.

■ Acquérir des compétences

■ p. 193

41 ► Analyse

1. a. Felix Baumgartner atteint sa vitesse maximale pour une altitude de 27,8 km.

b. Si la masse volumique ρ de l'air diminue, alors la valeur f de la force qui modélise l'action de l'air est plus faible (**doc. 2**).

c. Pendant les premiers instants du saut, pour des altitudes comprises entre 40 km et 30 km, la masse volumique de l'air est très faible (quasi nulle d'après le **document 3**). Les frottements de l'air sont alors négligeables par rapport au poids de Felix Baumgartner. Il est donc uniquement soumis à l'action de la Terre.

2. D'après le **document 3**, la masse volumique de l'air augmente lorsque l'altitude diminue.

D'après le **document 2**, pour une vitesse donnée, les frottements de l'air deviennent plus intenses lorsque la masse volumique de l'air augmente.

Avant l'ouverture du parachute, la valeur des forces de frottements est supérieure au poids du système. La somme des forces qui modélisent les actions agissant sur Felix Baumgartner est donc verticale et orientée vers le haut : la vitesse diminue.

3. On peut voir que les actions qui agissent sur Felix Baumgartner se compensent lorsque son mouvement est rectiligne et uniforme.

À partir du graphique (**doc. 1**) donnant l'évolution de la vitesse au cours du temps, on peut identifier trois instants pour lesquels la vitesse de chute verticale se stabilise (c'est-à-dire reste quasiment constante) :

- à $t = 4 \text{ min } 18 \text{ s}$ et jusqu'à l'ouverture du parachute (une vitesse proche de $202 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ est quasi constante) ;

- à $t = 54 \text{ s}$, l'instant où la vitesse maximale est atteinte ;

- à $t = 5 \text{ min}$ et jusqu'à l'arrivée au sol.

> Synthèse

Lors de sa chute verticale, Felix Baumgartner est soumis à deux actions mécaniques : l'action de la Terre, modélisée par le poids \vec{P} et l'action de l'air, modélisée par les forces de frottements \vec{f} .

Si la valeur du poids P peut être considérée comme quasi constante pendant la chute, la valeur des forces de frottements f dépend fortement de la vitesse du système et de la masse volumique de l'air. De ce fait, la somme des forces $\Sigma\vec{F} = \vec{P} + \vec{f}$ change de sens au cours de la chute, ce qui conduit à différentes phases pour le mouvement :

- le mouvement est rectiligne accéléré lorsque $P > f$ car, dans ce cas, la somme des forces $\Sigma\vec{F}$ est orientée vers le bas et dans le même sens que le vecteur vitesse \vec{v} ;

- le mouvement est rectiligne uniforme lorsque $P = f$ car la somme des forces $\Sigma\vec{F}$ est alors nulle. Cela se produit à différents instants de la chute (pendant un très court instant lorsque la vitesse maximale est atteinte, quelques secondes avant l'ouverture du parachute, puis lors de la descente finale, parachute ouvert) ;

- le mouvement est rectiligne ralenti lorsque $P < f$ car, dans ce cas, la somme des forces $\Sigma\vec{F}$ est orientée vers le haut et dans un sens opposé du vecteur vitesse \vec{v} . Cela se produit lorsque, l'altitude diminuant, la masse volumique de l'air augmente et lors de l'ouverture du parachute.

42 > Le problème à résoudre

Le système d'étude est la « jeune fille qui saute ».

Bilan des actions :

Le système est soumis à deux actions mécaniques : l'action de la Terre, modélisée par son poids \vec{P} et l'action de l'élastique, modélisée par la tension \vec{T} .

\vec{P} et \vec{T} sont deux forces verticales, l'une est orientée vers le bas (le poids) alors que l'autre est orientée vers le haut (la tension de l'élastique).

\vec{T} est nulle lorsque l'élastique est détendu.

La somme des forces est donc : $\Sigma\vec{F} = \vec{P} + \vec{T}$.

Identification des phases du mouvement :

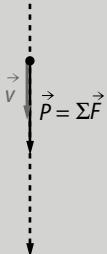
D'après les deux graphiques, on distingue trois phases dans le mouvement (voir tableau ci-dessous). L'action de l'élastique l'emporte sur celle de la Terre de $t_1 = 2,5$ s à $t = 6,3$ s.

Phase ① :

Le mouvement est rectiligne accéléré de t_0 à $t_1 = 2,5$ s.

Le vecteur vitesse \vec{v} est vertical, orienté vers le bas et sa valeur augmente.

De t_0 à t_1 , la somme des forces $\Sigma\vec{F} = \vec{P}$.



Phase ② :

Le mouvement est rectiligne ralenti de t_1 à $t_2 = 4,7$ s.

Le vecteur vitesse \vec{v} est vertical, orienté vers le bas et sa valeur diminue.

De t_1 à t_2 , le mouvement étant ralenti, la somme des forces $\Sigma\vec{F} = \vec{P} + \vec{T}$ est opposée au vecteur vitesse \vec{v} : $\Sigma\vec{F}$ est donc orientée vers le haut, $T > P$ et l'action de l'élastique l'emporte sur celle de la Terre.



Phase ③ :

Le mouvement est rectiligne accéléré de t_2 à $t = 6,3$ s environ.

Le vecteur vitesse \vec{v} est vertical, orienté vers le haut et sa valeur augmente.

De t_2 à $t = 6,3$ s, le mouvement étant accéléré, la somme des forces $\Sigma\vec{F} = \vec{P} + \vec{T}$ est de même sens que le vecteur vitesse \vec{v} :

$\Sigma\vec{F}$ est donc orientée vers le haut, $T > P$ et l'action de l'élastique l'emporte sur celle de la Terre.



43 > Démarche experte

Il faut d'abord réaliser le bilan des actions mécaniques agissant sur le boulet, puis s'intéresser au mouvement décrit par le boulet.

Ce bilan est identique pour chacune des situations. Le boulet est soumis à deux actions mécaniques : l'action de la Terre, modélisée par le poids du boulet, et l'action du plancher du bateau, modélisée

par la réaction du bateau. Ces deux forces sont opposées et les actions mécaniques qu'elles modélisent se compensent. D'après le principe d'inertie, puisque le boulet est soumis à des actions qui se compensent, alors il est soit au repos, soit en mouvement rectiligne uniforme.

Lorsque le bateau se déplace à vitesse constante, son mouvement est rectiligne uniforme dans le référentiel terrestre alors qu'il est au repos dans le référentiel du bateau. Ces deux états sont en accord avec le principe d'inertie.

Lorsque le bateau freine, son mouvement est encore rectiligne uniforme dans le référentiel terrestre. Néanmoins, il devient rectiligne accéléré dans le référentiel du bateau. Seul ce dernier état n'est pas en accord avec le principe d'inertie.

► Démarche avancée

1. Le boulet est soumis à deux actions mécaniques qui se compensent : l'action de la Terre, modélisée par son poids \vec{P} et l'action du pont, modélisée par la réaction \vec{R} .

Schéma :



2. a. Dans le référentiel terrestre, le mouvement du boulet est rectiligne et uniforme lorsque le bateau se déplace à vitesse constante comme lorsque le bateau ralentit (le boulet persévère dans son mouvement en ligne droite et à vitesse constante ; c'est le bateau qui freine).

b. Dans le référentiel du bateau, le boulet est immobile lorsque le bateau se déplace à vitesse constante, mais décrit un mouvement rectiligne accéléré lorsque le bateau ralentit (le boulet se met en mouvement et se déplace vers l'avant du bateau).

3. Dans le référentiel terrestre, le principe d'inertie permet d'interpréter le mouvement du boulet dans les deux situations. Le référentiel terrestre est galiléen.

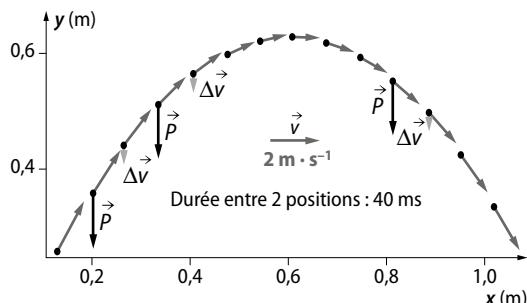
Dans le référentiel du bateau, le principe d'inertie permet d'interpréter le mouvement du boulet uniquement lorsque le bateau est en mouvement rectiligne uniforme. Il n'est plus valable lorsque le bateau freine. Dans ce cas, le référentiel du bateau n'est pas un référentiel galiléen.

44 1. On modélise le mouvement du skieur par le mouvement d'une balle lancée non verticalement vers le haut.

Protocole expérimental :

- Positionner la webcam afin de cadrer la scène, puis filmer la balle en mouvement.
- Choisir un point qui modélise l'objet (son centre) et repérer sa position, image par image, à l'aide du logiciel de pointage.
- Imprimer le document qui recense l'ensemble des pointages effectués.
- Tracer le vecteur vitesse du centre de la balle à deux instants successifs. En déduire la direction et le sens de la variation $\Delta\vec{v}$ du vecteur vitesse.
- Faire le bilan des actions qui agissent sur la balle. Les représenter sur un schéma par des vecteurs et en déduire la somme des forces $\Sigma\vec{F}$.
- Comparer la direction et le sens de la variation $\Delta\vec{v}$ du vecteur vitesse à ceux de la somme des forces $\Sigma\vec{F}$.

2. a.



b. La variation $\Delta\vec{v}$ du vecteur vitesse est verticale et orientée vers le bas (la Terre). Elle est de même direction et de même sens que la somme des forces : $\Sigma\vec{F} = \vec{P}$.

c. Pour deux instants successifs, la variation de la vitesse est représentée par un vecteur $\Delta\vec{v}$ de longueur environ égale à 0,2 cm, soit d'après l'échelle du document : $\Delta v = 0,38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

La durée entre deux positions successives étant de 40 ms, la variation de la vitesse est de $9,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ chaque seconde, soit $9,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Cette valeur correspond à l'accélération de la pesanteur ou intensité de pesanteur $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Un objet en chute libre subit une variation verticale de sa vitesse de $9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ chaque seconde.

Mouvement et interactions

1. DÉCOLLAGE D'UN DRONE

1. Le système d'étude est le drone et le référentiel est le sol.

2. a. Le drone s'élève verticalement vers le haut, donc le vecteur déplacement du drone est vertical, dirigé vers le haut.

b. Le graphique (doc. 1) de l'évolution de l'altitude z en fonction du temps t est une courbe dont la pente est de plus en plus importante. Ce qui signifie que le vecteur vitesse a une valeur qui augmente dans le temps (le vecteur vitesse est dirigé verticalement vers le haut comme le vecteur déplacement du drone).

c. Le drone a un mouvement rectiligne accéléré.

3. a. En absence de vent, deux actions mécaniques agissent sur le drone :

- l'action de la Terre, modélisée par le poids \vec{P} ;
- l'action de poussée qui agit sur le drone, modélisée par la force \vec{F} .

b. Schéma :



c. Le décollage est possible seulement si la valeur du poids est inférieure à la valeur de la force de poussée : $P < F$.

4. a. Le décollage n'est plus possible si la valeur de la force poids est supérieure à la valeur de la force de poussée : $P > F$.

La masse du drone est $m = 110 \text{ g} = 0,110 \text{ kg}$ et la masse de la webcam est m_C .

$$(m + m_C) \cdot g > F$$

$$m \cdot g + m_C \cdot g > F$$

$$m_C \cdot g > F - m \cdot g$$

$$m_C > \frac{F}{g} - m$$

$$m_C > \frac{F}{9,8} - 0,110$$

Si la masse m_C est supérieure à $\frac{F}{9,8} - 0,110 \text{ kg}$, alors le décollage n'est plus possible.

b. La webcam étant fixé sur le drone, le drone est fixe (n'est pas en mouvement) par rapport à la webcam.

2. ATERRISSAGE DE CURIOSITY SUR MARS

1. a. La valeur du vecteur vitesse de Curiosity est de $75 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

b. Les caractéristiques du vecteur vitesse de Curiosity : il est dirigé verticalement, vers le bas et sa valeur reste constante. Donc le vecteur vitesse est constant.

c. Le mouvement de Curiosity est rectiligne uniforme.

d. Le mouvement étant rectiligne uniforme, d'après le principe d'inertie, on peut dire que les forces (tension des filins et poids de Curiosity) qui modèlissent les actions mécaniques agissant sur Curiosity se compensent (donc $\vec{T} = \vec{P}$).

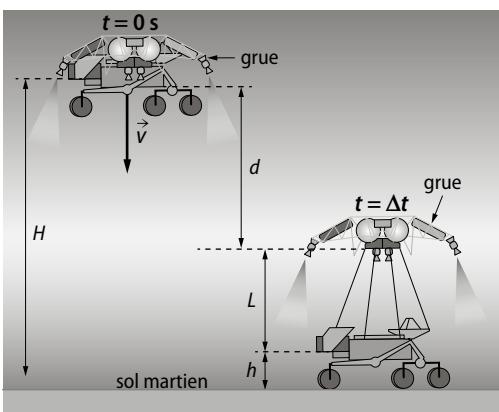
Schéma :



e. On a : $T = P$ donc $T = m \cdot g = 900 \times 3,7$
soit $T = 3\,300 \text{ N}$.

2. On cherche à estimer la durée Δt de la phase de descente du robot Curiosity entre le moment où la grue commence à descendre et son atterrissage sur le sol martien.

Schématisons la situation et résumons les données :



Données :

- Altitude H au début de la descente : $H = 20 \text{ m}$
- Vitesse v de la grue G par rapport au sol martien S : $v_{G/S} = 0,75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Longueur des filins déployés et tendus : $L = 7,50 \text{ m}$
- Hauteur h du robot : $h = 2,2 \text{ m}$

Le robot Curiosity doit parcourir une distance d pendant une durée Δt :

$$v = \frac{d}{\Delta t} \text{ donc } \Delta t = \frac{d}{v} = \frac{H - L - h}{v} \text{ soit :}$$

$$\Delta t = \frac{20 - 7,5 - 2,2}{0,75}$$

$$\Delta t = 14 \text{ s}$$

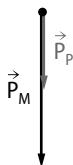
3. EXPÉRIENCE DE PHYSIQUE SUR LA LUNE

a. Les frottements étant négligeables sur la Lune, la plume comme le marteau à l'instant où ils sont lâchés ne sont soumis qu'à l'action de la Lune, qui est modélisée par le poids pour le marteau, et par le poids pour la plume.

b. L'expression des valeurs des forces qui modélisent ces actions mécaniques en fonction de l'intensité de pesanteur lunaire g_L est :

$$\mathbf{P}_M = m_M \cdot \mathbf{g}_L \text{ et } \mathbf{P}_P = m_P \cdot \mathbf{g}_L$$

Schéma :



a. Le graphique B correspond à la trajectoire du point M.

b. Le graphique A correspond à l'évolution de l'altitude du point M en fonction du temps.

a. • À $t = 0 \text{ s}$, $y = 1,5 \text{ m}$.

À $t = 0,25 \text{ s}$, $y = 1,45 \text{ m}$.

La valeur du vecteur vitesse v_1 entre les instants $t = 0 \text{ s}$ et $t = 0,25 \text{ s}$ est :

$$v_1 = \frac{1,5 - 1,45}{0,25 - 0} = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

• À $t = 0,5 \text{ s}$, $y = 1,3 \text{ m}$.

À $t = 0,75 \text{ s}$, $y = 1,05 \text{ m}$.

La valeur du vecteur vitesse v_2 entre les instants $t = 0,5 \text{ s}$ et $t = 0,75 \text{ s}$ est :

$$v_2 = \frac{1,3 - 1,05}{0,75 - 0,5} = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

b. La valeur du vecteur vitesse du point M augmente lors de la chute.

c. Cette variation du vecteur vitesse est cohérente avec la contraposée : la somme des forces n'étant pas nulle, la vitesse varie au cours du temps.

4. Le point M a un mouvement rectiligne accéléré.

a. D'après le graphique A, 4 carreaux correspondent à $0,5 \text{ s}$, donc 11 carreaux ($y = 0$) correspondent à :

$$\frac{11 \times 0,5}{4} = 1,37 ; \text{ la durée de chute du point M est } \Delta t = 1,37 \text{ s.}$$

b. La vitesse v moyenne de chute est :

$$v = \frac{h}{\Delta t} = \frac{1,50}{1,37} = 1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

4. LA MISSION PHILAE

1. L'expression de la force gravitationnelle $F_{C/P}$ exercée par la comète C sur Philae P est :

$$F_{C/P} = G \cdot \frac{m_C \cdot m_P}{R_C^2}$$

avec m_C la masse de la comète, R_C le rayon de la comète et m_P la masse de Philae.

a. $P_P = F_{C/P}$ alors :

$$m_P \cdot g_C = G \cdot \frac{m_C \cdot m_P}{R_C^2}$$

$$g_C = G \cdot \frac{m_C}{R_C^2}$$

$$g_C = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{10 \times 10^9 \times 10^3}{(2,5 \times 10^3)^2}$$

$$g_C = 1,1 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ou } \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

La valeur de l'intensité de la pesanteur g_C sur la comète est $1,1 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

3. La phrase du document 2 « Philae pèse 100 kg sur Terre et 1 g sur la comète. » confond le poids P (exprimé en Newton) et la masse m (exprimée en kg).

Philae a toujours une masse de 100 kg sur la comète. Par contre, c'est son poids qui est 10^5 fois plus faible sur la comète que sur la Terre car l'intensité de la pesanteur y est 10^5 fois plus faible que sur la Terre :

$$\frac{g_C}{g_T} = \frac{1,10 \times 10^{-4}}{10} = 1,1 \times 10^{-5}$$

$$4. \text{ a. } v = \frac{d}{\Delta t} \text{ donc } \Delta t = \frac{d}{v}$$

$$v = \frac{20}{3,5} = 5,7 \text{ h}$$

La valeur de la durée de la phase d'atterrissement de Philae est 5,7 h.

b. La vitesse de Philae étant constante, le mouvement est rectiligne uniforme, les forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur Philae se compensent :

- l'action de la comète, modélisée par le poids \vec{P} ;

- l'action de poussée (de réacteur) qui agit sur Philae, modélisée par la force \vec{F} .



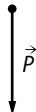
5. AU-DESSUS DU CANAL DE CORINTHE

1. Le système est R. Maddison et sa moto.

Le référentiel d'étude est le sol.

2. a. Si on néglige les frottements de l'air, la seule action mécanique qui agit sur R. Maddison et sa moto est l'action de la Terre, modélisée par le poids.

b. Schéma :



3. a. Schéma :



b. La valeur du vecteur vitesse est constante (l'intervalle entre les images de la moto est constant), mais sa direction est modifiée, donc le vecteur vitesse varie au cours du temps.

c. Cette variation du vecteur vitesse est cohérente avec la contraposée : la somme des forces n'étant pas nulle, la vitesse varie au cours du temps.

4. On peut dire que le mouvement du système est uniforme selon l'axe Ox car la vitesse v_x est quasi-constante, ce qui est cohérent avec le fait que le poids est dirigé selon l'axe Oy.

5. La meilleure estimation de la valeur de vitesse v_x est la moyenne des valeurs de vitesse v_x :

$$v_x = \frac{28,3 + 29,1 + 28,7 + 29,0 + 27,7 + 29,0}{6}$$

Ainsi : $v_x = 28,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

On détermine l'incertitude-type u_v à partir de l'écart-type s_v .

L'incertitude-type u_v est donnée par l'expression

$$u_v = \frac{s_v}{\sqrt{N}} \text{ où } N \text{ est le nombre de mesures effectuées,}$$

ici $N = 6$.

À l'aide de la calculatrice, on trouve : $s_v = 0,543$.

$$u_v = \frac{0,543}{\sqrt{6}} = 0,170 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$u_v \approx 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

6. On peut schématiser la situation en sortie de tremplin ainsi :



On écrit alors :

$$\cos \alpha = \frac{v_{0x}}{v_0} \text{ donc } v_0 = \frac{v_{0x}}{\cos \alpha}.$$

Comme $v_x = \text{cte}$, on a : $v_{0x} = v_x$.

$$v_0 = \frac{28,6}{\cos 33} \text{ soit } v_0 = 34,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

D'après l'énoncé, $v_0 = 125 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,

$$\text{soit après conversion } v_0 = \frac{125}{3,6} = 34,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Les résultats sont cohérents.

Émission et perception d'un son

LE PROGRAMME

• 1. Émission et perception d'un son

La partie « Acoustique » vise à consolider les connaissances de collège : des schémas explicatifs de l'émission, de la propagation et de la réception sont maintenant proposés.

L'étude de la perception d'un son est l'occasion d'initier les élèves à la lecture d'une échelle non linéaire et de les sensibiliser aux dangers liés à l'exposition sonore.

Les domaines d'application sont multiples : musique, médecine, sonar, audiométrie, design sonore, etc.

Les outils d'investigation tels que capteurs (éventuellement ceux d'un smartphone), microcontrôleurs, logiciels d'analyse ou de simulation d'un signal sonore, sont également très variés et permettent d'illustrer le caractère opérationnel de la physique-chimie.

Notions abordées au collège (cycle 4)

Vitesse de propagation.

Notion de fréquence : sons audibles, infrasons et ultrasons.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Émission et propagation d'un signal sonore.	Décrire le principe de l'émission d'un signal sonore par la mise en vibration d'un objet et l'intérêt de la présence d'une caisse de résonance. Expliquer le rôle joué par le milieu matériel dans le phénomène de propagation d'un signal sonore.
Vitesse de propagation d'un signal sonore.	Citer une valeur approchée de la vitesse de propagation d'un signal sonore dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées. <i>Mesurer la vitesse d'un signal sonore.</i>
Signal sonore périodique, fréquence et période. Relation entre période et fréquence.	Définir et déterminer la période et la fréquence d'un signal sonore notamment à partir de sa représentation temporelle. <i>Utiliser une chaîne de mesure pour obtenir des informations sur les vibrations d'un objet émettant un signal sonore.</i> <i>Mesurer la période d'un signal sonore périodique.</i> <i>Utiliser un dispositif comportant un microcontrôleur pour produire un signal sonore.</i>
Perception du son : lien entre fréquence et hauteur ; lien entre forme du signal et timbre ; lien qualitatif entre amplitude, intensité sonore et niveau d'intensité sonore. Échelle de niveaux d'intensité sonore.	Capacités mathématiques : identifier une fonction périodique et déterminer sa période. Citer les domaines de fréquences des sons audibles, des infrasons et des ultrasons. Relier qualitativement la fréquence à la hauteur d'un son audible. Relier qualitativement intensité sonore et niveau d'intensité sonore. Exploiter une échelle de niveau d'intensité sonore et citer les dangers inhérents à l'exposition sonore. <i>Enregistrer et caractériser un son (hauteur, timbre, niveau d'intensité sonore, etc.) à l'aide d'un dispositif expérimental dédié, d'un smartphone, etc.</i>

SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis au niveau du cycle 4 que si la lumière peut se propager dans le vide (on voit le Soleil à distance alors que sa lumière a traversé le vide de l'espace), le son, lui, a besoin d'un milieu matériel pour se propager.

> Exemple de réponse attendue

Les bruitages qui accompagnent les scènes de combat dans l'espace, dans les films de science-fiction ou les jeux vidéo, ne correspondent pas à la réalité. Le son ne peut pas se propager dans le vide (contrairement à la lumière), il a besoin d'un milieu matériel pour se propager.

> En classe de 2^{de}

Dans une approche spiralaire de l'enseignement de la physique-chimie, la propagation du son est évoquée dans ce chapitre.

Dans l'**activité 1**, construite sous forme de « classe inversée », les élèves pourront se remémorer les notions abordées au cycle 4 sur ce sujet. Ainsi, une vidéo présentant un émetteur sonore sous une « cloche » dans laquelle on fait le vide illustre la nécessité du milieu matériel pour la propagation du son.

SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier un deuxième acquis du cycle 4, nécessaire à ce chapitre, qui porte sur la vitesse du son.

Pour cette situation, réinvestir la relation entre la distance parcourue par le son, la durée de propagation du son et sa vitesse.

> Exemple de réponse attendue

Il existe une relation mathématique entre la distance d parcourue par le son, la durée Δt de propagation du son et sa vitesse v :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

On cherche ici la distance d parcourue par le son :

$$d = v \times \Delta t$$

$AN : d = 340 \times 3 = 1\,020 \text{ m.}$

Comme la durée (3 s) n'est donnée qu'avec un chiffre significatif, on exprimera le résultat qu'avec un chiffre significatif, donc $d = 1\,000 \text{ m} = 1 \text{ km.}$

> En classe de 2^{de}

Là aussi dans une logique spiralaire, la vitesse du son est traitée dans le programme de 2^{de} (on parlera de vitesse du signal sonore).

Dans l'**activité 2**, construite sous forme de démarches différencierées, les élèves seront amenés suivant leur niveau à élaborer et à mettre en œuvre un protocole expérimental pour mesurer cette vitesse. Les attendus dépendront du niveau d'approche choisi.

SITUATION 3

Dans cette troisième situation, les élèves sont invités à se rappeler le domaine d'audibilité d'un son pour l'oreille humaine, vu au cycle 4. Ce domaine est borné par les infrasons (en dessous de 20 Hz) et les ultrasons (au-dessus de 20 kHz). Cette situation permet aussi d'évoquer à nouveau la notion de fréquence abordée aussi en cycle 4.

> Exemple de réponse attendue

Les ultrasons produits par une chauve-souris sont inaudibles pour l'oreille humaine car leur fréquence est supérieure à 20 kHz et l'oreille humaine ne perçoit que les sons compris entre 20 Hz et 20 kHz.

> En classe de 2^{de}

Le terme de fréquence d'un signal sonore est abordé en 2^{de}, mais il s'agit là de le relier à la période de ce signal. Ce point sera abordé dans l'**activité 3** sous forme de démarche expérimentale. Les élèves verront aussi, dans l'**activité 4** qui est une démarche d'investigation, qu'en acoustique musicale, on parlera de la hauteur du son pour désigner la fréquence du signal sonore correspondant.

ACTIVITÉS**p. 202 ■ ACTIVITÉ 1****Émission et propagation du son Classe inversée****Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux****■ Vidéos**

(→ disponibles par l'application *Bordas Flashpage*, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Le réveil dans la cloche à vide

1 : 30 ■ p. 202

Cette vidéo d'expérience montre l'atténuation du son quand on fait le vide dans une « cloche » à vide.

► Onde sonore

2 : 05 ■ p. 202

Cette vidéo permet de visualiser la propagation d'une onde sonore dans l'air.

Sont également abordés succinctement la réception d'un son par l'oreille et les domaines de fréquence perceptibles par l'oreille humaine.

► L'oreille

1 : 44 ■ p. 202

Cette vidéo permet de comprendre comment le son est transmis du tympan au cerveau. Elle aborde le danger d'une exposition sonore trop importante.

■ Programme Arduino

■ p. 202

(→ disponible sur les manuels numériques enseignant et élève, et sur le site lycee.editions-bordas.fr)

Le programme Arduino du **document 5** permet de commander le microcontrôleur afin qu'un petit haut-parleur branché à une de ses sorties numériques génère un son.

Le programme demande au microcontrôleur de changer l'état de sortie (« 1 » ou « 0 ») toutes les 1 136 microsecondes.

La période du signal sonore généré est :

$$2 \times 1\,136 = 2\,272 \mu s,$$

donc sa fréquence est de 440 Hz.

Les programmes Arduino présentent une structure commune : la partie d'initialisation et la partie de commande.

Partie d'initialisation

```
void setup() {  
pinMode(3,OUTPUT); //on prépare le pin 3  
en mode sortie  
}
```

Partie de commande

```
void loop() {  
digitalWrite(3,0); //état bas  
delayMicroseconds(1136); //on attend  
1136 microsecondes  
digitalWrite(3,1); //état haut  
delayMicroseconds(1136); //on attend  
1136 microsecondes  
}
```

Dans la **partie d'initialisation**, il est nécessaire de définir les éléments de la carte qui seront utilisés : « pinMode(3,OUTPUT) » pour indiquer que le signal de sortie sera sur la broche 3 (sortie numérique).

Dans la **partie de commande**, il est demandé :

- de positionner la sortie numérique de la broche 3 en position « 0 » qui est la position basse (« digitalWrite(3,0) ») pendant 1 136 µs (« delayMicroseconds(1136) »);
- de positionner la sortie numérique de la broche 3 en position « 1 » qui est la position haute (« digitalWrite(3,1) ») pendant 1 136 µs (« delayMicroseconds(1136) »).

➤ Exploitation et analyse

1 Quand on fait le vide dans une enceinte contenant un émetteur sonore, la perception du son provenant de l'émetteur diminue progressivement.

2 a. Un émetteur sonore produit un son en faisant vibrer un objet. Ce son peut être amplifié par une cavité résonnante.

b. Le programme utilisé propose :

- un état bas 1 136 µs ;

```
digitalWrite(3,0); //état bas  
delayMicroseconds(1136); //on attend 1136  
microsecondes
```

- un état haut 1 136 µs.

```
digitalWrite(3,1); //état haut  
delayMicroseconds(1136); //on attend 1136  
microsecondes
```

La période T du signal carré généré est donc :

$$T = 2 \times 1\,136 = 2\,272 \mu s = 2,272 ms,$$

ce qui correspond à une fréquence f égale à (T doit être exprimée en s)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,272 \times 10^{-3}} = 440 Hz$$

La fréquence trouvée est égale à 440 Hz, elle est bien située dans le domaine audible (entre 20 Hz et 20 kHz).

3 Lors de la propagation du son, les molécules du milieu ne se propagent pas (elles vibrent sur place), c'est la perturbation qui se propage.

4 a. Un son est perçu par notre oreille si la vibration, issue de l'objet qui émet le son, se propage de proche en proche jusqu'à notre oreille en faisant vibrer le tympan.

b. Un son dont le niveau sonore est trop important peut engendrer des pertes d'audition partielles ou totales irréversibles.

➤ Synthèse

5 Un son est émis par un objet qui vibre.

La vibration se propage de proche en proche dans la matière : cela explique la propagation du son.

p. 203 ■ ACTIVITÉ 2

Vitesse de propagation

du son TP Démarches différencierées

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Exemples de mesures

À la règle ou au mètre-ruban, on lit $d = 37,0$ cm.

Sur l'enregistrement, on lit :

$$\Delta t = (4,3172 - 4,3161) = 0,0011 s$$

$v = \frac{d}{\Delta t}$, on en déduit :

$$v = \frac{0,37}{0,0011}$$

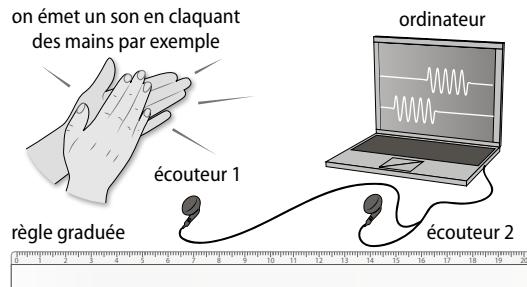
$$v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

La vitesse du son dans l'air est $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

► Démarche experte

Exemple de schéma :

on émet un son en claquant des mains par exemple



Protocole expérimental permettant de déterminer la vitesse du son dans l'air

- Brancher les écouteurs à la sortie audio de l'ordinateur.
- Écarter les écouteurs en mesurant à l'aide d'une règle ou d'un mètre-ruban cet écart qu'on appellera d pour la suite.
- Ouvrir le logiciel de traitement du son. Se placer en mode stéréo.
- Lancer l'acquisition.
- Émettre un bruit en tapant par exemple dans ses mains.
- Stopper l'acquisition et repérer sur l'enregistrement la durée Δt de propagation du son entre le premier écouteur et le second écouteur.
- Calculer et déterminer en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ la vitesse v du son dans l'air : $v = \frac{d}{\Delta t}$

► Démarche avancée

2. a. Le son a une vitesse de propagation car il existe une durée Δt de propagation du son entre le premier écouteur et le second écouteur.

b. À la règle ou au mètre-ruban, lire la distance d parcourue par le son et noter : $d = \dots \text{ cm}$.

(Penser à convertir cette valeur en mètre.)

Sur l'enregistrement, lire Δt la durée de propagation du son :

$$\Delta t = (\text{valeur 1er écouteur} - \text{valeur 2e écouteur})$$

$$\Delta t = \dots \text{ s}$$

c. En déduire v à partir de la relation :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

Effectuer l'application numérique et donner en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ la valeur de la vitesse du son dans l'air.

