

PHYSIQUE CHIMIE

2de

Programme 2019



ÉLÈVE

bordas

Votre manuel augmenté !

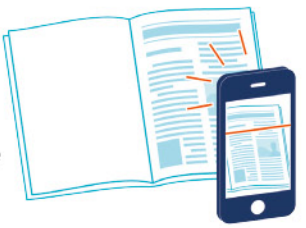
Avec bordas Flash PAGE, vous avez un accès facile et rapide aux ressources numériques de votre manuel papier !

1 **Téléchargez l'application bordas Flash PAGE sur votre smartphone ou tablette.**

Disponible sur Google play Disponible dans l'App Store **L'application est gratuite.**

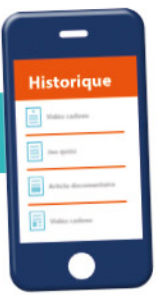
2 **Scannez les pages comportant le picto PAGE Flashable.**

Le picto se trouve à côté du numéro de la page.
Positionnez votre appareil au-dessus de la page et flashez la page entière en appuyant sur le bouton. L'appli reconnaîtra la page.



3 **Découvrez les ressources numériques du manuel : cours en podcasts, corrigés détaillés d'exercices, QCM interactifs, animations, vidéos d'expérience, documentaires et tutorielles.**

Une fois flashées, ces ressources restent en mémoire.



→ L'usage du smartphone ou de la tablette n'est pas possible ? Certaines ressources du manuel sont accessibles depuis le site **lycee.editions-bordas.fr**

Ressources élève

	bordas Flash PAGE	Site
Cours en podcast	✓	
37 animations	✓	
16 vidéos d'expériences, documentaires ou tutorielles	✓	
12 QCM interactifs	✓	
Corrigés détaillés d'exercices	✓	✓

Site ressources lycee.editions-bordas.fr

Collection ESPACE

PHYSIQUE CHIMIE

2de

Programme **2019**

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

bordas éditeur

POUR BIEN UTILISER VOTRE MANUEL

En ouverture de chapitre

Cette page vous permet de réviser les **acquis indispensables** et de vous tester avant d'entrer dans le chapitre.

Les **corrigés** de ces tests sont accessibles facilement en ligne *(voir p. 9)*.



Ces **notions** et **capacités expérimentales** sont exigibles une fois le chapitre étudié.

Dans les activités

Vous pouvez préparer les activités de type **classe inversée** en autonomie grâce à des documents et des ressources numériques *(voir p. 9)*.

Voici ce qui est attendu de vous **pour réussir** chaque activité.





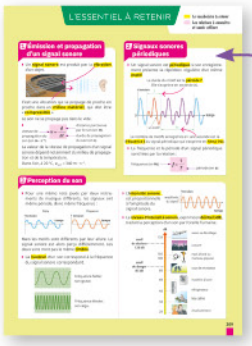
Dans les activités de type « **Démarches différenciées** », choisissez la démarche qui vous semble la mieux adaptée pour vous :

- DÉMARCHE EXPERTE
- DÉMARCHE AVANCÉE
- DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

Le cours

Pour bien comprendre les notions du chapitre, vous disposez d'un **cours** complet de 3 pages.

PODCAST **Téléchargez le cours en version audio** *(voir p. 9)* **grâce à Bordas Flashpage ou sur le manuel numérique.**



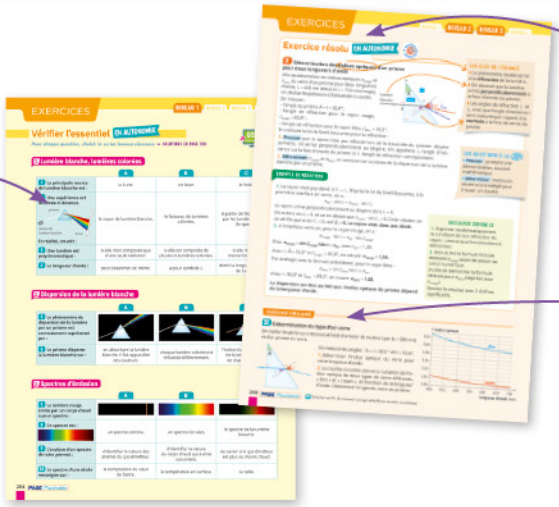
À la fin du cours, la **fiche de cours** illustrée vous aidera dans vos révisions.

© BORDAS/SEJER, Paris 2019 – ISBN : 978-2-04-733678-6

Les QCM et exercices résolus

Vérifiez vos acquis par les **QCM**. La solution est en fin de manuel.

Une **version numérique** des QCM est disponible *(voir p. 9)*.



Grâce aux **exercices résolus**, apprenez à décrypter un énoncé et à bien rédiger.

L'**exercice similaire** est construit sur le modèle de l'exercice résolu. La solution est en fin de manuel.

Un corrigé plus détaillé est disponible en version numérique *(voir p. 9)*.

Dans les exercices

Les **exercices** sont classés par **niveaux**.

Sur les pages niveaux 1-2, faites le point sur tout **ce que vous devez savoir et savoir faire**.

La **solution** des exercices de numéro bleu est en fin de manuel.

Un corrigé plus détaillé est disponible en **version numérique** *(voir p. 9)*.



Les exercices de **niveaux 3-4** sont de type bac.



DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

Choisissez le **niveau** de la **démarche** en faisant le choix d'être plus ou moins accompagné.

À L'ORAL

Entraînez-vous pour être à l'aise **à l'oral** !

Le dernier exercice s'adresse à ceux qui souhaitent choisir la **spécialité physique-chimie en 1re.**

► **Retrouvez des exercices de synthèse en fin de chaque partie.**

Les sciences et nous

Découvrez des **applications** et des **métiers** en lien avec le chapitre.

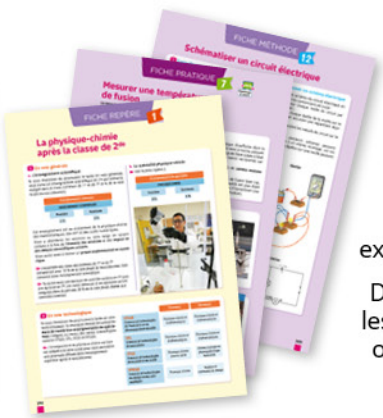


Les fiches

Des **fiches repère** pour préparer votre orientation.

Des **fiches pratiques** pour maîtriser les gestes expérimentaux et des outils numériques.

Des **fiches méthode** pour comprendre les incertitudes de mesure, maîtriser des outils scientifiques ou mathématiques.



LA PROGRESSIVITÉ DES APPRENTISSAGES DANS VOTRE MANUEL

Les niveaux d'exercices

NIVEAU 1 NIVEAU 2 NIVEAU 3 NIVEAU 4

Votre manuel comprend des exercices de **4 niveaux de difficulté** différents.

Ces quatre niveaux correspondent aux différents niveaux de difficulté des questions des **épreuves du baccalauréat**.



NIVEAU 1

Les questions ne demandent aucun raisonnement. Ce sont, par exemple, des questions de restitution directe de connaissances ou de simple application numérique.

NIVEAU 2

Les questions demandent un raisonnement simple, par exemple l'application directe d'une loi.

NIVEAU 3

Les questions demandent un raisonnement moyennement élaboré. Il y a plusieurs étapes.

NIVEAU 4

Les questions demandent un raisonnement élaboré. Il y a plusieurs paramètres à prendre en compte, plusieurs étapes...

Les démarches différenciées

DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

Certaines activités et certains exercices du manuel vous proposent **deux** ou **trois démarches au choix** :

DÉMARCHE EXPERTE → Il y a un objectif à atteindre et pas de guidage. Vous trouvez la démarche à suivre en toute autonomie.

DÉMARCHE AVANCÉE → Quelques questions vous orientent vers le raisonnement à suivre pour atteindre l'objectif.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE → Vous êtes accompagné·e dans la démarche de résolution : plusieurs questions vous donnent le raisonnement à suivre.



Si vous voulez progresser, choisissez la démarche correspondant à ce que vous estimez être votre niveau, voire le niveau au-dessus.

Ne passez à la démarche plus guidée qu'en cas de difficulté.

LES COMPÉTENCES DE LA DÉMARCHE SCIENTIFIQUE APP AN/RAI RÉA VAL COM

Cinq compétences spécifiques de la démarche scientifique sont travaillées et mobilisées dans les activités et exercices du manuel.

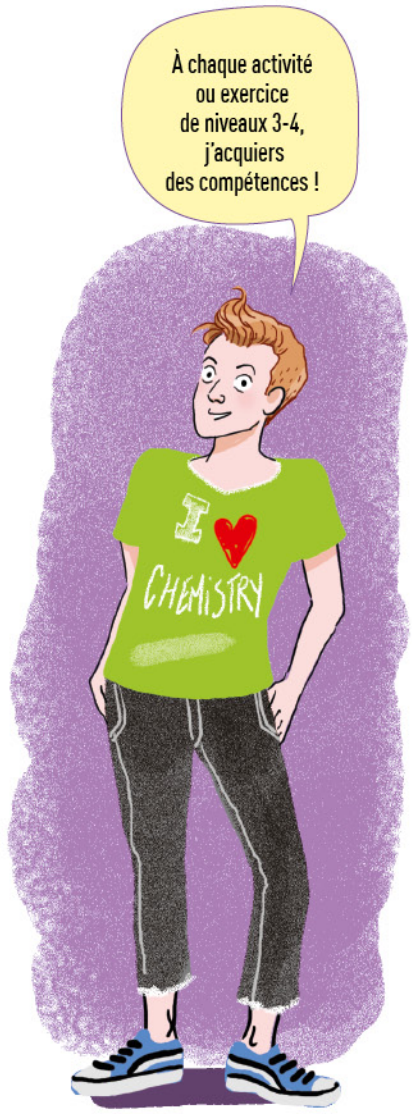
Ce sont ces compétences qui sont notamment évaluées aux **épreuves écrites du baccalauréat** et lors de l'**évaluation des compétences expérimentales** (ECE) pour ceux qui choisiront la spécialité physique-chimie.

- Une **compétence** correspond à un ensemble de connaissances, de savoir-faire et d'attitudes que vous allez utiliser pour résoudre un problème.
- Des exemples d'**attitudes** essentielles en sciences sont la curiosité, l'ouverture d'esprit, l'honnêteté face aux résultats...

À chacune de ces compétences, on peut associer des savoir-faire ou **capacités**. Le tableau ci-dessous présente les 5 compétences, ainsi que des exemples de capacités à acquérir en physique-chimie. Vous les retrouverez tout au long du manuel.

- Le mot **capacité** est synonyme de savoir-faire.

Compétences	Exemples de capacités associées
S'approprier APP	• Énoncer une problématique. • Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée. • Schématiser une situation.
Analyser Raisonner AN/RAI	• Formuler une hypothèse. • Proposer une stratégie de résolution. • Planifier des tâches. • Évaluer des ordres de grandeur. • Choisir un modèle ou des lois pertinentes. • Choisir, élaborer, justifier un protocole. • Faire des prévisions à l'aide d'un modèle. • Procéder à des analogies.
Réaliser RÉA	• Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. • Utiliser un modèle. • Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.). • Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.
Valider VAL	• Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. • Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence. • Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. • Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle. • Interpréter des mesures
Communiquer COM	À l'écrit comme à l'oral : • présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; • utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modèles de représentation appropriés ; • échanger entre pairs.



SOMMAIRE

RABATS AVANT
Bordas Flashpage ... I
Pour expérimenter en toute sécurité ... II
Les pictogrammes de sécurité ... II

RABATS ARRIÈRE
Les relations utiles ... IV
Conversions d'unités ... V
Tableau périodique ... VI

Pour bien utiliser votre manuel ... 2
La progressivité des apprentissages dans votre manuel ... 4
Les compétences de la démarche scientifique ... 5
Comment accéder aux ressources numériques ? ... 9
Les compétences dans le manuel ... 10
Le programme de physique-chimie ... 11

CONSTITUTION ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE

1 La matière qui nous entoure C ... 16
ACTIVITÉS
1. Identifier deux espèces chimiques TP ... 18
2. Préparation de solutions aqueuses TP ... 19
3. Corps pur ou mélange ? TP ... 20
4. Dosage par étalonnage TP ... 21
COURS ... 22
EXERCICES ... 26
QCM ... *26*
Exercices résolus ... *30-31*
À l'oral ... *34*
Acquérir des compétences ... *35-36*

2 Description microscopique de la matière C ... 38
ACTIVITÉS
1. L'atome au fil du temps Classe inversée ... 40
2. Le germanium dans le tableau périodique ... 41
3. Les halogènes TP ... 42
4. La mole, unité de quantité de matière ... 43
COURS ... 44
EXERCICES ... 48
QCM ... *48*
Exercices résolus ... *52-53*
À l'oral ... *56*
Acquérir des compétences ... *57-58*

3 La liaison chimique C ... 60
ACTIVITÉS
1. Notion d'ions monoatomiques ... 62
2. Schéma de Lewis d'une molécule ... 63
3. Identification d'ions et électroneutralité ... 64
4. Évaluation de l'énergie de liaison TP ... 65
COURS ... 66
EXERCICES ... 70
QCM ... *70*
Exercices résolus ... *74-75*
À l'oral ... *78*
Acquérir des compétences ... *79-80*

4 Transformations de la matière C ... 82
ACTIVITÉS
1. Les transformations de la matière : une histoire d'échelle ... 84
2. La chimie, c'est de la cuisine ! ... 85
3. Déterminer le réactif limitant TP ... 86
4. Synthèse de l'arôme de jasmin TP ... 87
COURS ... 88
EXERCICES ... 92
QCM ... *92*
Exercices résolus ... *96-97*
À l'oral ... *100*
Acquérir des compétences ... *101-102*

5 Transferts d'énergie C ... 104
ACTIVITÉS
1. Transfert thermique lors d'un changement d'état ... 106
2. Détermination de l'énergie massique de vaporisation de l'eau TP ... 107
3. Transfert thermique lors d'une transformation chimique TP ... 108
4. Énergie libérée lors des transformations nucléaires Classe inversée ... 109

COURS 110
EXERCICES 114
QCM 114
Exercices résolus 118-119
À l'oral 120
Acquérir des compétences 121-122

Exercices de synthèse 124

MOUVEMENT ET INTERACTIONS

6 Description d'un mouvement P 130
ACTIVITÉS
1. Échelles caractéristiques d'un système 132
2. Choix d'un référentiel Classe inversée 133
3. Vecteur vitesse TP 134
4. Mouvement rectiligne et vecteur vitesse TP 135
COURS 136
EXERCICES 140
QCM 140
Exercices résolus 144-145
À l'oral 148
Acquérir des compétences 149-150

7 Modélisation d'une action sur un système P 152
ACTIVITÉS
1. Actions mécaniques et forces 154
2. La force d'interaction gravitationnelle 155
3. Poids et masse, une vraie différence 156
4. La troisième loi de Newton TP 157
COURS 158
EXERCICES 162
QCM 162
Exercices résolus 166-167
À l'oral 170
Acquérir des compétences 171-172

8 Le principe d'inertie P 174
ACTIVITÉS
1. Le principe d'inertie 176
2. Mouvement sur un plan incliné TP 177
3. Chute libre et variation de vitesse 178
4. Les phases d'un saut en parachute 179
COURS 180
EXERCICES 184
QCM 184
Exercices résolus 188-189
À l'oral 192
Acquérir des compétences 193-194

Exercices de synthèse 196

ONDES ET SIGNAUX

9 Émission et perception d'un son P 200
ACTIVITÉS
1. Émission et propagation du son Classe inversée 202
2. Vitesse de propagation du son TP 203
3. Signal sonore périodique TP 204
4. Perception du son TP 205
COURS 206
EXERCICES 210
QCM 210
Exercices résolus 214-215
À l'oral 218
Acquérir des compétences 219-220

10 Vision et image P 222
ACTIVITÉS
1. Histoire d'une difficile mesure 224
2. Les lois de Snell-Descartes TP 225
3. Identification d'un milieu transparent TP 226
4. Le modèle réduit de l'œil TP 227
COURS 228
EXERCICES 232
QCM 232
Exercices résolus 236-237
À l'oral 240
Acquérir des compétences 241-242

11 Lumières colorées P ... 244

ACTIVITÉS

1. Dispersion de la lumière blanche par un prisme TP ... 246
2. Couleur et température des corps chauds TP ... 247
3. Acquisition de spectres lumineux TP ... 248
4. L'arc-en-ciel ... 249

COURS ... 250

EXERCICES ... 254

QCM ... *254*
Exercices résolus ... *258-259*
À l'oral ... *262*
Acquérir des compétences ... *263-264*

12 Signaux et capteurs P ... 266

ACTIVITÉS

1. Mesure d'une tension et d'une intensité ... 268
2. LED et résistance de protection TP ... 269
3. Étalonnage d'un capteur TP ... 270
4. Capteur de lumière TP ... 271

COURS ... 272

EXERCICES ... 276

QCM ... *276*
Exercices résolus ... *280-281*
À l'oral ... *284*
Acquérir des compétences ... *285-286*

Exercices de synthèse ... 288

COMPLÉMENTS

FICHES REPÈRE

1. La physique-chimie après la classe de 2de ... 292
2. La spécialité physique-chimie en 1re ... 293

FICHES PRATIQUES

1. Utiliser un microcontrôleur ... 294
2. Utiliser un langage de programmation ... 296
3. Utiliser sa calculatrice ... 298
4. Utiliser un tableur-grapheur ... 300
5. Utiliser un smartphone en physique-chimie ... 302
6. Connaître la verrerie de laboratoire ... 303
7. Mesurer une température de fusion ... 304
8. Réaliser une chromatographie sur couche mince ... 305
9. Préparer une solution de concentration donnée par dissolution ... 306
10. Préparer une solution de concentration donnée par dilution ... 307
11. Réaliser une filtration ... 308
12. Réaliser une distillation ou un chauffage à reflux ... 309
13. Utiliser une ampoule à décanter ... 310
14. Réaliser un dosage par étalonnage ... 311
15. Utiliser un logiciel de traitement de vidéos ... 312
16. Mesurer une force ... 313
17. Utiliser un oscilloscope ... 314
18. Utiliser un logiciel d'enregistrement et de traitement du son ... 315
19. Utiliser un multimètre ... 316

FICHES MÉTHODE

1. Comprendre la notion de dispersion d'une mesure ... 317
2. Exprimer les incertitudes de mesure ... 318
3. Utiliser les puissances de 10 ... 320
4. Gérer les chiffres significatifs et la notation scientifique ... 321
5. Construire un graphique ... 322
6. Utiliser une relation de proportionnalité ... 323
7. Éliminer une espèce chimique pour respecter l'environnement ... 324
8. Ajuster une équation chimique ... 325
9. Représenter un vecteur vitesse ... 326
10. Additionner des forces ... 327
11. Réaliser un diagramme objets-interactions ... 328
12. Schématiser un circuit électrique ... 329

Corrigés d'exercices/Coups de pouce ... 330

Index ... 335

LES RESSOURCES NUMÉRIQUES DU MANUEL

Votre manuel comprend de nombreuses ressources numériques consultables grâce à l'application **Bordas Flashpage** et sur le **manuel numérique**. Certaines d'entre elles sont également disponibles sur le site ressources du manuel.