► Démarche élémentaire

3. a. La relation entre la distance d parcourue par le son et sa durée Δt de propagation est :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

b. À la règle ou au mètre-ruban, mesurer la distance d parcourue par le son et noter : $d = \dots \text{ cm}$. (Penser à convertir cette valeur en mètre.)

Sur l'enregistrement, mesurer Δt la durée de propagation du son entre les deux écouteurs :

$$\Delta t = (\text{valeur 1er écouteur} - \text{valeur 2e écouteur})$$

$$\Delta t = \dots \text{ s}$$

En déduire v à partir de la relation : $v = \frac{d}{\Delta t}$.

Effectuer l'application numérique et donner en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ la valeur de la vitesse du son dans l'air.

p. 204 ■ **ACTIVITÉ 3**

Signal sonore périodique TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

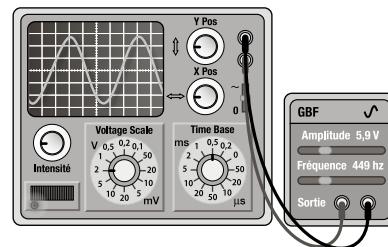
► L'oscilloscope

■ p. 204

Cette animation permet de s'entraîner à la manipulation de l'oscilloscope, à son branchement aux bornes d'un GBF dont on peut varier la fréquence et la tension, et à ses réglages (base de temps et sensibilité verticale) en complément de la fiche pratique 17, p. 314 du livre élève.

■ Exemples de mesures

► Échelle temporelle de l'oscilloscope : $0,5 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$.



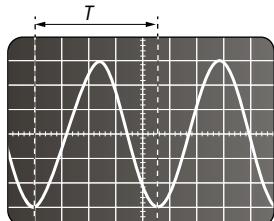
► Exemples de valeurs de couples (f ; T) :

Fréquence f (en Hz)	Période T (en ms)
449	2,3
224	4,5
900	1,2

> Mesures et analyse

1 a. Le signal étudié est périodique car l'enregistrement présente la répétition régulière d'un même motif.

b.



D'après l'écran ci-dessus et avec une base de temps réglée à $0,5 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$:

$$T = 4,5 \text{ div} \times 0,5 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1} = 2,3 \text{ ms}$$

La période T du signal est 2,3 ms.

La fréquence f donnée par le GBF est : $f = 449 \text{ Hz}$.

2 a. Un son grave a une fréquence faible et un son aigu a une fréquence élevée.

b. Si on trace la fréquence f (en Hz) en fonction de l'inverse de la période $\frac{1}{T}$ (T en s), on obtient une droite qui passe par l'origine : $f = \frac{1}{T}$, on peut dire que la fréquence est l'inverse de la période.

3 Quand on fait varier l'intensité sonore, l'amplitude du signal visible à l'oscilloscope est modifiée.

> Conclusion

5 a. Voici la relation qui existe entre la fréquence f et la période T d'un signal périodique : $f = \frac{1}{T}$. (f est exprimée en Hz et T en s.)

b. L'intensité sonore est liée à l'amplitude du signal. Le niveau d'intensité sonore traduit la perception du son par l'oreille humaine. Si on augmente l'intensité sonore, le niveau d'intensité sonore augmente.

p. 205 ■ ACTIVITÉ 4

Perception du son... TP Démarche d'investigation

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

■ Enregistrements d'instruments

■ p. 205

Cette animation permet de visualiser les enregistrements de sons de deux instruments différents. L'élève doit savoir qu'à une note est associée une fréquence. Donc, si deux instruments de musique jouent la même note, la fréquence des signaux sonores générés est la même.

Si le son perçu diffère d'un instrument à l'autre, c'est qu'il y a un autre paramètre qui intervient. Certains élèves pourront penser à l'amplitude du signal, d'autres à la forme du signal...

> Pistes de résolution

1 La même note jouée par deux instruments de musique a la même hauteur (c'est-à-dire même fréquence). À chaque note correspond une fréquence, donc si on a déterminé la hauteur d'une note jouée par un instrument, on peut en déduire la note jouée.

2 Les enregistrements obtenus d'une même note jouée par deux instruments différents ne présentent pas les mêmes « régularités », on dit que leur timbre est différent.

> Conclusion

3 Les signaux sonores émis par deux instruments de musique différents jouant la même note :
- ont la même hauteur (même fréquence) ;
- ont un timbre différent (la forme du motif est différent) ;
- peuvent avoir une intensité différente (l'amplitude du signal peut être différente) si l'un des instruments a joué plus fort.

EXERCICES

Vérifier l'essentiel

■ p. 210

1 A, B et C. 2 B et C. 3 A et B.

4 B. 5 A et C. 6 A et C.

7 A et B. 8 A et C.

Acquérir les notions

■ Émission et propagation d'un signal sonore

■ p. 211

9 1. a. Un stylo immobile sur une table : pas de signal sonore émis, car il n'y a pas de vibration d'un objet.

b. Une règle métallique qui tombe sur le sol : signal sonore émis, car il y a vibration d'un objet.

c. Une corde de violon frottée par un archet : signal sonore émis, car il y a vibration d'un objet.

2. Dans le cas c., le son est amplifié car il y a une caisse de résonance.

10 1. Quand l'air se raréfie sous la cloche, on constate que le son du réveil est de moins en moins perceptible.

2. Le son a besoin d'un milieu matériel pour se propager. Quand on fait le vide, l'air se raréfie, donc le son peut de moins en moins se propager.

11 Une enceinte qui émet de la musique est une enceinte dont la membrane d'un haut-parleur vibre. Cette vibration entraîne la vibration de l'air environnant, ce qui explique la propagation du son dans l'air. Cette même vibration entraîne la vibration de la flamme de la bougie placée devant l'enceinte.

12 **1.** Le décalage correspond à la durée nécessaire pour que le son puisse se propager. En effet, cette propagation n'est pas instantanée, un signal sonore a une vitesse de propagation.

2. À partir de la relation $v = \frac{d}{\Delta t}$, on en déduit $d = v \cdot \Delta t$.

$d = 340 \times 5 = 1\ 700$ m, donc en respectant le nombre de chiffres significatifs, $d = 2$ km.
L'observateur se trouve à 2 km du volcan.

13 Un signal sonore se propage plus rapidement dans un milieu matériel dense. Donc, le son émis par un train qui circule sur une voie ferrée se propagera plus rapidement dans les rails en fer que dans l'air. En collant leur oreille sur les rails, les bandits peuvent donc anticiper l'arrivée du train.

14 **1.** Les deux paramètres qui influencent la vitesse de propagation d'un signal sonore sont la température et la nature du milieu.

2. a. $v = \frac{d}{\Delta t}$, donc $d = v \cdot \Delta t$.

On a : $\Delta t = 10$ s.

- Dans l'air : $d = 340 \times 10 = 3\ 400$ m = 3,4 km.
- Dans l'eau : $d = 1\ 500 \times 10 = 15\ 000$ m = 15 km.
- Dans le fer : $d = 5\ 130 \times 10 = 51\ 300$ m, donc en respectant le nombre de chiffres significatifs, $d = 51$ km.

b. $v = \frac{d}{\Delta t}$, donc $\Delta t = \frac{d}{v}$.

On a : $d = 1$ km = 1 000 m.

- Dans l'air :

$$\Delta t = \frac{1\ 000}{340} = 2,94 \text{ s, donc en respectant le nombre de chiffres significatifs, } \Delta t = 3 \text{ s.}$$

- Dans l'eau :

$$\Delta t = \frac{1\ 000}{1\ 500} = 0,66 \text{ s, donc en respectant le nombre de chiffres significatifs, } \Delta t = 1 \text{ s.}$$

- Dans le fer :

$$\Delta t = \frac{1\ 000}{5\ 130} = 0,19 \text{ s, donc en respectant le nombre de chiffres significatifs, } \Delta t = 0,2 \text{ s.}$$

15 **1.** Le son met 5 secondes pour parcourir la distance entre la bouche du randonneur et ses oreilles.

$v = \frac{D}{\Delta t}$, donc $D = v \cdot \Delta t$.

$D = 340 \times 5 = 1\ 700$ m. Donc, la paroi rocheuse doit se situer à une distance $d = \frac{D}{2} = 850$ m.

2. Distance minimale parcourue par le son pendant 0,1 s :

$$D_{\min} = v \cdot \Delta t$$

$D_{\min} = 340 \times 0,1 = 34$ m. Donc, la paroi rocheuse doit se situer à une distance $d_{\min} = \frac{34}{2} = 17$ m.

Pour percevoir un écho, le randonneur doit se situer à une distance minimale de 17 m.

► Signaux sonores périodiques ■ p. 212

16 **1. a.** Il s'agit d'un signal périodique car l'enregistrement présente la répétition régulière d'un même motif.

b. C'est le motif bleu qui se répète.

2. La période T de ce signal est :

$$T = 4 \text{ div} \times 1 \text{ s} \cdot \text{div}^{-1} = 4 \text{ s, donc proposition b.}$$

3. La fréquence f du signal est :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ Hz, donc proposition a.}$$

17 **1.** Il s'agit de signaux périodiques car les enregistrements présentent la répétition régulière d'un même motif.

2. La fréquence est la plus élevée dans le cas de l'enregistrement **B**. En effet, sa période est la plus petite. Donc, sa fréquence, qui est l'inverse de la période, est la plus grande.

18 **1.** Il s'agit d'un signal sonore périodique car l'enregistrement présente la répétition régulière d'un même motif.

2. a. La période T de ce signal est :

$$T = 5 \text{ div} \times 0,2 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1} = 1,0 \text{ ms}$$

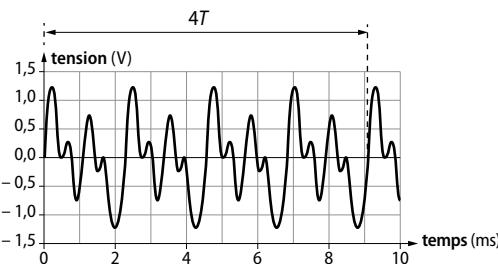
b. La fréquence f du signal est :

(T doit être exprimée en s)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,0 \times 10^{-3}} = 1\ 000 \text{ Hz}$$

19 **1.** Il s'agit d'un signal sonore périodique car l'enregistrement présente la répétition régulière d'un même motif.

2. a. Pour être précis, on va mesurer plusieurs périodes : $4T = 9,0$ ms.



On en déduit la période T de ce signal :

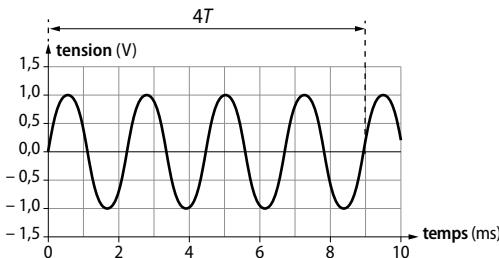
$$T = \frac{9,0}{4} = 2,25 \text{ ms}, \text{ donc en respectant le nombre de chiffres significatifs, } T = 2,3 \text{ ms.}$$

b. La fréquence f du signal est : $f = \frac{1}{T}$.

$$T = 2,3 \text{ ms} = 2,3 \times 10^{-3} \text{ s donc } f = \frac{1}{2,3 \times 10^{-3}} = 440 \text{ Hz.}$$

20 1. La fréquence 440 Hz correspond à la fréquence de vibration du signal sonore.

2. a. Ce signal est périodique car l'enregistrement présente la répétition régulière d'un même motif. Pour être précis, on va mesurer plusieurs périodes : $4T = 9,0 \text{ ms.}$



On en déduit la période T de ce signal :

$$T = \frac{9,0}{4} = 2,25 \text{ ms}, \text{ donc en respectant le nombre de chiffres significatifs, } T = 2,3 \text{ ms.}$$

La période du signal enregistré est 2,3 ms.

b. La fréquence f du signal est : $f = \frac{1}{T}$.

$$T = 2,3 \text{ ms} = 2,3 \times 10^{-3} \text{ s donc } f = \frac{1}{2,3 \times 10^{-3}} = 440 \text{ Hz.}$$

La fréquence du signal enregistré est de 440 Hz, on retrouve bien la fréquence qui caractérise le diapason.

➤ Perception du son

■ p. 213

21 1. Plus la fréquence d'un son est élevée, plus le son est aigu.

La fréquence est plus élevée pour l'enregistrement **B**. En effet, sa période est plus petite ($T_B < T_A$), donc sa fréquence, qui est l'inverse de la période, est plus grande.

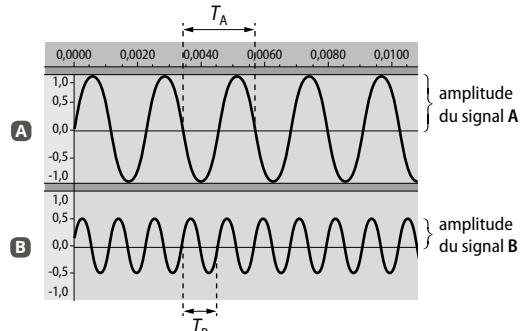
Donc, le son correspondant à l'enregistrement **B** a la fréquence la plus élevée.

2. Plus l'amplitude d'un signal sonore est élevée, plus l'intensité du son est élevée.

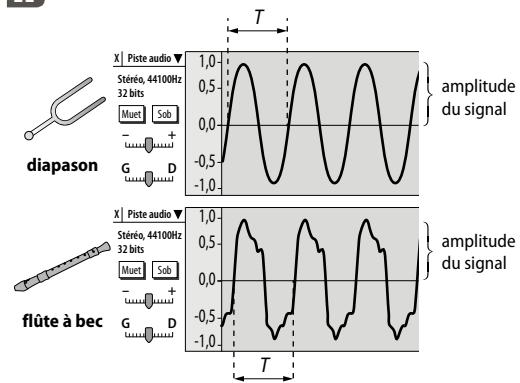
L'amplitude du signal est plus élevée pour l'enregistrement **A**.

Donc, le son correspondant à l'enregistrement **A** a l'intensité du son la plus élevée.

3. Les sons audibles se situent entre 20 Hz et 20 kHz.



22



1. Ces deux sons ont la même hauteur. En effet, ils ont la même fréquence (car ils ont la même période).

Ces deux sons ont des timbres différents. En effet, l'allure de leur motif est différente.

2. Ces deux sons ont la même intensité sonore. En effet, l'amplitude de leur signal est quasi-identique.

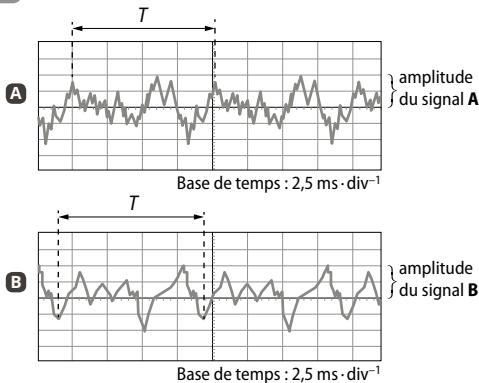
23 1. L'unité du niveau d'intensité sonore est le décibel (dB).

2. Le niveau d'intensité sonore est lié à l'intensité sonore. Plus l'intensité sonore augmente, plus le niveau d'intensité sonore augmente.

L'intensité sonore découle de l'amplitude du signal. Le niveau d'intensité sonore traduit la perception de l'oreille.

3. Le seuil de danger se situe à 85 dB. Cela correspond sur l'échelle donnée au son émis par une tondeuse à gazon.

24



- Ces deux sons ont la même intensité sonore. En effet, l'amplitude de leur signal est quasi-identique.
- Ces deux sons ont la même hauteur. En effet, ils ont la même fréquence car ils ont la même période ($T = 4,0 \text{ div} \times 2,5 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1} = 10 \text{ ms}$).
- Ces deux sons ont des timbres différents. En effet, l'allure de leur motif est différente.

25 1. Le décibel est l'unité du niveau d'intensité sonore.

2. L'intensité sonore est liée à l'amplitude d'un signal sonore.

Le niveau d'intensité sonore traduit la perception par l'oreille humaine du son.

3. Un son dont le niveau sonore est trop important peut engendrer des pertes d'audition partielles et provisoires ou irréversibles.

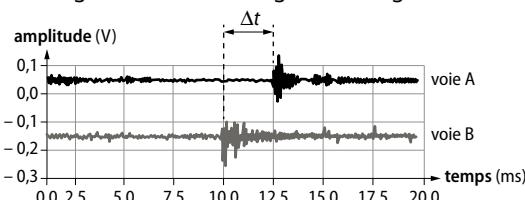
Exercices similaires aux exercices résolus

p. 214 et 215

27 1. $v = \frac{d}{\Delta t}$

$d = 3,75 \text{ m}$. Il faut déterminer Δt .

On trouve Δt sur le document **B** : Δt correspond au décalage entre les deux signaux enregistrés.



$$\Delta t = (12,5 - 10,0) \text{ ms}$$

$$\Delta t = 2,5 \text{ ms}$$

On calcule v :

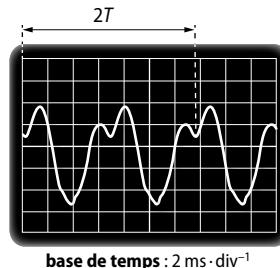
(T doit être exprimée en s)

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{3,75}{2,5 \times 10^{-3}} = \frac{3,75}{0,0025}$$

$$v = 1\ 500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

2. Le milieu de propagation est l'eau car la vitesse du son y est égale à $1\ 500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à 20°C .

29



1. Le plus grand nombre possible de motifs représentés ici est 2, donc on mesure $2T$.

T = nombre de div \times base de temps, ici :

$$2T = 6,8 \times 2$$

$$T = 6,8 \text{ ms}$$

2. Pour trouver la corde qui a vibré, il faut calculer la fréquence $f = \frac{1}{T}$.

(T doit être exprimée en s)

$$f = \frac{1}{6,8 \times 10^{-3}} \text{ donc } f = 150 \text{ Hz.}$$

D'après le document **B** (tableau), il s'agit de la corde ré qui a une fréquence de 146,8 Hz.

Croiser les notions

p. 216

30 1. Le signal sonore résulte d'une vibration d'un objet, ici la cloche qui est frappée.

Il n'y a pas à proprement parler de caisse de résonance ici, c'est la forme particulière de la cloche qui fait office de caisse de résonance.

La vibration créée se propage de proche en proche dans la matière (enchaînement de compression et de dépression).

La vibration est au final canalisée par le long tube cylindrique (comme ce tube est en métal, le son s'y propagera plus rapidement que dans l'eau puisque le métal est plus dense que l'eau) et parvient à l'oreille où elle fait vibrer le tympan.

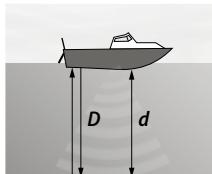
2. La personne sur le bateau récepteur doit réaliser les opérations suivantes :

- déclencher une mesure du temps t à l'instant t_1 où elle voit le signal lumineux, $t = t_1$;
- arrêter la mesure du temps t à l'instant t_2 où elle entend le signal sonore arrivé à son oreille, $t = t_2$.

3. a. Pour déduire de l'expérience la vitesse de propagation du son dans l'eau, il a fallu mesurer la distance d entre les deux bateaux et effectuer le calcul suivant : $v = \frac{d}{t_2 - t_1}$.

b. Le dispositif est imprécis. Il est difficile d'une part de maintenir constant la distance entre deux bateaux et d'autre part de déterminer précisément la durée $(t_2 - t_1)$ d'autant plus que l'erreur due à l'observateur est importante (au niveau du déclenchement et au niveau de l'arrêt de la mesure du temps).

31 1. a. Schéma :

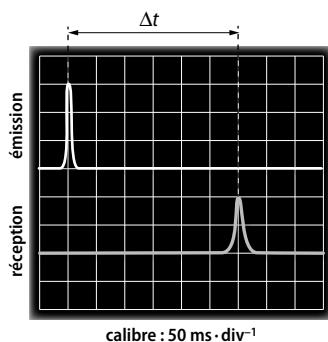


b. $D = 2 \times d$

2. Grâce à l'enregistrement, on détermine la durée Δt écoulée entre l'émission et la réception de l'onde ultrasonore :

Δt = nombre de div \times base de temps

$$\Delta t = 6 \times 50 = 300 \text{ ms} = 0,3 \text{ s}$$



À partir de la relation $v_{\text{son}} = \frac{D}{\Delta t}$, on en déduit :

$$D = v_{\text{son}} \cdot \Delta t$$

La valeur de v_{son} est donnée et on a déterminé Δt .

$D = 2 \times d$ donc :

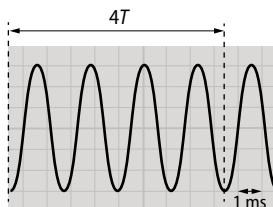
$$d = \frac{v_{\text{son}} \cdot \Delta t}{2} = \frac{1500 \times 0,3}{2} = 225 \text{ m}$$

La profondeur d'eau présente sous la coque du bateau est 225 m.

32 1. a. Le caisson sous le diapason fait office de caisse de résonance.

b. On peut dire que l'onde sonore issue de chaque diapason est une onde périodique car le signal enregistré est périodique (présente plusieurs motifs identiques qui se succèdent).

2. a. • Signal A :



On mesure plusieurs périodes :

$$4T = 9 \text{ div} \times 1 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1} = 9,0 \text{ ms}$$

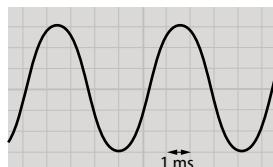
$$\text{Donc } T = \frac{9,0}{4} = 2,3 \text{ ms.}$$

(T doit être exprimée en s)

$$\text{La fréquence du signal est : } f = \frac{1}{T}.$$

$$\text{Donc } f = \frac{1}{2,3 \times 10^{-3}} = 430 \text{ Hz.}$$

• Signal B :



On mesure une période :

$$T = 5 \text{ div} \times 1 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$$

$$\text{Donc } T = 5,0 \text{ ms.}$$

(T doit être exprimée en s)

$$\text{La fréquence du signal est : } f = \frac{1}{T}.$$

$$\text{Donc } f = \frac{1}{5,0 \times 10^{-3}} = 200 \text{ Hz.}$$

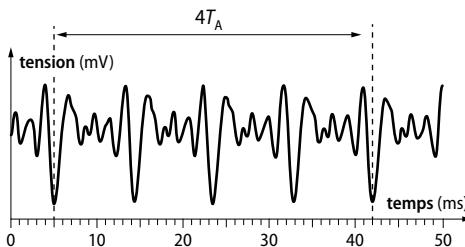
b. À l'aide du tableau, on trouve la note jouée par chaque diapason :

- pour le signal A, la note est *la*₃ ;
- pour le signal B, la note est *la*₂.

Note	Fréquence (en Hz)			
	Octave 1	Octave 2	Octave 3	Octave 4
<i>do</i>	65	131	262	523
<i>ré</i>	73	147	294	587
<i>mi</i>	82	165	330	659
<i>fa</i>	87	175	349	698
<i>sol</i>	98	196	392	784
<i>la</i>	110	220	440	880
<i>si</i>	123	247	494	988

33 1. Une guitare électrique n'a pas besoin d'une cavité résonante car elle est reliée à un amplificateur qui joue le rôle d'une cavité résonante puisqu'il va amplifier le son.

2. a. Sur le signal A, on peut mesurer 4 périodes :



$$4T_A = (42 - 5) \text{ ms}$$

$4T_A = 37 \text{ ms}$ donc la période du signal A est :

$$T_A = 9,3 \text{ ms}$$

b. $f = \frac{1}{T}$

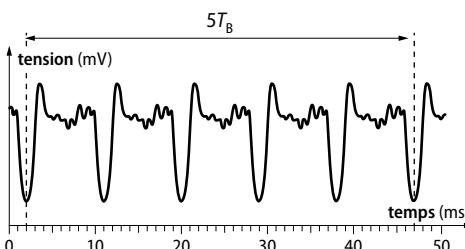
(T doit être exprimée en s)

$$f_A = \frac{1}{9,3 \times 10^{-3}} \text{ donc la fréquence du signal A est :}$$

$$f_A = 110 \text{ Hz}$$

3. a. La hauteur d'un son est sa fréquence.

Sur le signal B, on peut mesurer 5 périodes :



$$5T_B = (47 - 2) \text{ ms}$$

$5T_B = 45 \text{ ms}$ donc la période du signal B est :

$$T_B = 9,0 \text{ ms}$$

f. $f = \frac{1}{T}$

(T doit être exprimée en s)

$$f_B = \frac{1}{9,0 \times 10^{-3}} = 110 \text{ Hz} \text{ donc la fréquence du signal B}$$

est $f_B = 110 \text{ Hz}$.

b. $f_B = f_A$ en tenant compte des chiffres significatifs (ici 2 chiffres significatifs), donc les deux sons ont la même hauteur.

b. Les sons émis par les deux instruments n'ont pas le même timbre car la forme de leur motif n'est pas la même au niveau des deux enregistrements.

34 > Démarche avancée

D'après l'énoncé, à 3 m d'une enceinte, le niveau d'intensité sonore est $L = 109 \text{ dB}$.

On sait que le seuil de danger pour l'oreille humaine se situe à 85 dB : $L_{\text{danger}} = 85 \text{ dB}$.

Lorsqu'on double la distance à la source, le niveau sonore diminue de 6 dB, donc :

- à 6 m de l'enceinte, $L = 109 - 6 = 103 \text{ dB}$; $(6 \text{ m} = 3 \times 2 \text{ m})$

- à 12 m de l'enceinte, $L = 103 - 6 = 97 \text{ dB}$; $(12 \text{ m} = 3 \times 2^2 \text{ m})$

- à 24 m de l'enceinte, $L = 97 - 6 = 91 \text{ dB}$; $(24 \text{ m} = 3 \times 2^3 \text{ m})$

$L = ((109 - 6) - 6) - 6$; $L = 109 - 6 \times 3 \text{ dB}$;

- à une valeur Nm de l'enceinte, $(Nm = 3 \times 2^n \text{ m})$ $L = 109 - 6 \times n \text{ dB}$

$$L = 109 - 6n \text{ dB}$$

Pour atteindre le seuil du danger, L doit être égale à $L_{\text{danger}} = 85 \text{ dB}$.

$$L = 109 - 6n = 85$$

$$6n = 109 - 85$$

$$6n = 24 \text{ donc } n = 4.$$

$$\text{Si } n = 4 \text{ alors } 3 \times 2^n = 3 \times 2^4 = 3 \times 16 = 48.$$

Conclusion :

À 48 m de l'enceinte, on sera à la limite du seuil de danger pour l'oreille humaine.

> Démarche élémentaire

1. a. Le seuil de danger pour l'oreille humaine est un niveau d'intensité sonore $L_{\text{danger}} = 85 \text{ dB}$.

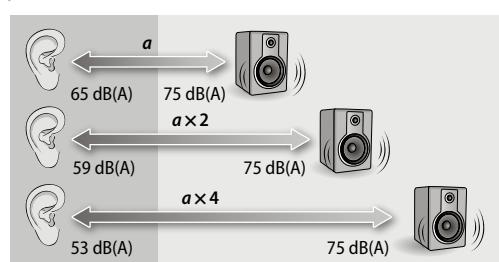
Dépasser ce seuil provoque une surdité partielle ou totale, provisoire ou définitive.

b. Avec un niveau d'intensité sonore de 109 dB, nous sommes **24 dB au-dessus** du seuil de danger.

2. a. Pour abaisser le niveau d'intensité sonore à la valeur souhaitée, il faut l'abaisser de 24 dB ($24 \text{ dB} = 4 \times 6 \text{ dB}$), donc il faut doubler la distance à l'enceinte **4 fois**.

b. On doit se placer à une distance de l'enceinte de $3 \times 2^4 = 48 \text{ m}$.

35 En utilisant la figure suivante, répondre aux questions 1. et 2.



1. a. Avec quelle valeur le son de l'émetteur est associé ?

b. Avec quelle valeur le son du détecteur est associé ?

- 2. a.** De quoi dépend le niveau d'intensité sonore ?
b. Comment le niveau d'intensité sonore change-t-il quand la distance entre l'émetteur et le détecteur double ?

Corrigé :

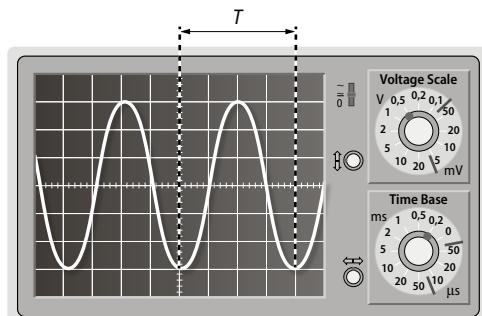
- 1. a.** Le son de l'émetteur est associé à un niveau d'intensité sonore de 75 dB.
b. Le son du détecteur est associé à un niveau d'intensité sonore variant de 65 dB à 53 dB.
2. a. Le niveau d'intensité sonore dépend de la distance entre l'émetteur et le détecteur.
b. Le niveau d'intensité sonore diminue de 6 dB quand la distance entre l'émetteur et le détecteur double.

36 1. Le son est émis par la vibration des membranes des écouteurs, cette vibration se propage de proche en proche dans l'air jusqu'à l'oreille où elle fait vibrer le tympan.

2. L'onde sonore générée a à chaque fois une fréquence, donc elle est périodique.

3. Lors d'un examen d'audiométrie, la grandeur physique mesurée est le niveau d'intensité sonore, exprimé en dB (grandeur indiquée sur l'axe des ordonnées par pertes).

4. D'après l'énoncé, la plage conversationnelle est située entre 500 Hz et 3 000 Hz, déterminons la fréquence f du signal.



Grâce à l'oscillosgramme, on peut déterminer la période T du signal (le bouton « Time Base » indique 0,2 ms) :

$$T = 4,0 \text{ div} \times 0,20 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$$

$$\text{Donc } T = 0,80 \text{ ms.}$$

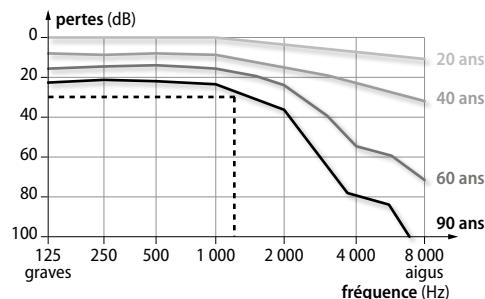
(T doit être exprimée en s)

$$\text{La fréquence du signal est : } f = \frac{1}{T}.$$

$$\text{Donc } f = \frac{1}{0,80 \times 10^{-3}} = 1\ 300 \text{ Hz.}$$

1 300 Hz est une valeur comprise entre 500 Hz et 3 000 Hz, la fréquence du signal est bien incluse dans la plage conversationnelle.

- 5.** Le patient, qui a 18 ans, ne perçoit pas pleinement le son émis à la fréquence de 1 300 Hz. La perte d'audition de 30 dB pour 1 300 Hz correspond à une oreille d'une personne âgée de 90 ans.



37 1. a. Pour réaliser expérimentalement un tel enregistrement, on peut utiliser un microphone branché à un ordinateur disposant d'un logiciel de traitement du son.

b. La durée de l'enregistrement est de 4 000 ms.

2. a. Pour mesurer la fréquence du signal :

- on mesure plusieurs périodes du signal pour augmenter la précision de la mesure ;
- on en déduit dans un premier temps la valeur d'une période du signal ;
- on en déduit dans un second temps la fréquence du signal, qui est l'inverse de la période.

b. Pour répondre à la question, déterminons la fréquence f du signal :

- entre $t = 1\ 500$ ms et $t' = 1\ 700$ ms, on peut mesurer 5 périodes T :

$$5T = 1\ 700 - 1\ 500 = 200 \text{ ms}$$

on en déduit d'abord T :

$$T = 40 \text{ ms} = 0,040 \text{ s}$$

on en déduit ensuite f :

$$f = \frac{1}{0,040} = 25 \text{ Hz}$$

La fréquence trouvée étant en dessous de 100 Hz, d'après les données de l'énoncé, la voix enregistrée est grave.

38 ■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Haut-parleur

■ p. 218

Cette animation permet de visualiser la propagation du son dans l'air au niveau microscopique. Elle permet d'observer la vibration qui se propage de proche en proche en s'appuyant sur les molécules qui constituent l'air.

Expliquer l'animation revient à expliquer comment un son est émis par un haut-parleur.

EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

Le son émis par un haut-parleur s'explique par la **vibration de la membrane du haut-parleur**. Cette vibration se propage de proche en proche dans l'air. La **propagation d'une vibration de proche en proche** est à l'origine de la **propagation d'une onde sonore dans l'air**.

Si le signal électrique qui alimente le haut-parleur est un **signal électrique périodique**, alors on aura un **signal sonore périodique**.

La fréquence du signal sonore est appelée **hauteur du son**.

39 Tous les sons ne sont pas perçus de la même manière par les spectateurs car la perception dépend de la fréquence du signal sonore, du timbre du son et du niveau d'intensité sonore de celui-ci. De plus, le niveau d'intensité sonore perçu dépend de l'intensité sonore du son émis.

Plus le spectateur est proche de l'enceinte, plus le niveau d'intensité sonore perçue par son oreille est important.

Un concert peut occasionner des dégâts aux oreilles se traduisant par un assourdissement partiel ou total qui peut être irréversible.

Acquérir des compétences ■ p. 219

40 ■ Vidéo

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Faire crier un ballon 1 : 00 ■ p. 219

Si on gonfle un ballon de baudruche et que l'on permet à l'air de sortir par son embouchure, en fonction de la forme de celle-ci (donnée en tirant sur les extrémités), on perçoit un son de hauteur différent. De la même façon, en s'écartant plus ou moins l'une de l'autre, les cordes vocales modifient la hauteur de la voix.

► Analyse

1. a. Ce sont les cordes vocales qui déterminent la hauteur et le timbre de la voix.

b. En s'écartant plus ou moins l'une de l'autre, les cordes vocales modifient la hauteur de la voix.

2. C'est en faisant sortir de l'air avec plus ou moins de pression qu'on fait varier l'intensité sonore de la voix.

3. a. En comparant les enregistrements d'une voix masculine et d'une voix féminine (doc. 2), on remarque que la voix masculine a une fréquence

plus faible que la voix féminine (en effet, la période de l'enregistrement A est supérieure à celle de l'enregistrement B), donc le son de l'enregistrement A est plus grave que celui de l'enregistrement B.

b. Cette différence est expliquée en partie par le fait que les cordes vocales des hommes sont plus longues que celles des femmes (doc. 3).

► Synthèse

La voix se forme par extraction de l'air des poumons qui passe par les cordes vocales. Celles-ci sont plus ou moins écartées permettant de modifier la hauteur du son.

Si l'air passe plus fort, le niveau d'intensité sonore est plus élevé.

Chaque individu a une voix différente car les cordes vocales ont des formes différentes d'un individu à un autre.

41 ■ Vidéo

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Éruption d'un volcan

1 : 04 ■ p. 219

Cette vidéo permet d'observer le décalage entre l'instant où le volcan entre en éruption et l'instant où le son provenant de cette éruption parvient au niveau du micro de la caméra du smartphone qui filme la scène. Cette durée peut être mesurée directement en utilisant l'affichage de défilement du temps en bas de la vidéo.

► Le problème à résoudre

À partir de la relation $v = \frac{d}{\Delta t}$, on en déduit $d = v \cdot \Delta t$.

❶ On cherche la durée Δt de propagation du son : Le début de l'éruption du volcan se situe à l'instant $t_1 = 12$ s.

Le début de la perception du son de l'éruption se situe à l'instant $t_2 = 25$ s.

La durée de propagation de l'onde sonore est donc $\Delta t = t_2 - t_1 = 13$ s.

❷ La vitesse v de propagation du son dans l'air est donnée : $v_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

❸ On en déduit la distance entre le bateau et le volcan :

$$d = v_{\text{son}} \cdot \Delta t$$

$$d = 340 \times 13 = 4\,400 \text{ m} = 4,4 \text{ km}$$

Le bateau se trouve à 4,4 km du volcan.

42 ► Démarche experte

Pour savoir si la corde utilisée est bien accordée ou non, on détermine la fréquence f de l'onde sonore, puis on la compare aux valeurs données dans le tableau.

Sur l'enregistrement, on peut mesurer 3 périodes

T :

$$3T = 7 \text{ div} \times 4,0 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1} = 28,0 \text{ ms}$$

$$\text{Donc } T = \frac{28,0}{3} = 9,3 \text{ ms.}$$

(T doit être exprimée en s)

$$\text{La fréquence du signal est : } f = \frac{1}{T}.$$

$$\text{Donc } f = \frac{1}{9,3 \times 10^{-3}} = 110 \text{ Hz.}$$

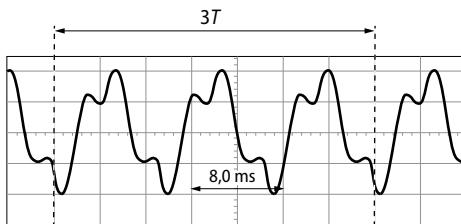
D'après le tableau fourni, la valeur trouvée 110 Hz correspond parfaitement à la note Ia_1 de la corde ⑤, donc la corde utilisée est bien accordée.

> Démarche avancée

1. a. Pour déterminer la fréquence du signal :

- on mesure plusieurs périodes du signal pour augmenter la précision de la mesure ;
- on en déduit dans un premier temps la valeur d'une période du signal ;
- on en déduit dans un second temps la fréquence du signal, qui est l'inverse de la période.

b. Sur l'enregistrement, on peut mesurer 3 périodes T :



$$3T = 7 \text{ div} \times 4,0 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1} = 28,0 \text{ ms}$$

$$\text{Donc } T = \frac{28,0}{3} = 9,3 \text{ ms.}$$

(T doit être exprimée en s)

$$\text{La fréquence du signal est : } f = \frac{1}{T}.$$

$$\text{Donc } f = \frac{1}{9,3 \times 10^{-3}} = 110 \text{ Hz.}$$

2. d'après le tableau fourni, la corde utilisée pour l'enregistrement est la corde ⑤.

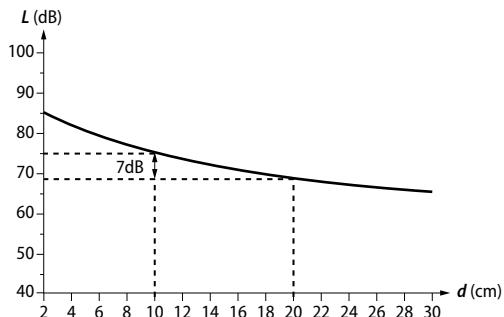
43 1. Protocole expérimental :

- On place un sonomètre (source sonore) à une certaine distance d d'un haut-parleur (récepteur).
- Pour différentes valeurs de la distance d , on note la valeur du niveau d'intensité sonore L .

2. a. L'évolution du niveau d'intensité sonore L en fonction de la distance d n'est pas linéaire car le graphique donné n'est pas une droite.

b. Le niveau d'intensité sonore L diminue lorsque la distance d augmente.

c. Lorsque la distance est doublée, le niveau d'intensité sonore L diminue de 7 dB.



Vision et image

LE PROGRAMME

• 2. Vision et image

La partie « Optique » vise à consolider le modèle du rayon lumineux, à introduire la notion de spectre et à montrer que les phénomènes de réflexion et de réfraction sont bien décrits par des relations mathématiques. Le programme propose également une première approche de la notion d'image d'un objet et de sa formation.

De nombreux domaines d'application sont concernés : vision humaine, photographie, astrophysique, imagerie scientifique, arts graphiques et du spectacle. Cette partie du programme est source de nombreuses expérimentations démonstratives et quantitatives.

Notions abordées au collège (cycle 4)

Lumière : sources, propagation, vitesse de propagation. Modèle du rayon lumineux.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Propagation rectiligne de la lumière. Vitesse de propagation de la lumière dans le vide ou dans l'air.	Citer la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées.
[...]	[...]
Lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction. Indice optique d'un milieu matériel.	Exploiter les lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction. <i>Tester les lois de Snell-Descartes à partir d'une série de mesures et déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.</i>
[...]	[...]
Lentilles, modèle de la lentille mince convergente : foyers, distance focale. Image réelle d'un objet réel à travers une lentille mince convergente.	Caractériser les foyers d'une lentille mince convergente à l'aide du modèle du rayon lumineux. Utiliser le modèle du rayon lumineux pour déterminer graphiquement la position, la taille et le sens de l'image réelle d'un objet plan réel donné par une lentille mince convergente.
Grandissement. L'œil, modèle de l'œil réduit.	Définir et déterminer géométriquement un grandissement. Modéliser l'œil. <i>Produire et caractériser l'image réelle d'un objet plan réel formée par une lentille mince convergente.</i>
	Capacité mathématique : utiliser le théorème de Thalès

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

p. 222

SITUATION 1

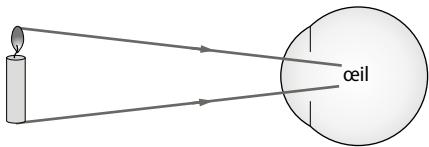
Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis depuis le cycle 4, les notions de sources de lumière, propagation de la lumière en utilisant le modèle du rayon lumineux.

Dans la situation proposée, il s'agit de déterminer si l'élève a bien assimilé la notion de rayon lumineux.

➤ Exemple de réponse attendue

Non, la représentation n'est pas conforme au modèle du rayon lumineux.

Il faut une droite orientée par une flèche qui progresse de la source lumineuse vers l'œil. Il faut donc tracer un segment orienté vers l'œil, dans le sens opposé de celui qui est tracé en rouge dans le livre élève.



► En classe de 2^{de}

Dans une approche spirale de l'enseignement de la physique-chimie, la propagation de la lumière est évoquée dans ce chapitre.

Dans l'**activité 1**, construite sous forme d'activité de découverte, les élèves pourront se remémorer les notions abordées au cycle 4 sur ce sujet.

SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis depuis le cycle 4 et en classe de 2^{nde} (au chapitre 9), la vitesse de propagation d'une onde, la relation entre la distance parcourue par la lumière, la durée de propagation et la vitesse de la lumière.

Dans la situation proposée, il s'agit de déterminer une distance connaissant la durée de propagation de la lumière et sa vitesse.

► Exemple de réponse attendue

Il existe une relation mathématique entre la distance d (en km) parcourue par la lumière, la durée Δt (en s) de propagation de la lumière et sa vitesse v (en km/s) :

$$d = v \times \Delta t$$

$\Delta t = 500$ s et on sait que la vitesse de propagation de la lumière est égale à 300 000 km/s.

AN :

$$d = 300\,000 \times 500 = 150\,000\,000 \text{ km}$$

Comme la durée Δt n'est donnée qu'avec trois chiffres significatifs, on exprimera le résultat d qu'avec trois chiffres significatifs, donc :

$$d = 150 \text{ millions de km} \text{ ou } d = 1,50 \times 10^8 \text{ km.}$$

► En classe de 2^{de}

Dans une approche spirale de l'enseignement de la physique-chimie, la propagation de la lumière est évoquée dans ce chapitre.

Dans l'**activité 1**, construite sous forme d'activité de découverte, les élèves pourront se remémorer les notions abordées au cycle 4 sur ce sujet et au **chapitre 9** sur la propagation du son. Ainsi, un calcul de vitesse de la lumière, analogue à celui de la vitesse du son sera réinvesti.

SITUATION 3

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont bien acquis depuis le cycle 4 la notion d'objet diffusant, et que pour être vu, il faut que la lumière pénètre dans l'œil.

► Exemple de réponse attendue

Le spectateur peut voir le film car le projecteur qui est une source primaire de lumière émet un faisceau de lumière sur l'écran. Ce dernier devient un objet diffusant : il renvoie la lumière dans toutes les directions. Ainsi, tout spectateur présent dans la salle peut recevoir dans son œil cette lumière et ainsi profiter du film.

► En classe de 2^{de}

Dans une approche spirale de l'enseignement de la physique-chimie, la propagation de la lumière est évoquée dans ce chapitre.

Dans l'**exercice 12**, les élèves pourront se remémorer les notions abordées au cycle 4 sur ce sujet.

ACTIVITÉS

p. 224 ■ ACTIVITÉ 1

Histoire d'une difficile mesure

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet d'aborder les principaux scientifiques qui ont contribué à la mesure de la vitesse de la lumière. À défaut d'être exhaustif, les principales expériences qui ont contribué à faire progresser la mesure de la vitesse sont abordées : Roemer, Fizeau, Michelson...

► Exploitation et analyse

- 1 a. La vitesse de la lumière étant très grande, les durées à mesurer sont très petites, donc il est nécessaire d'avoir un moyen de mesurer précisément de très faibles durées.
- b. Le paramètre sur lequel ils ont joué est la distance, la prenant de plus en plus grande pour avoir une mesure de plus en plus précise.

2 Fizeau connaît la distance entre le mont Valérien à Suresnes et Montmartre.

S'il arrive à déterminer la durée que met la lumière à faire l'aller-retour, il pourra calculer la vitesse de la lumière.

Fizeau obtient l'obscurité pour une rotation de la roue de 12,6 tours · s⁻¹. Comme la roue dentée a 720 dents, mais aussi, en alternance, 720 creux, elle tourne de $\frac{1}{1\,440}$ ième de tour quand un creux remplace une dent.

Par proportionnalité, le temps que met une dent pour remplacer un creux est :

$$\Delta t = \frac{1}{1\,440} \times \frac{1}{12,6} = 0,000\,055\,1 \text{ s} = 55,1 \text{ } \mu\text{s}$$

On utilise ensuite la définition de la vitesse :
($d = 8\ 633 \times 2 = 17\ 266$ m)

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{17\ 266}{0,000\ 055\ 1} = 313\ 000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

3 Michelson perfectionne la méthode du miroir tournant élaborée par Foucault. Il réalise la mesure sur une distance beaucoup plus grande : 70,8 km.

> Synthèse

4 À partir de valeurs trouvées sur Internet, on dresse ce tableau :

	Fusée au décollage	Son dans l'air	TGV	Guépard	Bon marcheur
Vitesse possible (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	2 800	340	100	30	2
Comparaison avec la vitesse de la lumière (sous forme de quotient de valeurs de vitesses)	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-8}

5 Exemple d'axe chronologique attendu :

1015	1638	1676	1849	1887	1905
Alhazen Alhazen pense que la lumière n'est pas instantanée.	Galilée c'est le premier à tenter une expérience pour mesurer la vitesse de la lumière.	Roemer Roemer mesure la vitesse de la lumière : $212\ 000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$	Fizeau Fizeau mesure la vitesse de la lumière : $313\ 000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$	Michelson Michelson mesure la vitesse de la lumière : $299\ 769 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$	Einstein Einstein postule que la vitesse de la lumière est une valeur limite ; elle vaut aujourd'hui : $299\ 792\ 458 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

p. 225 ■ ACTIVITÉ 2

Les lois de Snell-Descartes TP Démarche d'investigation

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet de traiter les lois de Snell-Descartes en partant d'une situation observée en piscine. Suivant l'angle d'observation, on observe soit le plafond de la piscine, soit le reflet du fond de la piscine, dû au phénomène de réflexion totale.

■ Exemples de mesures

Pour 13 valeurs d'angles d'incidence i_1 , on relève les valeurs des angles de réfraction i_2 et de réflexion r ; on obtient par exemple le tableau ci-dessous.

Cette mesure lui permet d'obtenir une valeur de vitesse bien plus proche de la vitesse de la lumière connue aujourd'hui que celle effectuée par Fizeau. Il serait intéressant de visualiser en classe la vidéo « Mesures de la vitesse de la lumière » :

https://www.canal-u.tv/video/cerimes/histoire_des_mesures_de_la_vitesse_de_la_lumiere.9182

■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Le dispositif expérimental

p. 225

Cette animation permet de simuler le phénomène de la réfraction, et d'obtenir les mesures des angles d'incidence et de réfraction. L'indice de réfraction est modifiable, prendre $n = 1,33$ pour l'eau.

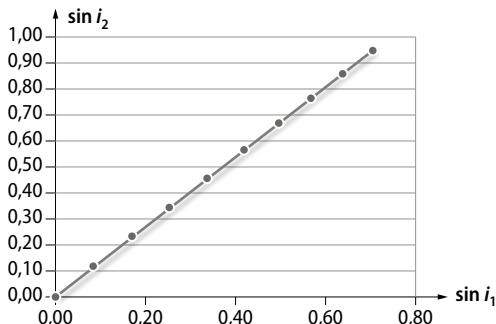
► Pistes de résolution

1 À partir du tableau des valeurs d'angles, on voit que la loi de la réflexion de Snell-Descartes est bien vérifiée :

$$i_1 = r$$

angle incident i_1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80
angle réfléchi r	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80
angle réfracté i_2	6,5	13	20	27	34	42	49,5	59	70	-	-	-	-
$\sin i_1$	0,09	0,17	0,26	0,34	0,42	0,50	0,57	0,64	0,71	0,77	0,87	0,94	0,98
$\sin i_2$	0,11	0,22	0,34	0,45	0,56	0,67	0,76	0,86	0,94	-	-	-	-

Par ailleurs, pour vérifier la loi de la réfraction, on peut tracer la courbe $\sin i_2 = f(\sin i_1)$:



Comme on obtient une droite qui passe (en la prolongeant) par l'origine, alors $\sin i_2$ est proportionnel à $\sin i_1$, cela vérifie la loi de la réfraction :

$$n_{\text{eau}} \cdot \sin i_1 = \sin i_2$$

Le coefficient directeur est égal à $n_{\text{eau}} = 1,33$.

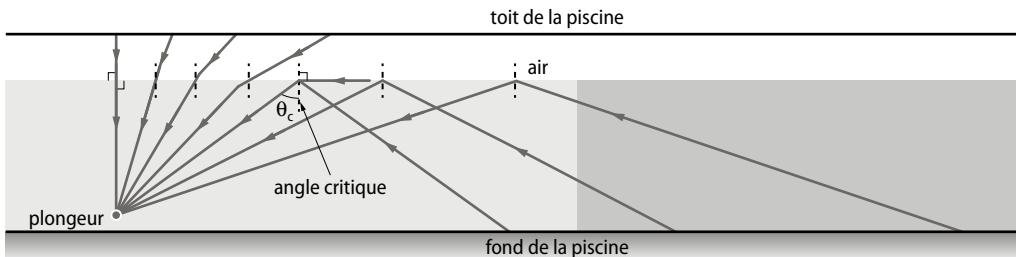
2 À partir d'un certain angle d'incidence, il n'y a plus de réfraction, toute la lumière incidente se trouve réfléchie : on parle de réflexion totale. Cela se produit pour un angle d'incidence supérieur à 48° , appelé *angle limite de réfraction*.

Conclusion

3 Quand la personne est dans l'eau et regarde vers le haut, à sa verticale, elle voit le plafond et ainsi jusqu'à un angle faisant 48° par rapport à la normale N.

Pour un angle d'incidence supérieur, elle dépasse l'*angle limite de réfraction* : il y a réflexion totale.

Ce sont donc les rayons venant du fond de la piscine que l'œil reçoit, c'est pourquoi on a la sensation de voir les deux à la fois, sol et plafond. Ce phénomène est à replacer dans l'histoire des sciences, et s'appelle *la fenêtre de Snell*.



p. 226 ■ ACTIVITÉ 3

Identification d'un milieu transparentTP Tâche complexe

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet de traiter la capacité expérimentale « déterminer l'indice d'un milieu transparent » sous forme de tâche complexe. L'élève doit identifier un liquide en appliquant la relation de la réfraction de Snell-Descartes. Il est aussi demandé de calculer l'incertitude-type de type A (étude statistique). Soit l'élève recommence sa manipulation un grand nombre de fois, soit on collecte les mesures des binômes de la classe.

■ Exemples de mesures

Pour plusieurs valeurs d'angles d'incidence i_1 , on relève les valeurs des angles de réfraction i_2 ; on obtient par exemple le tableau ci-dessous (voir en bas de page).

■ Animation

(→ disponible par l'application *Bordas Flashpage*, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Loi de la réfraction

p. 226

Cette animation permet de comprendre le phénomène de la réfraction, et l'extrapolation de la vision faite par notre cerveau.

angle incident i_1	0	10	20	30	40	50	60	70	80
angle réfracté i_2	0	8	15	22	28	35	39	45	47
$\sin i_1$	0,00	0,17	0,34	0,50	0,64	0,77	0,87	0,94	0,98
$\sin i_2$	0,00	0,14	0,26	0,37	0,47	0,57	0,63	0,71	0,73

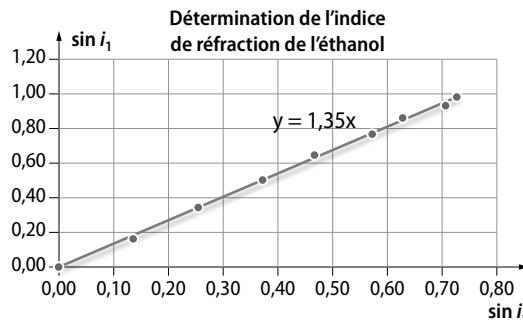
> Le problème à résoudre

- Le milieu 1 est l'air d'indice $n_1 = 1,00$; le milieu 2 est un liquide inconnu d'indice n_2 .

Pour plusieurs valeurs d'angles d'incidence i_1 , on relève les valeurs des angles de réfraction i_2 et on établit un tableau de valeurs :

angle incident i_1	0	10	20	30	40	50	60	70	80
angle réfracté i_2	0								
$\sin i_1$	0								
$\sin i_2$	0								

- Ensuite, on peut tracer la courbe $\sin i_1 = f(\sin i_2)$:



En insérant une courbe de tendance, on trouve l'équation de la droite qui passe par l'origine :

$y = 1,35 x$. Donc $\sin i_1$ est proportionnel à $\sin i_2$, cela vérifie la loi de la réfraction de Snell-Descartes :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

$$n_1 = 1,00 \text{ alors } \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2.$$

On a $y = 1,35 x$ et $\sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$, donc $n_2 = 1,35$.

En utilisant le **document 5** et la **fiche méthode 2** (p. 318), on peut effectuer la moyenne des valeurs obtenues par chaque binôme de la classe et exprimer l'incertitude-type, afin d'obtenir une meilleure estimation de la valeur de l'indice de réfraction.

Conclusion : d'après nos résultats, ce qui se rapproche le plus de ce liquide inconnu est l'éthanol.

On en déduit que le liquide utilisé pour cette série de mesures est l'éthanol.

p. 227 ■ **ACTIVITÉ 4**

Le modèle réduit de l'œil..... TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet de traiter le modèle de l'œil en abordant les trois composants optiques qui le modélisent : la lentille convergente pour le cristallin, le diaphragme pour la pupille-iris et l'écran qui joue le rôle d'écran. Elle réinvestit la notion de grandissement.

■ Animation

(→ disponible par l'application *Bordas Flashpage*, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► **Formation d'une image d'un objet sur la rétine** p. 227
Cette animation permet d'observer comment se forme l'image d'un objet sur la rétine, notamment le rôle du cristallin.

► Exploitation et analyse

1 Le modèle réduit de l'œil contient :

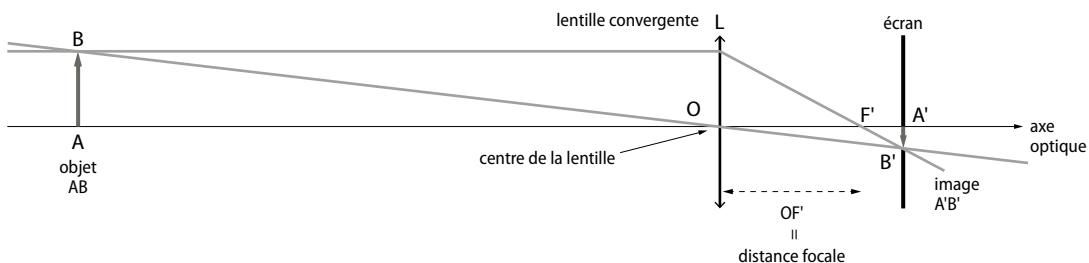
- un diaphragme qui modélise l'iris ;
- une lentille convergente qui modélise le cristallin ;
- un écran qui fait fonction de rétine.

Vu la forme bombée (bords plus fins que le centre) du cristallin, il faut choisir des lentilles convergentes et éliminer les lentilles divergentes (bords plus épais que le centre).

2 a. L'image formée sur l'écran est renversée, plus petite que l'objet. Elle est réelle puisqu'elle est observable sur l'écran.

b. $y = \frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{AB} = \frac{1}{3}$. Le grandissement vaut $\frac{1}{3}$.

c. Schéma :



> Synthèse

3 À l'oral (en moins de deux minutes), on attend que l'élève :

- présente le modèle réduit de l'œil ;
- évoque, grâce à l'animation, que l'œil peut voir net en modifiant la forme du cristallin, donc la distance focale ;
- donne les caractéristiques de l'image : renversée, plus petite, réelle.

EXERCICES

Vérifier l'essentiel

p. 232

- | | | |
|------------------|------------------|---------------------|
| 1 C. | 2 B. | 3 C. |
| 4 C. | 5 A et B. | 6 A. |
| 7 B et C. | 8 B. | 9 A, B et C. |
| 10 C. | | |

Acquérir les notions

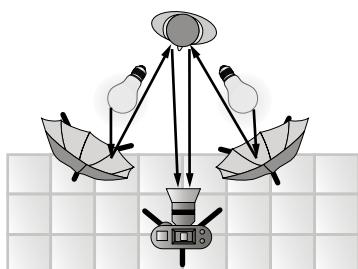
La propagation de la lumière

p. 233

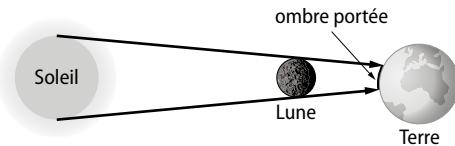
11 C'est le rayon **C** qui est correctement représenté car c'est le seul qui représente une droite orientée par une flèche.

12 Il faut tracer un rayon qui part de la lampe flash, source primaire de lumière.

La lampe flash éclaire le parapluie qui est un objet diffusant : il renvoie la lumière dans toutes les directions. Ce qui permet d'éclairer le sujet, qui émet à son tour de la lumière dans toutes les directions, en particulier en direction de l'appareil photo :



13 Schéma :



14 Il suffit de reconnaître les milieux transparents où la lumière peut se propager.

Milieux où la lumière se propage	Milieux où la lumière ne se propage pas
<ul style="list-style-type: none"> • Diamant • Une bouteille en verre vide • Une goutte de pluie • Visière d'un masque de soudeur • Un verre d'eau • L'intérieur d'une cloche à vide 	<ul style="list-style-type: none"> • Une canette en aluminium • Une cloison en plâtre

15 D'après la définition de la vitesse, on écrit :

$$c = \frac{d}{\Delta t}$$

On cherche ici la distance d parcourue par la lumière, donc :

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

il faut diviser par 2 car la lumière a parcouru un aller-retour.

$\Delta t = 2,562 \text{ s}$ et on sait, d'après le cours, que la vitesse de la lumière est $c = 300\ 000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

AN :

$$d = 300\ 000 \times 2,562 \times \frac{1}{2} = 384\ 300 \text{ km}$$

Comme la durée Δt n'est donnée qu'avec quatre chiffres significatifs, on exprimera le résultat d qu'avec quatre chiffres significatifs, donc :

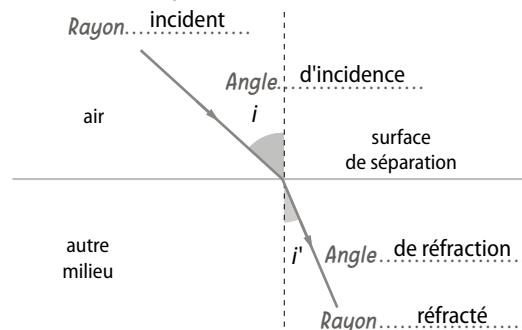
$$d = 3,843 \times 10^5 \text{ km}$$

16 Voici les vitesses rangées par ordre croissant : vitesse de pointe du guépard < record de vitesse d'un dragster < vitesse de l'ISS < vitesse de la Terre autour du Soleil < vitesse de la lumière dans l'eau < vitesse de la lumière dans le vide.

Réflexion et réfraction

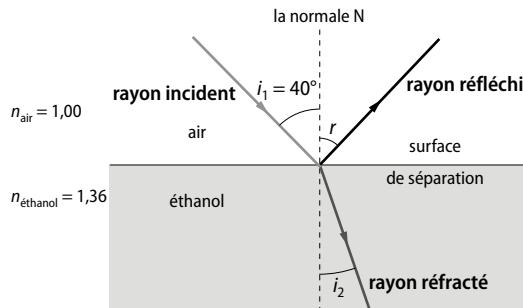
p. 234

17 Schéma complété ($i' = r$) :



18 Le rayon réfléchi doit être le symétrique du rayon incident par rapport à la normale car $i_1 = r$. L'œil ne doit donc pas être en position **c**, ni en position d'observation en direct, c'est-à-dire en position **a**.

19 1. Dessin :



2. D'après la loi de la réfraction de Snell-Descartes, on écrit :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

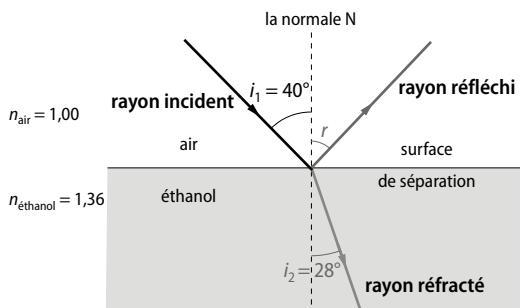
donc $n_{\text{air}} \cdot \sin i_1 = n_{\text{éthanol}} \cdot \sin i_2$ et comme $n_{\text{air}} = 1,00$ alors :

$$\sin i_2 = \frac{\sin i_1}{n_{\text{éthanol}}} \text{ soit } \sin i_2 = \frac{\sin 40}{1,36} = 0,473.$$

En utilisant la calculatrice, on tape 0,473, puis on tape sur la touche Arcsin ou \sin^{-1} (selon le type de calculatrice), on trouve $i_2 = 28^\circ$.

L'angle réfracté vaut donc 28° .

3. Penser à positionner correctement le rapporteur le long de la normale N.



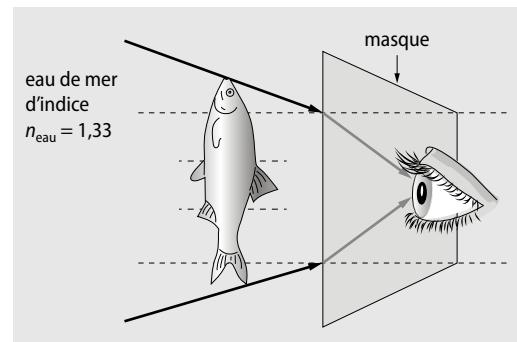
20 • Photo **A** : phénomène de réflexion, car on voit le reflet des lampes sur le vitrage.

• Photo **B** : phénomène de réfraction, car la lumière est déviée lorsqu'elle pénètre dans l'eau, ce qui donne l'impression que la paille est cassée.

• Photo **C** : phénomène de réfraction, car la lumière est déviée lorsqu'elle pénètre dans le milieu transparent. Le phénomène se produit deux fois : une première fois quand la lumière pénètre dans le milieu, une seconde fois lorsqu'elle sort du milieu et retrouve l'air. On notera que le rayon arrivant dans l'air et celui sortant dans l'air sont parallèles.

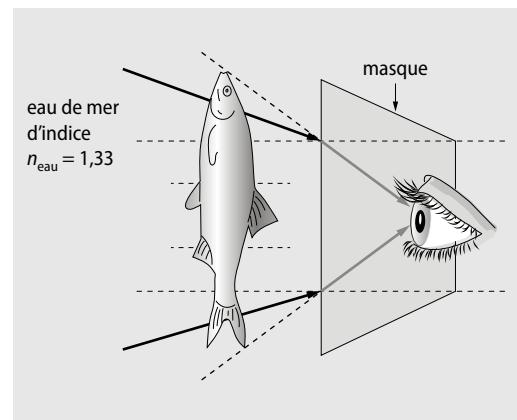
• Photo **D** : phénomène de réflexion, car on voit le reflet du paysage sur l'eau.

21 1. Les rayons lumineux parvenant dans le masque se déplacent dans l'air : le trajet de la lumière va être modifié suivant le phénomène de réfraction.