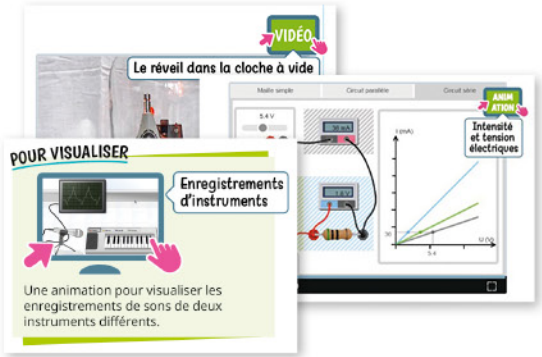
Pour utiliser l'application Bordas Flashpage, voir en page I du rabat de couverture. Pour accéder aux ressources à partir du manuel numérique, cliquez sur les pictogrammes du manuel numérique.

bordas Flash PAGE

MANUEL NUMÉRIQUE ÉLÈVE

Site ressources
lycee.editions-bordas.fr

les vidéos et les animations : pour visualiser un phénomène, mieux comprendre, voir ou réviser le cours à la maison



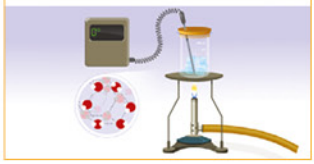
FlashPAGE Flashez la page entière.

MANUEL NUMÉRIQUE Cliquez sur les pictogrammes.

En partenariat avec eduMedia

eduMedia
15 ans d'expertise dans le domaine de la pédagogie numérique

Ressources **interactives** pour l'apprentissage des sciences



Les cours en podcast : pour apprendre ou réviser



FlashPAGE Flashez la page entière.

MANUEL NUMÉRIQUE Cliquez sur les pictogrammes.

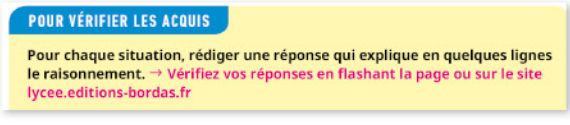
Les QCM du manuel en version interactive autocorrigée : pour se tester



FlashPAGE Flashez la page entière.

MANUEL NUMÉRIQUE Cliquez sur les pictogrammes.

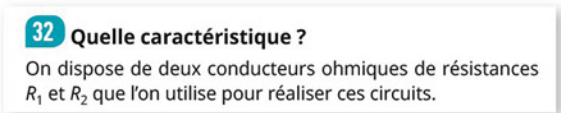
Les corrigés des tests de début de chapitre : pour vérifier ses acquis



FlashPAGE Flashez la page entière.

MANUEL NUMÉRIQUE Dans le manuel numérique, cliquez sur les pictogrammes.

Les corrigés détaillés des exercices sur fond bleu



FlashPAGE Flashez la page entière.

MANUEL NUMÉRIQUE Cliquez sur les pictogrammes.

Des solutions succinctes sont données en fin de manuel.

Corrigés disponibles également sur le site ressources : lycee.editions-bordas.fr

LES COMPÉTENCES DANS LE MANUEL

Le tableau ci-dessous indique, pour chaque chapitre, dans quelles activités et quels exercices chacune des compétences apparaît.

	S'approprier (APP)	Analyser/ Raisonner (AN/RAI)	Réaliser (RÉA)	Valider (VAL)	Communiquer (COM)
Chapitre 1		Activités 1 4 Exercices 44 45 46 47	Activités 1 2 3 4	Activité 2 Exercice 47	Activité 3
Chapitre 2	Activités 1 4 Exercice 48	Activités 1 2 Exercice 50	Activité 3	Activités 2 3 4 Exercice 49	
Chapitre 3	Activités 1 2 Exercices 47 49	Activité 3 Exercices 46 48	Activités 1 4	Activité 4	Activité 2 Exercices 46 48
Chapitre 4	Activité 1 Exercice 47	Activités 2 3 4 Exercices 48 49	Activité 4 Exercices 48 49	Activités 1 3	
Chapitre 5	Activités 1 4	Exercices 34 35 37	Activité 2 Exercice 36	Activités 2 3 Exercice 34	Activités 1 3 4
Chapitre 6	Activités 1 2 3 Exercice 48	Activités 1 4 Exercices 49 50 51	Activités 3 4	Exercice 51	Activité 2
Chapitre 7	Activité 1 Exercices 46 48	Activités 2 4 Exercices 47 48 49	Activités 1 2 3	Exercice 49	Activités 3 4
Chapitre 8	Activités 1 4 Exercice 41	Activités 1 3 4 Exercices 42 44	Activités 2 3 Exercices 43 44	Activité 2 Exercice 43	Exercice 41
Chapitre 9	Activité 1 Exercices 40 43	Activité 2 Exercices 41 43	Activités 2 3 4		Activité 1 Exercice 42
Chapitre 10	Activités 1 2 Exercice 48	Activités 2 3 Exercices 49 50 51	Activités 1 4	Activité 3 Exercice 51	Activité 4
Chapitre 11	Activités 1 2 4 Exercice 48	Activités 1 4 Exercices 47 49 50	Activités 1 2 3		Activités 2 4
Chapitre 12	Activité 1 Exercice 40	Activités 1 3 Exercices 41 42	Activités 2 4 Exercices 40 43	Activités 2 3 4 Exercice 42	

LE PROGRAMME DE PHYSIQUE-CHIMIE 2DE

(Extraits du Bulletin Officiel *spécial n° 1 du 22 janvier 2019)*

PRÉAMBULE

Mesure et incertitudes

En classe de seconde, l'objectif principal est de sensibiliser l'élève, à partir d'exemples simples et démonstratifs, à la variabilité des valeurs obtenues dans le cadre d'une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique. L'incertitude-type fournit alors une estimation de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à la grandeur physique.

Les activités expérimentales proposées visent aussi à sensibiliser l'élève à l'influence de l'instrument de mesure et du protocole choisi sur la valeur de l'incertitude-type.

Lorsque cela est pertinent, la valeur mesurée sera comparée avec une valeur de référence afin de conclure qualitativement à la compatibilité ou à la non-compatibilité entre ces deux valeurs.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type. Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. Évaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes. **Capacité numérique :** Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur.
Incertitude-type.	Expliquer qualitativement la signification d'une incertitude-type et l'évaluer par une approche statistique.
Écriture du résultat. Valeur de référence.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure. Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.

Fiche méthode 2 p. 318

CONTENUS DISCIPLINAIRES

Constitution et transformations de la matière

1. Constitution de la matière de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique	
Notions et contenus	**Capacités exigibles** ***Activités expérimentales support de la formation***
A) Description et caractérisation de la matière à l'échelle macroscopique	
Corps purs et mélanges au quotidien. Espèce chimique, corps pur, mélanges d'espèces chimiques, mélanges homogènes et hétérogènes.	Citer des exemples courants de corps purs et de mélanges homogènes et hétérogènes.
Identification d'espèces chimiques dans un échantillon de matière par des mesures physiques ou des tests chimiques.	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. *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.*
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. *Mesurer des volumes et des masses pour estimer la composition de mélanges.* **Capacité mathématique :** utiliser les pourcentages et les fractions.
Les solutions aqueuses, un exemple de mélange. Solvant, soluté. Concentration en masse, concentration maximale d'un soluté.	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. *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.*

Chapitre 1

Dosage par étalonnage.	Déterminer la valeur d'une concentration en masse et d'une concentration maximale à partir de résultats expérimentaux. *Déterminer la valeur d'une concentration en masse à l'aide d'une gamme d'étalonnage (échelle de teinte ou mesure de masse volumique).* **Capacité mathématique :** utiliser une grandeur quotient pour déterminer le numérateur ou le dénominateur.	Chapitre 1
B) Modélisation de la matière à l'échelle microscopique		
Du macroscopique au microscopique, de l'espèce chimique à l'entité. Espèces moléculaires, espèces ioniques,	Définir une espèce chimique comme une collection d'un nombre très élevé d'entités identiques.	Chapitre 2
électroneutralité de la matière au niveau macroscopique Entités chimiques : molécules, atomes, ions.	Exploiter l'électroneutralité de la matière pour associer des espèces ioniques et citer des formules de composés ioniques. Utiliser le terme adapté parmi *molécule*, *atome*, *anion* et *cation* pour qualifier une entité chimique à partir d'une formule chimique donnée.	Chapitre 3
Le noyau de l'atome, siège de sa masse et de son identité. Numéro atomique, nombre de masse, écriture conventionnelle : ${}^{A}_{Z}X$ ou ${}^{A}X$. 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.	Chapitre 2
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 ($Z \leqslant 18$) 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.	
Vers des entités plus stables chimiquement. Stabilité chimique des gaz nobles et configurations électroniques associées. Ions monoatomiques. Molécules. Modèle de Lewis de la liaison de valence, schéma de Lewis, doublets liants et non-liants. Approche de l'énergie de liaison.	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. Nommer les ions : H^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, F^- ; écrire leur formule à partir de leur nom. 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 ($Z \leqslant 18$). Associer qualitativement l'énergie d'une liaison entre deux atomes à l'énergie nécessaire pour rompre cette liaison.	Chapitre 3
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 la masse d'une entité à partir de sa formule brute et de la masse des atomes qui la composent. Déterminer le nombre d'entités et la quantité de matière (en mol) d'une espèce dans une masse d'échantillon.	Chapitre 2

2. Modélisation des transformations de la matière et transfert d'énergie		
Notions et contenus	**Capacités exigibles** ***Activités expérimentales support de la formation***	
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.	Chapitre 4
Transformations physiques endothermiques et exothermiques. Énergie de changement d'état et applications.	Identifier le sens du transfert thermique lors d'un changement d'état et le relier au terme exothermique ou endothermique. Exploiter la relation entre l'énergie transférée lors d'un changement d'état et l'énergie massique de changement d'état de l'espèce. *Relier l'énergie échangée à la masse de l'espèce qui change d'état.*	Chapitre 5
B) Transformation chimique		
Modélisation macroscopique d'une transformation par une réaction chimique. Écriture symbolique d'une réaction chimique. Notion d'espèce spectatrice. Stœchiométrie, 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. *Déterminer le réactif limitant lors d'une transformation chimique totale, à partir de l'identification des espèces chimiques présentes dans l'état final.* 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.	Chapitres 3 et 4
Transformations chimiques endothermiques et exothermiques.	*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.* **Capacité mathématique :** utiliser la proportionnalité.	Chapitre 5
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. *Mettre en œuvre un montage à reflux pour synthétiser une espèce chimique présente dans la nature.* *Mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince pour comparer une espèce synthétisée et une espèce extraite de la nature.*	Chapitre 4
C) Transformation nucléaire		
Isotopes.	Identifier des isotopes.	Chapitre 2
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.	Chapitre 4
Aspects énergétiques des transformations nucléaires : Soleil, centrales nucléaires.	Relier l'énergie convertie dans le Soleil et dans une centrale nucléaire à des réactions nucléaires.	Chapitre 5

Mouvement et interactions

Notions et contenus	**Capacités exigibles** ***Activités expérimentales support de la formation***	
1. Décrire un mouvement		
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.	Chapitre 6

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.	Chapitre 6
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. *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.* **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.	
2. Modéliser une action sur un système		
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.	Chapitre 7
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 *a priori*. 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.	
3. Principe d'inertie		
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).	Chapitre 8

Ondes et signaux

1. Émission et perception d'un son		
Notions et contenus	**Capacités exigibles** ***Activités expérimentales support de la formation***	
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.	Chapitre 9
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. *Mesurer la vitesse d'un signal sonore.*	
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. *Utiliser une chaîne de mesure pour obtenir des informations sur les vibrations d'un objet émettant un signal sonore.* *Mesurer la période d'un signal sonore périodique.* *Utiliser un dispositif comportant un microcontrôleur pour produire un signal sonore.* **Capacités mathématiques :** identifier une fonction périodique et déterminer sa période.	

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.	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. *Enregistrer et caractériser un son (hauteur, timbre, niveau d'intensité sonore, etc.) à l'aide d'un dispositif expérimental dédié, d'un smartphone, etc.*	Chapitre 9
2. Vision et image		
Notions et contenus	**Capacités exigibles** ***Activités expérimentales support de la formation***	
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.	Chapitre 10
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.	Chapitre 11
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. *Tester les lois de Snell-Descartes à partir d'une série de mesures et déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.*	Chapitre 10
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. *Produire et exploiter des spectres d'émission obtenus à l'aide d'un système dispersif et d'un analyseur de spectre.*	Chapitre 11
Lentilles, modèle de la lentille mince convergente : foyers, distance focale. Image réelle d'un objet réel à travers une lentille mince convergente. Grandissement. L'œil, modèle de l'œil réduit.	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 donnée par une lentille mince convergente. Définir et déterminer géométriquement un grandissement. Modéliser l'œil. *Produire et caractériser l'image réelle d'un objet plan réel formée par une lentille mince convergente.* **Capacité mathématique :** utiliser le théorème de Thalès.	Chapitre 10
3. Signaux et capteurs		
Notions et contenus	**Capacités exigibles** ***Activités expérimentales support de la formation***	
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. *Mesurer une tension et une intensité.*	Chapitre 12
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. *Représenter et exploiter la caractéristique d'un dipôle.* **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. *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.).* *Utiliser un dispositif avec microcontrôleur et capteur.*	

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- Un **corps pur** est composé d'un seul constituant, appelé aussi espèce chimique.
Un **mélange** est constitué d'au moins deux espèces chimiques.
Lorsqu'un solide se dissout dans un liquide, on dit qu'il est **soluble** dans ce liquide.
- La matière existe sous trois états physiques : solide, liquide et gazeux.



La matière peut subir des **changements d'état**.
Pour un corps pur, ils s'effectuent à température constante.
La **température** de changement d'état permet l'**identification** d'un corps pur.

- **L'air** est un mélange de gaz : environ 20 % de dioxygène et 80 % de diazote.
- La **masse volumique** d'une espèce est sa masse par unité de volume.

$$m = \rho \times V$$

masse (en **kg**) — volume (en **m³**)
masse volumique (en **kg/m³**)

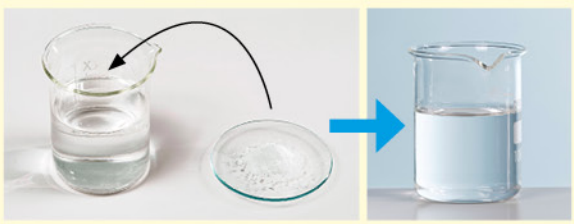
POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

On mélange du sel dans de l'eau.

Pourquoi ne distingue-t-on plus le sel dans le mélange ?



SITUATION 2

On réchauffe dans les mains un erlenmeyer contenant des paillettes de diiode.

D'où proviennent les vapeurs violettes qui envahissent le ballon ?

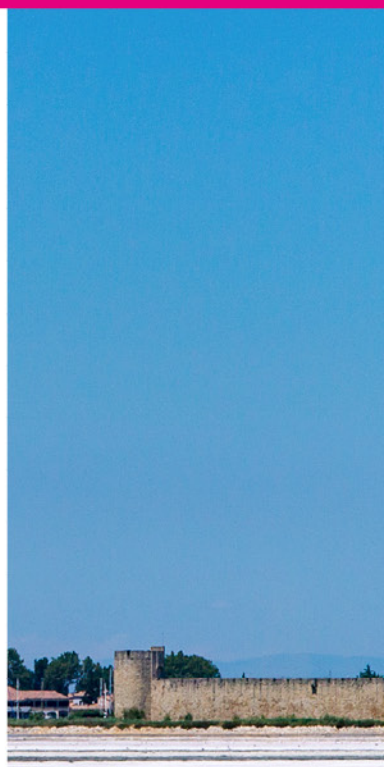


SITUATION 3

Ce tube à essais contient de l'huile et de l'eau.

Pourquoi l'huile se trouve-t-elle au-dessus de l'eau ?





CHAPITRE 1

CHIMIE

qui nous entoure



En bord de mer, l'eau de ces bassins est un mélange. Pourquoi cette eau prend-elle des teintes différentes ?

➥ EXERCICE 43

NOTIONS ET CONTENUS

- Citer des exemples courants de corps purs et de mélanges homogènes et hétérogènes.
- Identifier une espèce chimique.
- Connaître la composition massique d'un mélange et la composition volumique de l'air.
- Préparer une solution aqueuse.
- Déterminer une concentration en masse à l'aide d'un dosage par étalonnage.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- Mesurer une température de changement d'état, déterminer la masse volumique d'un échantillon ➥ ACTIVITÉ 1
- Mesurer des masses pour étudier la variabilité du volume d'une pièce de verrerie ➥ ACTIVITÉ 2
- Choisir et utiliser la verrerie pour préparer une solution ➥ ACTIVITÉ 2
- Réaliser une chromatographie sur couche mince pour caractériser un mélange ➥ ACTIVITÉ 3
- Déterminer la valeur d'une concentration en masse ➥ ACTIVITÉ 4

TP

COMPÉTENCES :
AN/RAI Proposer une stratégie de résolution
RÉA Mettre en œuvre les étapes d'une démarche

Identifier deux espèces chimiques

SITUATION-PROBLÈME

Deux échantillons de solides blancs sont disposés sur la paillasse du laboratoire sans autre indication. On dispose tout de même de matériel de mesures et de valeurs de référence.

Comment identifier ces solides de façon certaine si on exclut la possibilité d'y goûter ?



HYPOTHÈSE Proposer une hypothèse en la justifiant.

DOC 1 Masse volumique d'un solide

La masse volumique ρ d'une espèce chimique s'obtient en divisant la masse m d'un échantillon de cette espèce par son volume V. Elle s'exprime en $kg \cdot m^{-3}$ mais on utilise couramment le $g \cdot cm^{-3}$. C'est une donnée caractéristique d'une espèce chimique.





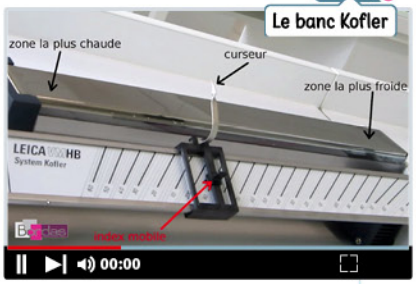


DOC 2 Utiliser un banc Kofler

VIDÉO Le banc Kofler

La **température de fusion** d'une espèce solide peut être évaluée à l'aide de ce dispositif chauffant qui permet de visualiser la zone dans laquelle le solide fond.

FICHE PRATIQUE ➥ p. 304



DOC 3 Extrait d'une table de données

Espèce chimique	Masse volumique (en $g \cdot cm^{-3}$)	Température de fusion (en °C)
Chlorure de sodium	2,2	800
Phosphore	1,8	44
Saccharose	1,6	186
Aspirine	1,4	135
Paracétamol	1,3	170
Naphtalène	1,1	80

DOC 4 Verrerie et précision

MESURES ET INCERTITUDES

Le choix de la verrerie à utiliser dépend de la précision qu'impose la manipulation. Les éprouvettes graduées appartiennent à la verrerie courante qui est peu précise. Le tableau ci-dessous donne l'incertitude-type u_v pour un volume V mesuré.

$V_{éprouvette}$ (en mL)	10,0	25,0	50	100	250	500
u_V (en mL)	0,2	0,5	1	1	2	5

Burettes et pipettes graduées font partie de la verrerie de précision, pipettes et fioles jaugées de la verrerie de haute précision.

VOCABULAIRE

- **Température de fusion :** température de passage de l'état solide à l'état liquide.

PISTES DE RÉSOLUTION

1 a. Proposer un protocole expérimental détaillé comportant une liste de matériel.
b. Mettre en œuvre ce protocole.

CONCLUSION

2 Comparer les résultats obtenus aux valeurs de référence et identifier les solides.

Je réussis si...

- **Je connais l'usage d'un banc Kofler et je sais l'utiliser.**
- **Je sais mesurer correctement des volumes et des masses.**
- **Je sais comparer des résultats aux données.**

TP

COMPÉTENCES :
VAL Estimer une incertitude-type
RÉA Mettre en œuvre les étapes d'une démarche

Préparation de solutions aqueuses

Dans les laboratoires, les chimistes préparent des solutions aqueuses de concentration donnée par dissolution ou par dilution. En quoi ces techniques consistent-elles ?

DOC 1 Concentration en masse d'une solution

La concentration en masse c_m (en g · L^{-1}) d'une **solution** de volume V contenant une masse m de **soluté** dissous est :

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

- c_m : concentration en masse de soluté (en **g · L^{-1}**)
- m : masse de soluté (en **g**)
- V : volume de solution (en **L**)

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Préparation d'une solution aqueuse S_0 de glucose par dissolution

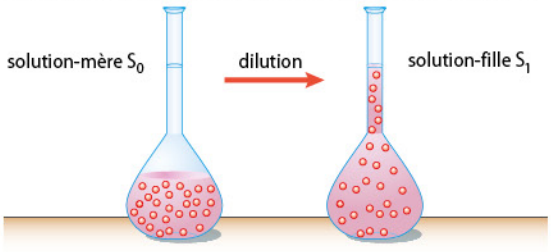
Sur une balance préalablement tarée, on pèse 2,5 g de glucose dans une coupelle de pesée. À l'aide d'un entonnoir, on verse le glucose dans une fiole jaugée de 50,0 mL. On ajoute de l'eau distillée jusqu'à environ la moitié de la fiole et on agite jusqu'à dissolution complète du glucose. On rajoute de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et on agite pour homogénéiser. On transvase dans un bécher.

VOCABULAIRE

Une **solution** est un mélange homogène formé par la dissolution d'une espèce chimique appelée **soluté** dans un **solvant**. On parle de solution **aqueuse** si le solvant est l'eau.

DOC 2 Dilution d'une solution

Préparer une solution « fille » par dilution consiste à ajouter du **solvant** à un volume donné d'une solution « mère ».



La masse de soluté est conservée au cours d'une dilution.

DOC 3 Verrerie jaugée de laboratoire



La pipette jaugée permet de prélever un volume donné de solution (exemples : 5,0 ou 20,0 mL).



La fiole jaugée contient un volume donné (exemples : 50,0 ou 200,0 mL). Elle possède un bouchon permettant d'agiter son contenu.

EXPÉRIENCES ET EXPLOITATION

1 Variabilité du volume mesuré

MESURES ET INCERTITUDES

a. Tarer une balance avec une éprouvette graduée de 100 mL ; mesurer la masse de 100 mL d'eau et en déduire le volume d'eau réellement mesuré. Recommencer à au moins dix reprises.

b. Reprendre la question **a** en utilisant une fiole jaugée de 100 mL à la place de l'éprouvette graduée.

c. Tracer un histogramme (FICHE MÉTHODE ➥ p. 318) représentant chacune des deux séries de mesures.
Laquelle présente la plus grande dispersion (FICHE MÉTHODE ➥ p. 317) ?

d. Évaluer l'incertitude-type pour chaque série de mesures (FICHE MÉTHODE ➥ p. 319). Conclure.

2 Dissolution FICHE PRATIQUE ➥ p. 306

a. Préparer la solution S_0.

b. Calculer sa concentration en masse de glucose c_{m0}.

3 Dilution FICHE PRATIQUE ➥ p. 307

a. Calculer la masse m de glucose contenu dans un volume $V_1 = 50{,}0$ mL d'une solution S_1 de concentration en masse de glucose $c_{m1} = 10$ g · L^{-1}.

b. Préparer la solution S_1 à partir de la solution S_0.

SYNTHÈSE

4 Nommer la (ou les) pièce(s) de verrerie nécessaire(s) à une dissolution, puis à une dilution en justifiant.

Je réussis si...

- **Je choisis et j'utilise la verrerie adaptée pour préparer une solution par dissolution ou par dilution.**
- **Je sais mesurer des masses pour étudier la variabilité du volume mesuré par une pièce de verrerie.**

TP

COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental
COM Interpréter les résultats

Corps pur ou mélange ?

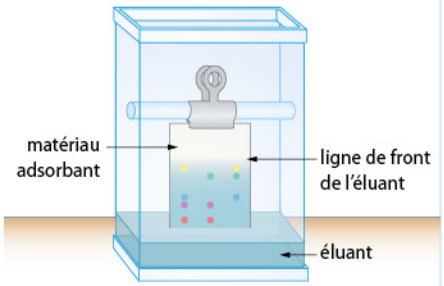
Les enrobages multicolores de ces sucreries renferment des colorants alimentaires. Sont-ils des corps purs ou des mélanges ?



DOC 1 Chromatographie sur couche mince

La chromatographie sur couche mince (CCM) est une technique adaptée aux liquides homogènes. Pour réaliser une CCM, on utilise un support constitué d'une couche mince de matériau adsorbant (plaque de silice, par exemple) et un **éluant** qui entraîne les différents constituants du mélange étudié. La plaque obtenue à la fin s'appelle un chromatogramme (FICHE PRATIQUE ➥ p. 305).

Pour un éluant et un support identiques, une espèce chimique migre toujours à la même vitesse : on peut donc l'identifier par comparaison avec la position de la tache donnée par un échantillon témoin.



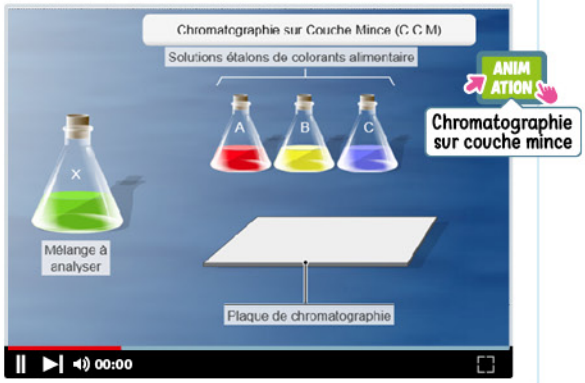
DOC 2 Matériel

- 4 tubes à essais
- Bonbons colorés
- Plaque de CCM
- Cuve à élution
- Tubes capillaires
- Eau distillée
- Solution de citrate de sodium à 5 %
- Crayon à papier et règle

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- Vérifier le matériel (doc. 2).
- Prendre 4 tubes à essais et introduire dans chacun un seul bonbon coloré : un vert, un rouge, un jaune et un bleu.
- Dissoudre leur enrobage dans un peu d'eau distillée, puis enlever le cœur du bonbon.
- Visionner l'animation qui décrit le protocole (doc. 3).
- À l'aide de **tubes capillaires** (en changer pour chaque couleur), déposer plusieurs fois chaque solution concentrée en colorant sur l'emplacement qui lui est dédié.
- Verser l'éluant, qui est une solution de citrate de sodium à 5 %, dans la cuve, puis y placer la plaque de dépôt.
- Veiller à ce que la ligne de front n'atteigne pas le sommet de la plaque.

DOC 3 Protocole de réalisation d'une chromatographie sur couche mince



EXPÉRIENCE ET EXPLOITATION

1 Mettre en œuvre l'expérience de chromatographie sur couche mince.

2 Représenter le chromatogramme obtenu.

3 **a.** Quels sont les bonbons dont l'enrobage contient un colorant qui est un corps pur ?
b. On trouve rarement du colorant pâtissier vert dans les rayons des supermarchés. Pourquoi ?

CONCLUSION

4 La chromatographie sur couche mince est-elle une technique de séparation ou d'identification d'une espèce chimique ? Justifier.

VOCABULAIRE

- **Éluant :** solvant qui monte par capillarité le long du support, entraînant avec lui les différentes espèces chimiques.
- **Tube capillaire :** tube en verre très fin.
- **Liquide homogène :** liquide dont l'œil ne distingue pas les différents constituants.

Je réussis si...

- **Je sais mettre en œuvre une chromatographie sur couche mince.**
- **Je sais interpréter les résultats d'une CCM pour distinguer un mélange d'un corps pur.**

TP

COMPÉTENCES :
AN/RAI Proposer une stratégie de résolution
RÉA Mettre en œuvre les étapes d'une démarche

Dosage par étalonnage

Effectuer un dosage consiste à déterminer expérimentalement la concentration en masse d'une espèce chimique dans une solution. Comment effectuer un dosage par étalonnage ?



DOC 1 Le jus de pomme

Le jus de pomme est une solution aqueuse de sucre (saccharose), la concentration en masse des autres espèces chimiques (donnant le goût, l'odeur et la couleur du jus) est très faible et peut être négligée.

DOC 2 Masse volumique et concentration en masse d'une solution

La masse volumique ρ d'une solution et la concentration en masse c_m de soluté peuvent être exprimées dans la même unité, le g · L^{-1}. Ces deux grandeurs sont parfaitement distinctes, mais l'une dépend de l'autre : la masse volumique d'une solution dépend de la concentration en masse de soluté.

DÉMARCHE EXPERTE

Élaborer un protocole permettant de déterminer expérimentalement la concentration en masse de saccharose du jus de pomme.
Déterminer cette concentration et la comparer à celle donnée par le fabricant sur l'étiquette du produit.

DÉMARCHE AVANCÉE

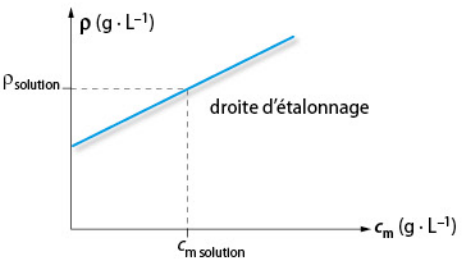
1. En utilisant le matériel du doc. 4, réaliser les mesures nécessaires au tracé de la courbe d'étalonnage (doc. 3)
2. a. Tracer la courbe d'étalonnage.
b. Les grandeurs masse volumique et concentration en masse sont-elles proportionnelles ? Justifier.
3. Déterminer la valeur de la concentration en masse de saccharose du jus de pomme et la comparer à celle donnée par le fabricant sur l'étiquette du produit.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Mesurer la masse volumique de chacune des solutions S_1 à S_4 (doc. 4) et regrouper les résultats dans un tableau.
2. Tracer la courbe d'étalonnage donnant la masse volumique ρ en fonction de la concentration en masse c_m (doc. 3).
3. Mesurer la masse volumique du jus de pomme.
4. Reporter cette valeur sur la courbe d'étalonnage et lire la valeur de la concentration en masse de saccharose du jus de pomme.

DOC 3 Courbe d'étalonnage

Pour doser une espèce chimique, on peut tracer une courbe d'étalonnage qui donne la masse volumique d'une solution en fonction de la concentration en masse d'une espèce chimique. La mesure de la masse volumique d'une solution de concentration en masse inconnue permet par lecture graphique d'en déduire cette concentration (FICHE PRATIQUE ➥ p. 311).



DOC 4 Le matériel disponible

- Du jus de pomme
- Des solutions aqueuses S_1, S_2, S_3, S_4 de saccharose de concentration en masse $c_{m1} = 50$ g · L^{-1}, $c_{m2} = 100$ g · L^{-1}, $c_{m3} = 150$ g · L^{-1}, $c_{m4} = 200$ g · L^{-1}
- Une balance
- 1 éprouvette graduée de 100 mL
- 1 fiole jaugée de 100,0 mL

Je réussis si...

- **Je sais tracer une courbe d'étalonnage.**
- **J'utilise la courbe d'étalonnage pour déterminer la concentration d'une solution.**
- **Je distingue la masse volumique d'un échantillon et la concentration en masse de soluté.**
- **DÉMARCHE EXPERTE Je décris le protocole expérimental avec du texte et des schémas.**

1 Corps purs et mélanges

Corps pur

Un **corps pur** est composé d'un seul constituant appelé aussi **espèce chimique**.

EXEMPLE
L'eau distillée ne contient que des molécules d'eau H_2O.

Mélanges homogène et hétérogène

Un mélange est constitué d'au moins deux espèces chimiques.

Un mélange est **homogène** lorsque l'œil ne distingue pas les différents constituants.

EXEMPLE
L'eau de mer contient de l'eau et du sel que l'on ne distingue pas à l'œil nu.

Un mélange est **hétérogène** lorsque l'œil peut distinguer au moins deux de ses constituants.

EXEMPLE
L'eau pétillante (FIG. 1 A) contient du gaz formant des bulles visibles. Le béton (FIG. 1 B) contient du sable, du ciment et des graviers que l'on distingue à l'œil nu. Ce sont deux exemples de mélanges hétérogènes.

Composition d'un mélange

L'air est un mélange homogène de plusieurs gaz (FIG. 2). Un litre d'air contient 0,78 L de diazote, 0,21 L de dioxygène et 0,01 L d'autres gaz.

La **composition massique** d'un mélange donne les rapports de la masse de chacun de ses constituants sur la masse totale du mélange. Ces rapports peuvent être exprimés sous forme de pourcentage.

EXEMPLE
La composition massique usuelle de 100 g de vinaigre blanc est : 8 g d'acide éthanoïque et 92 g d'eau.



A eau pétillante B béton

FIG. 1 Des mélanges hétérogènes.

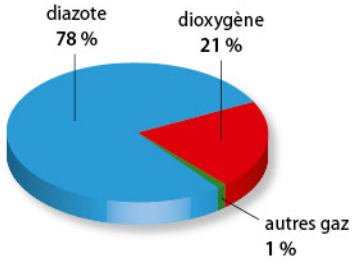


FIG. 2 Composition volumique de l'air.

UN PONT VERS LES MATHS

Le **pourcentage massique** d'une espèce chimique A dans un mélange est :

$$\frac{m_A}{m} \times 100$$

(m_A : masse en g de l'espèce A dans le mélange ; m : masse en g du mélange)

La somme des pourcentages massiques de toutes les espèces constituant le mélange est égale à 100 %.

2 Identifier une espèce chimique

Pour identifier une espèce inconnue, le chimiste compare ses caractéristiques à celles d'espèces connues, répertoriées dans des tables.

Températures de changement d'état

Un changement d'état est la transformation physique qui correspond au passage d'un état (solide, liquide ou gazeux) à un autre (FIG. 3).

Sous une pression donnée, le changement d'état d'une espèce chimique s'effectue à **température constante** qui est caractéristique de cette espèce (FIG. 4).

La **température d'ébullition** d'une espèce chimique est la température à laquelle cette espèce passe de l'état liquide à l'état gazeux lors de la vaporisation. Elle peut être mesurée expérimentalement à l'aide d'un thermomètre.

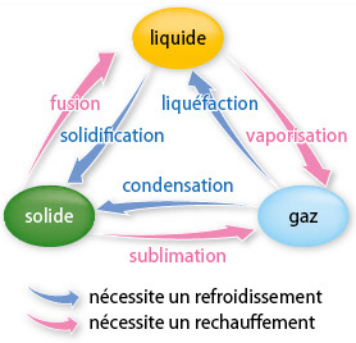


FIG. 3 Les changements d'état.

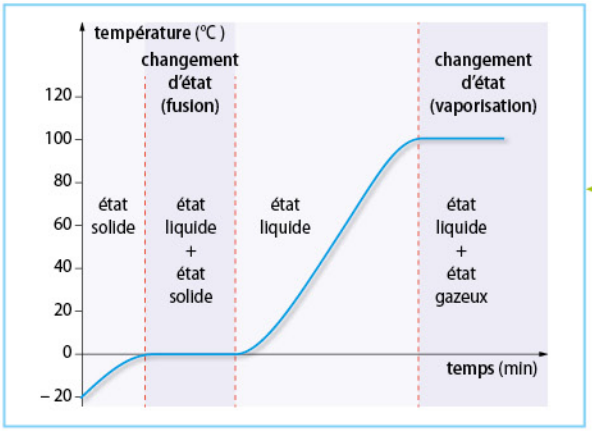


FIG. 4 Fusion et vaporisation de l'eau pure sous pression atmosphérique.

POUR VISUALISER



Une vidéo sur les trois états de l'eau.

De même, la **température de fusion** caractérise le passage de l'état solide à l'état liquide. Elle peut être déterminée à l'aide d'un **banc Kofler** constitué d'une plaque en métal chauffée dont la température varie d'un bout à l'autre (FIG. 5).

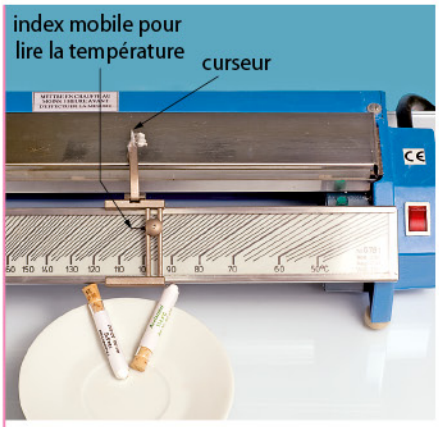


FIG. 5 Détermination de la température de fusion à l'aide d'un banc Kofler. Le solide est déplacé progressivement à partir du point le moins chaud jusqu'au point de la plaque où il commence à fondre (FICHE PRATIQUE ➥ p. 304).

Masse volumique

La **masse volumique** ρ d'une espèce chimique est :

masse volumique (en kg · m⁻³) → $\rho = \frac{m}{V}$ ← masse d'un échantillon (en kg) ; ← volume de l'échantillon (en m³)

Elle est souvent exprimée avec d'autres unités : g · L⁻¹, kg · L⁻¹, ...

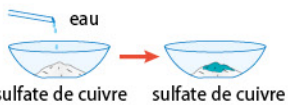
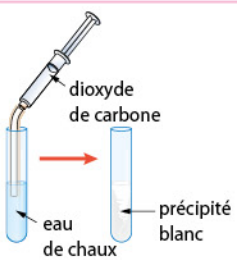
EXEMPLE

La masse volumique de l'eau liquide est 1,000 kg · L⁻¹ et celle de l'air est d'environ 1 g · L⁻¹.

Tests chimiques

Certaines espèces peuvent être identifiées par des tests chimiques.

Tests d'identification

Eau H_2O	Dihydrogène H_2
En sa présence, le sulfate de cuivre anhydre devient bleu. 	Il détone en présence d'une flamme. 
Dioxygène O_2	**Dioxyde de carbone CO_2**
Il ravive une allumette incandescente. 	Il trouble l'eau de chaux. 

Chromatographie sur couche mince

Expérimentalement, pour séparer et identifier des espèces chimiques dans un mélange liquide homogène (FIG. 6), on peut réaliser une CCM (FICHE PRATIQUE ➥ p. 305).