Les deux rayons sont réfractés au passage eau-air du masque.

2. Dans le mécanisme de vision, le cerveau prolonge en ligne droite (rayons en pointillés) le rayon réfracté dans l'air du masque car il est habitué à ce que la lumière se propage en ligne droite dans notre quotidien. Il y a donc un phénomène de grossissement de $\times 1,33$ (c'est la valeur de l'indice optique de l'eau). *On pourra se référer à l'animation de l'activité 3, p. 226.*



22 Plus le milieu de propagation possède un indice optique élevé, plus l'angle de réfraction est petit. Cela provient de cette relation mathématique :

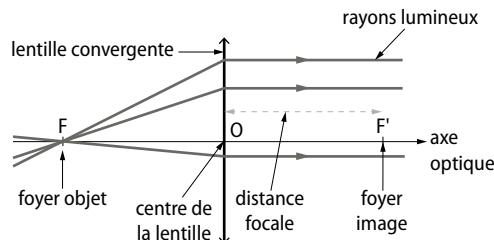
$$i_2 = \arcsin \left(\frac{\sin i_1}{n} \right)$$

Donc le rayon vert $i_2 = 36^\circ$ correspond à la glace, le rayon rouge $i_3 = 31,5^\circ$ correspond à la glycérine, le rayon bleu $i_4 = 28^\circ$ correspond au verre flint.

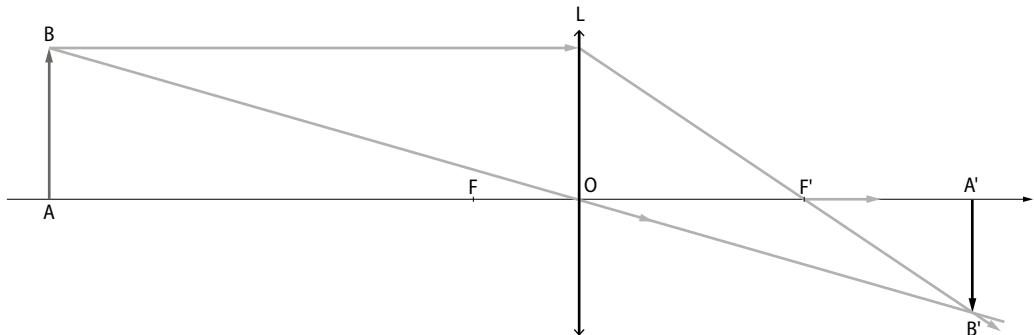
> Lentilles convergentes

■ p. 235

23 Schéma :



24 1. Schéma :

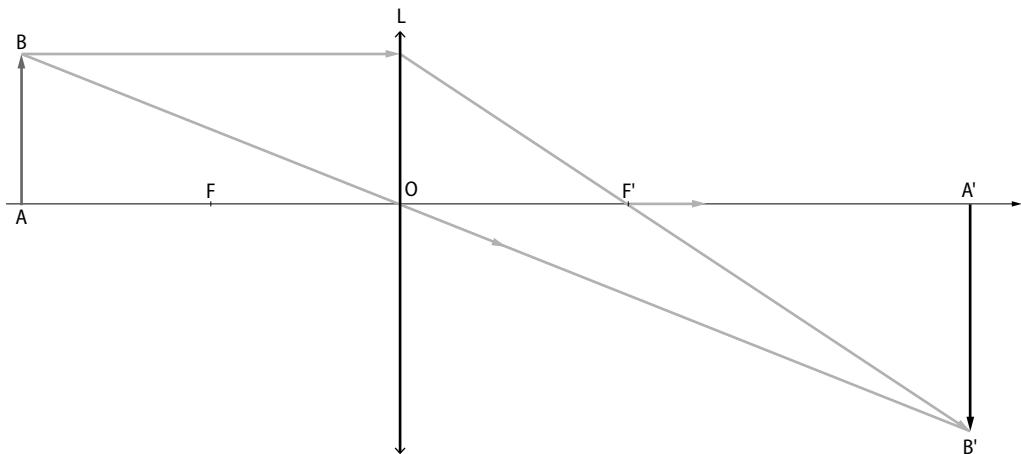


Avec un tracé précis, on trouve $OA' = 5,2 \text{ cm}$.

L'image A'B' est renversée.

2. Le grandissement vaut : $\gamma = \frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{AB} = 0,75$.

25 1. Schéma :



En positionnant d'abord l'objet, la lentille et l'image, on trace les rayons habituels. Ceci permet de trouver le foyer image F' qui se trouve à 3 cm du centre de la lentille.

Symétriquement par rapport au centre optique O, le foyer objet F de la lentille se trouve aussi à 3 cm de la lentille.

2. Le grandissement vaut : $\gamma = \frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{AB} = 1,5$.

26 1. Ces deux lentilles ne conviennent pas car elles n'ont pas le centre plus épais que les bords. Ce ne sont pas des lentilles convergentes.

2. On pourrait réaliser un montage avec une source lumineuse munie de plusieurs fentes pour projeter des rayons parallèles, et montrer qu'ils ne convergent pas en un point.

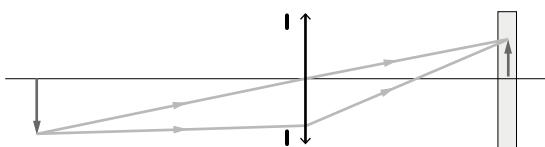
27 1. Dans le modèle réduit de l'œil humain :
 - la lentille convergente (double flèche bleue) représente le cristallin ;
 - l'écran (en jaune) représente la rétine.

2. Il faudrait rajouter un diaphragme pour compléter ce modèle, qui modélise le rôle de l'iris / pupille.

28 Pour construire le modèle réduit de l'œil en TP, il faut une lentille convergente, un diaphragme et un écran.

29 Le bon schéma est le **B** car les deux rayons tracés correspondent bien à celui qui passe par le centre de la lentille et celui qui est parallèle à l'axe optique.

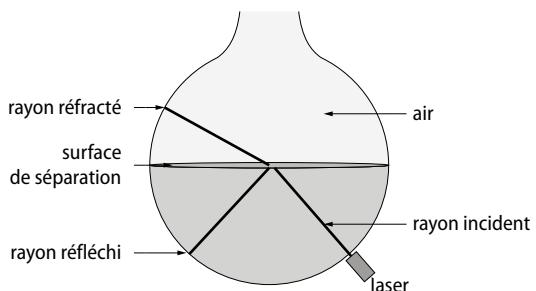
Sur le schéma **A**, les deux rayons ne correspondent pas aux règles de tracés des rayons spécifiques, vues dans le cours.



Exercices similaires aux exercices résolus

p. 236 et 237

31 1. Le rayon réfléchi étant dans le liquide (le rayon bas à gauche), le laser provient du bas de la photo à droite comme présenté ci-dessous :



2. D'après la loi de la réfraction de Snell-Descartes, on écrit :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

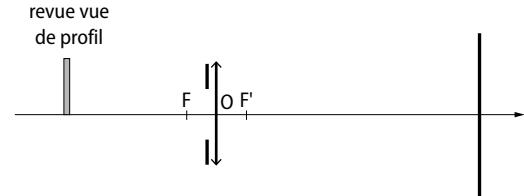
donc $n_{\text{liquide}} \cdot \sin i_1 = n_{\text{air}} \cdot \sin i_2$ et comme $n_{\text{air}} = 1,00$ alors :

$$n_{\text{liquide}} = \frac{\sin i_2}{\sin i_1} \text{ soit } n_{\text{liquide}} = \frac{\sin 66,0}{\sin 43,5} = 1,33.$$

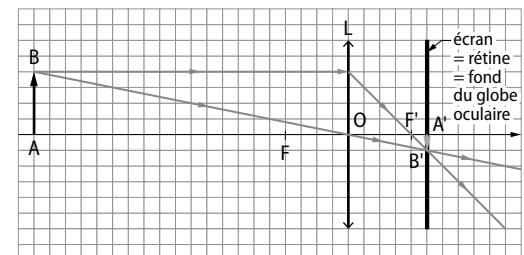
D'après le tableau fourni, la sphère est remplie d'eau d'indice 1,33.

33 1. Sur le modèle réduit ci-dessous de l'œil, on peut voir le diaphragme en noir à gauche de la lentille (représentée par une double flèche), la lentille convergente et l'écran en noir à droite.

Voici le schéma de la situation :



2. Pour une photo de hauteur 2 cm, c'est-à-dire $AB = 2 \text{ cm}$, la construction graphique ci-dessous à l'échelle 1 donne la position de l'image $OA' = 2,5 \text{ cm}$. L'image $A'B'$ de cette photo est renversée.



3. L'image se forme bien sur la rétine de l'œil car la distance OA' est égale au diamètre du globe oculaire (2,5 cm). L'image devrait donc être perçue nette par le cerveau.

4. Le grandissement y est :

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA} = \frac{2,5}{10} = 0,25$$

Comme le grandissement est inférieur à 1, l'image sur la rétine est plus petite que la photo observée sur la revue (4 fois plus petite exactement).

Croiser les notions

p. 238

34 1. Schéma :



2. En parlant « d'habitude acquise », Galilée cherche à améliorer la précision de la mesure en réduisant le temps de réflexe des exécutants.

3. a. « à une distance de trois milles, qui en font en réalité six » : Galilée prend en compte l'aller-retour du trajet de la lumière, la distance est donc doublée.

b. Il existe une relation mathématique entre la distance d parcourue par la lumière, la durée Δt de propagation de la lumière et sa vitesse v : $v = \frac{d}{\Delta t}$.

On cherche ici la durée Δt parcourue par la lumière ($d = 1,6 \text{ km} = 1600 \text{ m}$) :

$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{1600 \times 2}{3,00 \times 10^8} = 0,0000107 \text{ s} = 10,7 \mu\text{s}$$

4. Mesurer une durée de quelques microsecondes n'était pas réalisable avec les horloges (clepsydres) dont disposait Galilée au XVII^e siècle.

35 **1.** Dans l'air, la lumière parcourt une distance $d = c \cdot \Delta t$ avec c la vitesse de la lumière et Δt la durée de sa propagation.

On sait, d'après le cours, que la vitesse de la lumière est $c = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

a. En 1 s, $\Delta t = 1 \text{ s}$, alors $d = 300\,000 \text{ km}$.

b. En 1 jour, $\Delta t = 24 \text{ h} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s} = 86\,400 \text{ s}$, alors : $d = 300\,000 \times 86\,400 = 2,59 \times 10^{10} \text{ km}$.

c. En 1 an, comptons 365,25 j (moyenne de trois années de 365 j et une année bissextile de 366 j), $\Delta t = 86\,400 \text{ s} \times 365,25 \text{ j} = 3,156 \times 10^7 \text{ s}$, alors :

$$d = 300\,000 \times 3,156 \times 10^7 \text{ s} = 9,47 \times 10^{12} \text{ km}$$

2. La vitesse v est donnée par la relation :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

avec d la distance parcourue et Δt la durée de parcours.

AN :

$$v = \frac{4,13 \times 10^{13}}{4,0}$$

$v = 1,03 \times 10^{13} \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, la vitesse du vaisseau terrestre est plus grande que la vitesse de la lumière, donc irréaliste d'après la théorie d'Einstein.

36 **1.** En utilisant le théorème de Thalès, le grandissement s'écrit :

$$\gamma = \frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{AB}$$

Connaissant OA' et OA , on peut calculer γ :

$$\gamma = \frac{20}{15} = \frac{4}{3} = 1,33$$

2. La taille de l'image $A'B'$ est alors :

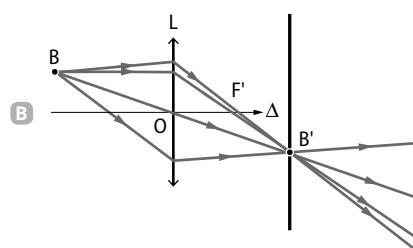
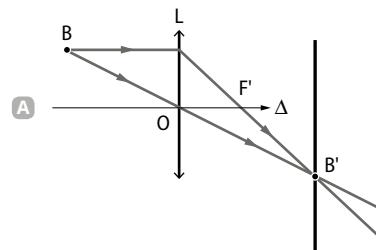
$$A'B' = \gamma \times AB$$

$$A'B' = 1,33 \times 2$$

$A'B' \approx 2,7 \text{ cm}$, elle est donc plus grande que la taille de l'objet : $AB = 2 \text{ cm}$.

37 **1. a.** Prolonger les rayons comme indiqué dans le cours.

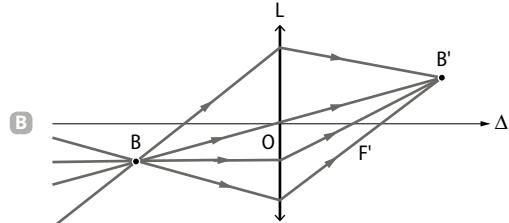
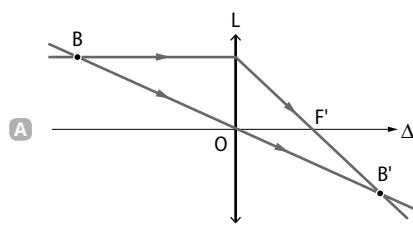
Par ailleurs, à un point objet B correspond un seul point image B' , alors tout rayon issu de B converge au point B' . D'où les tracés suivants :



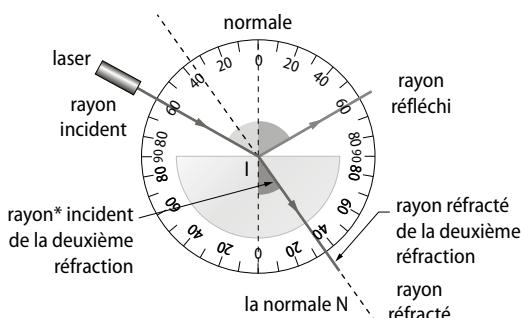
b. Placer au point de concours des rayons un écran qui permet d'observer le point image B' net. L'écran apparaît en trait noir épais ci-dessus.

2. On procède ici à l'inverse :

- tracer le rayon (au départ de la lentille) parallèle à l'axe optique ;
- prolonger le rayon passant par le point O , issu du point B' , rayon qui n'est pas dévié.



38 Sur la partie plane, la déviation ne fait pas de doute puisqu'elle a été étudiée dès le début du chapitre, en sortie du demi-cylindre, voici la situation :



*rayon réfracté de la première réfraction sur la partie plane du demi-cylindre.

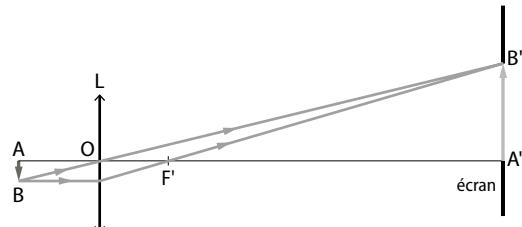
Tout rayon passant par le centre d'un cercle est perpendiculaire à la tangente locale : c'est une propriété mathématique.

Lors de la deuxième réfraction, la normale N est donc confondue avec le rayon incident. Ainsi, l'angle i_1 est nul. Par conséquent, en appliquant la loi de la réfraction de Snell-Descartes $n \cdot \sin i_1 = \sin i_2$: sin $i_2 = 0$, soit $i_2 = 0^\circ$. Le rayon réfracté n'est donc pas dévié.

39 1. Schéma à l'échelle 1/5 :

Pour tracer le schéma, voici quelques informations :

- distance objet-lentille $OA = 4 \text{ cm}$;
- distance image-lentille $OA' = 20 \text{ cm}$;
- en utilisant le grandissement $\gamma = \frac{OA'}{OA} = \frac{20}{4} = 5$, tracer un objet de hauteur 1 cm et son image renversée de hauteur 5 cm.



Un schéma précis donne une distance focale $OF' = 16,7 \text{ cm}$.

2. La distance focale n'est pas en accord avec la notice de l'appareil qui la prévoit entre 3,1 cm et 4,5 cm.

40 Au cours d'un TP, deux élèves placent un laser vert dans la direction d'un diamant, le premier milieu étant l'air. Ils mesurent l'angle de réfraction correspondant à plusieurs angles incidents.

angle incident i_1 (en °)	5	15	25	35	45	55	65	75
angle réfracté i_2 (en °)	2	6	10	14	17	20	22	24
$\sin i_1$								
$\sin i_2$								

1. Calculer les sinus des deux angles avec un tableur.

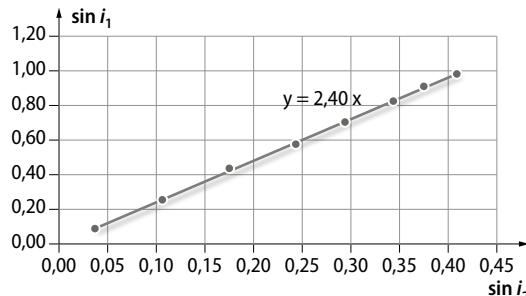
2. Tracer un graphique pour déterminer l'indice optique du diamant.

Corrigé :

1. Voici le tableau complété sur un tableur (*attention* : il faut convertir les angles en radian, on pourra utiliser cette formule =SIN(RADIANS(B2))) :

angle incident i_1 (en °)	5	15	25	35	45	55	65	75
angle réfracté i_2 (en °)	2	6	10	14	17	20	22	24
$\sin i_1$	0,09	0,26	0,42	0,57	0,71	0,82	0,91	0,97
$\sin i_2$	0,03	0,10	0,17	0,24	0,29	0,34	0,37	0,41

2. Voici la courbe $\sin i_1 = f(\sin i_2)$ tracée sur un grapheur :



Il faut bien faire attention à ce que $\sin i_1$ soit en ordonnée et $\sin i_2$ en abscisse.

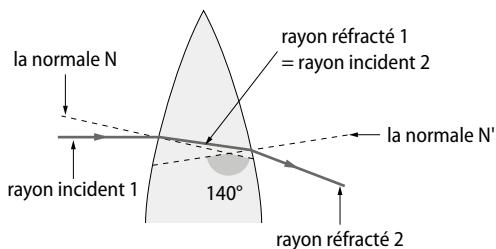
L'équation de la courbe de tendance permet d'obtenir l'indice optique du diamant : il correspond au coefficient directeur de la droite qui passe par l'origine. Donc l'indice optique du diamant est $n = 2,40$.

41 > Démarche avancée

Il faut d'abord calculer l'angle de réfraction i_2 de la première déviation en exploitant la loi de Snell-Descartes $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$ (on peut s'aider d'un schéma).

Puis, il faut déterminer l'angle d'incidence i_1' de la seconde réfraction en utilisant que la somme des mesures des angles d'un triangle est égale à 180° .

Enfin, sur le même principe que pour l'angle de réfraction i_2 , on détermine l'angle de réfraction i_2' en sortie de la lentille.



• Lors de la première réfraction, l'angle réfracté se calcule en appliquant la loi de la réfraction de Snell-Descartes :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

comme $n_1 = 1,0$ et $n_2 = 1,6$ alors $\sin i_1 = 1,6 \sin i_2$.

Il faut isoler i_2 sachant que $i_1 = 28^\circ$:

$$\sin i_1 = 1,6 \sin i_2$$

$$\sin 28 = 1,6 \sin i_2$$

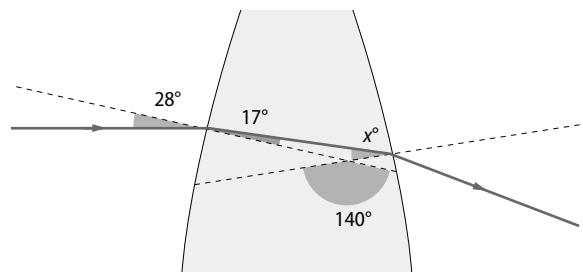
$$\sin i_2 = \frac{\sin 28}{1,6}$$

$$i_2 = \arcsin\left(\frac{\sin 28}{1,6}\right)$$

$$i_2 = \arcsin\left(\frac{0,47}{1,6}\right)$$

$$i_2 = \arcsin(0,29)$$

à l'aide de la calculatrice, on trouve $i_2 = 17^\circ$. Le premier angle réfracté vaut donc 17° .



Comme la somme des angles dans un triangle vaut 180° , alors :

$$140^\circ + 17^\circ + x^\circ = 180^\circ \text{ donc } x = 23^\circ.$$

Cet angle est le second angle d'incidence $i_1' = 23^\circ$.

- D'après la loi de la réfraction de Snell-Descartes :

$$n_{\text{verre}} \cdot \sin i_1' = n_{\text{air}} \cdot \sin i_2'$$

comme $n_{\text{air}} = 1,0$ et $n_{\text{verre}} = 1,6$ alors $\sin i_2' = 1,6 \sin i_1'$. On en déduit, comme précédemment :

$$i_2' = \arcsin(1,6 \sin i_1')$$

$$i_2' = \arcsin(1,6 \sin 23)$$

$$i_2' = \arcsin(1,6 \times 0,39)$$

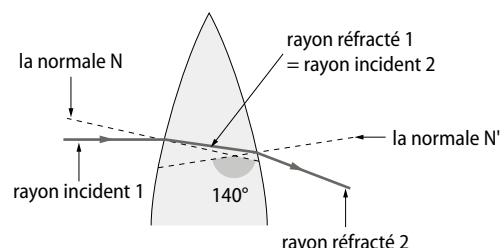
$$i_2' = \arcsin(0,624)$$

$$i_2' = 39^\circ$$

L'angle réfracté en sortie de la lentille vaut donc 39° .

> Démarche élémentaire

- Schéma légendé :



Il s'agit d'une lentille convergente car les bords sont plus fins que le centre.

- Lors de la première réfraction, l'angle réfracté se calcule en appliquant la loi de la réfraction de Snell-Descartes :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

comme $n_1 = 1,0$ et $n_2 = 1,6$ alors $\sin i_1 = 1,6 \sin i_2$.

Il faut isoler i_2 sachant que $i_1 = 28^\circ$:

$$\sin i_1 = 1,6 \sin i_2$$

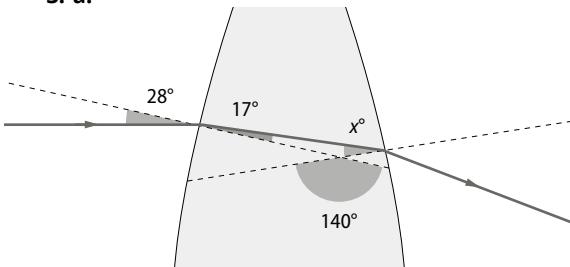
$$\sin 28 = 1,6 \sin i_2$$

$$\sin i_2 = \frac{\sin 28}{1,6}$$

$$i_2 = \arcsin\left(\frac{\sin 28}{1,6}\right) = \arcsin\left(\frac{0,47}{1,6}\right) = \arcsin(0,29)$$

à l'aide de la calculatrice, on trouve $i_2 = 17^\circ$. Le premier angle réfracté vaut donc 17° .

3. a.



Comme la somme des angles dans un triangle vaut 180° , alors :

$$140^\circ + 17^\circ + x^\circ = 180^\circ \text{ donc } x = 23^\circ.$$

Cet angle est le second angle d'incidence $i_1' = 23^\circ$.

b. D'après la loi de la réfraction de Snell-Descartes :

$$n_{\text{verre}} \cdot \sin i_1' = n_{\text{air}} \cdot \sin i_2'$$

comme $n_{\text{air}} = 1,0$ et $n_{\text{verre}} = 1,6$ alors $\sin i_2' = 1,6 \sin i_1'$.

On en déduit, comme précédemment :

$$i_2' = \arcsin(1,6 \sin i_1')$$

$$i_2' = \arcsin(1,6 \sin 23)$$

$$i_2' = \arcsin(1,6 \times 0,39)$$

$$i_2' = \arcsin(0,624)$$

$$i_2' = 39^\circ$$

L'angle réfracté en sortie de la lentille vaut donc 39° .

42 1. La relation mathématique entre la distance d parcourue par la lumière, la durée Δt de propagation de la lumière et sa vitesse c s'écrit :

$$c = \frac{d}{\Delta t}$$

On cherche ici la durée Δt parcourue par la lumière :

$$\Delta t = \frac{d}{c}$$

$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $d = 2,15 \text{ m}$, donc :

$$\Delta t = \frac{2,15}{3,00 \times 10^8}$$

$$\Delta t = 0,000\,000\,007 \text{ s} = 7 \text{ ns}$$

C'est donc la réponse **c** qui est correcte.

2. Schéma à l'échelle 1/10 : voir en bas de page.

3. Une construction précise à l'échelle 1/10 place l'objet AB à 4,5 cm de la lentille (soit à 45 cm à l'échelle 1). La taille de l'objet AB est de 0,8 cm.

4. Le grandissement γ est :

$$\gamma = \frac{OA'}{OA} = \frac{21,5}{4,5} \quad \gamma \approx 4,8$$

43 1. L'apparition de zones opaques sur le cristallin gêne la perception de la lumière par les photorécepteurs de la rétine, ce qui altère l'acuité visuelle. L'image se trouve « grisée » modifiant les couleurs observées.

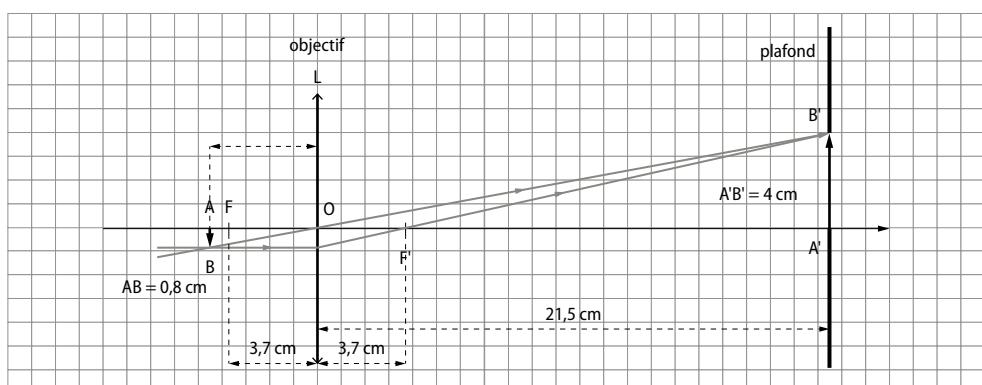
2. a. Une lentille convergente peut remplacer le cristallin naturel.

Les implants qui sont posés dans les yeux malades ont donc la même forme bombée que les lentilles convergentes.

b. Ce type d'implants a une distance focale fixe, du fait de sa forme « figée » : ils ne permettent pas d'assurer une vision nette pour toutes les distances d'observation. Tandis que le cristallin peut être plus ou moins bombé à l'aide des muscles ciliaires, adaptant sa distance focale à la position de l'objet observé.

44 1. À partir des mesures fournies dans l'énoncé,

1,41	1,38	1,40	1,45
1,42	1,41	1,40	1,39
1,38	1,42	1,45	1,41
1,39	1,36	1,37	1,43

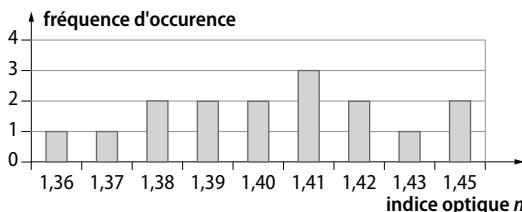


on dresse le tableau suivant de la série de mesures :

Mesure de l'indice optique n	1,36	1,37	1,38	1,39
Nombre de fois où cette mesure a été noté	1	1	2	2

Mesure de l'indice optique n	1,40	1,41	1,42	1,43	1,45
Nombre de fois où cette mesure a été noté	2	3	2	1	2

Puis, on construit l'histogramme :



2. À l'aide de la calculatrice ou d'un tableur, on trouve \bar{n} la meilleure estimation de la valeur n de l'indice optique : $\bar{n} = 1,40$.

3. De même, l'écart type s_n vaut :

$$s_n = 0,027$$

4. L'incertitude-type u_n est donnée par l'expression $u_n = \frac{s_n}{\sqrt{N}}$ où N est le nombre de mesures effectuées, ici $N = 16$.

$$u_n = \frac{0,027}{\sqrt{16}} = 0,0067$$

$$u_n \approx 0,01$$

On garde pour l'incertitude-type la même décimale que celle de l'indice optique n .

Donc la valeur n de l'indice optique vaut 1,40 avec une incertitude-type de 0,01.

45 Voici les données :

- lentille convergente L ;
- distance focale $OF = OF' = 5 \text{ cm}$;
- image $A'B' = 3,6 \text{ cm}$;
- distance lentille-image $OA' = 46 \text{ cm}$.

Le schéma à l'échelle $\frac{1}{2}$ résout la situation : voir en bas de page.

46 ■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Réfraction et angle limite

p. 240

Cette animation permet de simuler le phénomène de la réfraction, et d'obtenir les mesures des angles d'incidence et de réfraction. L'indice de réfraction est modifiable.

EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

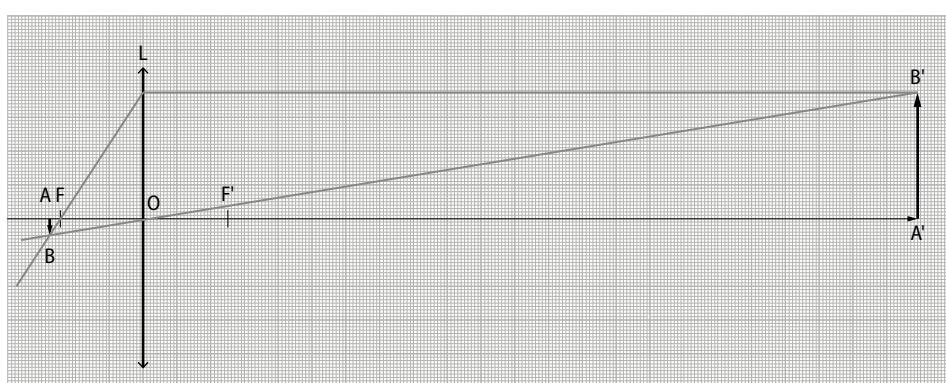
L'animation permet d'orienter une source lumineuse, ici un laser rouge : cela permet d'obtenir un faisceau **rectiligne de lumière**, conforme à la **propagation de la lumière**.

Lorsque le rayon change de **milieu de propagation**, par exemple de l'air au verre (sur le plat du demi-cylindre réglé sur un indice 1,50), le rayon est dévié : ce **phénomène** s'appelle **la réfraction**.

Pour être plus précis, il faut pouvoir mesurer des angles : il faut mesurer les angles par rapport à une droite imaginaire appelée **la normale**, qui est perpendiculaire à l'interface, au point de contact du rayon incident.

Le **rayon incident** est le rayon sortant du laser. Il fait un angle par rapport à la normale appelé **angle incident**. Lorsque le rayon est dévié, ce rayon porte le nom de **rayon réfracté**. L'angle qu'il fait par rapport à la normale est appelé **angle réfracté**.

Le rayon qui se reflète sur la partie plane du demi-cylindre s'appelle le **rayon réfléchi**. L'angle que fait ce rayon avec la normale est l'**angle réfléchi**.



Il existe un cas particulier : lorsque le laser est placé sur la partie courbe du demi-cylindre, le rayon n'est pas réfracté. Par contre, il subit une réfraction lorsque le rayon frappe la partie plane.

Or, à partir d'un angle d'incidence, supérieur à 41°, le rayon est totalement réfléchi, il n'y a plus réfraction : ce **phénomène** s'appelle la **réflexion totale**.

47 Les lentilles sphériques se comportent comme des lentilles convergentes. L'image réelle d'un objet est renversée, comme on peut le voir sur la photographie. Par contre, suivant la position de l'objet par rapport à la lentille, l'image peut être agrandie si la distance objet-lentille OA est supérieure à 2 fois la distance focale de la lentille ou si la distance objet-lentille OA est comprise entre 1 fois et 2 fois la distance focale.