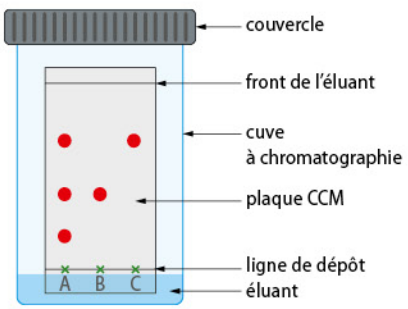


FIG. 6 Sur le chromatogramme apparaissent à des hauteurs différentes les divers constituants du mélange, identifiés par comparaison avec des échantillons témoins.

3 Les solutions aqueuses

Solution

Une **solution** est un mélange homogène formé par la **dissolution** totale d'au moins une espèce chimique appelée **soluté** dans une autre espèce appelée **solvant**. On parle de solution **aqueuse** si le solvant est l'eau.

Concentration en masse d'une solution

La **concentration en masse de soluté** d'une solution indique la masse de soluté contenue dans un litre de solution.

concentration en masse de soluté (en g · L^{-1}) : $c_m = \frac{m}{V}$ — m : masse de soluté (en g) ; V : volume de solution (en L)

Au-delà d'une **concentration maximale**, le soluté ajouté ne se dissout plus.

Préparation de solution par dissolution

Pour préparer une solution de concentration en masse c_m et de volume V par dissolution, il faut mesurer précisément la masse m de soluté nécessaire :

$$m = c_m \cdot V$$

La solution est préparée dans une fiole jaugée (FIG. 7 A) dont le volume V est celui de la solution souhaitée (FICHE PRATIQUE ➥ p. 306).

Préparation de solution par dilution

Diluer une solution, c'est diminuer sa concentration en ajoutant du solvant (FICHE PRATIQUE ➥ p. 307).

En pratique, on prélève un volume V_0 de solution-mère de concentration en masse c_{m0} avec une pipette jaugée (FIG. 7 B). On y ajoute du solvant dans une fiole jaugée 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 (FIG. 8) :

$$m_0 = m_1 \text{ soit : } \boldsymbol{c_{m0} \cdot V_0 = c_{m1} \cdot V_1}$$

Dosage par étalonnage

Doser par étalonnage une espèce chimique dans une solution, c'est **déterminer sa concentration en masse** en utilisant un ensemble de solutions étalons de concentrations connues.

Si l'espèce chimique dosée est colorée, ces solutions constituent **une échelle de teintes** (FIG. 9) et on peut estimer la concentration en masse cherchée par comparaison visuelle.

Sinon, on mesure une grandeur physique, par exemple la masse volumique qui varie avec la concentration de chaque solution étalon, et on trace une **courbe d'étalonnage** (FIG. 10). En mesurant la valeur de cette grandeur dans la solution dosée, on obtient graphiquement la valeur de la concentration recherchée.

VOCABULAIRE

Diluer *X* fois une solution : c'est diviser la valeur de sa concentration par X ; X est appelé facteur de dilution.



A fioles jaugées B pipettes jaugées

FIG. 7 Verreries jaugées de laboratoire.

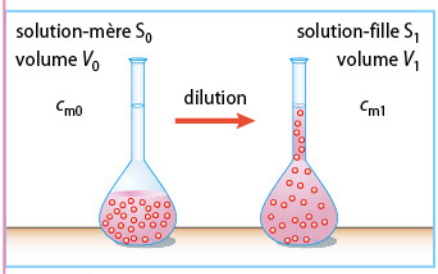


FIG. 8 Conservation de la masse de soluté au cours d'une dilution.



FIG. 9 Échelle de teintes d'une solution de diiode.

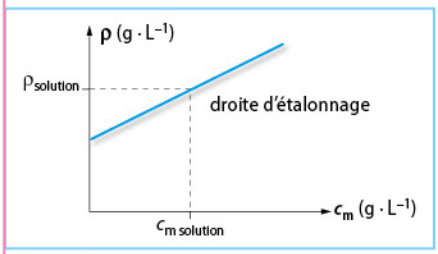


FIG. 10 Droite d'étalonnage dans le cas de mesures de masses volumiques.

L'ESSENTIEL À RETENIR

Le vocabulaire à retenir
Les relations à connaître et savoir utiliser

1 Corps purs et mélanges

- Un **corps pur** est composé d'un seul constituant, appelé aussi espèce chimique. L'eau distillée, qui ne contient que des molécules d'eau H_2O, est un corps pur.

Un **mélange est :**

- **hétérogène** si l'œil distingue au moins deux de ses constituants.



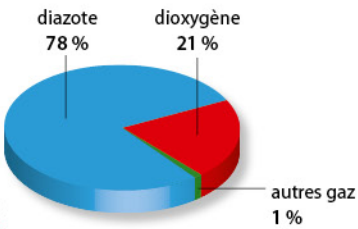
De l'eau pétillante

- **homogène** si l'œil n'en distingue pas les différents constituants.



L'eau de mer

- **L'air** est un mélange homogène de **plusieurs gaz.** Sa masse volumique est de l'ordre de **1 g · L⁻¹.**



Composition volumique de l'air ▶

- La **composition massique d'un mélange** donne les rapports (parfois sous forme de pourcentage) de la masse de chacun de ses constituants sur la masse totale du mélange.

2 Identifier une espèce chimique

Il est possible d'identifier une espèce chimique :

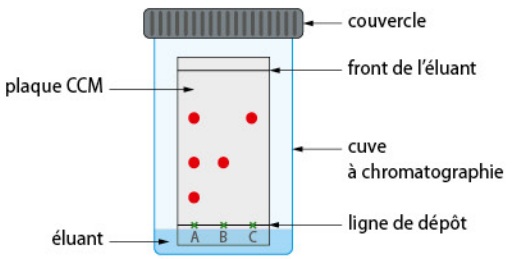
- en mesurant sa **température de fusion** à l'aide d'un banc Kofler si c'est un solide ;
- en mesurant sa **masse volumique** ;

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

ρ : masse volumique (en **kg · m⁻³**) ; m : masse de l'échantillon (en **kg**) ; V : volume de l'échantillon (en **m³**)

Pour l'eau : $\rho = 1\,000$ kg · m^{-3} ou 1 000 g · L^{-1}.

- en effectuant des **tests caractéristiques** :
  - l'eau bleuit le sulfate de cuivre anhydre ;
  - le dioxyde de carbone trouble l'eau de chaux ;
  - le dihydrogène détone en présence d'une flamme ;
  - le dioxygène ravive une allumette incandescente ;
- en réalisant une **chromatographie sur couche mince**.



3 Les solutions aqueuses

- Une **solution** est un **mélange homogène** formé par la dissolution d'une espèce chimique appelée **soluté** dans un **solvant.** On parle de **solution aqueuse** si le solvant est l'eau.



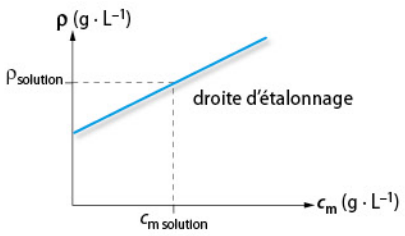
$$c_m = \frac{m}{V}$$

c_m : concentration en masse de soluté d'une solution (en **g · L⁻¹**) ; m : masse de soluté (en **g**) ; V : volume de la solution (en **L**)

- On prépare une solution aqueuse dans une **fiole jaugée** par **dissolution** d'un solide ou par **dilution**.
- On effectue un **dosage par étalonnage** :
  - par comparaison à une **échelle de teintes** ;



  - **ou** par lecture graphique sur une **courbe d'étalonnage**.



Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

1 Corps purs et mélanges

	A	B	C
1 	Ce thé est un corps pur.	Ce thé est un mélange homogène.	Ce thé est un mélange hétérogène.
2 L'air :	a une masse volumique environ égale à 1 g · L^{-1}.	est un mélange contenant 78 % de dioxygène et 21 % de diazote.	est un mélange contenant 78 % de diazote et 21 % de dioxygène.

2 Identifier une espèce chimique

	A	B	C
3 Qu'indique cette réaction ? 	La présence de dioxyde de carbone.	La présence de dioxygène.	La présence de dihydrogène.
4 La température de fusion caractérise le passage :	de l'état liquide à l'état solide.	de l'état solide à l'état gazeux.	de l'état solide à l'état liquide.
5 L'eau a pour masse volumique :	1 g · cm^{-3}	1 000 g · L^{-1}	1 kg · m^{-3}

3 Les solutions aqueuses

	A	B	C
6 Une solution aqueuse de chlorure de sodium :	est un mélange hétérogène.	contient du chlorure de sodium qui est le soluté.	contient du chlorure de sodium qui est le solvant.
7 Lorsqu'on dissout 3,2 g de glucose pour obtenir 100 mL de solution aqueuse :	on utilise une fiole jaugée de 100,0 mL. 	la masse volumique de la solution est égale à 32 g · L^{-1}.	la concentration en masse du glucose dans la solution est égale à 32 g · L^{-1}.
8 De ces tubes à essais, on peut dire : 	c'est une échelle de teintes.	la concentration en masse de chacune de ces solutions est différente.	on peut les utiliser pour doser une solution.

Acquérir les notions

1 Corps purs et mélanges

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Corps purs Mélanges hétérogène et homogène ➥ EXERCICES 9 10 et 11	• Distinguer un mélange d'un corps pur. • Distinguer un mélange homogène d'un mélange hétérogène.
Composition massique d'un mélange Composition volumique de l'air ➥ EXERCICES 12 13 14 et 15	• Établir la composition massique d'un mélange. • Connaître la composition volumique de l'air.

9 Corps pur ou mélange ?

1. Dans chaque cas, indiquer s'il s'agit d'un corps pur ou d'un mélange.
a. De la mayonnaise.
b. Du sel (chlorure de sodium).
c. Du vinaigre blanc.
d. Un cocktail.
e. Un lingot d'or.
f. L'air qui nous entoure.

2. Citer deux autres corps purs et deux autres mélanges.

10 Mélange homogène ou hétérogène ?

1. Dans chaque cas, indiquer s'il s'agit d'un mélange homogène ou d'un mélange hétérogène.

A De la peinture



B Du lait



C Un mélange d'huile et de vinaigre



D Le contenu d'un tube à essais après l'identification des ions cuivre (précipité bleu)



2. Citer deux autres mélanges homogènes et deux autres mélanges hétérogènes.

11 Quels mélanges ?

Dans chaque cas, indiquer si le mélange sera un mélange homogène ou un mélange hétérogène (en supposant que l'on n'atteint jamais la concentration maximale de soluté).

Donnée : *le sucre n'est pas soluble dans l'huile.*

a. Du chlorure de sodium (sel du commerce) et de l'eau.
b. De l'huile et de l'eau.
c. Du saccharose (sucre en poudre) et de l'eau.
d. Du saccharose (sucre en poudre) et de l'huile.

12 *Shortbread*

Un *shortbread* est un biscuit originaire d'Écosse.



Sa préparation est très simple : mélanger 100 g de sucre, 200 g de beurre et 300 g de farine jusqu'à obtenir une pâte homogène. Former des biscuits et mettre au four 30 min à 150 °C.

1. Que signifie homogène ?

2. Déterminer le pourcentage massique de chaque constituant de cette pâte.

13 Composition du sel marin

Dans 100 g de sel de mer solide, on trouve :
– 77 g de chlorure de sodium ;
– 10 g de chlorure de magnésium ;
– 6,0 g de sulfate de magnésium.

Déterminer la composition massique de ce mélange.

14 Des bijoux en or ?



Les bijoux en or 18 carats ne contiennent pas uniquement de l'or pur mais 75,0 % d'or en pourcentage massique.

1. La masse d'une bague en or 18 carats est de 2,35 g.
a. Le matériau constituant cette bague est-il un corps pur ?
b. Déterminer la masse d'or présente dans cette bague.

2. Un collier est constitué de 12,6 g d'or et 4,2 g d'autres métaux. Est-ce un bijou en or 18 carats ? Justifier.

15 De l'air !

1. Donner la composition volumique de l'air.

2. Dans une salle de classe de 150 m^3 de volume, déterminer le volume des deux espèces chimiques majoritaires qui composent l'air.

2 Identifier une espèce chimique

Notions du programme

Identifier une espèce chimique par des mesures physiques ou par des tests chimiques

➥ EXERCICES 16 à 21

Ce qu'on attend de moi

- Mesurer des températures de changement d'état ou une masse volumique pour identifier une espèce chimique en comparant à des valeurs de référence.
- Connaître la masse volumique de l'eau liquide et celle de l'air.
- Citer des tests chimiques courants de présence d'eau, de dihydrogène, de dioxygène, de dioxyde de carbone.

16 Masse et volume d'échantillons

Recopier et compléter le tableau des caractéristiques de trois échantillons d'eau, de fer et d'air.

Espèce chimique	eau	fer	air
Masse de l'échantillon	152 g	15,70 kg	... g
Volume de l'échantillon	... L	2,000 L	0,8 L
Masse volumique	1,00 g · mL^{-1}	... kg · m^{-3}	1 g · L^{-1}

17 Température de changement d'état

Voici les températures de fusion et d'ébullition, sous pression atmosphérique, de différentes espèces chimiques.

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

1. Recopier et compléter la ligne relative à l'eau.
2. Sous pression atmosphérique :
a. jusqu'à quelle température faut-il refroidir l'éthanol pour le solidifier ?
b. à quelle température le sel devient-il liquide ?
3. Le butane contenu dans une bouteille utilisée pour certaines cuisinières à gaz est à l'état liquide. Que dire de sa pression pour être en accord avec le tableau ?

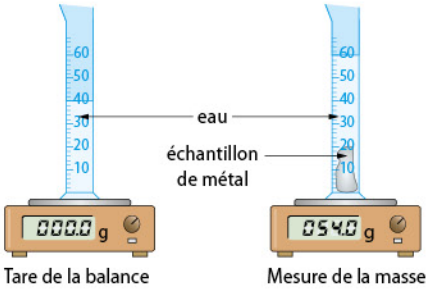
18 Who am I?

I am a chemical species essential to life whose boiling temperature is 100 °C under atmospheric pressure. At room temperature, I am in the liquid state.

1. What is the value of my volumetric weight in this state?
2. Which chemical test allows me to be identified?

19 Identification d'un métal

On dispose d'un échantillon pur d'un métal gris que l'on souhaite identifier. Pour cela, on réalise les expériences décrites ci-dessous.



Tare de la balance — Mesure de la masse

Voici les masses volumiques de quelques métaux en kg · m^{-3}.

Métal	Cuivre	Fer	Aluminium	Magnésium
Masse volumique	8 920	7 860	2 700	1 750

1. À l'aide des expériences réalisées, déterminer :
a. la masse de l'échantillon testé ;
b. le volume de cet échantillon.
2. De quel métal est-il constitué ? Justifier.
3. Pourquoi aurions-nous pu éliminer le cuivre avant toute expérience ?

20 La paraffine

Extraite des résidus du pétrole, la paraffine est utilisée pour la fabrication de bougies ou d'allume-feu pour barbecue.

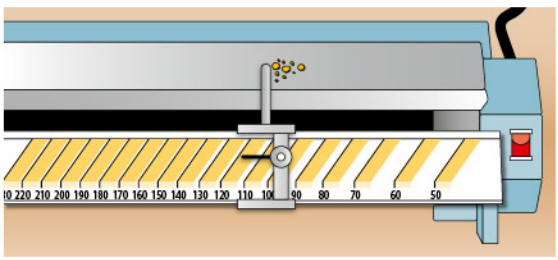
Les caractéristiques de la paraffine sont les suivantes :
– température de fusion autour de 50 °C ;
– masse volumique de 0,9 g · cm^{-3}.

1. À 25 °C, quel est l'état physique de la paraffine ?
2. Comparer sa masse volumique à celle de l'eau.
3. Comment peut-on vérifier la valeur de la température de fusion de la paraffine ?

21 Température de fusion de l'acide benzoïque

L'acide benzoïque est utilisé comme conservateur alimentaire. Afin de déterminer si un échantillon n'est constitué que d'acide benzoïque pur, on détermine sa température de fusion à l'aide d'un banc Kofler, comme sur le dessin ci-après.

Donnée : *la température de fusion de l'acide benzoïque sous pression atmosphérique est 122 °C.*



1. Quelle est la température de fusion de l'espèce étudiée ?
2. Est-ce de l'acide benzoïque pur ?

3 Les solutions aqueuses

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Solvant, soluté Concentration maximale d'un soluté ➥ EXERCICES 22 à 25	• Identifier le soluté et le solvant dans une solution. • Calculer la concentration en masse d'un soluté. • Connaître la préparation d'une solution par dissolution et par dilution.
Dosage par étalonnage ➥ EXERCICE 26	• Utiliser une échelle de teintes ou une courbe d'étalonnage pour déterminer la valeur d'une concentration.

22 Calculs de concentrations en masse

Calculer la concentration en masse de soluté des trois solutions suivantes.

	Soluté	Volume de solution obtenue
Solution S_1	17,2 g de sulfate de cuivre	200 mL
Solution S_2	3,2 g de saccharose	100 mL
Solution S_3	750 mg de diiode	50 mL

23 Concentration maximale d'un soluté

À la température de 20 °C, la concentration maximale de chlorure de sodium dans l'eau est $c_{mmax} = 358\ g \cdot L^{-1}$.

1. Est-il possible de dissoudre 68 g de chlorure de sodium dans de l'eau pour obtenir 200 mL de solution ? Justifier.

2. Quelle masse maximale de chlorure de sodium peut-on dissoudre dans de l'eau pour obtenir 50,0 mL de solution ?

24 Le bon protocole de dissolution

On souhaite préparer 100 mL de solution aqueuse par dissolution de 2,5 g de glucose dans de l'eau.

1. Quel est le soluté ? le solvant ?

2. Pour préparer la solution, un élève propose le protocole ci-dessous.

Peser le glucose et le placer dans un bécher.
Prélever 100 ml d'eau dans une éprouvette graduée.
Verser l'eau dans le bécher et agiter avec une baguette en verre jusqu'à dissolution complète du solide.

Expliquer pourquoi ce protocole n'est pas correct.

3. Pour préparer la solution à partir de 2,5 g de glucose, on dispose du matériel donné ci-après.
Donner le protocole expérimental à mettre en œuvre pour préparer cette solution.

4. Quelle est sa concentration en masse en glucose ?



25 Dilution d'une solution

On dispose d'une solution S_0 de permanganate de potassium de concentration $c_{m0} = 15{,}0\ g \cdot L^{-1}$. On prélève un volume $V_0 = 20$ mL de S_0 pour préparer 50 mL de solution S_1.

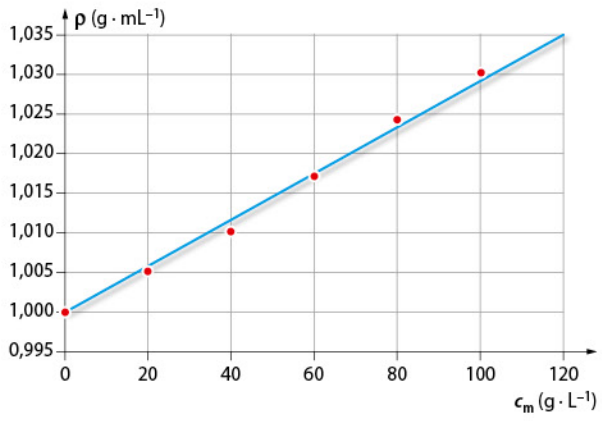
1. Déterminer la concentration c_{m1} de la solution S_1.