■ Acquérir des compétences ■ p. 241

48 > Analyse

1. a. Dans le cas du réfractomètre, il se produit une réflexion totale à l'interface verre-gemme (**doc. 2**).

b. À partir de la loi de la réfraction de Snell-Descartes $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$, on écrit :

$$n_{\text{verre}} \cdot \sin i_1 = n_{\text{gemme}} \cdot \sin i_2$$

Il faut isoler l'angle limite ou $i_{1 \text{ limite}}$ sachant que $i_2 = 90^\circ$ (et $\sin 90^\circ = 1$) et $n_{\text{verre}} = 1,96$:

$$\sin i_{1 \text{ limite}} = \frac{n_{\text{gemme}} \cdot \sin 90}{1,96}$$

$$\sin i_{1 \text{ limite}} = \frac{n_{\text{gemme}}}{1,96}$$

$$i_{1 \text{ limite}} = \arcsin \left(\frac{n_{\text{gemme}}}{1,96} \right)$$

2. En changeant de gemme, cela modifie la valeur n_{gemme} de l'indice optique de la gemme, donc l'angle limite de réfraction $i_{1 \text{ limite}}$ est modifié.

3. La lentille en bleu sert à former l'image de l'échelle graduée. Elle va permettre de mesurer la déviation, c'est-à-dire l'angle limite $i_{1 \text{ limite}}$, et donc d'en déduire l'indice de la gemme. Il sera donc facile d'identifier le type de pierres précieuses placées dans le réfractomètre.

4. Pour qu'il y ait réflexion totale, il faut que la lumière passe d'un milieu d'indice plus élevé à un milieu d'indice plus faible. Or le diamant a un indice de 2,40 (**doc. 3**), il n'y aura donc pas de réflexion totale, la mesure n'est pas possible.

> Synthèse

Le réfractomètre utilise le phénomène de la réflexion totale. La lumière jaune se reflète donc à l'interface verre-gemme. L'angle limite de réfraction varie en fonction de l'indice optique de la gemme. Suivant la

déviation mesurée, on en déduit la valeur de l'indice optique de la gemme, ce qui permet de l'identifier.

49 ■ Vidéo

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Une pièce de monnaie disparaît

0 : 51 ■ p. 241

Cette vidéo d'expérience montre que la pièce n'est plus visible lorsque l'on verse de l'eau dans le bêcher.

> Le problème à résoudre

Sans l'eau, la lumière se propage en ligne droite, de la pièce vers la caméra.

En remplissant le bêcher avec l'eau, la lumière provenant de la pièce est réfléchie totalement au contact du verre, donc la pièce de monnaie ne peut pas envoyer de rayon de lumière à l'interface verre-eau, elle n'est pas visible !

Tenter l'expérience en mettant la pièce dans l'eau au fond du bêcher, on verra toujours la pièce !

Il ne s'agit pas d'un tour de magie, ça s'explique par ce phénomène physique bien connu : la réflexion totale de la lumière.

50 > Démarche experte

Il faut mettre en évidence que l'angle de réflexion totale n'est pas le même dans l'interface verre-air que dans l'interface verre-eau.

On calcule ces deux angles limites de réflexion totale. Ils correspondent à l'angle d'incidence qui donne un angle de réfraction de 90°.

- Pour l'interface verre-air :

$$n_{\text{verre}} \cdot \sin i_{1 \text{ limite}} = n_{\text{air}} \cdot \sin 90$$

$$\sin i_{1 \text{ limite}} = \frac{n_{\text{air}} \cdot \sin 90}{n_{\text{verre}}}$$

$$\sin i_{1 \text{ limite}} = \frac{1}{1,50} = 0,666$$

$$i_{1 \text{ limite}} = \arcsin (0,666)$$

$$i_{1 \text{ limite}} = 42^\circ$$

- Pour l'interface verre-eau :

$$n_{\text{verre}} \cdot \sin i_{1 \text{ limite}} = n_{\text{eau}} \cdot \sin i_2$$

$$\sin i_{1 \text{ limite}} = \frac{n_{\text{eau}} \cdot \sin 90}{n_{\text{verre}}}$$

$$\sin i_{1 \text{ limite}} = \frac{1,33}{1,50} = 0,886$$

$$i_{1 \text{ limite}} = \arcsin (0,886)$$

$$i_{1 \text{ limite}} = 62^\circ$$

On peut donc conclure que si l'angle d'incidence est compris entre 42° et 62°, il y aura réflexion totale quand le rayon rencontrera l'interface verre-air, donc quand il fait beau. L'essuie-glace par conséquent ne fonctionne pas.

Par contre, s'il pleut, si le rayon est bien inférieur à 62° , il ne sera pas réfléchi et l'essuie-glace se déclenchera.

► Démarche avancée

1. a. À partir de la loi de la réfraction de Snell-Descartes $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$, on écrit :

$$n_{\text{verre}} \cdot \sin i_1 = n_{\text{air}} \cdot \sin i_2$$

Il faut isoler l'angle limite ou i_1 limite sachant que $i_2 = 90^\circ$ (et $\sin 90^\circ = 1$), $n_{\text{air}} = 1,00$ et $n_{\text{verre}} = 1,50$:

$$\sin i_1 \text{ limite} = \frac{n_{\text{air}} \cdot \sin 90}{n_{\text{verre}}}$$

$$\sin i_1 \text{ limite} = \frac{1}{1,50}$$

$$i_1 \text{ limite} = \arcsin \left(\frac{1}{1,50} \right)$$

$$i_1 \text{ limite} = 42^\circ$$

b. On reprend la loi de la réfraction de Snell-Descartes : $n_{\text{verre}} \cdot \sin i_1 = n_{\text{eau}} \cdot \sin i_2$.

On isole de nouveau i_1 pour trouver l'angle limite de réfraction, soit :

$$\sin i_1 \text{ limite} = \frac{n_{\text{eau}} \cdot \sin 90}{n_{\text{verre}}}$$

$$\sin i_1 \text{ limite} = \frac{1,33}{1,50}$$

$$i_1 \text{ limite} = \arcsin \left(\frac{1,33}{1,50} \right)$$

$$i_1 \text{ limite} = 62^\circ$$

2. En envoyant un rayon incident en limite de réfraction, par exemple 45° , il y a réflexion totale quand le pare-brise est sec (interface verre-air). Mais lorsqu'il pleut, l'angle de 45° est inférieur à l'angle limite de réfraction de l'interface verre-eau : il n'y a plus réflexion totale. Le faisceau infrarouge ne se réfléchit plus jusqu'à la diode réceptrice, le balai va se déclencher.

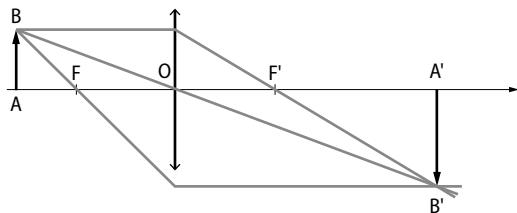
51 1. Protocole expérimental :

Il faut déplacer la lentille de l'objet lumineux et rechercher la zone où l'image est plus grande que l'objet. Procéder de même pour établir la zone où, l'image est plus petite.

En conclusion, on attend qu'il y ait une zone où quand l'objet est à une distance OA supérieure à 2 fois la distance focale $f = OF'$, l'image soit plus petite et renversée.

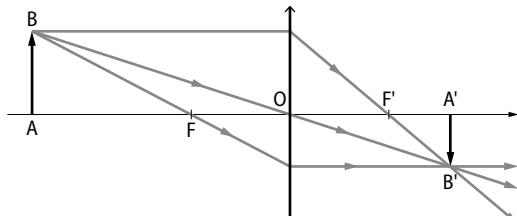
À l'inverse, lorsque l'objet est situé entre une distance OF' et une distance $2 \times OF'$, l'image est plus grande et renversée. Il y a aussi une zone entre le centre O de la lentille et le foyer objet F où on n'observe pas l'image réelle sur un écran.

• Cas d'une image plus grande :



L'image est réelle, renversée et plus grande car $2f > OA > f$.

• Cas d'une image plus petite ($OA > 2 \times OF'$) :



2. a. Saisir les valeurs de la position de l'objet OA en ligne **A** du tableau en commençant bien par la colonne **1**.

Puis, saisir les valeurs de la position de l'image OA' en ligne **B**.

Pour calculer le grandissement $\gamma = \frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{AB}$, on peut ajouter une ligne et saisir la formule suivante dans la case **D2** : $= B2/B1$.

Enfin, on « étre » à l'ensemble des cellules pour que le calcul se fasse automatiquement pour chaque couple de valeurs.

b. Le grandissement dépend de la position de l'objet par rapport à la lentille, on retrouve le cas de la première question.

OA (en cm)	50	40	30	20	15
OA' (en cm)	12,50	13,33	15,00	20,00	30,00
A'B' (en cm)	0,50	0,67	1,00	2,00	4,00
γ	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00

Lumières colorées

LE PROGRAMME

2. Vision et image

La partie « Optique » vise à consolider le modèle du rayon lumineux, à introduire la notion de spectre [...].

De nombreux domaines d'application sont concernés : vision humaine, photographie, astrophysique,

imagerie scientifique, arts graphiques et du spectacle. Cette partie du programme est source de nombreuses expérimentations démonstratives et quantitatives.

Notions abordées au collège (cycle 4)

Lumière : sources [...]. Modèle du rayon lumineux.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
[...] Lumière blanche, lumière colorée. Spectres d'émission : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies. Longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.	[...] Caractériser le spectre du rayonnement émis par un corps chaud. Caractériser un rayonnement monochromatique par sa longueur d'onde dans le vide ou dans l'air. Exploiter un spectre de raies.
[...] Dispersion de la lumière blanche par un prisme ou un réseau.	[...] Décrire et expliquer qualitativement le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme. <i>Produire et exploiter des spectres d'émission obtenus à l'aide d'un système dispersif et d'un analyseur de spectre.</i>
[...]	[...]

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

p. 244

SITUATION 1

On cherche à vérifier que l'élève a dépassé l'obstacle épistémologique déconstruit au chapitre précédent : la vision serait un processus au cours duquel « la lumière » part de l'œil pour atteindre l'objet regardé. Cette conception, plus largement partagée que l'on ne croit par les élèves, est évidemment un frein puissant à une compréhension aboutie des phénomènes en lien avec la lumière.

➤ Exemple de réponse attendue

Dans la représentation donnée, la flèche part de l'œil du coureur et atteint la peau de banane : on comprend ainsi que le regard fixe son objet. Mais si le coureur voit la peau de banane, c'est que la lumière lui provient de cette peau de banane (qui est une source secondaire) pour atteindre son œil,

le récepteur : pour représenter la propagation de la lumière, on trace donc un rayon lumineux orienté de la peau de banane vers l'œil.

➤ En classe de 2^{de}

C'est dans le chapitre précédent que le modèle du rayon lumineux - ainsi que le sens de propagation de la lumière (de la source vers l'observateur) - sont abordés.

Comprendre la décomposition de la lumière par un prisme nécessite que soit acquis le modèle du rayon lumineux, d'autant plus que l'analyse spectrale impose un autre niveau de représentation de la lumière (en montrant sa composition).

SITUATION 2

Dans la suite du cours, on est amené à considérer les différents types de sources primaires en fonction du spectre de la lumière qu'elles délivrent.

Les diamants, comme peuvent le suggérer les publicitaires, sont vus par certains élèves comme des sources primaires : c'est une idée à déconstruire. On pourra également savoir si l'élève est capable de convoquer la réflexion et la réfraction pour expliquer les multiples éclats d'un diamant (éclairé).

➤ Exemple de réponse attendue

Un diamant n'est pas une source de lumière primaire : il ne produit pas sa propre lumière mais réfléchit et réfracte la lumière qui l'éclaire.

➤ En classe de 2^{de}

La couleur d'une lumière produite par un corps chaud est reliée à sa température.

SITUATION 3

La réfraction est au cœur du mécanisme dispersif qui explique la formation des spectres lumineux par des prismes. Il est donc important de vérifier que le phénomène de réfraction est connu des élèves.

➤ Exemple de réponse attendue

La lumière qui nous parvient de la partie de paille immergée subit une réfraction supplémentaire (en passant de l'eau au verre) par rapport à la partie aérienne vue au travers du verre.

On constate que la partie de la paille aérienne derrière le verre est vue dans le prolongement de la partie qui dépasse du verre. Ceci s'explique, dans le dernier cas, par le comportement de la paroi du verre. Celle-ci se comporte comme une lame à faces parallèles qui ne modifie pas la direction de propagation des rayons incidents.

➤ En classe de 2^{de}

La fin de l'explication identifiant la paroi à une lame à faces parallèles ne peut être fournie qu'aux élèves ayant acquis une bonne compréhension du phénomène de réfraction.

ACTIVITÉS

Ce chapitre traite de la nature de la lumière (qui peut être polychromatique ou monochromatique) et des moyens de son analyse que sont les spectres d'émission.

Le mécanisme mis en œuvre lorsque la dispersion d'une lumière polychromatique s'effectue par la traversée d'un prisme est précisé.

Après avoir abordé la notion de longueur d'onde, les élèves sont ainsi amenés à réinvestir et approfondir les connaissances acquises sur la réfraction : la dépendance de l'indice optique en fonction de la longueur d'onde est abordée.

On se borne par ailleurs à présenter les réseaux comme d'autres éléments dispersifs.

On distingue les spectres continus des spectres de raies et on en déduit la nature des sources de lumières correspondantes (corps chauds ou gaz atomiques excités).

La couleur d'une lumière produite par un corps chaud est mise en lien avec sa composition spectrale, mais la synthèse additive est hors programme. Cette couleur renseigne sur la température de la source de lumière, selon la loi de Wien abordée d'un strict point de vue qualitatif (son nom n'est pas cité).

L'astrophysique est un domaine d'application particulièrement riche de l'analyse spectrale.

Le choix a été fait de ne pas passer sous silence l'utilisation des spectres d'étoiles pour déterminer la composition de leur chromosphère alors même que les spectres d'absorption sont hors programme.

Les raies sombres sont simplement présentées comme les raies « en négatif » des raies d'émission des atomes correspondants.

p. 246

ACTIVITÉ 1

Dispersion de la lumière blanche par un prisme TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

L'expérience de la dispersion de la lumière blanche par un prisme comporte deux aspects qu'il est important d'analyser séparément : la déviation (visible également en lumière monochromatique) et la dispersion proprement dite (qui se traduit par l'apparition des couleurs).

Cette activité permet de prendre en compte les difficultés d'observation et d'analyse des élèves, et de solliciter leurs connaissances sur la réfraction en leur demandant, avant de réaliser l'expérience, de prédire correctement les déviations à observer.

On relève couramment les erreurs suivantes :

- une seule interface (parfois aucune !) est identifiée dans le prisme, donc les élèves ne représentent qu'une seule déviation (ou aucune) ;
- le sens des déviations n'est pas le bon quand ils n'ont pas pris en compte le type de l'interface (air/verre ou verre/air) ou qu'ils n'ont pas su en tirer pratiquement les conséquences dans le tracé du rayon lumineux.

Notons que ce dernier point est le plus délicat car il suppose que l'élève se rappelle que le rayon est le plus près de la normale à l'interface, dans le milieu de plus fort indice.

L'enseignant pourra juger utile de demander à tracer ces normales au moment de la correction pour mieux illustrer cette loi qualitative.

La confrontation à l'expérience permet de valider ou invalider les propositions des élèves et amène à **considérer une observation nouvelle (qui n'a pas pu être prédite) : la dispersion**.

L'enseignant pourra préciser par la suite que les lumières colorées observées sont constituées de radiations caractérisées chacune par une longueur d'onde différente.

■ Animation

(→ disponible par l'application *Bordas Flashpage*, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Prisme

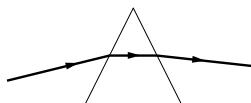
■ p. 246

Cette animation permet de visualiser le phénomène de dispersion de la lumière blanche à la traversée d'un prisme et également simule la déviation d'un rayon de lumière monochromatique.

➤ Exploitation et analyse

1 a. La lumière subit une réfraction à la face d'entrée et la face de sortie du prisme.

b. Schéma :



c. La lumière est déviée vers la base du prisme.

2 a. On vérifie que la lumière est bien déviée vers la base du prisme.

b. On observe en sortie du prisme un faisceau de lumières colorées.

c. Le rayon le plus dévié est associé à une lumière bleue (voire violette).

3 a. Le rayon laser est dévié mais la couleur de la lumière ne change pas en sortie du prisme.

b. Les savants qui ont précédé Newton pensaient que le prisme avait le pouvoir de recolorer toute lumière le traversant. Cette expérience contredit cette conception puisque ce n'est pas ce que l'on observe pour la lumière laser par exemple.

➤ Synthèse

4 La lumière blanche est composée de toutes les lumières colorées de l'arc-en-ciel. Un prisme dévie différemment ces différentes lumières, ce qui les fait apparaître dans le faisceau observé en sortie du prisme. C'est ce que l'on appelle la *dispersion* de la lumière blanche.

5 La lumière blanche est une lumière polychromatique, c'est-à-dire qu'elle est constituée de

plusieurs lumières colorées tandis que la lumière laser est monochromatique.

p. 247 ■ ACTIVITÉ 2

Couleur et température des corps chauds TP Démarches différencierées

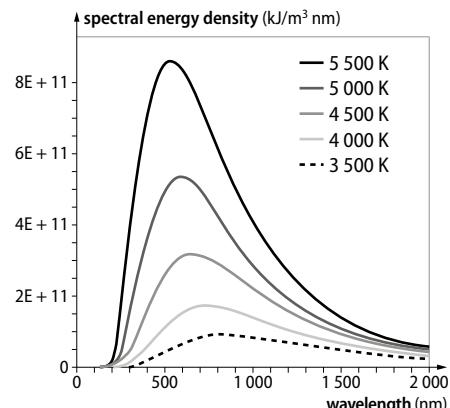
Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet d'aborder la relation qualitative *couleur de la lumière émise - température du corps chaud* qui est décrite quantitativement par la loi de Wien* et la synthèse additive des couleurs (hors programme).

La différenciation de la démarche offre la possibilité aux élèves d'être plus ou moins autonomes dans la formulation d'hypothèse, notamment celle qui consiste à généraliser à tous les corps chauds la loi qualitative, observée dans le cas d'un filament chauffé, afin de l'appliquer aux étoiles.

L'enseignant veillera à bien préciser que la démarche de l'élève basée sur quelques documents ne peut aboutir qu'à un résultat plausible (mais en aucun cas certifié) que la communauté scientifique a pu effectivement vérifier en maintes occasions.

* Loi de Wien : $\lambda_{\max} = 2,898 \times 10^{-3} / T$ avec λ_{\max} la longueur d'onde de la radiation du spectre lumineux dont l'intensité est maximale, exprimée en mètre (m) et T la température de la surface émettrice, exprimée en Kelvin (K).



Voici le lien :

https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjgoOfYnK3kAhVIKBoKHYFDA4gQjRx6BAg-BEAQ&url=%2Furl%3Fs%3D%26source%3Di-mages%26cd%3D%26ved%3D%26url%3Dhttps%253A%252F%252Ffr.wikipedia.org%252Fwiki%252FLoi_du_d%2525C3%2525A9placement_de_Wien%26psig%3DAOvVaw3wNj5W9s-hR4bsNFrbuc63N%26ust%3D1567344800443466&p

■ Vidéo

(→ disponible par l'application *Bordas Flashpage*, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Spectre d'une lampe à filament 0 : 47 ▶ p. 247

Cette vidéo montre comment évoluent simultanément la couleur de la lumière émise et son spectre quand la température d'un filament (siège d'un courant électrique d'intensité variable) est modifiée.

➤ Démarche experte

Au XIX^e siècle, Auguste Comte prétend, du fait de leur éloignement, que l'on ne pourra rien connaître des étoiles (**doc. 1**).

Le **document 2** nous indique que des étoiles peuvent être colorées à l'image de Bételgeuse, supergéante rouge, et de Rigel qui apparaît bleue dans la constellation d'Orion. On peut d'ores et déjà penser que la couleur d'une étoile est en lien avec une caractéristique de cette étoile (température ? taille ? masse ? composition ? etc.).

L'expérience du **document 3**, reprise en vidéo, montre qu'un filament se met à émettre de la lumière quand il est suffisamment chaud. De plus, au fur et à mesure que sa température augmente, cette lumière passe du rouge à l'orange, au jaune, puis devient blanche en s'enrichissant de lumière bleue (et violette) comme le montre le spectre obtenu à l'aide d'un spectroscope. On peut donc imaginer qu'un filament encore plus chaud pourrait émettre principalement de la lumière bleue.

En postulant que cette relation *couleur de la lumière émise - température du corps émetteur* est valable pour les étoiles (des énormes boules de gaz chauds d'après le **document 2**), on peut émettre l'hypothèse que Bételgeuse est plus froide que Rigel. Auguste Comte s'est effectivement trompé puisque l'on peut obtenir une information sur la température des étoiles en les observant.

➤ Démarche avancée

1. La lumière émise, d'abord rouge, devient orange, puis blanche quand la température augmente, tandis que le spectre de cette lumière s'enrichit de lumières colorées (d'abord, il n'y a que de la lumière rouge, puis s'y ajoute du jaune, puis du vert, puis du bleu, enfin du violet).

2. En extrapolant l'observation précédente, on peut penser que le spectre de la lumière émise ne contiendrait principalement que les lumières bleue et violette, donc que la lumière serait approximativement bleue.

3. Si la relation *couleur de la lumière émise - température du corps émetteur* est vraie pour les étoiles (qui sont aussi des corps chauds d'après le **document 2**), alors Rigel doit être plus chaude que Bételgeuse, ce qui supposerait qu'Auguste Comte s'est trompé. C'est effectivement le cas.

➤ Démarche élémentaire

1. Lorsque l'on augmente la température du filament d'une lampe, on constate que lorsqu'il atteint une certaine température, il se met à émettre de la lumière.

2. La lumière émise, d'abord rouge, devient orange, puis blanche quand la température augmente tandis que le spectre de cette lumière s'enrichit de lumières colorées (d'abord, il n'y a que de la lumière rouge, puis s'y ajoute du jaune, puis du vert, puis du bleu et enfin du violet).

3. On peut supposer que la lumière à plus haute température, étant composée de davantage de lumière bleue et violette, apparaîtrait bleutée.

4. Si l'on suppose que tout corps chaud se comporte comme le filament de la lampe, la couleur des étoiles - qui sont des boules de gaz chauds - renseigne sur leur température : Rigel qui délivre une lumière bleutée est plus chaude (en surface) que Bételgeuse dont la lumière est rouge.

5. Auguste Comte qui prétendait que l'on ne pourrait jamais rien savoir des étoiles se trompait puisque la couleur de la lumière qu'elles émettent renseigne sur leur température (de surface).

p. 248 ▶ ACTIVITÉ 3

Acquisition de spectre lumineux TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité propose aux élèves d'utiliser une chaîne de mesures intégrant un spectroscope numérique afin de caractériser plusieurs sources lumineuses à partir de l'observation de leurs spectres (et de leurs profils spectraux). On pourra ainsi différencier notamment les corps chauds des lampes à vapeur.

Le spectroscope utilisé dans l'activité est le *spidHR**, mais on pourra facilement adapter l'activité à l'utilisation d'un autre spectroscope numérique.

*Une notice de qualité permettant une initiation rapide et plus approfondie du *spidHR* est proposée ici :

<http://labophysique.louislegrand.org/notices/Optique/Spectro%20Ulice%20SPID-HR.pdf>

> Exploitation et analyse

1 Sur un profil spectral, la grandeur représentée sur l'axe des abscisses est la longueur d'onde λ , associée à la couleur de la radiation correspondante.

2 Tableau complété :

Type de source	Enveloppe du profil spectral	Spectre
Corps chaud (filament)	Courbe en cloche	Spectre continu
Gaz excité (lampe à vapeur)	Plusieurs pics séparés	Spectre de raies
Laser	Raie unique	Un seul pic

> Synthèse

3 Chaque type de source est caractérisé par un type de spectre. Ainsi, l'étude du spectre d'une lumière permet d'identifier le type de source qui l'émet.

p. 249 ■ ACTIVITÉ 4

L'arc-en-ciel Démarche d'investigation

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité est difficile. Elle s'adresse à de bons élèves et propose une situation-problème qui tend à déconstruire une idée reçue assez courante selon laquelle la forme partiellement circulaire de l'arc-en-ciel est due à la géométrie sphérique des gouttes d'eau dispersives.

Les élèves identifient d'abord l'arc-en-ciel comme étant le résultat de la dispersion de la lumière blanche par les gouttes d'eau de pluie.

Les meilleurs élèves pourront également déduire des documents que chaque arc de couleur différente dans l'arc-en-ciel est dû à la dispersion de la lumière incidente par des ensembles de gouttes de pluie, différents les uns des autres.

Une explication plus complète de la formation de l'arc-en-ciel est accessible ici :

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/resource/arcencl.xml>

■ Animation

(→ disponible par l'application *Bordas Flashpage*, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Arc-en-ciel

■ p. 249

Cette animation permet d'expliquer d'où proviennent les couleurs de l'arc-en-ciel.

Hypothèse : la forme de l'arc-en-ciel est due à la forme sphérique des gouttes de pluie.

> Pistes de résolution

1 Une goutte se comporte (en partie) comme un prisme car la lumière qui la traverse subit deux réfractions comme dans un prisme : une réfraction en entrée, puis une autre en sortie de goutte (après une réflexion).

2 Les cristaux de glace à l'origine des halos circulaires ne sont pas eux-mêmes circulaires mais hexagonaux. Il n'y a donc pas de relation *a priori* entre la forme d'un arc-en-ciel et la géométrie des éléments dispersifs qui lui donnent naissance. L'hypothèse émise ne peut donc pas être validée.

3 L'arc rouge n'est pas dû à toutes les gouttes, mais aux gouttes qui dessinent elles-mêmes un arc de cercle dans la ligne de visée de l'arc rouge observé.

L'arc rouge est vu dans le prolongement des radiations rouges réfractées par les gouttes de pluie, donc ces gouttes qui se trouvent entre l'œil de l'observateur et l'arc rouge observé occupent forcément un espace en forme d'arc de cercle.

> Conclusion

La lumière du Soleil est réfractée deux fois dans les gouttes d'eau comme elle l'est dans un prisme. Ces gouttes d'eau sont donc les éléments dispersifs qui décomposent la lumière blanche. On peut noter qu'entre les deux réfractions, la lumière subit une réflexion, ce qui justifie que l'arc-en-ciel soit visible à l'opposé du Soleil, c'est-à-dire quand on a le Soleil dans le dos (différence avec le halo solaire).

EXERCICES

Vérifier l'essentiel

■ p. 254

1 C.

2 C.

3 B et C.

4 A et B.

5 B.

6 B et C.

7 C.

8 A et C.

9 A.

10 B.

Acquérir les notions

Lumière blanche, lumières colorées ■ p. 255

1. Le schéma B représente le mieux ce que l'on observe car le faisceau laser n'est pas visible, contrairement à ce que montre le schéma A.

2. On peut interposer sur le trajet de la lumière laser de la poudre de craie qui diffuse alors cette lumière, rendant ainsi son trajet apparent.

12 1. Ce faisceau laser est assez puissant pour que les aérosols présents dans l'air atmosphérique (poussières) diffusent suffisamment de la lumière qu'ils interceptent : le trajet de la lumière est ainsi rendu visible.

2. En dehors de l'atmosphère, comme il n'y a plus de particules diffusantes, le faisceau ne peut pas être rendu visible.

13 La couleur d'une lumière est celle que prend un écran blanc quand on l'éclaire avec cette lumière : la lumière incidente est donc jaune.

14 1. La lumière qui nous éclaire en plein jour est la lumière blanche.

2. La lumière blanche est une lumière composée de multiples radiations dont la superposition donne cette lumière blanche. Décomposer la lumière revient à séparer ces différentes radiations à l'aide d'un élément dispersif (tel un prisme ou un réseau).

3. Dans l'ordre des longueurs d'onde croissantes, on a la longueur d'onde bleue, puis la verte, enfin la rouge :

bleu	vert	rouge	longueur d'onde λ
------	------	-------	---------------------------

15 1. $\lambda = 4,30 \times 10^{-7} \text{ m}$

$$\lambda = 4,30 \times (10^2 \times 10^{-2}) \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = (4,30 \times 10^2) \times (10^{-2} \times 10^{-7}) \text{ m}$$

$$\lambda = 430 \times 10^{-9} \text{ m} = 430 \text{ nm}$$

2. a. Une radiation est dans le domaine du visible si sa longueur d'onde est comprise entre 400 nm et 800 nm.

$\lambda = 1\,200 \text{ nm}$, λ n'est pas comprise dans cet intervalle, donc la radiation n'est pas dans le domaine du visible.

b. $\lambda = 1\,200 \text{ nm} = 1\,200 \times 10^{-9} \text{ m}$

En notation scientifique, $\lambda = 1,2 \times 10^3 \text{ nm}$.

Remarque : en toute rigueur, les deux zéros de 1 200 sont significatifs, il faudrait donc écrire : $1,200 \times 10^3 \text{ nm}$ (on a préféré simplifier ici).

16 1. Une lumière monochromatique ne contient qu'une seule radiation, donc forcément qu'une seule couleur pure. Une lumière polychromatique en contient plusieurs.

Remarque : si les longueurs d'onde de deux radiations sont très proches (exemple : $\lambda_1 = 620 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 622 \text{ nm}$), l'œil percevra les mêmes couleurs, mais un spectromètre de résolution suffisante séparera ces deux radiations. Il serait donc plus juste de parler de lumière *polyradiative*, mais ce n'est pas le terme que retient le physicien.

2. La lumière laser est un exemple de lumière monochromatique tandis que la lumière blanche est un exemple de lumière polychromatique.

3. Une lumière monochromatique est caractérisée par sa longueur d'onde λ exprimée en nanomètre (nm).

4. On réalise le spectre d'une lumière en envoyant un faisceau de cette lumière sur une fente placée devant un élément dispersif (prisme ou réseau) et en interceptant le faisceau de lumière dispersée à l'aide d'un écran. Si le spectre vu sur l'écran n'est constitué que d'une seule raie, la lumière est monochromatique. Dans le cas contraire, elle est polychromatique.

17 1. Le symbole de la longueur d'onde est λ .

2. L'unité de la longueur d'onde est le nanomètre (nm).

3. L'œil est le plus sensible à la longueur d'onde $\lambda = 550 \text{ nm}$ (vert-jaune).

Dispersion de la lumière blanche par un prisme

p. 256

18 1. La dispersion de la lumière blanche consiste à séparer les différentes radiations superposées de la lumière blanche.

2. La figure colorée obtenue sur l'écran est appelée *spectre de lumière*.

3. A : prisme ; B : réseau.

19 Erreur 1 : l'élément dispersif est un prisme, pas un réseau comme la légende l'indique.

Erreur 2 : la lumière est déviée vers le sommet du prisme au lieu de l'être vers sa base.

Erreur 3 : le rayon violet est moins dévié que le rayon rouge alors qu'il devrait l'être davantage.

20 1. L'indice optique dépend de la longueur d'onde de la lumière.

2. On sait que la radiation violette ($\lambda = 400 \text{ nm}$) est plus déviée que la radiation rouge ($\lambda = 700 \text{ nm}$) et comme la déviation est d'autant plus grande que l'indice est grand, on en déduit :

$$n_{\text{verre}} (\lambda = 400 \text{ nm}) > n_{\text{verre}} (\lambda = 700 \text{ nm})$$

Remarque : on peut le vérifier sur le graphique fourni pour les deux types de verre flint et crown.

3. Le verre le plus dispersif est celui pour lequel la valeur de l'indice optique varie le plus en fonction de la longueur d'onde. On constate que la courbe du verre flint est moins « plate » que celle du verre crown : c'est donc le verre flint qui est le plus dispersif.

Possibilité de proposer la justification quantitative suivante :

Pour le verre flint, on lit sur la courbe :

$n_{\text{verre}} (\lambda = 400 \text{ nm}) = 1,63$ et $n_{\text{verre}} (\lambda = 700 \text{ nm}) = 1,59$ donc la différence maximale d'indice Δn est :

$$\Delta n = 1,63 - 1,59 = 0,04$$

Pour le verre crown, on lit sur la courbe :

$$n_{\text{verre}} (\lambda = 400 \text{ nm}) = 1,525$$

$$n_{\text{verre}} (\lambda = 700 \text{ nm}) = 1,507$$

donc la différence maximale d'indice Δn est :

$$\Delta n = 1,525 - 1,507 = 0,018$$

Comme $0,040 > 0,018$, la dispersion est meilleure avec le verre flint.

21 1. La dispersion de la lumière par un prisme s'explique par le phénomène de réfraction.

2. La réfraction de la lumière a lieu à la traversée de la face d'entrée, puis à la traversée de la face de sortie du prisme : la lumière subit donc deux réfractions.

3. L'indice optique du prisme dépend de la longueur d'onde de la radiation considérée.

D'après la loi de Snell-Descartes de la réfraction, l'angle des deux réfractions dépend de l'indice optique, par conséquent chaque radiation (associée à un indice optique différent) est déviée différemment.

4. L'air est un milieu non dispersif : l'indice optique de l'air ne dépend pas de la longueur d'onde de la radiation considérée.

Spectres d'émission

■ p. 256

22 Les spectres **B**, **C** et **D** sont des spectres continus et le spectre **A** est un spectre de raies.

Il y a des bandes noires dans le spectre **D** car les radiations correspondantes ont été absorbées.

23 1. L'image **B** correspond au spectre de la lumière blanche (car il est continu et contient toutes les couleurs de l'arc-en-ciel).

2. Le spectre de la lumière blanche est un spectre continu.

24 1. La lampe **A** émet de la lumière grâce à un corps chaud.

2. L'autre lampe est une lampe à vapeur atomique : ce sont les atomes excités électriquement qui en se désexcitant émettent de la lumière.

25 1. Le filament est le plus chaud quand il émet une lumière blanche, donc sur l'image **A**.

2. La lumière blanche contient des radiations bleues, contrairement à la lumière rouge, c'est donc le filament de l'image **A** qui émet le plus de lumière bleue.

3. La lumière bleue correspond à des radiations de courtes longueurs d'onde, c'est le filament de l'image **B** qui émet le moins de radiations de courtes longueurs d'onde.

26 1. Comme les spectres d'émission de ces étoiles sont des spectres continus, on en déduit que la zone émettrice de ces lumières est constituée par des corps chauds.

2. Rigel qui apparaît bleue est plus chaude (en surface) que Bételgeuse qui est rouge.

3. Le spectre **A** contient davantage de lumière bleue et moins de lumière rouge que le spectre **B**. On peut en déduire que le spectre **A** est celui de Rigel tandis que le spectre **B** est celui de Bételgeuse.

27 1. La grandeur physique mesurée est la longueur d'onde.

2. Comme il n'apparaît qu'une raie sur le spectre, la lumière correspondante est monochromatique, c'est-à-dire constituée d'une unique radiation.

3. Ce spectre est celui d'une source laser.

28 On mesure la longueur d'onde de :

- la radiation violette $\lambda_{\text{violette}} \approx 435 \text{ nm}$;

- la radiation cyan $\lambda_{\text{cyan}} \approx 485 \text{ nm}$;

- la radiation rouge $\lambda_{\text{rouge}} \approx 655 \text{ nm}$.

On constate que ces trois raies se retrouvent dans le spectre d'une lampe à vapeur d'hydrogène : 436 nm, 486 nm et 656 nm, donc identiques aux valeurs mesurées (aux erreurs de mesure près).

On en déduit que le gaz renfermé dans l'ampoule est constitué d'atomes d'hydrogène.

29 1. Les deux raies violettes des deux spectres ont la même longueur d'onde $\lambda = 413 \text{ nm}$: la détermination de cette unique longueur d'onde ne permet pas d'identifier le gaz d'atomes émetteur.

2. Les raies vertes et rouges ne sont pas exactement alignées mais ont néanmoins des longueurs d'onde très proches (deux à deux). Pour les différencier, il faudra utiliser un spectromètre ayant une résolution suffisante.

3. On voit donc qu'une unique raie, dans le cas général, ne permet pas d'identifier un atome émetteur.

30 On peut réaliser le spectre* de la lumière délivrée par ces lampadaires et comparer les raies observées dans ce spectre à une banque de données spectrales comportant les raies caractéristiques du sodium. Si le spectre obtenu est le même que celui du sodium, ces lampes sont bien des lampes à vapeur de sodium.

* Si ce spectre n'est pas constitué de raies, les lampes ne peuvent pas être des lampes à vapeur.

Exercices similaires aux exercices résolus

p. 258 et 259

- 32** 1. La deuxième loi de Snell-Descartes s'écrit pour le rayon cyan :

$$n_{\text{verre}} \cdot \sin i = n_{\text{air}} \cdot \sin i'$$

$$\text{d'où : } n_{\text{verre}} = n_{\text{air}} \cdot \frac{\sin i'}{\sin i}.$$

Comme $n_{\text{air}} = 1$, $\hat{A} = i = 30,0^\circ$ et $i' = 53,6^\circ$,

$$\text{alors } n_{\text{verre}} = \frac{\sin 53,6}{\sin 30,0}, \text{ on trouve :}$$

$$n_{\text{verre}} = 1,61$$

2. En observant les deux courbes, on constate que la valeur d'indice trouvée n'est compatible qu'avec le verre flint, les valeurs d'indice pour le verre crown étant toutes inférieures à 1,53.

Plus précisément, en reportant la valeur $n = 1,61$ sur la courbe du verre flint, on peut retrouver la valeur de longueur d'onde de la radiation cyan : $\lambda = 500 \text{ nm}$.

- 34** 1. On mesure à la règle, entre les valeurs 560 nm et 665 nm, une longueur $\ell = 4,5 \text{ cm}$ soit $\ell = 45 \text{ mm}$, d'où le tableau de correspondance suivant :

Longueur ℓ (en mm)	Déférence de longueur d'onde $\Delta\lambda$ (en nm)
45	105
1,0	2,33

$$665 - 560 = 105 \text{ et } \frac{105}{45} \times 1,0 = 2,33.$$

L'axe des longueurs d'onde est donc gradué avec l'échelle : 1,0 mm \leftrightarrow 2,33 nm.

On mesure entre la graduation 560 et la raie orange, une longueur $\ell = 1,25 \text{ cm} = 12,5 \text{ mm}$ donc $\Delta\lambda = 12,5 \times 2,33 = 29 \text{ nm}$. On en déduit :

$$\lambda(\text{raie orange}) = 560 + 29$$

$$\lambda(\text{raie orange}) = 589 \text{ nm}$$

2. On mesure à la règle, entre les valeurs 585 nm et 590 nm, on trouve une longueur $\ell = 5,9 \text{ cm}$ soit $\ell = 59 \text{ mm}$, d'où le tableau de correspondance suivant :

Longueur ℓ (en mm)	Déférence de longueur d'onde $\Delta\lambda$ (en nm)
59	5
1,0	0,085

$$590 - 585 = 5 \text{ et } \frac{5}{59} \times 1,0 = 0,085.$$

L'axe des longueurs d'onde est donc gradué avec l'échelle : 1,0 mm \leftrightarrow 0,085 nm.

On mesure entre les deux raies, une longueur $\ell = 0,7 \text{ cm} = 7 \text{ mm}$ donc $\Delta\lambda = 7 \times 0,085 = 0,6 \text{ nm}$, c'est bien la valeur de l'écart donnée.

Croiser les notions

p. 260

- 35** 1. Le Soleil délivre une lumière jaune alors que la lumière d'Arcturus est orange et celle d'Antarès est rouge. C'est donc le Soleil qui a sa température de surface la plus élevée. En effet, quand on chauffe de plus en plus un corps, la lumière émise passe - dans cet ordre - du rouge à l'orange, puis au jaune, etc.

2. On peut utiliser un spectroscope.

3. On peut déduire des couleurs des étoiles deux différences majeures entre leurs spectres :

- il y a davantage de lumière bleue dans le spectre du Soleil que dans les deux autres spectres (qui n'en contiennent quasiment pas) ;

- on pourrait observer des raies sombres sur chaque spectre, ces raies décrivent un code-barres spécifique à chaque spectre témoignant ainsi des différences de composition de l'atmosphère de chaque étoile.

- 36** 1. On peut trouver dans un spectroscope soit un ou plusieurs prismes, soit un réseau.

2. La lumière émise par ces étoiles est polychromatique car on observe sur leur spectre plusieurs couleurs, donc plusieurs radiations de longueurs d'onde différentes.

3. Le spectre **A** contient davantage de bleu, donc davantage de radiations de courtes longueurs d'onde, l'étoile **A** qui a émis cette lumière est plus chaude que l'étoile **B**.

4. L'étoile **A** est blanche car elle est plus chaude que l'étoile **B** qui apparaît orange et dont le spectre contient moins de radiations de courtes longueurs d'onde (le violet et le bleu).

- 37** 1. ① \leftrightarrow source de lumière ② \leftrightarrow fente

- ③ \leftrightarrow lentille convergente ④ \leftrightarrow prisme

- ⑤ \leftrightarrow écran

- ⑥ \leftrightarrow banc optique

2. La figure colorée sur l'écran est un spectre.

3. La lumière en sortie du prisme est déviée vers sa base, donc l'écran ne doit pas être positionné dans l'axe du banc optique.

4. Il s'agit d'un spectre continu, qui renseigne sur la nature de la source lumineuse : il s'agit d'un corps chauffé, par exemple le filament d'une lampe.

- 38** 1. Un gaz atomique émet de la lumière s'il est excité, par exemple en étant soumis à une tension électrique, ce qui est le cas dans les lampes à vapeur atomique.

2. L'élément dispersif du montage est un réseau que l'on aurait pu remplacer par un prisme.

3. a. On obtient un spectre de raies car la source de lumière est un gaz (excité) comme l'indique le schéma.

b. Chaque raie est repérée par sa longueur d'onde λ , mesurée en nanomètre (nm).

c. Le spectre de chaque atome constitue une sorte de code-barres différent de tous les autres. On peut donc connaître la nature du gaz atomique émetteur en analysant son spectre. Un tel spectre constitue donc une carte d'identité du gaz atomique émetteur.

39 **1.** L'étoile qui rayonne le plus dans les courtes longueurs d'onde est celle dont le sommet de la courbe correspond à une petite valeur de longueur d'onde, il s'agit de l'étoile 1.

2. On en déduit que cette étoile a le spectre qui contient le plus de lumière bleue.

3. Comme la lumière de l'étoile 1 comporte davantage de radiations de courtes longueurs d'onde, alors c'est cette étoile qui a la température de surface la plus haute.

4. Canopus apparaît blanc-jaune et sa température de surface est de 6 000 °C : il s'agit de l'étoile 1 tandis qu'Antarès est l'étoile 2, plus froide et dont la lumière est rouge.

40 **1.** La grandeur représentée sur l'axe des ordonnées est l'intensité du rayonnement.

La grandeur représentée sur l'axe des abscisses est la longueur d'onde.

2. a. La lumière de la supernova est polychromatique puisque l'on observe différentes couleurs dans son profil spectral.

b. Le spectre est continu (on n'observe pas de raies de lumière), donc la lumière est émise par un corps chaud.

c. On observe que l'intensité du rayonnement est beaucoup plus grande dans le bleu que dans le rouge. Les observateurs qui ont eu la chance de voir la supernova en 1987 l'ont vu bleutée.

3. Comme le maximum du profil spectral du Soleil est décalé vers le rouge, le Soleil émet davantage de lumière rouge que de lumière bleue, contrairement à la supernova. On peut en déduire que la surface émettrice de la supernova a une température plus grande que celle du Soleil.

41 Antarès est une étoile rouge visible dans la constellation du scorpion.

L'étymologie d'Antarès - la rivale d'Arès, dieu de la guerre dans la mythologie grecque - rappelle que

l'on peut la confondre avec Mars, la planète rouge et dieu de la guerre chez les Romains, lorsque ces deux astres se retrouvent dans la même partie du ciel.

Ayant la même couleur, peut-on en déduire que leur température de surface est identique ?

Justifier la réponse.

Corrigé :

Mars est une planète et à ce titre ne produit pas sa propre lumière (on dit que c'est une source de lumière secondaire). Si elle est vue rouge, c'est qu'elle diffuse une partie de la lumière solaire qu'elle reçoit (la partie rouge justement !).

Par conséquent, il n'y a aucun rapport entre sa couleur et sa température de surface. On peut sans se tromper dire que la surface émettrice d'Antarès est beaucoup plus chaude que celle de Mars puisqu'une étoile est toujours plus chaude qu'une planète (en surface mais aussi en profondeur).

42 **1.** La lumière d'un laser est monochromatique (en plus d'être très directive).

2. Le laser de Chemcam sert à chauffer brutalement les roches qu'il atteint dans le but de les vaporiser* superficiellement. Ceci est possible grâce à la grande puissance du laser (une grande énergie délivrée pendant un temps très court), concentrée sur une petite surface du fait de la grande directivité du laser.

3. Le spectromètre analyse la lumière émise par les vapeurs atomiques de roche.

4. Comme la lumière est émise par des gaz excités, les spectres obtenus sont des spectres de raies.

5. Les pics du profil spectral correspondent à des raies différentes. On observe que les raies A, D, E, F ont respectivement ces longueurs d'onde (en nm) : 423, 443, 444, 446.

Ces raies sont des raies d'émission de l'élément calcium. On en déduit que la roche martienne analysée contient du calcium.

6. La présence d'autres raies (C et D ou B et C) indique que la roche est constituée d'autre(s) élément(s) chimique(s).

* Il serait plus rigoureux de dire sublimer.

43 ➤ **Démarche avancée**

Quand on observe le panache depuis sa base (à la sortie du cratère) jusqu'à son point le plus haut, on observe que la lave est successivement blanche, puis jaune, puis rouge.

On peut déduire des observations précédentes que lorsque la lave s'éloigne de la chambre magmatique, sa couleur évolue du blanc (centre du panache) au jaune (zone intermédiaire) jusqu'au rouge en périphérie.

La lave change de couleur car elle se refroidit au cours de son ascension au sein du panache. En effet, en même temps qu'elle s'éloigne de la source initiale de chaleur (la chambre magmatique), elle est refroidie par l'air. Et on sait que la lumière, initialement blanche, émise par un corps chaud passe ensuite au jaune, puis au rouge au fur et à mesure que le corps se refroidit.

> Démarche élémentaire

1. Quand on observe le panache depuis sa base (à la sortie du cratère) jusqu'à son point le plus haut, on observe que la lave est successivement blanche, puis jaune, puis rouge.

2. Au centre du panache, la lave est blanche.

En périphérie, elle est rouge et dans la zone intermédiaire, elle est jaune.

3. Au cours de son ascension, la lave s'éloigne de la chambre magmatique.

4. La lave change de couleur car elle se refroidit au cours de son ascension au sein du panache.

En effet, en même temps qu'elle s'éloigne de la source initiale de chaleur (la chambre magmatique), elle est refroidie par l'air. Et on sait que la lumière, initialement blanche, émise par un corps chaud passe ensuite au jaune, puis au rouge au fur et à mesure que le corps se refroidit.

44 1. Comme la distance entre deux raies est proportionnelle à la différence entre les longueurs d'onde correspondantes, on peut écrire :

$$\frac{\lambda_{\text{verte}} - \lambda_{\text{bleue}}}{d_{\text{verte-bleue}}} = \frac{\lambda_{\text{rouge}} - \lambda_{\text{bleue}}}{d_{\text{rouge-bleue}}} = k$$

k ayant mathématiquement valeur de coefficient de proportionnalité et physiquement valeur d'échelle.

Pour déterminer l'échelle :

- on mesure à la règle la distance entre la raie rouge et la raie bleue :

$$d_{\text{rouge-bleue}} = 7,1 \text{ cm} = 71 \text{ mm}$$

- on calcule à partir des données :

$$\lambda_{\text{rouge}} - \lambda_{\text{bleue}} = 610 - 460 = 150 \text{ nm}$$

$$k = \frac{\lambda_{\text{rouge}} - \lambda_{\text{bleue}}}{d_{\text{rouge-bleue}}} = \frac{150}{71} = 2,1$$

ce que l'on écrit : $2,1 \text{ nm} \Leftrightarrow 1 \text{ mm}$.

On mesure la distance entre la raie verte et la raie bleue :

$$d_{\text{verte-bleue}} = 1,7 \text{ cm} = 17 \text{ mm}$$

$$\frac{\lambda_{\text{verte}} - \lambda_{\text{bleue}}}{d_{\text{verte-bleue}}} = k$$

$$\text{donc } \lambda_{\text{verte}} - \lambda_{\text{bleue}} = k \cdot d_{\text{verte-bleue}}$$

$$\text{d'où } \lambda_{\text{verte}} = k \cdot d_{\text{verte-bleue}} + \lambda_{\text{bleue}}$$

$$\lambda_{\text{verte}} = 2,1 \times 17 + 460$$

$$\lambda_{\text{verte}} = 496 \text{ nm}$$

2. On constate que la raie rouge est à droite de la raie violette sur le spectre, ce qui correspond au spectre d'ordre 1.

45 a. Lorsque l'on utilise un réseau comme élément dispersif, on obtient plusieurs spectres, ce qui n'est pas le cas du prisme (obtention d'un seul spectre).

b. On constate que pour un spectre d'ordre donné (par exemple, le spectre d'ordre 1), les radiations violettes sont moins déviées que les radiations rouges puisqu'elles sont plus proches de l'image centrale de la fente.

c. L'ensemble de la lumière dispersée se répartit sur une surface d'écran plus grande que celle éclairée à la sortie d'un prisme puisqu'avec un réseau, on obtient plusieurs spectres : ces spectres sont donc moins lumineux que l'unique spectre obtenu à l'aide d'un prisme.

On remarque par ailleurs que, dans le cas du réseau, les spectres d'ordre 2 et -2 sont moins lumineux que les spectres d'ordre 1 et -1.

d. Avec un prisme ou un réseau, pour mieux séparer deux raies de longueurs d'onde proches, il faut chercher à augmenter la dispersion de la lumière.

- Avec un réseau, il vaut mieux utiliser le spectre d'ordre 2 (s'il est suffisamment lumineux) puisque la dispersion de la lumière y est plus grande, ce que l'on observe sur la figure : ce spectre s'étale en largeur davantage que le spectre d'ordre 1.

- Avec un prisme, pour que la dispersion soit plus importante, il faut utiliser un verre dont l'indice varie beaucoup avec la longueur d'onde, donc il faut préférer un verre flint à un verre crown.

EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

On note trois différences majeures entre les spectres obtenus par dispersion de la lumière à l'aide d'un prisme et ceux obtenus à l'aide d'un réseau :

- un prisme ne produit qu'un seul spectre, alors qu'un réseau permet d'obtenir plusieurs spectres répartis symétriquement de part et d'autre de l'image centrale (blanche) de la fente.

Les plus proches de la fente sont dits spectres d'ordre 1 et -1, puis plus loin, on peut trouver les spectres d'ordre 2 et -2, etc ;

- les radiations violettes sont plus déviées par un prisme que les radiations rouges, c'est le contraire avec un réseau ;

- les spectres obtenus à l'aide d'un prisme sont plus lumineux que ceux obtenus avec un réseau (d'autant plus pour les ordres élevés) car la surface d'écran éclairée par les spectres de réseaux est plus grande que celle éclairée par le spectre d'un prisme.

On utilise les prismes et les réseaux dans des spectroscopes dont une des qualités recherchée (appelée résolution) est de pouvoir séparer des raies de longueurs d'onde proches qui, dans le cas contraire, se touchent et se confondent en une unique raie. Pour augmenter la résolution d'un spectroscope, il faut augmenter la dispersion de la lumière :

- dans le cas d'un prisme, on choisira un verre dont l'indice varie beaucoup avec la longueur d'onde (verre flint) ;
- dans le cas d'un réseau, on observera les ordres élevés du spectre (l'ordre 2 par exemple s'il est assez lumineux) car le spectre de ces ordres est plus étalé en largeur, donc des raies proches ont plus de chance d'être séparées.

46 Il est délicat de donner une explication d'un phénomène particulier si l'on ne connaît pas précisément les conditions dans lesquelles il est observé. L'image proposée montre un « cercle en ciel », c'est-à-dire un halo coloré qui entoure l'ombre d'un randonneur, projetée sur un voile de brouillard. Le Soleil est par conséquent dans le dos de l'observateur. On peut supposer par analogie que la production de ce halo coloré s'explique (au moins en partie) de la même façon que celle d'un arc-en-ciel : les gouttelettes d'eau (beaucoup plus petites dans le cas d'un brouillard que dans le cas de la pluie) joueraient le rôle d'un prisme en dispersant la lumière solaire par réfraction. Plus précisément, il y aurait deux réfractions et une réflexion au sein des gouttelettes pour expliquer que le halo est visible à l'opposé du Soleil (au contraire du cas d'un « halo solaire » qui est visible autour de l'image du Soleil). Dans tous les cas, quels que soient les mécanismes de production du phénomène, il met en évidence que la lumière blanche émise par le Soleil est polychromatique, c'est-à-dire composée de plusieurs lumières colorées superposées (dites couleurs de l'arc-en-ciel) ou plus précisément, de multiples radiations superposées dont la longueur d'onde varie continûment.

Informations supplémentaires :

Deux particularités du phénomène amènent à penser qu'il ne s'explique pas simplement par la réfraction et la réflexion de la lumière au sein des gouttelettes d'eau :

- l'ouverture angulaire du halo observé est voisine de 10° , donc plus faible que celle de l'arc-en-ciel primaire (41°) ;
- le diamètre du halo dépend du diamètre des gouttelettes : plus elles sont petites, plus le halo a une ouverture importante. On ne retrouve pas la même dépendance pour l'arc-en-ciel.

En fait, l'arc-en-ciel est engendré par des gouttes dont le diamètre est de l'ordre du millimètre et sa formation s'explique simplement à l'aide de l'optique géométrique. En revanche, pour les spectres de Brocken, les gouttelettes ont un diamètre de l'ordre de $10\text{ }\mu\text{m}$ (donc « proche » des longueurs d'onde du spectre du visible) et la nature ondulatoire de la lumière ne peut plus être négligée dans ce cas-là : le phénomène s'explique par la *diffusion de Mie*, dont la théorie est difficile.

On pourra donc utiliser cet exercice pour mettre en évidence toute la prudence que doit manifester le scientifique lorsqu'il cherche à expliquer un phénomène : ici, le raisonnement analogique montre ses limites !

Acquérir des compétences

p. 263

47 > Le problème à résoudre

On cherche à séparer au mieux deux raies voisines dont les longueurs d'onde sont comprises dans l'intervalle $450\text{--}500\text{ nm}$. Pour cela, il faut avoir la plus grande dispersion possible, donc utiliser le verre le plus dispersif, c'est-à-dire celui dont le pouvoir dispersif est le plus grand.

Pour chacun des verres, on calcule la variation d'indice optique Δn correspondant à $\Delta\lambda$ (**doc. 1**) :

$$\Delta\lambda = 500 - 450 = 50\text{ nm}$$

- Pour le verre crown (**doc. 2**), on lit sur la courbe $n(\lambda = 450\text{ nm}) \approx 1,519$ et $n(\lambda = 500\text{ nm}) = 1,515$. Donc : Δn (verre crown) = $1,519 - 1,515 = 0,004$.

- Pour le verre flint (**doc. 3**), on utilise la formule

$$n = 1,589 + \frac{10,20 \times 10^3}{\lambda^2}$$

$$n(\lambda = 450\text{ nm}) = 1,589 + \frac{10,20 \times 10^3}{450^2}$$

$$n(\lambda = 450\text{ nm}) = 1,639$$

$$n(\lambda = 500\text{ nm}) = 1,589 + \frac{10,20 \times 10^3}{500^2}$$

$$n(\lambda = 500\text{ nm}) = 1,589$$

$$\text{Donc } \Delta n \text{ (verre flint)} = 1,639 - 1,589 = 0,050.$$

Comme Δn (verre flint) $>$ Δn (verre crown), c'est le verre flint qu'il faut utiliser.

48 ■ Lien url

Ce lien fait référence au site :

<http://www.physagreg.fr/animations.php>

Il permet d'identifier par comparaison avec les spectres d'une base de données, la composition chimique d'une étoile à partir de son spectre.

> Analyse

1. La photosphère est la surface de l'étoile émettrice de la lumière.

La chromosphère est l'atmosphère de l'étoile, entourant la photosphère.

2. a. Le spectre de la lumière de l'étoile à la sortie de la photosphère est un spectre d'émission continu.
b. À la sortie de la chromosphère, le spectre contient des raies plus sombres.

3. On constate que les raies absorbées par un gaz ont les mêmes longueurs d'onde que celles que ce même gaz émet quand il est excité.

4. On coche les différents atomes de telle sorte à ce que les raies d'émission qui apparaissent sur le spectre du haut correspondent aux raies sombres du spectre de Deneb (en dessous).

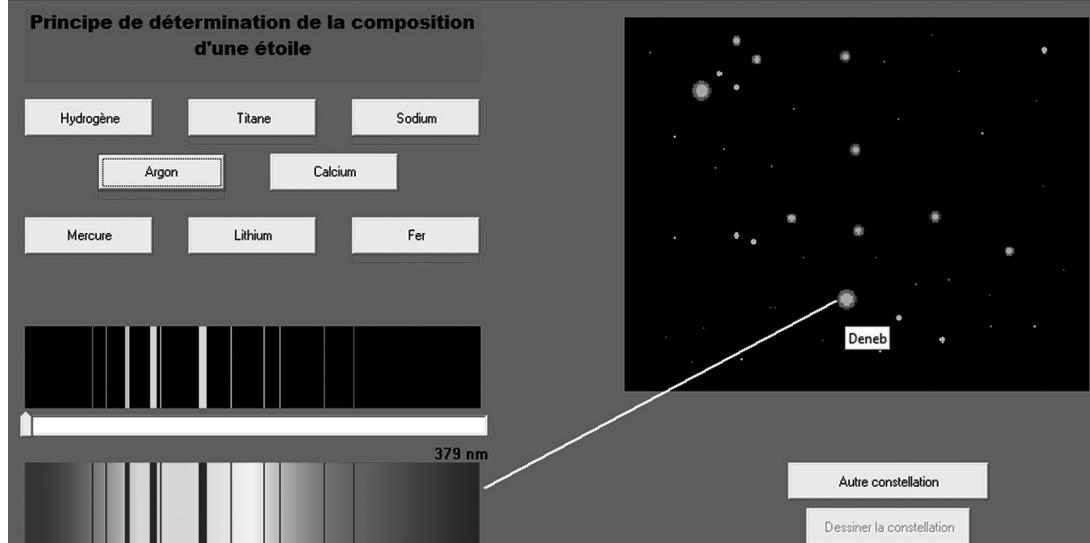
On en déduit les atomes présents dans la chromosphère de l'étoile : argon, fer, sodium, titane (voir document ci-dessous).

► Synthèse

Pour connaître la composition de l'atmosphère d'une étoile (appelée chromosphère) :

- on réalise le spectre de cette étoile ;
- on observe des raies sombres dans ce spectre et on en note les longueurs d'onde ;
- on cherche dans une banque de données, regroupant les raies spectrales de tous les atomes, les raies dont les longueurs d'onde sont identiques aux précédentes ;
- on en déduit ainsi les atomes présents dans la chromosphère de l'étoile.

Spectroscopie et astrophysique



49 ► Démarche experte

Le document 1 permet de déterminer la distance d , on a besoin de connaître la vitesse de la galaxie.

La formule donnée dans le document 1 permet de déduire la vitesse, et les longueurs d'onde sont fournies dans le document 3.

D'après le document 3, on constate que

$\lambda_E(H_\alpha) < \lambda_R(H_\alpha)$ ($656,3 \text{ nm} < 658,5 \text{ nm}$), donc la galaxie NGC1808 s'éloigne de la Terre (Doc. 1).

Par ailleurs, d'après le document 1, pour une galaxie qui s'éloigne à la vitesse v , on peut écrire :

$$\lambda_R - \lambda_E = \frac{v}{c} \cdot \lambda_E$$

où c est la vitesse de la lumière dans le vide.

$$\text{En isolant } v, \text{ on a : } v = c \cdot \frac{\lambda_R - \lambda_E}{\lambda_E}$$

Sachant que $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, on calcule v :

$$v = 3,00 \times 10^8 \times \frac{658,5 - 656,3}{656,3}$$

$$v = 1,01 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Or la loi de Hubble indique (doc. 2) que la vitesse v d'une galaxie est proportionnelle à la distance d qui nous en sépare :

$$v = H_0 \cdot d$$

le coefficient de proportionnalité étant la constante de Hubble H_0 .

On peut donc utiliser cette loi pour calculer d :

$$d = \frac{v}{H_0}$$

$$d = \frac{1,01 \times 10^6}{2,3 \times 10^{-18}}$$

$$d = 4,4 \times 10^{23} \text{ m} = \frac{4,4 \times 10^{63}}{9,5 \times 10^{15}} \text{ a.l.} = 4,6 \times 10^7 \text{ a.l.}$$

soit 46 millions d'années-lumière.

Démarche avancée

- D'après le **document 3**, on constate que $\lambda_E (H_0) < \lambda_R (H_0)$ ($656,3 \text{ nm} < 658,5 \text{ nm}$), donc la galaxie NGC1808 s'éloigne de la Terre (**Doc. 1**).
- D'après le **document 1**, pour une galaxie qui s'éloigne à la vitesse v , on peut écrire :

$$\lambda_R - \lambda_E = \frac{v}{c} \cdot \lambda_E$$

où c est la vitesse de la lumière dans le vide.

$$\text{En isolant } v, \text{ on a : } v = c \cdot \frac{\lambda_R - \lambda_E}{\lambda_E}.$$

Sachant que $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, on calcule v :

$$v = 3,00 \times 10^8 \times \frac{658,5 - 656,3}{656,3}$$

$$v = 1,01 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- La loi de Hubble indique (**doc. 2**) que la vitesse v d'une galaxie est proportionnelle à la distance d qui nous en sépare :

$$v = H_0 \cdot d$$

le coefficient de proportionnalité étant la constante de Hubble H_0 .

$$d = \frac{v}{H_0}$$

$$d = \frac{1,01 \times 10^6}{2,3 \times 10^{-18}}$$

$$d = 4,4 \times 10^{23} \text{ m} = \frac{4,4 \times 10^{63}}{9,5 \times 10^{15}} \text{ a.l.} = 4,6 \times 10^7 \text{ a.l.}$$

soit 46 millions d'années-lumière.

- 50** 1. On utilise le logiciel libre *LibreOffice Calc*.

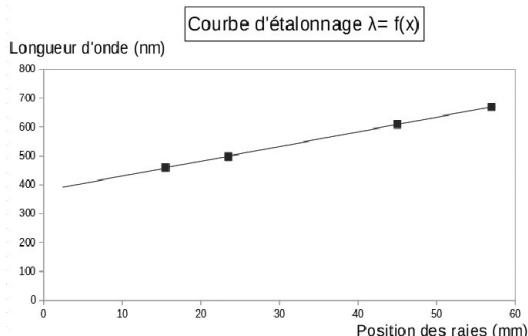
- On remplit un tableau de mesures : voir ci-dessous.

A	B
position x (mm)	Longueur d'onde λ (nm)
2,5	
6	
9	
15,5	460
23,5	497
45	610
57	670

On constate que certaines valeurs de longueurs d'onde sont manquantes.

Par défaut, la première colonne regroupe les valeurs portées en abscisses tandis que la deuxième colonne représente les ordonnées.

On obtient la courbe d'étalonnage $\lambda = f(x)$ représentée ci-dessous :



- On peut faire apparaître l'équation de la courbe de tendance :

$$f(x) = 5,10x + 379,33$$

- On ajoute dans le tableau précédent de *LibreOffice Calc* les valeurs des positions des raies numérotées de 1 à 5, puis on saisit dans la cellule **B9** l'équation de la courbe de tendance comme ci-dessous :

A	B	C
1	Position x (mm)	Longueur d'onde λ (nm)
2	2,5	
3	6	
4	9	
5	15,5	460
6	23,5	497
7	45	610
8	57	670
9	6	= 5,1*A9 + 379
10	11	435,1
11	21	486,1
12	54	654,4
13	65	710,5

En « étirant » la cellule **B9** jusqu'à la cellule **B13**, le tableur calcule les autres valeurs de longueurs d'onde :

A	B	C
1	Position x (mm)	Longueur d'onde λ (nm)
2	2,5	
3	6	
4	9	
5	15,5	460
6	23,5	497
7	45	610
8	57	670
9	6	409,6
10	11	435,1
11	21	486,1
12	54	654,4
13	65	710,5

- On compare ces valeurs à celles des données de l'exercice : les raies numérotées de 1 à 4 sont les raies de l'hydrogène H. On en déduit que l'atmosphère de Véga contient de l'hydrogène.