2. Lister la verrerie nécessaire à la préparation de cette solution. Préciser la valeur des volumes du matériel.

26 Dosage du glucose dans une boisson énergétique

Une boisson énergétique destinée aux sportifs pendant l'effort est une solution aqueuse contenant principalement du glucose qui est assimilé rapidement par l'organisme.

Un fabricant indique qu'un verre de 250 mL de sa boisson contient 9,8 g de glucose. On souhaite vérifier cette information. Pour cela, on prépare des solutions aqueuses de glucose de différentes concentrations en masse et on mesure la masse volumique de chacune. On trace ensuite la courbe d'étalonnage suivante.



1. Calculer la concentration en masse de glucose selon le fabricant.

2. La masse volumique de la boisson est $\rho_{boisson} = 1{,}012\ g \cdot mL^{-1}$. En déduire la valeur de la concentration en masse de glucose. La comparer à celle calculée dans la question 1.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

27 Identifier une espèce chimique





En observant une bougie allumée, on peut voir de la cire liquide au voisinage de la mèche. Si on place cette bougie dans un flacon contenant du dioxygène puis qu'on bouche celui-ci, la bougie finit par s'éteindre. Cependant le flacon s'est rempli d'un autre gaz incolore, du dioxyde de carbone.

1. **Expliquer** de quel changement d'état résulte le liquide observé près de la mèche.

2. **En déduire** quelle expérience permettrait d'identifier l'espèce chimique dont est faite la bougie.

3. Comment **déterminer** la nature des gaz présents dans le flacon au début puis à la fin de l'expérience ?

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- Les **changements d'état** correspondent aux passages des espèces chimiques entre les états : solide, liquide et gazeux.
- Le dioxygène O_2 et le dioxyde de carbone CO_2 sont des **gaz incolores** et inodores.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Expliquer** : donner une justification à une observation ou une affirmation.
- **En déduire** : intégrer le résultat précédent pour répondre.
- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. La bougie étant passée de l'état solide à l'état liquide, il s'agit ici d'une **fusion**.

2. Pour identifier l'espèce chimique présente dans la bougie, il est possible de mesurer la température de fusion du solide à l'aide d'un banc Kofler puis de comparer le résultat aux valeurs données dans les tables.

3. Des **tests caractéristiques** permettent d'identifier le dioxygène et le dioxyde de carbone : le dioxygène ravive une allumette incandescente, le dioxyde de carbone trouble l'eau de chaux.

QUELQUES CONSEILS

2. Les valeurs des températures de changement d'état, sous une pression donnée, sont caractéristiques d'une espèce chimique.

3. Des tests caractéristiques permettent d'identifier le dioxygène et le dioxyde de carbone.

EXERCICE SIMILAIRE

28 Fabriquer des glaçons

Un changement d'état est une transformation physique qui se produit à température constante. Lorsque l'on place de l'eau dans un bac au congélateur, dont la température est inférieure à 0 °C, c'est souvent pour former des glaçons. Les molécules d'eau, initialement séparées et désordonnées, se retrouvent liées et bien rangées.

1. Expliquer de quel changement d'état résultent les glaçons formés.

2. Comment déterminer, à l'aide d'un test simple, qu'on a bien de l'eau dans le bac au départ ?

3. En déduire une expérience qui permettrait, par une mesure, d'identifier qu'il s'agit bien de cette espèce chimique.



Exercice résolu EN AUTONOMIE

29 Dosage de l'eau de Dakin

L'eau de Dakin est un antiseptique utilisé pour le lavage des plaies et des muqueuses. On souhaite doser le permanganate de potassium $KMnO_4$ qui lui donne sa couleur rose. Pour cela, on prépare des solutions étalons de volume V_1 = 50,0 mL par dilution d'une solution S_0 de permanganate de potassium de concentration en masse $c_{m0} = 100\ mg \cdot L^{-1}$.

La couleur de l'eau de Dakin est semblable à celle de la solution S_3.

DOC Eau de Dakin

Composition :
Hypochlorite de sodium : 0,500 g de chlore actif pour 100 mL
Permanganate de potassium : 0,0010 g pour 100 mL
Dihydrogénophosphate de sodium hydraté
Eau purifiée



	S_1	S_2	S_3	S_4
Volume V_0 de solution-mère S_0 (en mL)	1,0	3,0	5,0	7,0

1. **Déterminer** la concentration en masse de permanganate de potassium de chacune des solutions étalons S_1 à S_4.

2. **En déduire** la concentration en masse de permanganate de potassium de l'eau de Dakin $c_{mDakin\ exp}$ et la **comparer** à la valeur donnée par le fabricant c_{mDakin}.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- L'extrait de la notice donne la **composition** de l'eau de Dakin.
- Le volume de solution-mère donné permet de calculer la **concentration en masse** de chaque solution étalon.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **En déduire** : intégrer le résultat précédent pour répondre.
- **Comparer** : mettre en regard deux résultats pour en identifier les différences ou les similitudes.

EXEMPLE DE RÉDACTION

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

donc $c_{m1} = c_{m0} \cdot \frac{V_0}{V_1} = \frac{100 \times 1{,}0}{50{,}0}$ soit $\boldsymbol{c_{m1} = 2{,}0\ mg \cdot L^{-1}}$.

De même, $\boldsymbol{c_{m2} = 6{,}0\ mg \cdot L^{-1}}$; $\boldsymbol{c_{m3} = 10\ mg \cdot L^{-1}}$; $\boldsymbol{c_{m4} = 14\ mg \cdot L^{-1}}$.

2. La couleur de l'eau de Dakin est semblable à celle de la solution S_3 donc $c_{mDakin\ exp} = c_{m3}$ soit $\boldsymbol{c_{mDakin} = 10\ mg \cdot L^{-1}}$.

La notice indique $c_{mDakin} = \frac{m}{V} = \frac{0{,}0010}{100 \times 10^{-3}} = 1{,}0 \times 10^{-2}\ g \cdot L^{-1}$ soit $\boldsymbol{c_{mDakin} = 10\ mg \cdot L^{-1}}$.

La valeur déterminée expérimentalement correspond à celle donnée par le fabricant.

QUELQUES CONSEILS

1. Pour déterminer la concentration en masse des solutions étalons, il faut utiliser la conservation de la masse de soluté lors d'une dilution.

EXERCICE SIMILAIRE

30 Dosage de la Bétadine®

La Bétadine® dermique est un antiseptique utilisé pour traiter les plaies ou les brûlures superficielles. C'est la povidone iodée qui lui donne sa couleur rouge, et pour laquelle le fabricant indique une concentration en masse $c_m = 100\ g \cdot L^{-1}$. On souhaite vérifier cette information.

Cet antiseptique étant de couleur rouge très foncée, on la dilue 100 fois et on compare la couleur de cette solution à une échelle de teintes. Chaque solution étalon de volume 50,0 mL est préparée par dilution d'une solution S_0 d'une solution de povidone iodée de concentration en masse $c_{m0} = 5{,}0\ g \cdot L^{-1}$ puis en partie versée dans un tube à essais. La couleur de la solution diluée de Bétadine® dans un tube à essais identique est proche de celle de S_3.



1. Déterminer la concentration en masse de povidone iodée de chacune des solutions étalons S_1 à S_4.

2. En déduire la concentration en masse de povidone iodée de la solution diluée de Bétadine®, puis celle de la solution commerciale. La comparer à la valeur donnée par le fabricant.

	S_1	S_2	S_3	S_4
Volume de solution-mère S_0 (en mL)	40,0	20,0	10,0	5,0

Croiser les notions

31 Expériences autour du cyclohexane

1. Pour déterminer expérimentalement la masse volumique du cyclohexane contenu dans un flacon, on réalise l'expérience ci-dessous.

a. Donner un titre à chacune des deux photographies A et B illustrant l'expérience.

b. Calculer la valeur de la masse volumique du cyclohexane.

2. On veut ensuite préparer une solution de cyclohexane diluée 5 fois. Décrire le protocole expérimental à suivre pour y parvenir en précisant le type de verrerie à utiliser.



32 Solution rouge écarlate



L'éosine est un solide rouge très soluble dans l'eau. Il est utilisé comme désinfectant des plaies bénignes.

Pour préparer une solution d'éosine, on dissout une masse $m = 2{,}00$ g d'éosine dans 500 g d'eau.

1. La solution obtenue est-elle un mélange homogène ?

2. Calculer le pourcentage massique en éosine de la solution obtenue.

3. Quel volume d'eau représente la masse d'eau utilisée ?

4. En considérant que le volume de la solution obtenue est pratiquement égal au volume d'eau utilisé, calculer la concentration en masse d'éosine de la solution.

33 Préparation d'un antibiotique

L'amoxicilline est une espèce chimique ayant des propriétés antibiotiques.

Dans une boîte de ce médicament, on trouve un flacon jaugé contenant de la poudre, une cuillère-dose et une notice dont voici un extrait.

Amoxicilline 250 mg/5,0 mL
Flacon de 60 mL

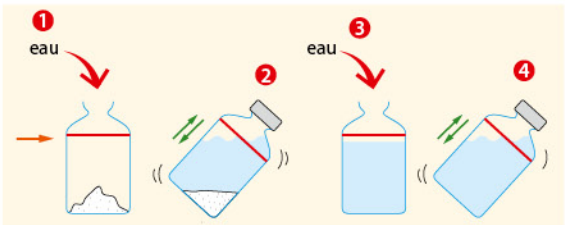
Composition

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.

Forme pharmaceutique

Poudre pour solution buvable. Flacon de 60 mL.

Mode d'administration - Préparation de la solution



1. Remplir le flacon d'eau minérale, de préférence non gazeuse, jusqu'au trait.
2. Refermer et agiter jusqu'à obtention d'un liquide homogène.
3. Si nécessaire, compléter à nouveau d'eau jusqu'au trait.
4. Agiter de nouveau.

1. La poudre de ce médicament est-elle un corps pur ou un mélange ? Justifier.

2. a. Quel est le nom de la technique de préparation de cette solution ?

b. Déterminer la concentration en masse d'amoxicilline de la solution.

c. En déduire la masse d'amoxicilline initialement présente dans le flacon.

3. a. Sachant que le flacon contient initialement 31,3 g de poudre, calculer le pourcentage massique d'amoxicilline.

b. La réponse à la question 1 est-elle confirmée ?

34 Déboucheur de canalisation

Sur l'étiquette d'un flacon de 750 mL de produit déboucheur de canalisation, on lit :

DANGER : contient de l'hydroxyde de sodium, solution à 19,0 % en masse.

Donnée : *masse volumique du déboucheur : $\rho = 1{,}23$ g · mL^{-1}.*

1. Ce déboucheur de canalisation est-il un corps pur ? Justifier.

2. Que signifie le pourcentage noté sur l'étiquette ?

3. Calculer la masse de produit déboucheur contenu dans le flacon.

4. En déduire la masse d'hydroxyde de sodium dans le flacon.

5. Calculer la concentration en masse d'hydroxyde de sodium de ce produit.

35 Dosage d'une solution de sulfate de cuivre

On prépare une échelle de teintes constituée de quatre solutions de sulfate de cuivre.

Solution S_i	S_1	S_2	S_3	S_4
Concentration c_{mi} (en g · L^{-1})	125	62,5	25,0	

1. a. Calculer le volume V_1 de solution S_1 à prélever afin de préparer par dilution un volume V_3 égal à 50 mL de S_3. Justifier le raisonnement.

b. Avec quelle pièce de verrerie doit-on prélever le volume V_1 ?

2. On prépare S_4 en diluant 10,0 mL de S_1 dans une fiole jaugée de 100,0 mL. Calculer la valeur de la concentration en masse c_{m4} de S_4.

3. On utilise cette échelle de teintes pour indice pour déterminer la concentration en masse d'une solution de sulfate de cuivre : sa coloration se situe entre celle de S_3 et celle de S_4.

Donner un encadrement de la concentration en masse de cette solution.



36 Solution de peroxyde d'hydrogène

Sur un flacon de solution concentrée S d'eau oxygénée, utilisée comme désinfectant, on peut lire : « *contient 33,0 % de peroxyde d'hydrogène en masse ; masse volumique* $\rho = 1{,}11\ g \cdot mL^{-1}$. »

1. Calculer la masse d'un volume $V = 500$ mL de la solution.

2. Quelle masse de peroxyde d'hydrogène ce volume renferme-t-il ?

3. En déduire la concentration en masse de peroxyde d'hydrogène de la solution.

4. À partir de cette solution, on désire préparer un volume $V_1 = 100$ mL de solution S_1 de peroxyde d'hydrogène de concentration en masse 73,3 g · L^{-1}.

a. Quelle masse de peroxyde d'hydrogène la solution S_1 contient-elle ?

b. Quel est le volume V_S de solution S qui contient cette masse ?

c. Donner le protocole de la préparation de la solution S_1.

37 Cinq fois moins concentrée CALCUL MENTAL

On dispose d'une solution S_0 de chlorure de sodium à la concentration en masse $c_0 = 36\ g \cdot L^{-1}$. On veut préparer 100 mL de solution S_1 de chlorure de sodium cinq fois moins concentrée.

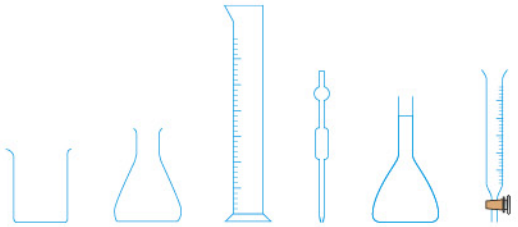
1. Comment se nomme l'opération consistant à abaisser la concentration d'une solution ?

2. Quelle sera la concentration en masse de la solution S_1 ?

3. Quelle masse de chlorure de sodium la solution S_1 contiendra-t-elle ?

4. Déterminer le volume de solution S_0 à prélever pour préparer la solution.

5. Parmi la verrerie ci-dessous, que doit-on choisir pour préparer la solution ? Préciser la valeur des volumes.



38 Composition d'une pièce de monnaie

Les pièces de monnaies sont souvent constituées d'un mélange de plusieurs métaux.

Voici la composition massique d'une pièce de 20 centimes d'euro de masse 5,74 g.



Espèce chimique	Cuivre	Aluminium	Zinc	Étain
Pourcentage massique	89 %	5 %	5 %	1 %

1. Une pièce de 20 centimes d'euro est-elle un mélange homogène ?

2. Déterminer la masse de chacune des espèces chimiques constituant une pièce de 20 centimes d'euro.

3. Une pièce de 50 centimes d'euro est constituée de quatre espèces chimiques dont le tableau ci-dessous donne la composition.

Espèce chimique	Cuivre	Aluminium	Zinc	Étain
Masse (en g)	6,94	0,39	0,39	0,08

a. Déterminer le pourcentage massique de chacun de ses constituants.

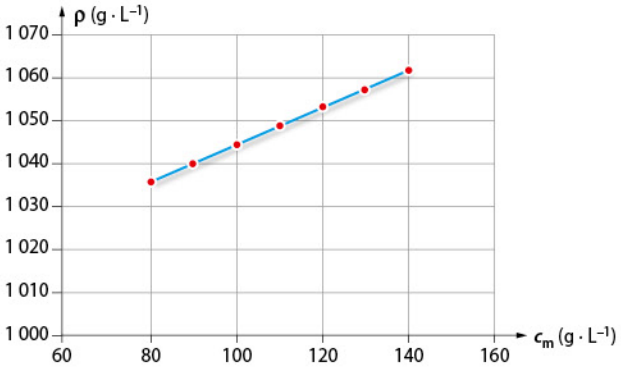
b. Comparer la composition des pièces de 20 et 50 centimes d'euro. Que peut-on en conclure ?

39 Dosage du saccharose dans un jus de pomme

On souhaite déterminer la concentration en masse en saccharose dans du jus de pomme à l'aide d'une courbe d'étalonnage donnant la masse volumique d'une solution aqueuse en fonction de sa concentration en saccharose. Pour cela, on prépare plusieurs solutions aqueuses étalons de saccharose.

1. Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer la masse volumique de chacune des solutions étalons.

2. On obtient la courbe d'étalonnage suivante.



a. Comparer l'unité des grandeurs du graphique. Rappeler ce que ces grandeurs représentent.

b. La masse volumique du jus de pomme est mesurée : $\rho_{jus} = 1{,}050$ kg · L^{-1}.

Déterminer la concentration en masse de saccharose du jus de pomme.

JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- exprimé ρ_{jus} en g · L^{-1} ;
- bien reporté cette mesure sur la courbe.

40 Chimie verte SVT

Lorsqu'un végétal reçoit de la lumière, il réalise la photosynthèse. C'est une réaction chimique qui transforme le dioxyde de carbone (CO_2) disponible dans l'air et l'eau (H_2O) fournie par l'irrigation, en dioxygène (O_2) redistribué dans l'air, et en glucose ($C_6H_{12}O_6$) utilisé par la plante pour grandir.



1. Quels sont les corps purs qui sont cités dans l'énoncé ?

2. Citer les tests courants d'identification de trois de ces espèces chimiques.

3. a. L'énoncé mentionne aussi un mélange. Lequel ?

b. Ce mélange est-il homogène ? Pourquoi ?

c. Donner sa composition volumique approximative.

4. Comment pourrait-on identifier un échantillon solide de glucose $C_6H_{12}O_6$?

5. Comparer les masses volumiques de l'eau et de l'air.

41 Combustion complète DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

La combustion du gaz butane dans le dioxygène s'effectue avec une flamme bleue et chaude. Une combustion complète libère du dioxyde de carbone et de l'eau.

DÉMARCHE AVANCÉE

Décrire les expériences qui mettent en évidence les espèces chimiques libérées par cette combustion.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

Si on place au-dessus de la flamme un verre sec et froid, ses parois internes se recouvrent de buée.

1. On y dépose du sulfate de cuivre anhydre (blanc). Que se passe-t-il ? Conclure.

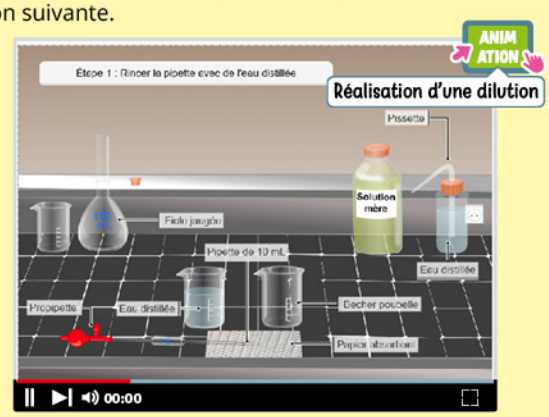
2. On y verse de l'eau de chaux. Que se passe-t-il ? Conclure.



À L'ORAL

42 Réaliser une dilution

Préparer un exposé oral présentant le principe de préparation d'une solution par dilution, décrite par l'animation suivante.