Signaux et capteurs

LE PROGRAMME

• 3. Signaux et capteurs

Les signaux électriques sont très présents dans la vie quotidienne. L'électricité est un domaine riche tant sur le plan conceptuel qu'expérimental, mais délicat à apprêhender par les élèves car les grandeurs électriques ne sont pas directement « perceptibles ». Aussi doit-on particulièrement veiller à préciser leur signification physique et à leur donner du sens, dans la continuité des enseignements du collège. Outre les principales lois, le programme met l'accent sur l'utilisation et le comportement de dipôles couramment utilisés comme capteurs. Les champs d'application peuvent relever des transports, de l'environnement, de la météorologie, de

la santé, de la bioélectricité, etc., où de nombreux capteurs associés à des circuits électriques sont mis en œuvre pour mesurer des grandeurs physiques et chimiques. Le volet expérimental de cet enseignement fournira l'occasion de sensibiliser les élèves aux règles de sécurité et de les amener à utiliser des multimètres, des microcontrôleurs associés à des capteurs, des oscilloscopes, etc.

Notions abordées au collège (cycle 4)

Circuits électriques, dipôles en série, dipôles en dérivation, boucle, unicité de l'intensité dans un circuit série, loi d'additivité des tensions, loi d'additivité des intensités, loi d'Ohm, règles de sécurité, énergie et puissance électriques.

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Loi des nœuds. Loi des mailles.	Exploiter la loi des mailles et la loi des nœuds dans un circuit électrique comportant au plus deux mailles. <i>Mesurer une tension et une intensité.</i>
Caractéristique tension-courant d'un dipôle. Résistance et systèmes à comportement de type ohmique. Loi d'Ohm.	Exploiter la caractéristique d'un dipôle électrique : point de fonctionnement, modélisation par une relation $U = f(I)$ ou $I = g(U)$. Utiliser la loi d'Ohm. <i>Représenter et exploiter la caractéristique d'un dipôle.</i> Capacités numériques : représenter un nuage de points associé à la caractéristique d'un dipôle et modéliser la caractéristique de ce dipôle à l'aide d'un langage de programmation. Capacité mathématique : identifier une situation de proportionnalité.
Capteurs électriques.	Citer des exemples de capteurs présents dans les objets de la vie quotidienne. <i>Mesurer une grandeur physique à l'aide d'un capteur électrique résistif. Produire et utiliser une courbe d'étalonnage reliant la résistance d'un système avec une grandeur d'intérêt (température, pression, intensité lumineuse, etc.).</i> <i>Utiliser un dispositif avec microcontrôleur et capteur.</i>

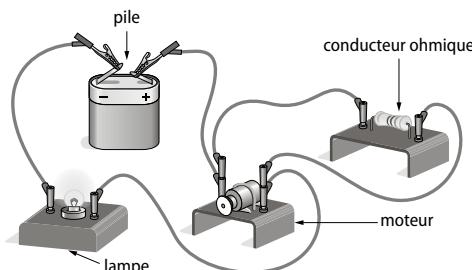
POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

p. 266

SITUATION 1

Il s'agit ici de vérifier que les élèves sont familiers des notions de circuit série et circuit en dérivation, déjà introduites au cycle 4.

➤ Exemple de réponse attendue



- Les dipôles sont en série s'ils forment **une seule boucle**, donc ici, la pile, la lampe et le moteur sont les dipôles en série.

- Les dipôles sont en dérivation s'ils forment **au moins deux boucles**, donc ici, le conducteur ohmique et le moteur sont les dipôles en dérivation.

➤ En classe de 2^{de}

Les élèves vont réaliser des circuits série et des circuits en dérivation. Ils doivent également être capables de mesurer des tensions et des intensités. Dans l'**activité 1**, les mesures de la tension et de l'intensité, délivrées par un port USB, amènent les élèves à mettre en œuvre ce type de circuits.

SITUATION 2

Il s'agit ici de vérifier la maîtrise par les élèves des lois d'unicité et d'additivité des tensions et des intensités apprises au collège. La notion de dipôle et de bornes est également réactivée.

➤ Exemple de réponse attendue

Dans un circuit série, la tension vérifie la loi d'additivité et dans un circuit en dérivation, la tension vérifie la loi d'unicité.

D'après la loi d'additivité des tensions (appelée aussi loi des mailles), la tension aux bornes de dipôles en série s'ajoute.

Pour produire une tension plus élevée, on associe donc les deux citrons en série.

➤ En classe de 2^{de}

Les lois de l'électricité figurent explicitement au programme de la classe de 2^{de}.

Dans les activités proposées, les élèves exploitent ces lois pour prévoir théoriquement les valeurs des tensions et des intensités qui sont mesurées expérimentalement à l'aide de multimètres ou de carte à microcontrôleur.

SITUATION 3

Il s'agit ici de vérifier que les élèves ont connaissance de la loi d'Ohm rencontrée en classe de 3^e.

Il s'agit également d'approcher la notion de caractéristique intensité-tension.

La situation permet également de faire le lien entre une relation de proportionnalité et la représentation graphique correspondante.

➤ Exemple de réponse attendue

Un conducteur ohmique est caractérisé par sa résistance R .

Pour un conducteur ohmique qui vérifie la loi d'Ohm, la variation de la tension U à ses bornes en fonction de l'intensité I du courant est linéaire :

$U = R \times I$, donc le graphique est une droite.

Le graphique bleu correspond au conducteur étudié.

➤ En classe de 2^{de}

La loi d'Ohm est travaillée sur le conducteur ohmique et les capteurs résistifs.

L'étude des points de fonctionnement des dipôles est également abordée et les élèves construisent ces représentations graphiques.

Dans les **activités 3 et 4**, les élèves sont conduits à réaliser et exploiter les caractéristiques d'un capteur résistif de température et d'éclairement.

ACTIVITÉS

p. 268

ACTIVITÉ 1

Mesure d'une tension

et d'une intensité *Tâche complexe*

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

La connectique USB est quotidiennement utilisée par les élèves pour recharger des appareils mobiles. Cette activité propose donc d'utiliser un port USB comme générateur électrique d'un circuit électrique simple.

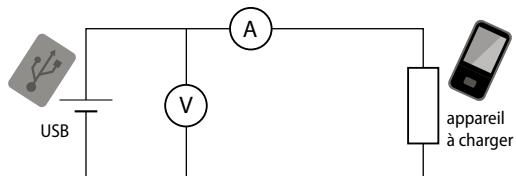
L'objectif est de permettre aux élèves de réinvestir les connaissances acquises au collège sur les circuits électriques et les mesures de tension et d'intensité du courant.

Remarque de mise en œuvre : afin de procéder aux mesures de manière aisée, il est possible de sectionner un câble USB mâle-femelle et d'équiper les fils rouge et noir de fiches usuelles. Les élèves peuvent ainsi connecter les multimètres simplement.

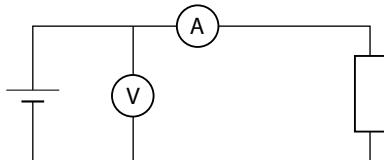
➤ Le problème à résoudre

- Le port USB permet de mesurer la tension U et l'intensité du courant I (photo du **doc. 1**). Il faut donc utiliser les multimètres.

Le voltmètre se branche en dérivation et l'ampèremètre en série. Le circuit doit être fermé pour fonctionner.



Voici le schéma du montage électrique :



- La valeur, délivrée par le port USB, mesurée est $U_{\text{mesurée}} = 5,03 \text{ V}$, celle indiquée dans le **document 2** est $U_{\text{donnée}} = 5,13 \text{ V}$.

Ces deux valeurs sont proches, le résultat de la mesure est cohérent avec la donnée.

- On mesure l'intensité $I_{\text{ordinateur}}$, on trouve :

$$I_{\text{ordinateur}} = 95,44 \text{ mA}$$

L'intensité du secteur est $I_{\text{secteur}} = 937 \text{ mA}$.

D'après le **document 3**, on voit que l'intensité du courant I et la durée de charge Δt sont inversement proportionnelles, donc Δt est petit si I est grand.

La durée de charge sera donc plus courte avec un adaptateur secteur.

Conclusion :

D'après l'étude effectuée, il est plus rapide de recharger un appareil mobile avec un adaptateur secteur qu'avec un port USB d'ordinateur car la valeur de l'intensité du courant est plus grande avec le premier dispositif.

p. 269 ■ **ACTIVITÉ 2**

LED et résistance de protection TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité consiste à relever expérimentalement la caractéristique intensité-tension d'un conducteur ohmique.

Cette activité permet également d'initier les élèves à la réalisation d'un graphique, puis d'une régression linéaire en utilisant un programme Python fourni.

■ Programme Python

■ p. 269

(→ disponible sur les manuels numériques enseignant et élève, et sur le site lycee.editions-bordas.fr)

Les programmes **Python** présentent une structure commune : la partie d'initialisation et la partie de commande.

Partie d'initialisation

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import stats

x = np.array([0.0, 0.9, 2.1, 3.1, 3.9,
5.0, 6.0, 7.1, 8.0, 9.2, 9.9,
11.0, 11.9])
x=x/1 000
y = np.array([0, 1, 2, 3.2, 4, 4.9, 5.8,
7, 8.1, 9.1, 10, 11.2, 12])
```

Partie de commande

```
plt.plot(x,y,'ob')
pente, intercept, r_value, p_value, std_
err = stats.linregress(x,y)
x1=np.linspace(np.min(x),np.max(x),500)
y1=pente*x1+intercept
plt.plot(x1,y1,'-r')
plt.text(0.004,2,'U
=%2f'%pente+'xI %.4f'%intercept)# On met
en forme et on affiche les résultats en
console
print('Coefficient directeur de la
droite : ',pente, chr(937))
print('Ordonnée à l'origine :
',intercept, 'V ')
plt.xlabel("intensité I (A)")
plt.ylabel("tension U (V) ")
plt.title("Caractéristique
intensité-tension ")

plt.show()
```

Dans la **partie d'initialisation**, il est nécessaire de définir :

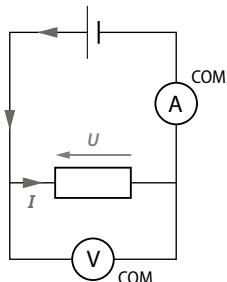
- les bibliothèques à importer :
- la bibliothèque 'numpy' permet ici de générer des listes (array) qui se comportent comme des vecteurs,
- la bibliothèque 'matplotlib.pyplot' contient toutes les fonctions permettant le tracé de graphiques,
- la bibliothèque 'scipy' contient des outils mathématiques comme 'lineregress' qui calcule les paramètres d'une régression linéaire effectuée sur une série de points ;
- les variables du programme et leur valeur initiale :
- on note les différentes valeurs de l'intensité du courant (en milliampère),
- on convertit les milliampères en ampère,
- on note les différentes valeurs de la tension.

Dans la **partie de commande**, il est demandé :

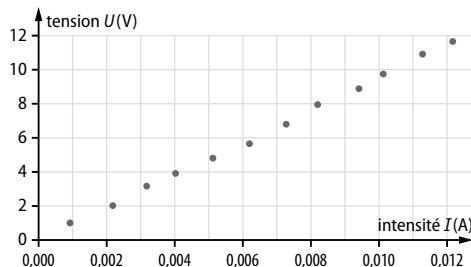
- de construire le tracé des points expérimentaux sur le graphique ;
- de calculer la régression linéaire ;
- de construire la droite de la régression linéaire sur le graphique ;
- d'ajouter sur le graphique l'équation de la droite moyenne ;
- d'ajouter un titre pour chaque axe et pour le graphique ;
- d'afficher le graphique et le résultat de la modélisation.

> Mesures et analyse

Voici le schéma du montage électrique :



- 1** a. Voici la représentation de la caractéristique intensité-tension :



- b. Les points sont alignés et la droite passe par l'origine, ils peuvent être modélisés par une fonction linéaire.

c. La loi d'Ohm :

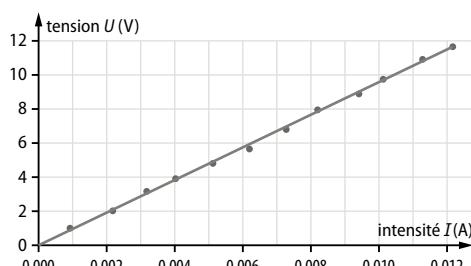
La tension U_{AB} aux bornes d'un conducteur ohmique parcourue par un courant d'intensité I_{AB} s'écrit :

$$U_{AB} = R \cdot I_{AB}$$

avec R la résistance du conducteur ohmique.

Il existe une relation linéaire entre U et I , d'où la cohérence avec la fonction mathématique proposée.

2



- a. L'ordonnée à l'origine est : - 0,02527...

La valeur du coefficient directeur est 1 006,768...

- b. On en déduit la résistance $R = 1\ 007\ \Omega$.

Pour le dipôle étudié, la valeur du coefficient directeur correspond à la valeur de la résistance.

> Synthèse

- 3** a. Le fabricant indique (**doc. 1**) $1\ k\Omega \pm 5\%$, soit $1\ 000\ \Omega \pm 5\%$, d'où l'intervalle de valeurs $[950 ; 1\ 050]$. La valeur expérimentale obtenue est $1\ 007\ \Omega$, cohérente avec la valeur indiquée par le fabricant.

- b. À l'aide du graphique, pour la tension $U = 15,8\ V$, l'intensité du courant est $I = 0,016\ A$.

La puissance P est :

$$P = U \cdot I = 15,8 \times 0,016 \text{ soit } P = 0,25\ W.$$

Cette valeur est la limite annoncée par le fabricant.

p. 270 ■ **ACTIVITÉ 3**

Étalonnage

d'un capteur TP Démarche d'investigation

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Dans cette activité, les élèves découvrent le capteur « thermistance » et la notion d'étalonnage.

Les élèves sont ainsi amenés à mesurer la température d'un échantillon d'eau et la résistance aux bornes de la thermistance.

Remarque de mise en œuvre : le thermomètre numérique doit avoir un temps de réponse suffisamment court.

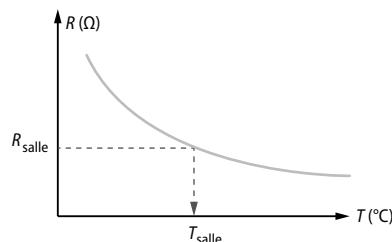
L'utilisation d'un échantillon d'eau salée réfrigérée permet d'élargir la gamme de températures à mesurer.

> Pistes de résolution

- 1** Lorsque la température augmente, la résistance du dipôle diminue et inversement.

- 2** a. *Expérience :* on utilise un bain d'eau froide que l'on réchauffe et dans lequel on place un thermomètre et la thermistance à étudier.

- b. Après réalisation de mesures, on obtient la courbe d'étalement suivante :



> Conclusion

- 3** a. On mesure la résistance dans la salle de classe : $R_{\text{salle}} = \dots\ \Omega$, on en déduit (d'après la courbe) la température ambiante de la salle de classe : $T_{\text{salle}} = 22\ ^\circ\text{C}$.

- b. Cette valeur est cohérente avec celle indiquée par le thermomètre.

Capteur de lumière TP

Commentaires pédagogiques et compléments expérimentaux

Cette activité permet aux élèves de mettre en œuvre un capteur de lumière (LDR) et de l'intégrer dans un montage à microcontrôleur.

Les élèves sont ainsi conduits à tester les interactions entre le capteur, le microcontrôleur et l'actionneur (LED).

La fonction de mesure offerte par le microcontrôleur est aussi rencontrée.

■ Programme Arduino

■ p. 271

(→ disponible sur les manuels numériques enseignant et élève, et sur le site lycee.editions-bordas.fr)

Les programmes **Arduino** présentent une structure commune : la partie d'initialisation et la partie de commande.

Partie d'initialisation

```
// définition des variables
int analogPin=0; //utilisation de l'entrée A0
int Valeur=0;
float Tension=0;
int ledPin=9; //utilisation de l'entrée 9
void setup() {
Serial.begin(9600); // connexion carte-ordinateur
pinMode(ledPin,OUTPUT); //LED en sortie
}
```

Partie de commande

```
void loop() {
//affichage des résultats de l'entrée A0 dans le moniteur
Valeur=analogRead(analogPin);
Tension=Valeur*5.0/1023;
Serial.println(Tension);
delay (1 000); //1000ms entre deux mesures successives
//choix du seuil de basculement de la LED ici 2V
if (Tension > 2) {
digitalWrite(ledPin,LOW);
}else{
digitalWrite(ledPin,HIGH);}}
```

Dans la **partie d'initialisation**, il est nécessaire de définir :

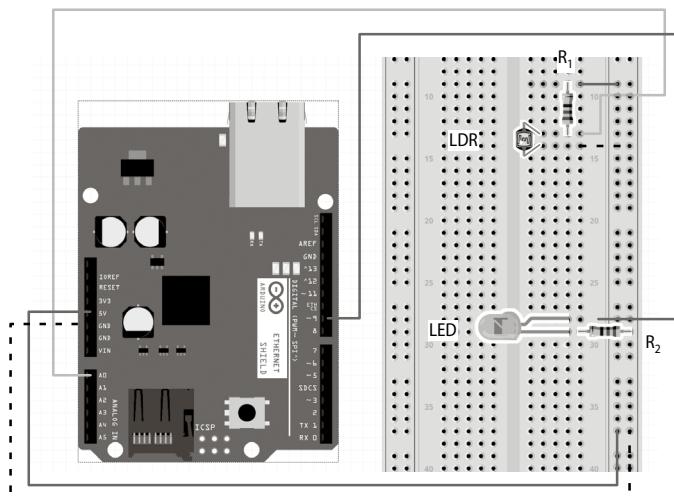
- les éléments de la carte qui seront utilisés : « *analogPin* » pour indiquer que le signal d'entrée sera en A0 et « *ledPin* » pour indiquer que le signal de sortie sera sur la borne 9 ;

- les variables du programme et leur valeur initiale : « *Valeur* » (qui sera égale à celle de l'entrée A0) et « *Tension* » (pour convertir cette valeur en volt).

Dans la **partie de commande**, il est demandé :

- d'associer les variables aux grandeurs mesurées : « *Valeur* » est égal à ce qui est mesuré sur A0 et « *Tension* » est le résultat de la conversion en volt (pas de 1023 pour une tension de 5 V) ;
- de relever le résultat de la mesure toutes les secondes ;
- de définir la boucle de commande généralement fondée sur une condition. Ici, si « *Tension* » dépasse 2 V, la diode est éteinte, sinon elle est éclairée.

Voici le montage expérimental proposé dans le livre élève (ici, le schéma est corrigé par rapport à celui du livre élève) :



>Expérience et analyse

2 Le fonctionnement est correct. Lorsque l'on cache la LDR, la diode s'éclaire.

3 Entre les bornes 5V et GND, on mesure la tension : $U_p = 5\text{ V}$.

a. Lorsque l'éclairage de la photorésistance LDR diminue, la valeur de la tension U_p diminue.

b. On obtient un éclairage de la diode à partir de la valeur 2 V de la tension U_p . Cette valeur correspond à la valeur seuil indiquée par le programme.

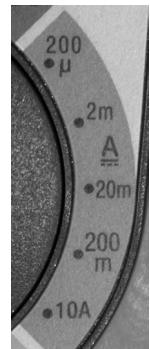
4 a. On augmente la valeur de seuil, par exemple à 3 V.

L'allumage de la LED est alors provoqué par une ombre légère.

b. La mesure, à l'aide du multimètre, donnée est 3,1 V. Cette valeur est cohérente.

>Synthèse

5 Les valeurs affichées sur le moniteur sont voisines de celles mesurées avec le voltmètre.



EXERCICES

Vérifier l'essentiel

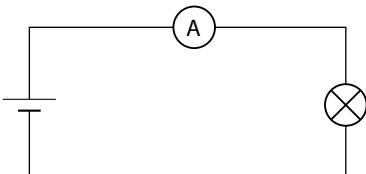
- | | | |
|------------------|-------------|-------------|
| 1 B et C. | 2 A. | 3 A. |
| 4 A et C. | 5 B. | 6 C. |
| 7 A. | | |

Acquérir les notions

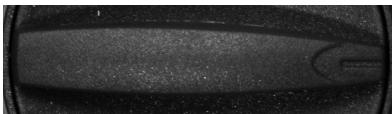
>Lois des circuits électriques

p. 277

8 1. a. et b. Le circuit électrique est constitué d'une pile, d'une lampe et d'un multimètre (ampèremètre). Schéma normalisé :



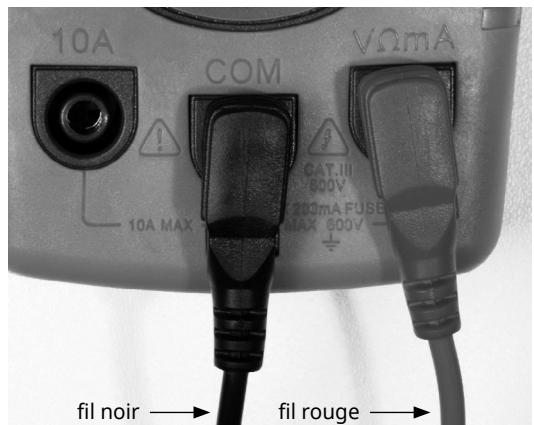
2. a. Il faut positionner le sélecteur du multimètre :



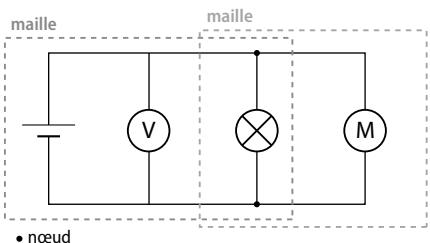
sur le mode A (zone rose sur l'image suivante) pour réaliser une mesure d'intensité de courant.

b. Si l'intensité maximale que peut recevoir la lampe est de 150 mA, on doit utiliser le calibre 200 mA car le calibre doit être toujours supérieur à la valeur maximale mesurée.

c. Les fils de connexion sont convenablement branchés sur le multimètre car le fil rouge est sur la borne mA et le fil noir sur la borne COM.



9 1. a. et b. Schéma normalisé :



2. Tous les dipôles sont en dérivation, la tension à leurs bornes est la même. La mesure réalisée avec le voltmètre permet donc de connaître la tension aux bornes de la pile.

3. Voir schéma ci-dessus : 2 nœuds et 2 mailles.

10 1. Il s'agit de voltmètres en dérivation.

2.

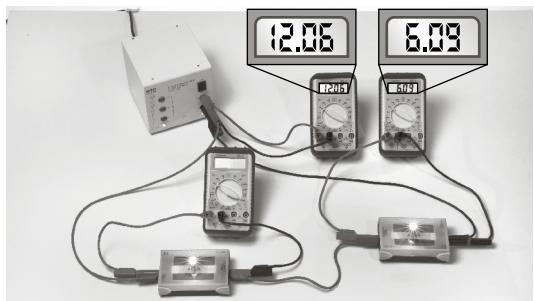
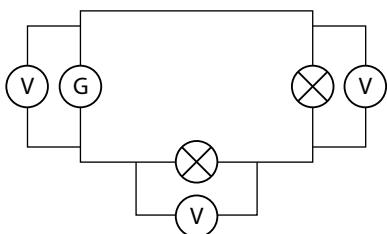


Schéma normalisé :



3. Les voltmètres sont montés en dérivation, la loi d'additivité des tensions s'applique :

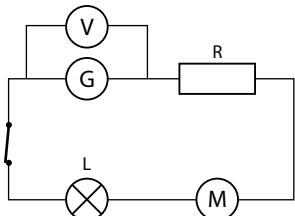
$U_{\text{voltmètre milieu}} = U_{\text{voltmètre gauche}} + U_{\text{voltmètre droite}}$
(Sur la photo, le voltmètre du milieu affiche la valeur de 12,06 V, celui de droite 6,09 V et celui de gauche à l'écran caché.)

Donc : $U_{\text{voltmètre gauche}} = U_{\text{voltmètre milieu}} - U_{\text{voltmètre droite}}$.
 $U_{\text{voltmètre gauche}} = 12,06 - 6,09 = 5,97 \text{ V}$.

La valeur affichée sur l'écran caché est 5,97 V.

4. Les deux lampes sont en série, elles sont donc parcourues par la même intensité de courant.

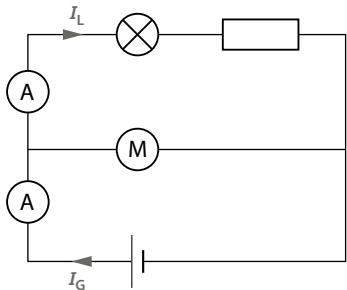
11 1. Schéma normalisé :



2. Aux bornes du générateur G, la tension vérifie la loi d'additivité, donc :

$$\begin{aligned} U_G &= U_L + U_M + U_R \\ U_M &= U_G - U_L - U_R \\ U_M &= 12,1 - 4,6 - 3,2 \\ U_M &= 4,3 \text{ V} \end{aligned}$$

12 1. Schéma normalisé :



2. Ce circuit comporte 2 nœuds et 2 mailles.

3. On applique la loi des nœuds : $I = I_1 + I_2$

$$I_G = I_M + I_L$$

$$I_M = I_G - I_L$$

$$I_M = 420 - 140$$

$$I_M = 280 \text{ mA}$$

La résistance et la lampe sont sur la même branche, donc $I_R = I_L = 140 \text{ mA}$.

► Caractéristiques d'un dipôle

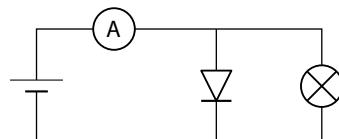
■ p. 278

13 1. Matériel : générateur à tension variable, voltmètre, ampèremètre, fils de connexion, varistance.

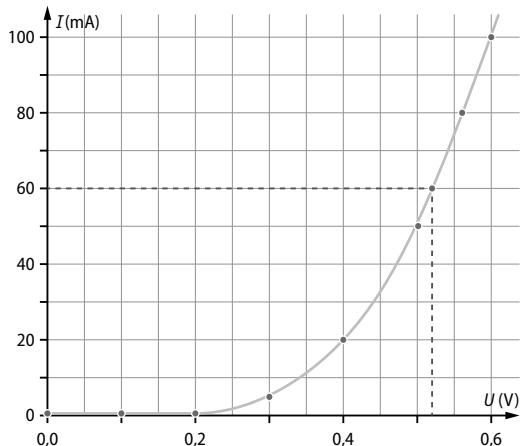
2. La courbe est bornée, les valeurs de I_{max} et U_{max} sont : $I_{\text{max}} = 540 \text{ mA}$ et $U_{\text{max}} = 9,4 \text{ V}$.

3. Pour une tension de 5 V, la valeur du courant qui traverse ce dipôle, est 100 mA.

14 1. Schéma normalisé :



2. Caractéristique tension-intensité :



3. a. La diode est parcourue par un courant à partir d'une valeur de tension minimale de 0,2 V.

b. La tension $U = 0,52 \text{ V}$ permet d'obtenir un courant d'intensité $I = 60 \text{ mA}$.

15 A : cette caractéristique ne peut pas représenter les points de fonctionnement (I ; U) du dipôle D car la courbe est une succession de segments.

B : cette caractéristique ne peut pas représenter les points de fonctionnement (I ; U) du dipôle D car la représentation est complètement irrégulière.

C : cette caractéristique ne peut pas représenter les points de fonctionnement (I ; U) du dipôle D car la droite ne correspond pas aux résultats des élèves.

D : cette caractéristique peut représenter les points de fonctionnement (I ; U) du dipôle D car c'est la meilleure modélisation proposée.

16 1. On cherche sur la courbe donnée le point de fonctionnement pour la valeur 200 mA, soit 0,2 A, on trouve une tension de 1 V.

Une tension de 1 V doit être appliquée à la lampe pour qu'elle commence à briller.

2. a. À partir de la donnée $P = U \cdot I$, on déduit $I = \frac{P}{U}$.

Les valeurs nominales de la lampe sont 12 V-10 W, donc $I = \frac{10}{12} = 0,83$ A.

b. Cette valeur est cohérente avec la caractéristique car, par lecture graphique, on retrouve une valeur proche.

3. La valeur 1 A dépasse la valeur maximale admissible qui est environ de 0,85 A sur le graphique. La lampe sera détériorée.

➤ Conducteurs ohmiques et capteurs ■ p. 279

17 1. On sait que la tension U aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance R , parcouru par un courant d'intensité I est :

$$U = R \cdot I$$

$$U = R \cdot I$$

$$U = 330 \times 73 \times 10^{-3}$$

$$U = 24 \text{ V}$$

2. À partir de la donnée $P = U \cdot I$, on calcule P .

$$P = 24 \times 73 \times 10^{-3}$$

$$P = 1,8 \text{ W}$$

$P > 1 \text{ W}$, donc ce conducteur ohmique ne peut pas être utilisé dans ce circuit.

18 1. *Matériel* : générateur à tension variable, voltmètre, ampèremètre, fils de connexion, conducteur ohmique.

2. L'intensité du courant vaut 13 mA = 0,013 A.

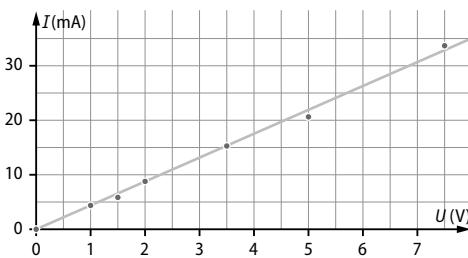
$$3. U = R \cdot I \text{ donc } R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{6}{0,013} = 4,6 \times 10^2 \Omega$$

4. $P_{\max} = U_{\max} \cdot I_{\max}$ donc :

$$P_{\max} = 10,8 \times 23 \times 10^{-3} = 0,25 \text{ W}$$

19 1. Caractéristique tension-intensité :



2. La caractéristique est représentée par une droite qui passe par l'origine, donc les valeurs de la tension et de l'intensité du courant sont proportionnelles. La caractéristique est modélisée par une fonction linéaire.

3. Le calcul du coefficient directeur donne la valeur de la résistance : $R = 250 \Omega$.

20 1. **a.** La valeur de la résistance dépend de l'éclairement.

b. Pour un éclairement de 300 lux, la valeur de la résistance est estimée à $6 \times 10^6 \Omega$.

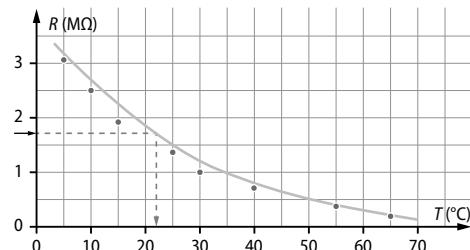
2. a. La photorésistance est un capteur dit « non linéaire », la caractéristique ne peut pas être modélisée par une fonction linéaire.

b. Non, la variation de la valeur de la résistance est beaucoup plus marquée pour les faibles éclairages.

3. Exemples : éclairage automatique, détecteur de présence, luxmètre.

21 1. *Exemples* : thermomètre, thermostat, métro.

2. *Courbe R(T) :*

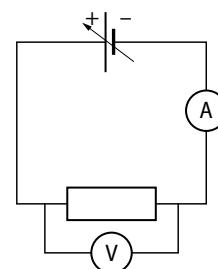


3. Par lecture graphique, la température vaut 22 °C.

4. La courbe $R(T)$ est une courbe d'étalonnage car elle permet de relier R et T .

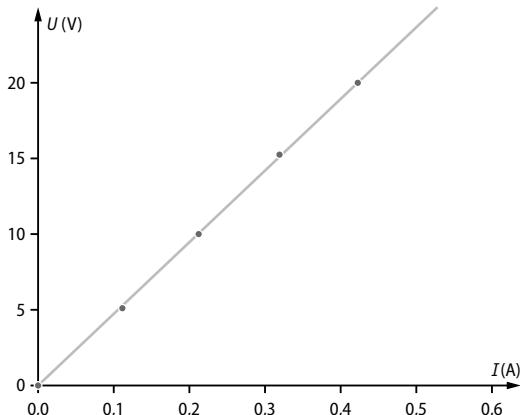
Exercices similaires aux exercices résolus ■ p. 280 et 281

23 1. Le voltmètre est branché en dérivation, l'ampermètre en série.



2. Pour un conducteur ohmique, la caractéristique est une droite qui passe par l'origine.

3. Caractéristique intensité-tension :



4. D'après le cours, on sait que la résistance R d'un conducteur ohmique correspond au coefficient directeur de sa caractéristique.

La caractéristique ici est représentée par une droite $y = a \cdot x$, donc son coefficient directeur est de la forme $a = \frac{y}{x}$.

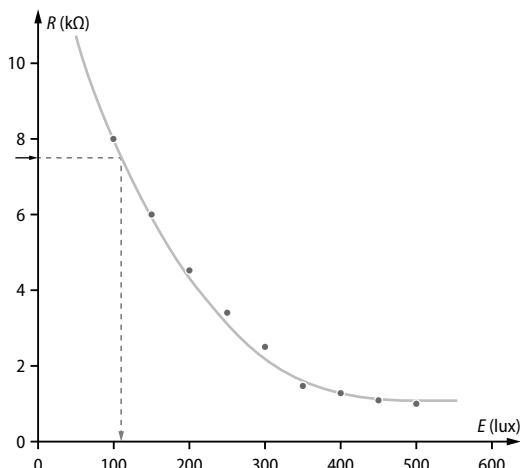
En remplaçant a par R , on a :

$$R = \frac{y}{x} = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{20}{0,42}$$

$$R = 48 \Omega$$

25 1. Graphique :



2. On n'obtient pas une droite, donc ce capteur n'est pas linéaire.

3. Par lecture graphique, lorsque $R = 7,5 \text{ k}\Omega$, $E = 120 \text{ lux}$.

Croiser les notions

p. 282

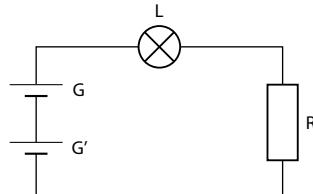
26 > Démarche avancée

Schématiser le circuit afin d'identifier la position de chaque dipôle.

L'exploitation de la loi des mailles permet d'établir la relation entre les tensions aux bornes des dipôles et conduit à la valeur de la tension aux bornes de la résistance R .

L'écriture de la loi d'Ohm permet d'aboutir à la valeur de la résistance.

Schéma normalisé :



$$U_G + U_{G'} = U_L + U_R$$

$$U_R = U_G + U_{G'} - U_R$$

$$U_R = 1,5 + 1,5 - 1,2$$

$$U_R = 1,8 \text{ V}$$

$$U_R = R \cdot I \text{ donc } R = \frac{U_R}{I}$$

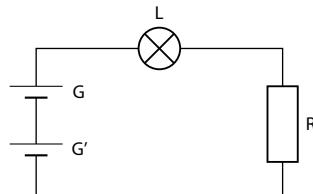
$$R = \frac{1,8}{18} \times 10^{-3}$$

$$R = 100 \Omega$$

La plus petite valeur de résistance qui permet de protéger la LED est 100Ω .

> Démarche élémentaire

1. Schéma normalisé :



$$\text{2. a. } U_G + U_{G'} = U_L + U_R$$

$$U_R = U_G + U_{G'} - U_R$$

$$U_R = 1,5 + 1,5 - 1,2$$

$$U_R = 1,8 \text{ V}$$

$$\text{b. } U_R = R \cdot I \text{ donc } R = \frac{U_R}{I}$$

$$R = \frac{1,8}{18} \times 10^{-3}$$

$$R = 100 \Omega$$

27 1. a. Le multimètre ainsi utilisé est nommé ohmètre.

b. La grandeur mesurée est la résistance.

2. a. D'après la loi d'additivité des intensités (appelée aussi loi des noeuds), une association en

dérivation permet d'obtenir l'intensité du courant la plus élevée.

b. Pour des dipôles associés en dérivation :

- la loi d'additivité des intensités permet d'écrire :

$$I = I_1 + I_2$$

- la loi d'unicité des tensions permet d'écrire :

$$U = U_1 = U_2$$

$$U_1 = U_2 \text{ donc } R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2.$$

Comme $R_1 = R_2 = R$, alors $R \cdot I_1 = R \cdot I_2$ d'où $I_1 = I_2$.

$$U = R \cdot (I_1 + I_2)$$

Comme $I_1 = I_2$ alors $U = R \cdot (I + I)$, soit $U = R \cdot 2I$, donc :

$$I = \frac{U}{2R}$$

$U = 12 \text{ V}$ et $R = 21 \Omega$ (21 : valeur indiquée par l'écran du multimètre), alors :

$$I = \frac{12}{2 \times 21}$$

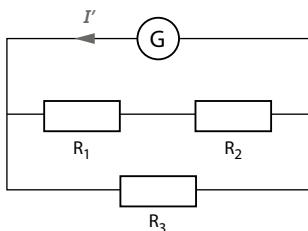
$$I = 0,29 \text{ A}$$

28 **1.** On applique la loi d'Ohm : $U = R \cdot I$

$$\text{donc } I = \frac{U}{R}.$$

$$I = \frac{4,5}{470} = 9,6 \text{ mA}$$

2. a. Schéma normalisé :



b. D'après la loi des nœuds : $I' > I$.

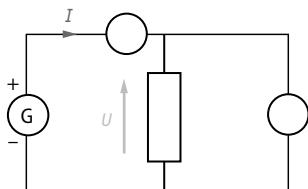
c. On a :

$$U = R_3 \cdot I'_2 = (R_1 + R_2) \cdot I'_1 \text{ et } I' = I'_1 + I'_2,$$

$$\text{d'où } I' = \frac{U}{R_1 + R_2} + \frac{U}{R_3} = \frac{4,5}{470 + 270} + \frac{4,5}{330}$$

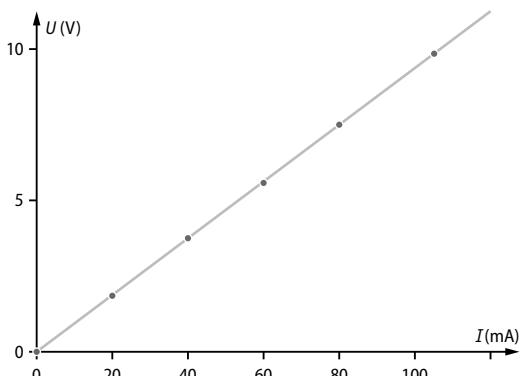
$$I' = 20 \text{ mA}$$

29 **1.** Schéma normalisé :



La position de l'ampèremètre est celle du rond du haut et la position du voltmètre est celle du rond de droite.

2. a. Caractéristique intensité-tension :



b. La valeur de la résistance est égale au coefficient directeur de la droite : $R = 100 \Omega$.

30 ■ Animation

(→ disponible par l'application Bordas Flashpage, ainsi que sur les manuels numériques enseignant et élève.)

► Intensité et tension électriques

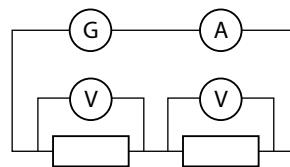
■ p. 282

Cette animation permet de simuler la mesure de la tension aux bornes de deux conducteurs ohmiques associés en série ainsi que l'intensité du courant dans le circuit.

Les caractéristiques tension-intensité correspondantes sont tracés en temps réel. Il est possible de modifier la résistance du premier dipôle ainsi que la tension du générateur.

1. a. On utilise un ampèremètre et deux voltmètres.

b. Schéma normalisé :



2. a. La loi d'additivité des tensions s'écrit :

$$U_G = U_1 + U_2$$

Or $U_G = 5,4 \text{ V}$ et $U_1 + U_2 = 3,6 + 1,8 = 5,4 \text{ V}$.

La loi d'additivité est bien vérifiée.

b. La loi d'Ohm s'écrit : $U = R \cdot I$ donc $I = \frac{U}{R}$.

$$I = \frac{3,6}{100} = 36 \text{ mA. Cette valeur est cohérente.}$$

$$\text{c. } R = \frac{U}{I} = \frac{1,8}{36} \times 10^{-3}$$

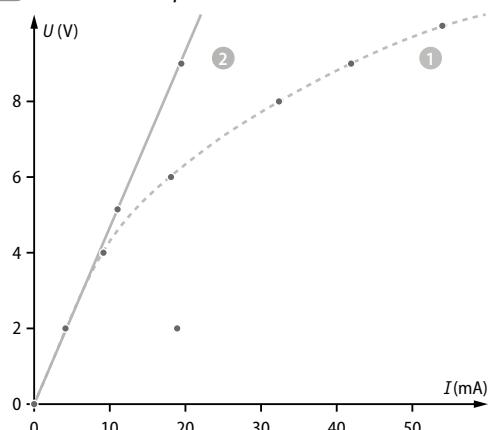
$$R = 50 \Omega$$

3. a. Les droites représentent les caractéristiques des deux conducteurs ohmiques.

b. Les valeurs affichées sont cohérentes avec les valeurs graphiques.

c. La caractéristique de plus forte pente correspond bien à la résistance la plus élevée.

31 1. Caractéristiques intensité-tension :



2. Seul le dipôle D_2 a une caractéristique linéaire. Le dipôle D_2 est donc un conducteur ohmique.

3. La caractéristique d'un conducteur ohmique est une droite qui passe par l'origine, ce qui explique son appellation de « dipôle linéaire ».

32 1. D'après le cours, on sait que la résistance R d'un conducteur ohmique correspond au coefficient directeur de sa caractéristique. La caractéristique 2 ici est représentée par une droite $y = a \cdot x$, donc son coefficient directeur est de la forme $a = \frac{y}{x}$.

En remplaçant a par R_1 , on a :

$$R_1 = \frac{y}{x} = \frac{U}{I}$$

$$R_1 = \frac{6}{60 \times 10^{-3}}$$

$$R_1 = 100 \Omega$$

2. Pour une valeur de l'intensité I donnée, la valeur de la tension sera plus grande pour une association en série que pour une association en dérivation.

La caractéristique 1 correspond donc au circuit **B** et la caractéristique 3 au circuit **C**.

3. Le circuit **B** est un circuit série, la loi des mailles permet d'écrire : $U = U_1 + U_2$ donc :

$$U = (R_1 + R_2) \cdot I$$

$$U = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I$$

$$R_2 \cdot I = U - R_1 \cdot I$$

$$R_2 = \frac{U - R_1 \cdot I}{I}$$

Le circuit **B** est associé à la caractéristique 1, donc pour $U = 6 \text{ V}$, $I = 24 \text{ mA}$, alors :

$$R_2 = \frac{6 - 100 \times 24 \times 10^{-3}}{24 \times 10^{-3}}$$

$$R_2 = 150 \Omega$$

4. Calculons I dans le circuit **C** pour une tension U de 6 V par exemple.

Le circuit **C** est un circuit en dérivation, la loi des nœuds permet d'écrire :

$$I = I_1 + I_2 \text{ donc :}$$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} \text{ soit } I = \frac{6}{100} + \frac{6}{150};$$

$I = 0,1 \text{ A}$. Ce résultat est cohérent avec la caractéristique 3.

33 1. a. Sur la caractéristique, on observe deux zones :

- une zone où l'intensité du courant est nulle, la diode se comporte comme un interrupteur ouvert ;
- une zone où l'intensité est non nulle.

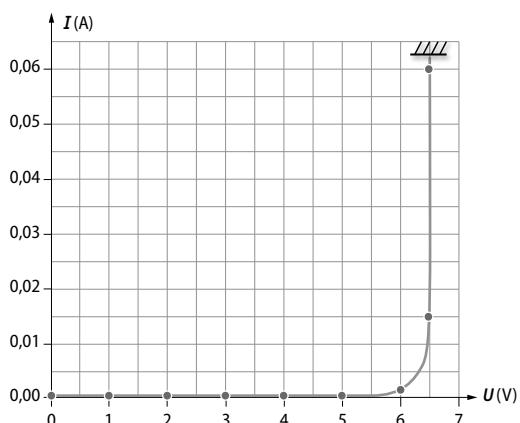
b. Par lecture graphique, la tension de seuil de la diode vaut 5 V.

2. a. Au-delà de la tension de seuil U_s , la caractéristique de la diode est linéaire comme un conducteur ohmique.

b. Le coefficient directeur de cette droite vaut 3Ω .

34 Au xx^e siècle, le physicien américain, Clarence Zener, décrivit les propriétés de matériaux qui furent exploitées ultérieurement pour développer les diodes portant son nom : les diodes zener.

La caractéristique tension-courant d'une diode zener est représentée ci-dessous :



1. Pourquoi peut-on affirmer que la tension aux bornes de la diode zener est indépendante du courant qui la traverse ?

2. Quelle est la valeur de la tension limite que cette diode peut atteindre ?

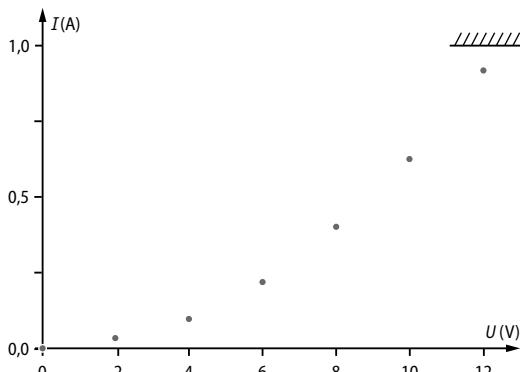
Corrigé :

1. Au-delà de la tension de seuil, la tension aux bornes d'une diode zener est constante et indépendante de la valeur de l'intensité du courant qui la traverse.

2. Par lecture graphique, cette tension vaut 6,5 V.

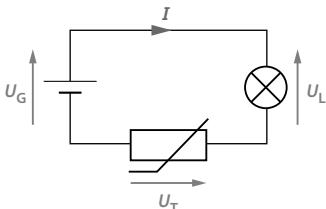
35 1. La relation donnée par le fabricant entre U et I n'est pas linéaire, ce dipôle n'est pas un conducteur ohmique.

2. Caractéristique tension-intensité :



36 1. La valeur de la résistance est égale au coefficient directeur de la caractéristique. On observe que la valeur du coefficient directeur diminue lorsque la température augmente. Donc, la résistance baisse quand la température augmente.

2. a. Schéma normalisé :



b. On applique la loi des mailles (additivité des tensions) : $U_G = U_L + U_T$.

3. Pour que la lampe brille, il faut :

$$U_L = 3,5 \text{ V} \text{ et } I_L = 450 \text{ mA}$$

D'après la caractéristique, cette intensité correspond à une tension $U_T = 2,5 \text{ V}$.

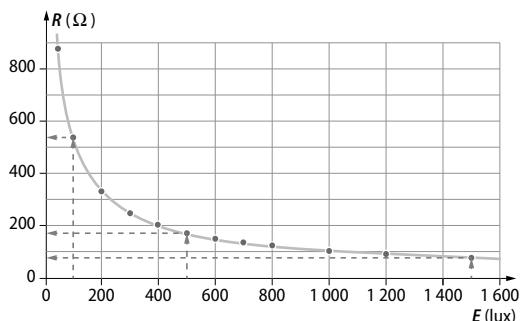
$$\text{On a donc : } U_G = 3,5 + 2,5 = 6 \text{ V.}$$

4. À 60 °C pour une tension de 6 V, la tension aux bornes de la thermistance vaut 2,5 V.

On a une intensité de 200 mA d'après la caractéristique. La lampe ne brillera donc pas correctement.

37 1. a. Le graphique donné permet de déterminer les valeurs de la résistance R pour les trois éclairements proposés :

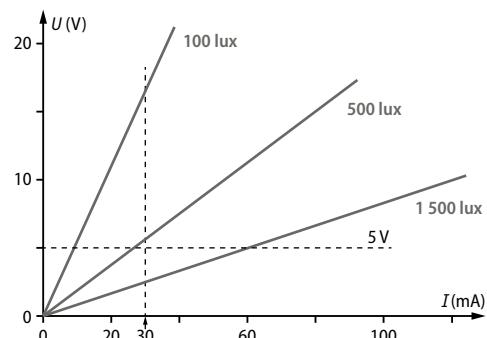
$$R_{100 \text{ lux}} = 550 \Omega, R_{500 \text{ lux}} = 180 \Omega, R_{1500 \text{ lux}} = 80 \Omega.$$



La caractéristique intensité-tension $U = f(I)$ est une droite passant par l'origine de la forme $y = a \cdot x$, avec a le coefficient directeur de la droite.

Les valeurs trouvées de la résistance R correspondent aux coefficients directeurs des caractéristiques intensité-tension, donc $R = a$, d'où les représentations suivantes avec ci-dessous un exemple de valeurs pour tracer les droites :

E (en lux)	100	500	1 500
R (en Ω)	550	180	80
Si on choisit : $x = 30 \text{ mA} = 30 \times 10^{-3} \text{ A}$			
$y = R \times 30 \times 10^{-3}$	16,5 V	5,4 V	2,4 V



b. Par lecture graphique, pour une tension de 5 V, on mesure l'intensité du courant : celle-ci passe d'environ de 10 mA à 60 mA. L'affirmation est donc vérifiée en ordre de grandeur.

2. Pour un éclairement de 100 lux, $R_p = 550 \Omega$ et d'après l'énoncé, $R_f = 50 \Omega$.

$U_G = R \cdot I = (R_p + R_f) \cdot I$ et $I = 20 \text{ mA}$ car le relais se déclenche à cette valeur d'intensité de courant.

$$U_G = (550 + 50) \times 20 \times 10^{-3}$$

$U_G = 12 \text{ V}$. Pour un éclairement de 100 lux, il faut une tension de 12 V.

38

EXEMPLE D'EXPOSÉ ORAL

La caractéristique proposée présente deux zones distinctes :

- une zone où l'intensité du courant augmente quand la tension aux bornes du dipôle augmente ;
- une zone où l'intensité du courant est nulle pour toute valeur de la tension.

Dans cette seconde zone, tout se passe comme si le courant ne circulait plus dans le dipôle. Cette situation correspond à un dipôle détérioré qui se comporte comme un interrupteur ouvert. Il est probable que les élèves aient dépassé la puissance admissible par le dipôle en sortant de son domaine de fonctionnement.

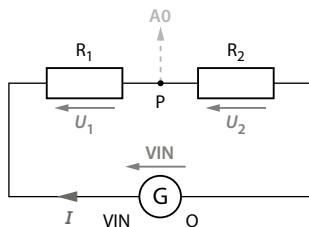
39 L'ordre de grandeur de la masse d'une fourmi est de 100 mg. Elle exerce donc sur le capteur une force d'environ 1 N.

Sur les capteurs de pression, appelés aussi jauge de contrainte, une variation de 1 N peut se traduire par une variation de résistance de plusieurs ohms, ce qui est tout à fait mesurable.

Acquérir des compétences

► p. 285

40



L'entrée A0 mesure la tension entre les points P et O. Cela correspond à la tension aux bornes de la résistance R_2 .

➤ Le problème à résoudre

On exploite les lois des circuits :

- loi des mailles : $U_{\text{VIN}} = U_1 + U_2$;
- loi des noeuds : $U_1 = R_1 \cdot I$ et $U_2 = R_2 \cdot I$.

$$\text{Donc } U_{\text{VIN}} = (R_1 + R_2) \cdot I \text{ et } I = \frac{U_2}{R_2}$$

$$\text{d'où } U_2 = R_2 \cdot \frac{U_{\text{VIN}}}{R_1} + R_2.$$

Application numérique :

$U_{\text{VIN}} = 12 \text{ V}$; $R_1 = 3,3 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 1,1 \text{ k}\Omega$, donc $U_2 = 3 \text{ V}$. La tension d'entrée est donc bien divisée par 4.

41 ➤ Démarche experte

Utiliser les lois des circuits électriques pour établir l'expression de l'intensité du courant I avant de déterminer graphiquement la valeur de la tension de seuil de la diode.

Ces deux valeurs permettent de calculer l'intensité maximale du courant.

La loi des mailles s'écrit : $I = I_1 + I_2$.

La loi d'Ohm s'écrit : $U = R \cdot I_1$ donc $I_1 = \frac{U}{R}$.

D'où : $I = \frac{U}{R} + I_2$.

Par lecture graphique, on obtient une tension de seuil de 0,4 V.

Pour que la LED s'éclaire, il faut que $I_2 \geq 0$, ce qui est équivalent à $I_{\text{max}} - \frac{U_s}{R} \geq 0$, d'où : $I_{\text{max}} \geq \frac{U_s}{R}$;

$$\frac{U_s}{R} = \frac{0,4}{40} = 10.$$

$$\frac{U_s}{R} = 10 \text{ donc } I_{\text{max}} \geq 10 \text{ mA.}$$

La valeur de l'intensité du courant I_{max} à partir de laquelle la DEL étudiée va s'allumer pour signaler une surintensité est 10 mA.

➤ Démarche avancée

1. La loi des mailles s'écrit : $I = I_1 + I_2$.

La loi d'Ohm s'écrit : $U = R \cdot I_1$ donc $I_1 = \frac{U}{R}$.

D'où : $I = \frac{U}{R} + I_2$.

2. Par lecture graphique, on obtient une tension de seuil de 0,4 V.

3. Pour que la LED s'éclaire, il faut que $I_2 \geq 0$, ce qui est équivalent à $I_{\text{max}} - \frac{U_s}{R} \geq 0$, d'où : $I_{\text{max}} \geq \frac{U_s}{R}$;

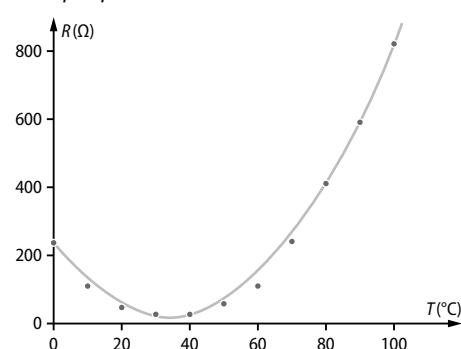
$$\frac{U_s}{R} = \frac{0,4}{40} = 10.$$

$$\frac{U_s}{R} = 10 \text{ donc } I_{\text{max}} \geq 10 \text{ mA.}$$

L'intensité du courant doit être supérieure ou égale à 10 mA.

42 1. On réalise l'étalonnage du capteur (voir **activité 3**, page 270).

2. a. Graphique :



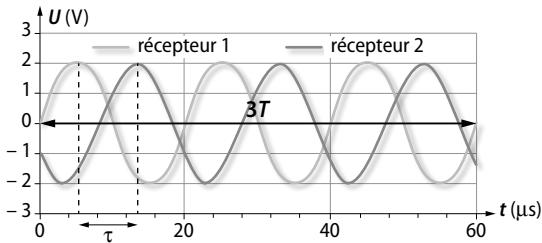
- b.** Par comparaison avec le **document 1**, on reconnaît l'allure de la caractéristique d'une thermistance CTP.
- 3. a.** Les pictogrammes de sécurité indiquent que ce produit doit être manipulé sous une hotte et loin de toute source de chaleur.
- b.** Par lecture graphique, pour $86\ \Omega$, on mesure une température de $55\ ^\circ\text{C}$.
- c.** Ce résultat est proche de la valeur attendue.
- 43** **1.** Sur le graphique, les points ne sont pas alignés, ce capteur n'est pas linéaire.
- 2.** Sur le graphique, on observe que la résistance augmente quand la concentration augmente, or une solution colorée absorbe d'autant plus la lumière que sa concentration est élevée. On peut donc dire que la résistance augmente quand l'éclairement diminue.
- 3.** Le graphique permet d'étalonner la photorésistance car il donne une correspondance entre une grandeur mesurable (R) et la grandeur d'intérêt (E).
- 4.** Par lecture graphique, la concentration de la solution vaut $35\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Ondes et signaux

1. LE SON CHEZ LES DAUPHINS

1. Les ultrasons se situent à des fréquences supérieures à 20 kHz.

2. a. À partir du **document 1 A**, on détermine la fréquence f des ondes ultrasonores émises par les dauphins.



Pour être précis, on va mesurer plusieurs périodes :

$$3T = 60 \text{ } \mu\text{s}.$$

On en déduit la période T :

$$T = \frac{60}{3} = 20 \text{ } \mu\text{s} = 20 \times 10^{-6} \text{ s}$$

La fréquence f du signal est : $f = \frac{1}{T}$.

$$\text{Donc } f = \frac{1}{20 \times 10^{-6}} = 50 \text{ kHz.}$$

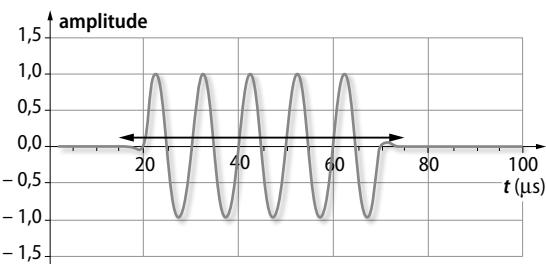
b. On note τ ce retard sur le graphique A :

$$\tau = 12 - 4 = 8 \text{ } \mu\text{s}$$

c. La célérité v des ondes ultrasonores dans l'eau est :

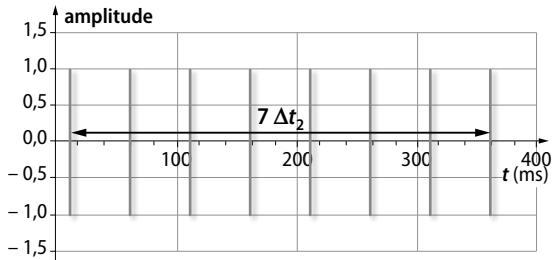
$$v = \frac{d}{\tau} = \frac{12 \times 10^{-3}}{8 \times 10^{-6}} = 1,5 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

3. • Durée totale Δt_1 d'un clic :



$$\Delta t_1 = 75 - 15 = 60 \text{ } \mu\text{s}$$

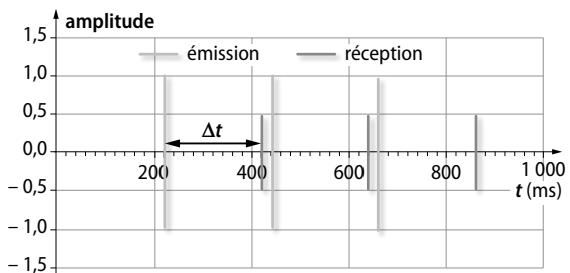
• Durée Δt_2 entre deux clics d'un train :



$$\Delta t_2 = \frac{360 - 10}{7} = 50 \text{ ms}$$

Sur le **document 2 C**, un clic est représenté par un simple trait vertical car $60 \text{ } \mu\text{s} \ll 50 \text{ ms}$.

4. a. À partir du **document 3 D**, on détermine Δt .



$$\Delta t = 420 - 220 = 2,0 \times 10^2 \text{ ms} = 0,20 \text{ s}$$

b. Le clic effectue un aller-retour.

L'onde ultrasonore parcourt la distance $2H$ pendant la durée Δt .

L'expression de la vitesse v est :

$$v = \frac{2H}{\Delta t}$$

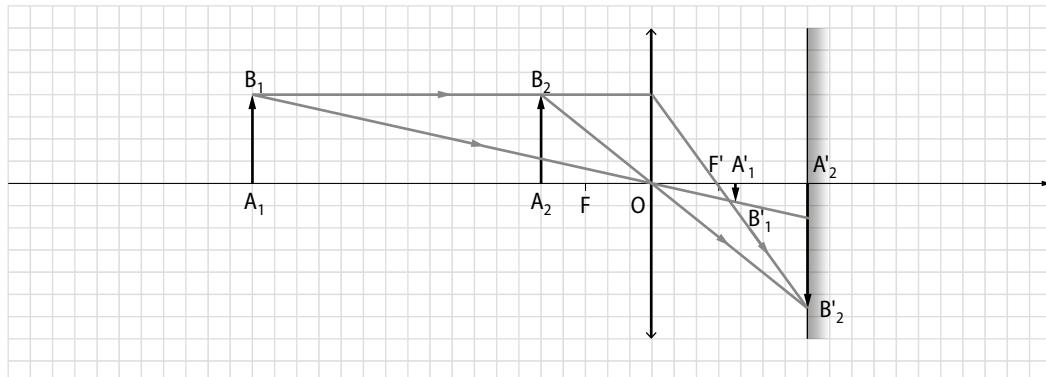
$$\text{donc } H = \frac{v \cdot \Delta t}{2} = \frac{1530 \times 0,20}{2}$$

$$\text{soit } H = 1,5 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

2. DIAGNOSTIC OPHTALMIQUE

1. L'élément **a** correspond à l'ensemble « cornée + cristallin ».
L'élément **b** correspond à la rétine.

2. a. Schéma :



- b.** L'image $A'_2B'_2$, perçue par l'œil de Mélanie lorsqu'elle observe l'objet A_2B_2 , se situe sur la rétine.
c. Mélanie ne peut pas voir nettement l'image $A'_1B'_1$ si l'objet est A_1B_1 car cette image se forme avant la rétine.

3. Mélanie ne voit pas bien de loin, mais voit bien de près : elle est myope.

C'est pour cette raison qu'elle se rapproche d'un objet quand elle veut le voir.

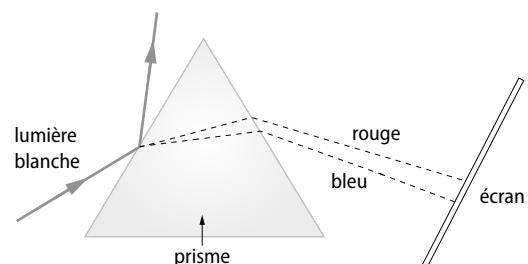
Pour corriger le défaut de l'œil de Mélanie, il faut que l'image d'un objet lointain puisse se former sur la rétine, donc que le cristallin soit moins convergent.

Pour avoir recours à la chirurgie, la croissance de l'œil doit être terminée, donc il faudra attendre que Mélanie soit adolescente. En attendant, elle peut porter des lunettes avec un verre correcteur (lentille divergente).

$$r = \sin^{-1} \left(\frac{\sin 20}{1,61} \right)$$

$$r = 12^\circ$$

2. a. Dans le cas de la lumière blanche, on observe sur l'écran la décomposition de la lumière blanche, donc le spectre de la lumière blanche. En effet, comme l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde, chaque radiation sera déviée différemment. Plus la longueur d'onde est petite, plus l'indice de réfraction est important, donc plus le phénomène de réfraction est important. Le bleu (petite longueur d'onde) sera donc plus dévié que le rouge (grande longueur d'onde).



3. EXPÉRIENCES AVEC UN PRISME

- 1. a.** La lumière émise par le laser est une lumière monochromatique car elle est composée que d'une seule longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$.

b. Le verre utilisé est le verre flint.

D'après la courbe rouge (graphique A), pour $\lambda = 633 \text{ nm}$, l'indice de réfraction est $n = 1,61$.

c. Les deux phénomènes optiques qui ont lieu à l'interface air-verre sont la réflexion et la réfraction.

Pour la réflexion, d'après la loi de Descartes :

• $i = i'$, comme $i = 20^\circ$ alors $i' = 20^\circ$;

$$\bullet \sin i = n \cdot \sin r, \text{ donc } \sin r = \frac{\sin i}{n}$$

$$r = \sin^{-1} \left(\frac{\sin i}{n} \right)$$

- b.** Les limites des longueurs d'onde dans le vide du spectre visible sont : 400 nm (violet) et 800 nm (rouge).

Les rayonnements ultraviolets se situent au niveau des longueurs d'onde $\lambda < 400 \text{ nm}$.

Les infrarouges se situent au niveau des longueurs d'onde $\lambda > 800 \text{ nm}$.

- 3.** Dans le cas d'une lampe à vapeur de sodium, on observe sur l'écran un spectre d'émission de raies. Les longueurs d'onde des deux raies du sodium sont : $\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}$.

4. DÉTECTEUR DE LUMIÈRE

1. a. Les paramètres ayant une influence sur la valeur de la résistance d'un matériau sont sa surface, sa longueur et sa résistivité.

La résistivité est sans doute sensible à l'intensité lumineuse pour une photorésistance.

b. La résistance d'une photorésistance diminue avec le flux lumineux.

2. Une photorésistance n'est pas sensible de la même façon à toutes les radiations lumineuses. Elle est davantage sensible aux longueurs d'onde du visible.

3. a. Comme une photorésistance a une résistance qui dépend de l'intensité lumineuse (plus l'intensité

lumineuse est importante, plus la résistance est faible, donc plus elle laisse passer le courant), elle peut être utilisée comme détecteur de lumière.

b. La tension au niveau de l'entrée du microcontrôleur dépend de la tension aux bornes de la résistance de $10\text{ k}\Omega$.

c. Il y a une tension non nulle quand la résistance de $10\text{ k}\Omega$ est traversée par un courant électrique, c'est le cas quand la photorésistance est éclairée (car sa résistance est minimale).

Il y a une tension nulle quand la résistance de $10\text{ k}\Omega$ n'est pas traversée par un courant électrique, c'est le cas quand la photorésistance n'est pas éclairée (car sa résistance est maximale).