Cet exposé devra utiliser les mots clés ci-dessous : diluée dix fois ; fiole ; pipette jaugée ; trait de jauge ; solution-mère ; solution-fille ; solvant ; soluté ; concentration en masse.

Ce court exposé devra pouvoir être réalisé sans note écrite.

43 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

À certains moments de l'année, les bassins d'un marais salant sont ouverts sur la mer. L'eau de ces bassins est un mélange.



Préparer un exposé oral permettant d'expliquer pourquoi cette eau prend des teintes différentes.

Acquérir des compétences

44 Huile essentielle d'orange — TÂCHE COMPLEXE

AN/RAI **Proposer une stratégie de résolution**

On extrait l'huile essentielle de la peau d'orange en réalisant une décoction, c'est-à-dire en portant à ébullition un mélange d'eau et d'écorces d'oranges.

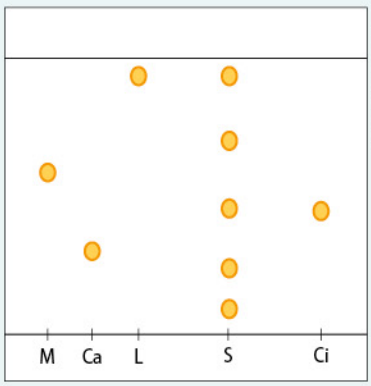


DOC 1 Chromatographie sur couche mince et rapport frontal

La chromatographie sur couche mince (CCM) permet de séparer et d'identifier des espèces chimiques présentes dans des mélanges liquides homogènes. Pour réaliser une CCM, on utilise un support constitué d'une couche mince de matériau adsorbant (plaque de silice, par exemple) et un éluant qui entraîne les différents constituants du mélange. La plaque obtenue à la fin s'appelle un chromatogramme. Chaque tache sur le chromatogramme correspond à une espèce chimique. Pour un éluant et un support identiques, une espèce chimique migre toujours à la même vitesse : on peut donc l'identifier par comparaison avec la tache donnée par un échantillon témoin.

Pour un chromatogramme donné, le rapport frontal R d'une espèce chimique est : $\boldsymbol{R = h/H}$ avec h, distance parcourue par l'espèce chimique et H, distance parcourue par l'éluant. H et h doivent être exprimées dans la même unité. R est sans unité.

DOC 2 Chromatogramme obtenu



Dépôts
L : limonène
S : huile essentielle
Ci : citral
M : myrcène
Ca : carvone

DOC 3 Données

Voici les valeurs du rapport frontal dans l'éluant utilisé pour les constituants de l'huile essentielle d'orange.

Espèce	Carvone	Citral	Myrcène	Limonène
R	0,3	0,4	0,6	0,9

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Quels sont les constituants de l'huile essentielle qui peuvent être mis en évidence ?
Confirmer la réponse par un calcul de rapports frontaux.

45 Quel est ce comprimé ? — DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

AN/RAI **Concevoir un protocole**

DOC 1 Paracétamol et aspirine

Le paracétamol et l'aspirine font partie des médicaments les plus consommés à travers le monde. Mais ils peuvent se présenter tous les deux sous la même forme : un comprimé blanc !



DOC 2 Liste de matériel et de produits

- Comprimés de paracétamol et d'aspirine
- Pilon et mortier
- Tables de données sur ces composés
- Banc Kofler

On dispose d'un échantillon. Proposer une stratégie qui devra comporter un protocole expérimental détaillé pour en déterminer la nature.

Retrouvez des exercices de synthèse p. 124

46 Le Lugol TÂCHE COMPLEXE

AN/RAI Construire les étapes d'une résolution de problème

Le Lugol est le nom commercial d'un antiseptique. C'est une solution aqueuse de diiode (I_2).

Une série de solutions étalons de diiode (**doc. 2**) a été préparée à partir d'une solution S_0 de diiode de concentration en masse $c_{m0} = 1{,}27\ g \cdot L^{-1}$ en respectant les proportions indiquées dans le **document 1**.

Une solution de Lugol diluée au centième a une teinte comprise entre celles des solutions S_2 et S_3.

DOC 1 Volumes de solutions mère et fille

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
Volume de solution-mère prélevé (en mL)	5,0	5,0	10,0	15,0	10,0
Volume de solution-fille préparé (en mL)	200	100	100	100	50

DOC 2 Solutions étalons de diiode



LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Déterminer un encadrement de la valeur de la concentration en diiode du Lugol.

VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

47 Détermination d'une concentration maximale DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

AN/RAI Justifier un protocole **VAL Interpréter des mesures**

Afin de déterminer la concentration maximale du chlorure de sodium dans l'eau, des élèves proposent deux protocoles expérimentaux.

1. **a.** Expliquer pourquoi le **protocole expérimental 1** permet seulement une estimation de la concentration maximale du chlorure de sodium.
b. Déterminer la valeur de cette estimation à partir des données expérimentales obtenues.

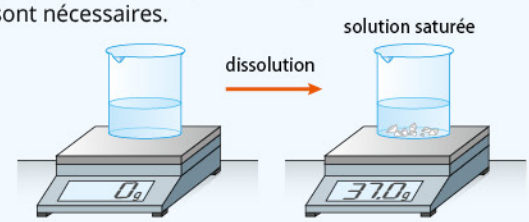
2. **a.** Pour le **protocole expérimental 2**, déterminer la masse de sel qui a cristallisé dans le bécher.
b. Dans quel volume de S cette masse était-elle dissoute ?
c. En déduire la concentration maximale du chlorure de sodium dans l'eau.

3. Quel protocole donne le résultat le plus précis ? Justifier.

PROTOCOLES EXPÉRIMENTAUX

Protocole expérimental 1

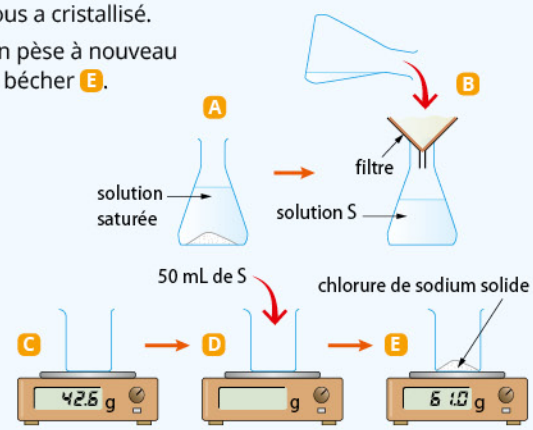
Un bécher contenant 100 mL d'eau distillée est placé sur une balance que l'on tare. On ajoute du chlorure de sodium petit à petit, en agitant si besoin, jusqu'à ce qu'il ne se dissolve plus : 37,0 g de chlorure de sodium sont nécessaires.



Protocole expérimental 2

Dans un erlenmeyer, on prépare une solution saturée de chlorure de sodium **A** que l'on filtre **B**. On prélève 50 mL de solution filtrée S avec une pipette jaugée **D** que l'on verse dans un bécher dont on a au préalable mesuré la masse **C**. Au bout de quelques jours, l'eau s'est évaporée et le chlorure de sodium qui y était dissous a cristallisé.

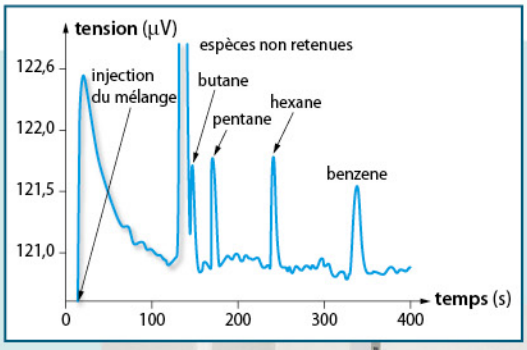
On pèse à nouveau le bécher **E**.



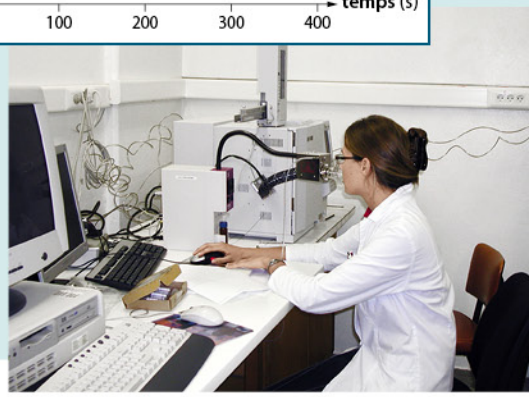
Les sciences et nous

GROS PLAN SUR...

La chromatographie en phase gazeuse



La chromatographique en phase gazeuse (CPG) est une technique de séparation et d'analyse chimique. Le mélange à étudier est chauffé jusqu'à sa vaporisation à l'entrée d'un tube enroulé sur lui-même appelé colonne. Selon leur nature, les espèces chimiques du mélange sont plus ou moins entraînées par un gaz injecté dans la colonne. À la sortie, un détecteur enregistre le passage des espèces chimiques en fonction du temps : c'est le chromatogramme qui détermine la composition du mélange. La chromatographie est ainsi utilisée pour détecter la présence de polluants dans l'eau. En parfumerie, la chromatographie sert à trouver la composition de mélanges naturels parfumés afin de les reproduire et c'est le nez qui joue le rôle de détecteur des espèces chimiques odorantes séparées !



LES MÉTIERS DU CHAPITRE

Ingénieur·e en formulation



L'ingénieur en formulation est un spécialiste des mélanges. Il met au point leur composition afin que les propriétés répondent à un cahier des charges précis. Il exerce dans de très nombreux secteurs : l'industrie cosmétique (composition d'un fond de teint ou d'un rouge à lèvre), l'industrie automobile (composition de gomme de pneus pour un meilleur compromis adhérence/consommation de carburant/durabilité). C'est un métier de création qui nécessite de solides bases en chimie.

***Niveaux d'études** : bac+5 après un bac général avec spécialité physique-chimie.*

Technicien·ne d'analyse biomédicale



Le technicien d'analyse biomédicale effectue les analyses de prélèvements organiques effectués sur un patient. Il manipule les échantillons avec des pipettes, prépare des mélanges et effectue des mesures avec des appareils électroniques. Il dose parfois des espèces chimiques (cholestérol, triglycérides dans le sang...). Il peut aussi déterminer la concentration en masse de glucose dans le sang (glycémie). Ces résultats sont très utiles au médecin afin d'établir un diagnostic.

***Niveaux d'études** : bac+2 à bac+5 après un bac général avec spécialité physique-chimie.*

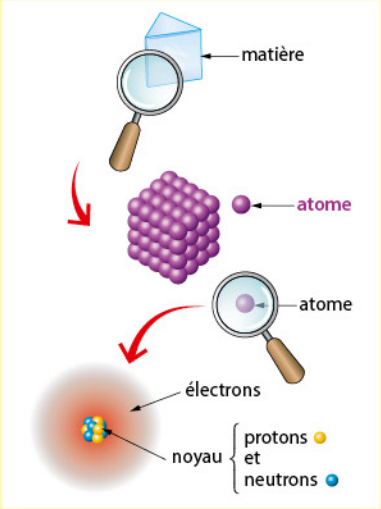
Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

Description microscopique

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- La matière est constituée d'**atomes**.
- L'atome, électriquement neutre, est constitué d'un **noyau** central autour duquel gravitent des **électrons**.
- Le noyau atomique est constitué de **nucléons** qui sont les **protons** et les **neutrons**.
Le noyau concentre la quasi-totalité de la masse de l'atome.
- Des atomes ayant le même nombre de protons appartiennent au même **élément chimique**.



POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

Il existe trois types de constituants dans un atome.

Citer ces constituants.
Où les trouve-t-on ?

SITUATION 2

L'atome est électriquement neutre.

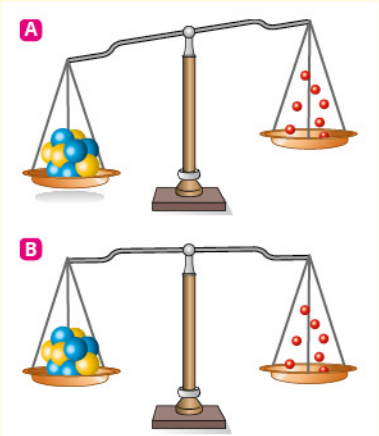
Comment expliquer cette propriété ?

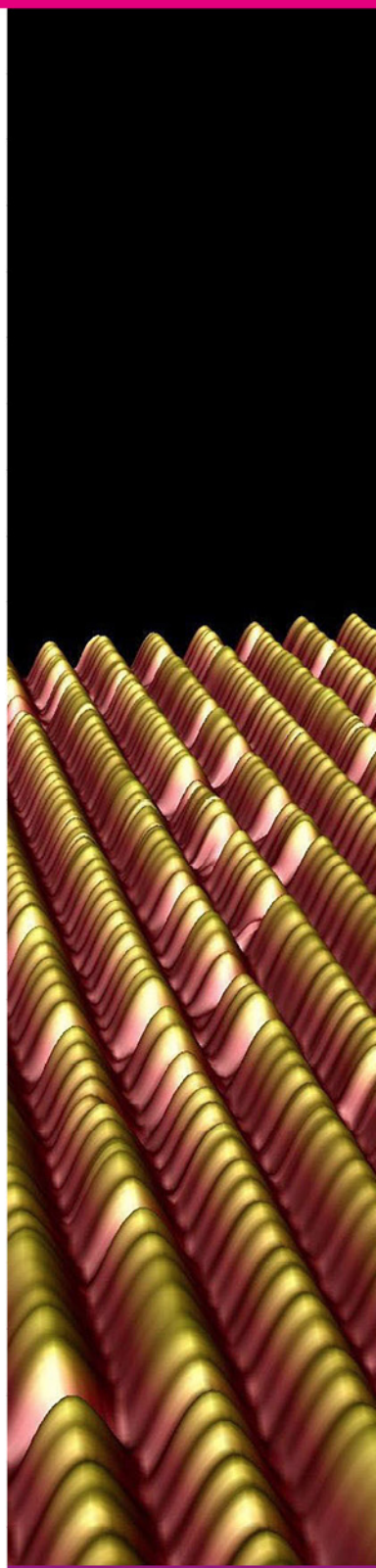
SITUATION 3

On se propose de dissocier un atome.

On imagine que l'on puisse placer ses nucléons dans un plateau d'une balance et ses électrons dans l'autre.

Entre les deux schémas ci-contre, lequel illustrerait le mieux la situation proposée ?

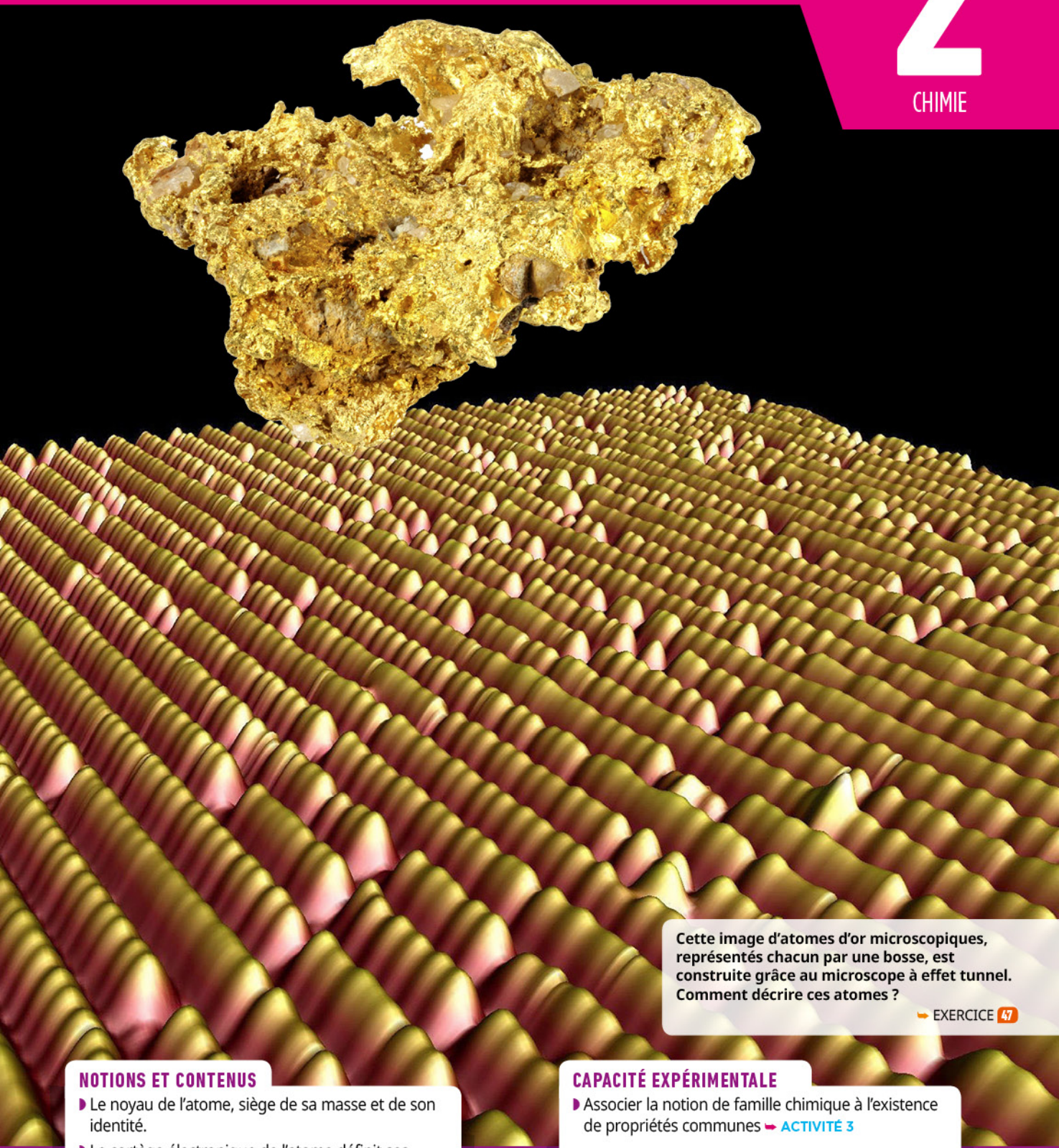




CHAPITRE 2

CHIMIE

de la matière



Cette image d'atomes d'or microscopiques, représentés chacun par une bosse, est construite grâce au microscope à effet tunnel. Comment décrire ces atomes ?

➥ EXERCICE 47

NOTIONS ET CONTENUS

- Le noyau de l'atome, siège de sa masse et de son identité.
- Le cortège électronique de l'atome définit ses propriétés chimiques.
- Les isotopes.
- Compter les entités chimiques dans un échantillon de matière.

CAPACITÉ EXPÉRIMENTALE

- Associer la notion de famille chimique à l'existence de propriétés communes ➥ ACTIVITÉ 3

1. ACTIVITÉ DE DÉCOUVERTE

CLASSE INVERSÉE

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
AN/RAI Choisir un modèle pertinent

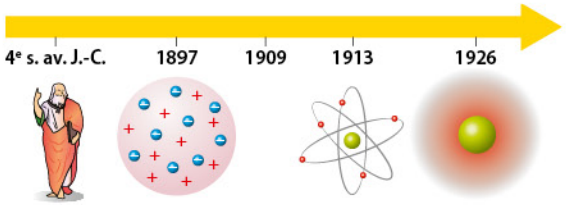
L'atome au fil du temps

HISTOIRE DES SCIENCES

Pour parvenir au modèle de l'atome que nous connaissons aujourd'hui, des générations de scientifiques ont apporté leur contribution. Que sait-on aujourd'hui ?

DOC 1 La représentation de l'atome

La représentation des atomes a évolué à travers les époques.
Les dates de la frise suivante ont compté dans l'avancée des connaissances sur l'atome.



ANIMATION L'atome



VOCABULAIRE

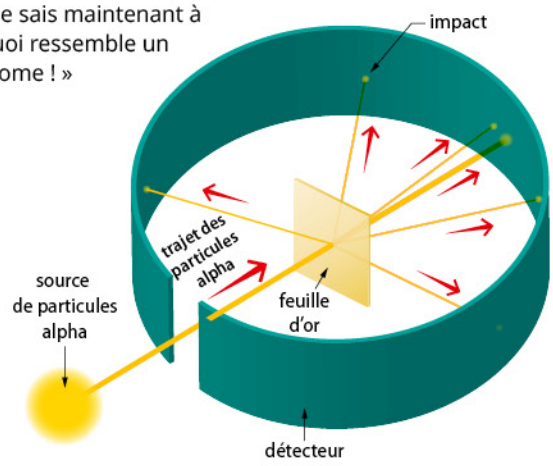
- **Particule alpha :** noyau d'hélium 4 constitué de deux protons et deux neutrons, émis par les substances radioactives.

DOC 2 L'expérience de Rutherford

En 1909, Sir Ernest Rutherford, physicien néo-zélandais (1871-1937), bombarde une très fine feuille d'or avec des **particules alpha**.

La majorité des particules alpha ne subissant aucune déviation, il peut affirmer qu'elles ne rencontrent aucun obstacle sur leur trajet. Donc, en traversant une feuille d'or faite d'atomes, la quasi-totalité des particules alpha traverse ces atomes sans rencontrer le noyau.

En décembre 1910, Rutherford déclare : « Je sais maintenant à quoi ressemble un atome ! »



DOC 3 Évolution du modèle de l'atome

Démocrite « La matière ne peut pas être divisée infiniment : elle est faite de grains appelés atomes, ce qui signifie qu'on ne peut pas les partager. »

Thomson « Des électrons négatifs se répartissent à l'intérieur de l'atome positif pour respecter la neutralité électrique, de la même façon que les pruneaux se dispersent dans un cake. »

Bohr « Les électrons tournent autour d'un noyau, comme les planètes du système solaire tournent autour de notre étoile, le Soleil. »

Schrödinger « Il faut abandonner le concept de trajectoire de l'électron. Celui-ci est délocalisé dans le nuage électronique : on parle de probabilité de présence de l'électron autour du noyau. »

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Lister les cinq dates clés de l'élaboration du modèle de l'atome, puis décrire les découvertes correspondantes.

2 Quelle conclusion sur le rapport entre la taille de l'atome et celle de son noyau peut-on tirer de l'expérience de Rutherford ?

SYNTHÈSE

3 Résumer ce que l'on sait aujourd'hui sur la constitution d'un atome.

Je réussis si...

- **Je sais me repérer sur une échelle des temps.**
- **Je connais les dimensions respectives de l'atome et de son noyau.**

COMPÉTENCES :
AN/RAI Formuler une hypothèse
VAL Confirmer une hypothèse

Le germanium dans le tableau périodique

HISTOIRE DES SCIENCES



SITUATION-PROBLÈME

En 1869, quand le chimiste russe Dmitri Mendeleïev (1834-1907) publie sa classification des éléments chimiques, une soixantaine d'éléments sont répertoriés. Dans son tableau, il regroupe par série ceux dont les propriétés chimiques sont voisines.

Mendeleïev laisse des cases vides correspondant à des éléments qui ne sont pas encore connus. Parmi les cases vides, il y a celle du germanium qu'il nomme *ekasilicium*, ce qui signifie *en dessous du silicium*.

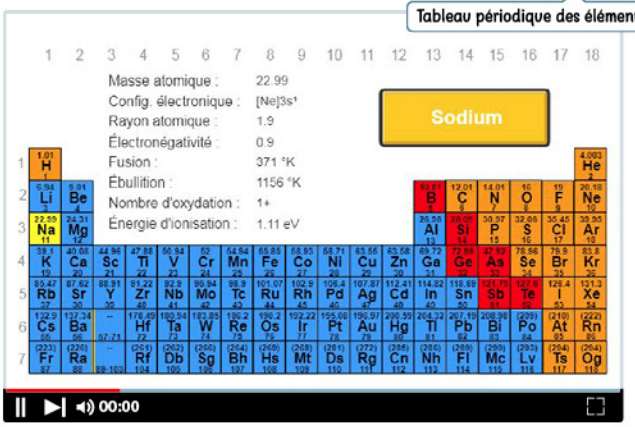
Comment justifier que le germanium est bien l'élément situé en dessous du silicium dans le tableau périodique ?

HYPOTHÈSE Proposer une hypothèse en la justifiant.

DOC 1 Tableau périodique

ANIMATION

Tableau périodique des éléments



VOCABULAIRE

- **Semi-conducteur :** caractère des composants électroniques (diode, puce, etc.).
- **Électrons de valence :** électrons de la couche externe de l'atome.

DOC 2 Le germanium

Tout comme le silicium, le germanium (photo) est un élément chimique semi-métallique du fait de ses propriétés de **semi-conducteur**.

Sa structure cristalline est celle du diamant.

Le germanium est utilisé dans la fabrication des verres, de la même façon que le silicium.



DOC 3 Configuration électronique

La configuration électronique donne la répartition des électrons du cortège électronique sur des couches (numérotées 1, 2, etc.) et des sous-couches (repérées par des lettres s, p, etc.) correspondant à différents niveaux d'énergie.

Dans une colonne du tableau périodique, la configuration électronique des éléments présente une similitude : le nombre d'**électrons de valence** est identique (sauf pour l'hélium qui a 2 électrons de valence au lieu de 8 pour les autres éléments de la colonne).

PISTES DE RÉSOLUTION

1 Rechercher dans le **document 1** la configuration électronique des éléments silicium et germanium.

2 Que peut-on constater et dire en les comparant ?

CONCLUSION

3 L'hypothèse émise est-elle confirmée ?

4 Quel autre argument, utilisé par Mendeleïev, pourrait confirmer cette hypothèse ?

Je réussis si...

- **Je sais repérer le nombre d'électrons de valence à partir de la configuration électronique.**
- **Je sais où sont situés les éléments chimiques d'une même famille dans le tableau périodique.**

PAGE Flashable

TP

COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité
VAL Exploiter des informations

Les halogènes

Le chlore Cl, le brome Br et l'iode I sont des atomes qui appartiennent à la même famille. Ces trois atomes possèdent-ils des propriétés chimiques similaires ?

PROTOCOLES EXPÉRIMENTAUX

Expérience 1

- Verser 2 mL de chacune des solutions aqueuses de dihalogènes (dichlore, dibrome et diiode) dans trois tubes à essais.

La masse volumique des solutions aqueuses est proche de 1 g · cm⁻³.

- Dans chaque tube, ajouter environ 1 mL de cyclohexane dont la masse volumique est 0,78 g · cm⁻³. Boucher les tubes, agiter, puis laisser reposer.

Expérience 2

- Préparer trois tubes à essais contenant 2 mL respectivement de solution de chlorure de potassium, de bromure de potassium et d'iodure de potassium.
- Dans chaque tube, introduire quelques gouttes de solution aqueuse de nitrate d'argent.

DOC 1 Étiquette d'un flacon de cyclohexane



DOC 2 Configurations électroniques d'atomes

On donne les configurations électroniques suivantes.

Chlore
$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$

Brome
$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^5$

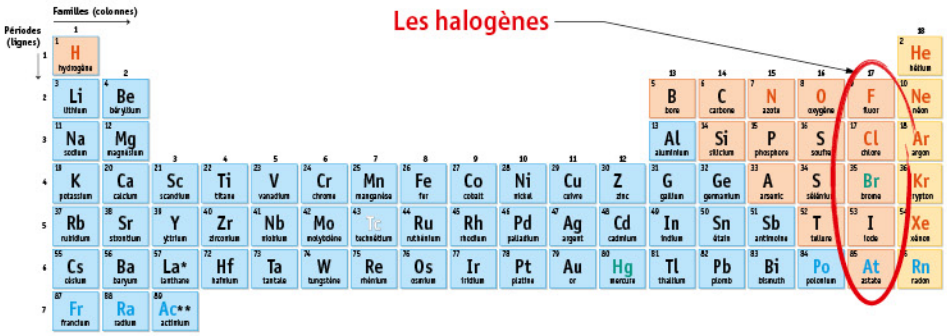
Iode
$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^{10}\ 5s^2\ 5p^5$

GESTE EXPÉRIMENTAL

- Des produits toxiques sont parfois utilisés au laboratoire. Ils ne doivent pas être manipulés à l'air libre sur la paillasse, mais sous une hotte ventilée.



DOC 3 Famille des halogènes dans le tableau périodique



EXPÉRIENCES ET ANALYSE

1 Réaliser les expériences 1 et 2.

2 Pourquoi faut-il manipuler sous la hotte ?

3 **Expérience 1**

a. Avant agitation, combien de phases chaque tube présente-t-il ?
Identifier ces phases. Quelle est leur couleur ?
Que peut-on dire des deux liquides mélangés ?

b. Après agitation, quelle est la couleur de chacune des phases obtenues ?
Que peut-on dire alors de la facilité des dihalogènes à se dissoudre dans l'eau et dans le cyclohexane ?

4 **Expérience 2**

Qu'observe-t-on dans chaque tube à la fin de l'expérience 2 ?

CONCLUSION

5 Les trois atomes de chlore, de brome et d'iode ont-ils des propriétés chimiques similaires ? Expliquer la réponse.

Je réussis si...

- **Je sais interpréter la lecture des pictogrammes de sécurité.**
- **Je sais distinguer mélanges homogènes et mélanges hétérogènes.**

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
VAL Exploiter des informations

La mole, unité de quantité de matière

Fin de l'année 2018 à Versailles, la conférence générale des poids et mesures a adopté une révision du Système international d'unités. Quelles en sont les conséquences ?

DOC 1 Le Système international d'unités (SI)



Le Système international compte sept unités de base : le kilogramme (kg, unité de masse), la seconde (s, unité de temps), le mètre (m, unité de longueur), le kelvin (K, unité de température), l'ampère (A, unité d'intensité électrique), la mole (mol, unité de **quantité de matière**), la candela (cd, unité d'intensité lumineuse).

Afin d'harmoniser les définitions, quatre des sept unités de base que comprend ce système ont été redéfinies. Ce sont la mole, le kilogramme, l'ampère et le kelvin. C'est la première fois depuis l'instauration du SI que les unités fondamentales sont toutes définies au moyen de constantes physiques naturelles.

VOCABULAIRE

- **Entité chimique :** une entité chimique peut être un atome, une molécule, un ion, un électron, etc.
- **Quantité de matière :** c'est la grandeur qui permet de compter des entités chimiques.

DÉMARCHE EXPERTE

La mole a été redéfinie en 2019 pour en améliorer la précision. Le changement de définition du kilogramme était-il indispensable pour cela ?

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Comment était définie la mole jusqu'en 2018 ?
2. Comparée à l'ancienne, quelle amélioration en terme de précision la nouvelle définition apporte-t-elle ?

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Pourquoi existait-il une incertitude sur la valeur du kilogramme dans son ancienne définition ?
2. Quel problème cela posait-il sur la définition de la mole datant de 1971 ?
3. Comment la nouvelle définition de la mole a-t-elle résolu le problème ?

DOC 2 Grand K, le prototype étalon du kilogramme



« [...] une vieille armoire blindée et, à l'intérieur, [...] un cylindre plus petit que le poing, mélange de platine et d'iridium. C'est à partir de lui et de ses multiples copies que les administrations et les industries font étalonner leurs balances et poids [...].

Le cylindre, façonné en 1889, est lui-même la copie conforme du kilogramme original, l'IPK (*International Prototype of the Kilogram*). Ce dernier est jalousement conservé à Sèvres, au Bureau international des poids et mesures (BIPM) [...]. Les comparaisons entre copies montrent que la masse des cylindres varie. [...] Cette variation est infime et ne change pas grand-chose pour le quotidien : votre maraîcher ne vous trompe même pas d'un fil de poireaux. *Mais dans le domaine des nouvelles technologies, de la pharmacie, de l'environnement et bien d'autres, cette différence a des conséquences importantes.* [...]

Pour mettre fin au problème, une seule solution : se débarrasser du cylindre en métal pour redéfinir le kilogramme sur une base immuable. »

Audrey Dufour, *La Croix*, 2 janvier 2018.

DOC 3 Une nouvelle définition de la mole

Octobre 1971 ▸ La mole est un « paquet » contenant un très grand nombre d'**entités chimiques** : autant que le nombre d'atomes contenus dans 12 g de carbone ^{12}C.

Mai 2019 ▸ La mole, symbole mol, est l'unité SI de la **quantité de matière**. Une mole contient exactement $6{,}022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ **entités chimiques**. Ce nombre est la valeur numérique fixe de la constante d'Avogadro, N_A, lorsqu'elle est exprimée dans l'unité mol^{-1} et s'appelle le nombre d'Avogadro.

Je réussis si...

- **Je sais distinguer grandeur et unité.**
- **Je sais que les incertitudes de mesures se répercutent sur la précision d'un résultat.**
- **DÉMARCHE EXPERTE Je repère la grandeur physique qui a disparu dans la nouvelle définition de la mole.**

1 Le noyau de l'atome

Constitution du noyau

Le **noyau** situé au centre de l'atome est chargé positivement. Il est formé de deux types de particules, les **protons** et les **neutrons** : ce sont les nucléons.
Le **nombre *Z* de protons** est appelé **numéro atomique**.
Le **nombre de nucléons**, aussi appelé **nombre de masse**, est noté ***A***.

Le nombre de **neutrons** est donc $N = A - Z$.

APPROFONDISSEMENT SCIENTIFIQUE

C'est dans les années 1970 que les scientifiques ont montré que chaque nucléon est constitué de particules plus élémentaires, les *quarks* : deux quarks up et un quark down pour le proton et un quark up et deux quarks down pour le neutron.

Élément chimique

Le **numéro atomique *Z*** (nombre de protons) caractérise un **élément chimique**.

Chaque élément est représenté par un symbole composé d'une lettre majuscule, parfois suivi d'une minuscule.

Parmi les 118 éléments connus (FIG. 1), 94 sont naturels, les autres sont artificiels, c'est-à-dire créés dans les laboratoires.

Symbole du noyau

${}^{A}_{Z}X$ est l'**écriture conventionnelle** du noyau dans laquelle X symbolise un élément chimique.

EXEMPLE ${}^{27}_{13}Al$ représente un noyau d'aluminium constitué de 27 nucléons ($A = 27$) dont 13 protons ($Z = 13$).
Il contient donc 14 neutrons puisque $N = A - Z = 27 - 13 = 14$.

Charge électrique de l'atome

Un proton porte une charge **positive** $q = e = +1{,}6 \times 10^{-19}$ C.

La charge e est appelée charge élémentaire.

Un neutron ne porte **aucune charge** électrique, il est neutre.

La charge positive du noyau a donc pour valeur $q = Z \cdot e$ C.

Un électron porte une charge **négative** $q = -e = -1{,}6 \times 10^{-19}$ C.

	Partie de l'atome		
	Cortège électronique	Noyau	
Constituant	électron	proton	neutron
Charge électrique (en C)	$-1{,}6 \times 10^{-19}$	$+1{,}6 \times 10^{-19}$	0

L'électron portant une charge électrique négative opposée à celle du proton, il y a autour du noyau *Z* électrons pour respecter la neutralité électrique de l'atome, donc **autant d'électrons que de protons**.

POUR VISUALISER



Une animation sur la description de l'atome et son évolution à travers les âges.

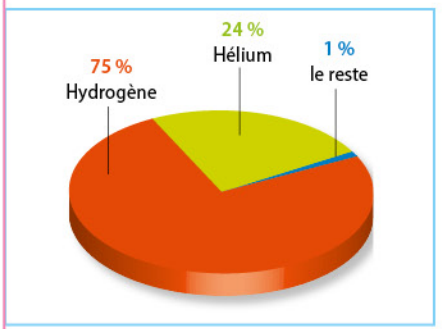


FIG. 1 Les éléments hydrogène et hélium sont les plus abondants dans l'univers.

VOCABULAIRE

- **e** : notation de la charge électrique élémentaire, la plus petite quantité d'électricité qu'il est possible d'isoler.
- **C** : symbole du coulomb, unité de la charge électrique *q*.

Masse et dimension du noyau

La masse des protons et des neutrons étant largement supérieure à celle de l'électron (FIG. 2), la **masse de l'atome** est concentrée dans son noyau.

EXEMPLE On prend comme exemple l'atome l'aluminium de noyau $^{27}_{13}\text{Al}$.
On note m la masse ; e correspond à électron et nu à nucléon.
$m_{atome} = 13 \times m_e + 27 \times m_{nu}$ soit :
$m_{atome} = 13 \times 9{,}11 \times 10^{-31} + 27 \times 1{,}67 \times 10^{-27} = 4{,}51 \times 10^{-26}$ kg
$m_{noyau} = 27 \times m_{nu} = 27 \times 1{,}67 \times 10^{-27} = 4{,}51 \times 10^{-26}$ kg, donc $\boldsymbol{m_{noyau} = m_{atome}}$.

La dimension de l'atome est **de l'ordre de 10^{-10} m**, le noyau est environ 100 000 fois plus petit.

En effet, comme la dimension du noyau est de l'ordre de 10^{-15} m, on peut comparer les dimensions du noyau et de l'atome grâce au quotient $\frac{10^{-10}}{10^{-15}} = 10^5$.

Particule	Masse
électron	$m_e = 9{,}109 \times 10^{-31}$ kg
proton	$m_p = 1{,}672 \times 10^{-27}$ kg
neutron	$m_n = 1{,}675 \times 10^{-27}$ kg

FIG. 2 Masses des constituants de l'atome.

UN PONT VERS LES MATHS

On effectue le **quotient** de deux grandeurs pour les comparer.

Isotopie

Des noyaux **isotopes** appartiennent au même élément chimique (même numéro atomique Z), mais leur nombre de masse A est différent. Ils n'ont donc pas le même nombre de neutrons (FIG. 3).

Remarque : on peut noter plus simplement le noyau d'isotopes ^{A}X.

EXEMPLE Les isotopes ^{1}H ; ^{2}H ; ^{3}H possèdent respectivement 0 ; 1 ; 2 neutrons. Ils appartiennent au même élément chimique, l'hydrogène.

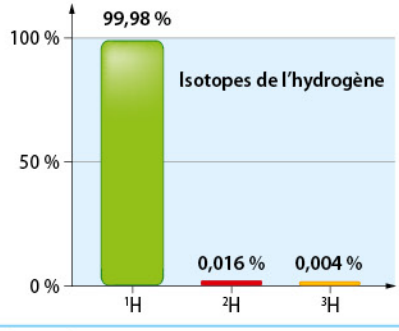


FIG. 3 L'hydrogène existe sous la forme de trois isotopes stables : l'isotope le plus abondant ^{1}H, et deux isotopes plus lourds, le deutérium ^{2}H et le tritium ^{3}H.

2 Le cortège électronique

Un nombre Z d'électrons se déplacent autour du noyau, constituant le **cortège électronique**.

Les électrons du cortège électronique se répartissent sur des **couches** (numérotées 1, 2, etc.) et **sous-couches** (repérées par des lettres s, p, etc.).

Ces couches et sous-couches correspondent à différents niveaux dont l'énergie augmente en s'éloignant du centre de l'atome.

Les électrons occupent les niveaux d'énergie les plus bas possibles qu'ils remplissent progressivement dans l'ordre 1s, 2s, 2p, 3s, 3p (FIG. 4).

Cette répartition, la **configuration électronique**, rend compte des **niveaux d'énergie** occupés par les électrons d'un atome dans son **état fondamental**.

Les sous-couches contiennent un nombre **maximal** d'électrons.

Dans la configuration électronique, un **exposant** indique le nombre d'électrons des **sous-couches** et la **somme des exposants** donne le nombre **total** d'électrons.

Sous-couche	Nombre maximal d'électrons
s	2
p	6

EXEMPLE La configuration électronique du carbone C dans son état fondamental est $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$. Donc 2 + 2 + 2 = 6, qui est le nombre d'électrons du carbone.

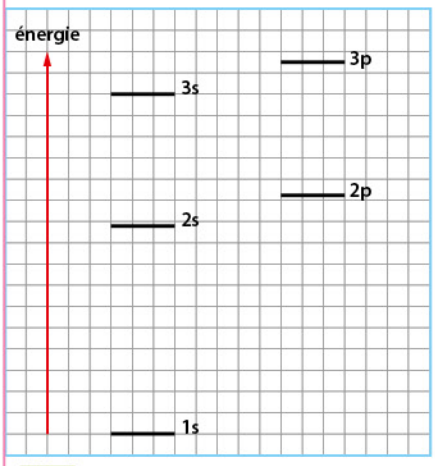


FIG. 4 Énergie des sous-couches électroniques.

3 Le tableau périodique

Le **tableau périodique** classe les éléments chimiques par numéro atomique Z croissant.

Pour les éléments chimiques (jusqu'à $Z = 18$) se trouvant sur une ligne du tableau, appelée **période**, une même couche se complète de gauche à droite.

Dans une **colonne**, la configuration électronique des éléments présente une similitude : le nombre d'électrons sur la couche la plus externe, appelés **électrons de valence**, est identique (sauf pour l'hélium qui a 2 électrons de valence au lieu de 8 pour les autres éléments de la colonne) (FIG. 5).

Pour cette raison, les éléments d'une même colonne ont des **propriétés chimiques analogues** ; ils appartiennent à une même **famille chimique**.

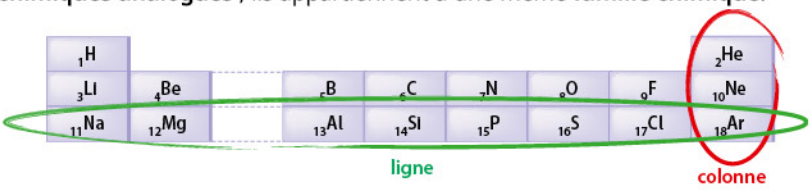


FIG. 5 Extrait du tableau périodique. (La partie non colorée du tableau correspond à des colonnes remplies qu'à partir de la 4e ligne.)

EXEMPLE Le néon Ne ($Z = 10$) et l'argon Ar ($Z = 18$) de configuration électronique respective $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ et $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ possèdent 8 électrons de valence et font partie de la famille des **gaz nobles**.

VOCABULAIRE

Électrons de valence : les électrons de la dernière couche.

4 Compter les entités chimiques

La **quantité de matière** n d'une entité chimique, exprimée en **mole** (symbole mol), permet au chimiste de passer du niveau microscopique au niveau macroscopique. Ainsi, il peut effectuer plus facilement des mesures de masse.

Une **entité** chimique peut être un atome, un proton, un électron, etc.

Une **mole** contient exactement $6{,}02214076 \times 10^{23}$ **entités** (FIG. 6).
C'est le nombre d'Avogadro, valeur de la constante d'Avogadro N_A, exprimée en mol^{-1}.

Un échantillon de masse $m_{éch}$ contient un nombre d'atomes $N = \dfrac{m_{éch}}{m_{atome}}$, soit une quantité de matière n exprimée en mole de cet atome : $n = \dfrac{N}{N_A}$.

La **quantité de matière** n et le **nombre d'entités chimiques** N sont liés par la relation :

(en **mol**) $\longrightarrow n = \dfrac{N}{N_A}$ ← (sans unité)

← constante d'Avogadro (en mol^{-1})

EXEMPLE Soit un échantillon d'oxygène de masse $m_{éch} = 10$ g. La masse d'un atome d'oxygène étant $m_{atome} = 27 \times 10^{-27}$ kg, l'échantillon contient :

$N = \dfrac{m_{éch}}{m_{atome}} = \dfrac{10 \times 10^{-3}}{27 \times 10^{-27}} = 3{,}7 \times 10^{23}$ atomes d'oxygène.

La quantité de matière n correspondante est :

$n = \dfrac{N}{N_A} = \dfrac{3{,}7 \times 10^{23}}{6{,}02214076 \times 10^{23}} = 0{,}61$ mol d'atomes d'oxygène.

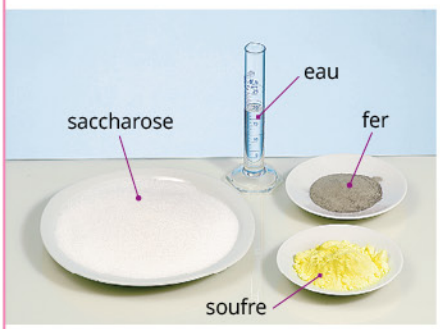


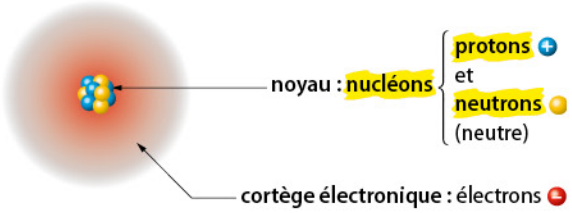
FIG. 6 Quatre échantillons d'eau, de saccharose, de fer et de soufre contenant chacun une mole d'entités chimiques.

L'ESSENTIEL À RETENIR

Le vocabulaire à retenir
Les relations à connaître et savoir utiliser

1 Le noyau de l'atome

- Le **noyau** concentre la masse et l'identité de l'atome.



- Symbole du noyau : ${}^{A}_{Z}X$

Z **numéro atomique** = nombre de protons

A **nombre de nucléons**

N **nombre de neutrons**

$N = A - Z$

- ${}^{12}_{6}C$ et ${}^{14}_{6}C$ appartiennent au même **élément chimique**, le carbone (même nombre de protons). Ce sont des **isotopes** (nombre de nucléons différent).

2 Le cortège électronique

- Un atome contient ***Z* électrons**.
- La **configuration électronique** rend compte des niveaux d'énergie occupés par les **électrons** d'un atome.
- Les électrons se répartissent en **couches** et **sous-couches**.

Exemple : ${}_{10}$**Ne** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$

Exposants
Nombre d'électrons de la sous-couche → Nombre total d'électrons

${}_{10}Ne$ $1s^{\textcircled{2}}\ 2s^{\textcircled{2}}\ 2p^{\textcircled{6}}$ → $\textcircled{10}$

3 Le tableau périodique

- Les **éléments chimiques** sont classés par numéro atomique *Z* croissant.

${}_1H$ $1s^1$							${}_2He$ $1s^2$
${}_3Li$ $1s^2 2s^1$	${}_4Be$ $1s^2 2s^2$	${}_5B$ $1s^2 2s^2 2p^1$	${}_6C$ $1s^2 2s^2 2p^2$	${}_7N$ $1s^2 2s^2 2p^3$	${}_8O$ $1s^2 2s^2 2p^4$	${}_9F$ $1s^2 2s^2 2p^5$	${}_{10}Ne$ $1s^2 2s^2 2p^6$
${}_{11}Na$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$	${}_{12}Mg$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$	${}_{13}Al$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$	${}_{14}Si$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$	${}_{15}P$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$	${}_{16}S$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$	${}_{17}Cl$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$	${}_{18}Ar$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

Ligne : une même **couche** se complète (de gauche à droite)

Colonne : **famille chimique**, même nombre d'**électrons de valence**

Famille des **gaz nobles**

4 Compter les entités chimiques

- La **quantité de matière** permet de compter les **entités chimiques** (atomes, ions, molécules) dans un échantillon de matière.

1 mole = **6,02214076 × 10²³** entités

quantité de matière (en **mol**) → $n = \frac{N}{N_A}$ ← nombre d'entités chimiques (sans unité)

$N_A = 6{,}02214076 \times 10^{23}$ **mol**$^{-1}$ ← constante d'Avogadro

Attention

Ne pas confondre *N* le nombre de neutrons et *N* le nombre d'entités chimiques :

Nombre de neutrons *N* :
$N = A - Z$

Nombre d'entités chimique *N* :
$N = n \cdot N_A$

Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

1 L'atome

	A	B	C
1 Le numéro atomique *Z* correspond au nombre :	de protons.	d'électrons.	de nucléons.
2 Un élément chimique est caractérisé par :	son numéro atomique.	son nombre de masse.	son nombre de protons.
3 Deux isotopes ont le même nombre :	de protons.	de neutrons.	de nucléons.

2 Le cortège électronique

	A	B	C
4 Dans la configuration électronique, les électrons occupent d'abord :	les niveaux d'énergie les plus bas possibles.	les niveaux d'énergie les plus hauts possibles.	les niveaux d'énergie intermédiaires.
5 La somme de tous les exposants des sous-couches donne :	le nombre total d'électrons d'un atome.	le nombre d'électrons sur la couche externe.	le nombre total de protons d'un atome.
6 La configuration électronique :	rend compte des niveaux d'énergie occupés par les protons.	rend compte des niveaux d'énergie occupés par les électrons.	rend compte des niveaux d'énergie occupés par les neutrons.

3 Le tableau périodique

	A	B	C
7 Le tableau périodique permet de connaître :	le nombre de neutrons d'un atome.	le nombre de nucléons d'un atome.	le nombre d'électrons de valence d'un atome.
8 Les éléments d'une famille chimique :	sont dans une même colonne.	sont sur une même ligne.	ont des propriétés chimiques voisines.
9 Dans le tableau périodique, les éléments chimiques sont classés :	par volume croissant.	par masse croissante.	par numéro atomique croissant.

4 Compter les entités chimiques

	A	B	C
10 La quantité de matière s'exprime :	en gramme.	en mole.	en litre.
11 La quantité de matière *n* et le nombre d'entités chimiques *N* sont reliés par :	$N = \frac{n}{N_A}$	$N = n \cdot N_A$	$N_A = \frac{n}{N}$
12 Un atome, un électron ou un proton est :	une charge élémentaire.	une entité chimique.	une quantité de matière.

Acquérir les notions

1 Le noyau de l'atome

Notions du programme

Numéro atomique, nombre de masse, écriture conventionnelle du noyau.
Élément chimique.
Masse et charge électrique d'un électron, d'un proton, d'un neutron, charge électrique élémentaire.
Neutralité de l'atome.
Isotopes.

➥ EXERCICES 13 à 18

Ce qu'on attend de moi

- Savoir écrire le symbole d'un noyau à partir de sa composition et inversement.
- Connaître l'ordre de grandeur de la taille d'un atome.
- Comparer la taille et la masse d'un atome et de son noyau.
- Identifier des isotopes.

13 Des atomes précieux

Recopier et compléter le tableau suivant.

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

14 À propos du soufre

On considère un atome de soufre dont le noyau a pour symbole $^{32}_{16}\mathrm{S}$.

1. Combien d'électrons possède-t-il ?
2. De quoi son noyau est-il constitué ?
3. Quel est l'ordre de grandeur de cet atome ?

15 Un si petit noyau...

Si l'on représentait le noyau d'un atome par une tête d'épingle de diamètre 1 mm, l'atome aurait, à la même échelle, un diamètre de 100 m, soit environ celui des arènes de Nîmes.



1. Calculer le quotient de ces deux diamètres.
2. Un atome d'hydrogène a un diamètre de l'ordre de 1×10^{-10} m. Calculer le diamètre approximatif de son noyau.
3. Quelle conclusion tirer de la réponse à la question 2 ?

16 Combustible nucléaire

L'uranium 235 est utilisé comme combustible dans le cœur des réacteurs des centrales nucléaires. C'est l'énergie libérée par sa fission qui permet d'obtenir plus de 70 % de l'électricité produite en France, un pourcentage qui devrait diminuer dans l'avenir.



Données :
Masse du nucléon : $m_{nu} = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg.
Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

VOCABULAIRE
Fission : éclatement d'un noyau.

1. Indiquer la composition du noyau d'uranium, dont le symbole est $^{235}_{92}\mathrm{U}$.
2. Calculer la masse :
   a. du noyau ;
   b. de l'atome correspondant.
3. Que peut-on dire de la masse des électrons du cortège électronique par rapport à celle de l'atome ?

17 Isotopie

Le tableau ci-dessous propose une liste de numéros atomiques Z de quelques atomes et leur nombre de masse A correspondant.

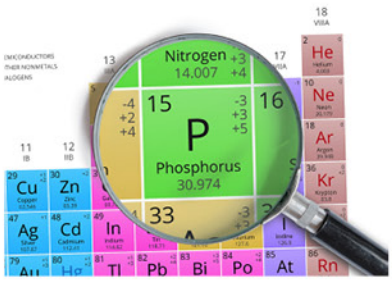
Z	6	17	12	17	8	6	8	8
A	12	35	24	37	17	14	16	18

1. Définir l'isotopie.
2. a. D'après le tableau, combien l'atome d'oxygène, de symbole O et de numéro atomique $Z = 8$, a-t-il d'isotopes ?
   b. Pour chacun de ces isotopes, donner la composition du noyau.
3. Reprendre les questions 2. a et 2. b pour le chlore Cl dont le numéro atomique est $Z = 17$.

18 Several phosphorus

Phosphorus-32 is a commonly used "tracer" isotope.
The atomic number of Phosphorus is 15.

1. Indicate the number of subatomic particles.
2. What does the word isotope mean?
3. Write the chemical symbol for an isotope which has 16 neutrons.



2 Le cortège électronique

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Configuration électronique d'un atome à l'état fondamental. ➥ EXERCICES 19 à 22	• Comprendre que la configuration électronique rend compte des différents niveaux d'énergie des électrons.

DONNÉE

- Ordre de remplissage des niveaux : 1s, 2s, 2p, 3s, 3p.

19 Où est l'intrus ?

Voici trois configurations électroniques :

$1s^2\ 2s^1\ 2p^6$
$1s^2\ 2s^2\ 3s^2\ 3p^6$
$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$

Parmi ces configurations, lesquelles ne sont pas possibles ? Justifier la réponse.

20 Un élément vital

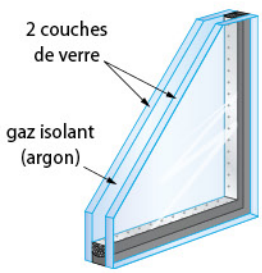
On considère un atome d'oxygène, dont le noyau a pour symbole $^{16}_{8}O$. La configuration électronique de cet atome à l'état fondamental est $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$.

1. Combien d'électrons cet atome possède-t-il ?
2. A-t-il une couche électronique complète ? Si oui, laquelle ?

21 Un gaz inerte

Le double vitrage à isolation renforcée avec un gaz, l'argon, est un très bon moyen d'isolation, au moins deux fois plus efficace qu'un double vitrage classique.





Soit $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ la configuration électronique de l'argon.

1. À quoi correspondent les notations 1s, 2s, 2p... de l'écriture de cette configuration ?
2. Combien d'électrons sont présents sur chacune des couches électroniques ?
3. Au total combien d'électrons cet atome possède-t-il ?

22 Grand froid

L'hélium de symbole He, dont la température d'ébullition est – 269 °C, est utilisé dans de nombreuses applications impliquant de très basses températures comme en gastronomie moléculaire.

Donnée : *Hélium* $^{4}_{2}He$.



1. Donner la composition du cortège électronique de l'atome d'hélium.
2. Quelle est sa configuration électronique à l'état fondamental ?

3 Le tableau périodique

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Position d'un élément dans le tableau périodique. Électrons de valence. Familles chimiques. ➥ EXERCICES 23 à 26	• Déterminer les électrons de valence d'un atome à partir de sa configuration électronique ou de sa position dans le tableau périodique. • Identifier des éléments ayant des propriétés chimiques communes. • Identifier la famille des gaz nobles.

23 Les gaz nobles



Les gaz nobles sont présents en faible quantité dans l'atmosphère. Parmi ces gaz, on trouve le néon, dont la configuration électronique est :

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

1. Quel est le nombre d'électrons de valence de l'atome de néon ?
2. Où est située la famille des gaz nobles dans le tableau périodique ?
3. Citer deux autres éléments de cette famille en consultant le tableau périodique, en fin d'ouvrage.

24 Quelques familles chimiques

Recopier et compléter le tableau suivant.

Famille	Colonne	Nombre d'électrons sur la couche externe
Alcalino-terreux	deuxième	
	dernière	
Halogènes	avant-dernière	
Alcalins	première	

25 À chacun sa place !

On donne la configuration électronique et le symbole de quelques atomes ainsi qu'un extrait du tableau périodique.

Ca $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$
Ar $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$
K $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$

H							He
Li	Be		B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg		Al	Si	P	S	Cl	

1. Compléter la case bleue vide en justifiant la réponse.
2. À quelle famille chimique appartient cet élément ?

26 Le tableau périodique

1. Comment appelle-t-on tous les éléments chimiques situés dans une même colonne du tableau périodique ?
2. Quelle ressemblance existe-t-il entre tous les éléments d'une même colonne ?
3. Quel est le point commun entre les configurations électroniques des éléments d'une même colonne ?
4. Décrire les changements dans la configuration électronique des éléments d'une même colonne lorsque leur numéro atomique augmente.

4 Compter les entités chimiques

Notions du programme

Nombre d'entités dans un échantillon.
Définition de la mole.
Quantité de matière.
➥ EXERCICES 27 à 30

Ce qu'on attend de moi

- Déterminer le nombre d'entités et la quantité de matière d'une espèce dans une masse d'échantillon.

DONNÉE

- Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$.

27 Du microscopique au macroscopique

1. En précisant les unités, donner la relation entre le nombre N d'entités chimiques contenues dans un échantillon, la quantité de matière n qu'il représente et la constante d'Avogadro N_A.
2. Recopier le tableau suivant et le compléter à l'aide de la relation précédente.

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

28 Combien de carbone ? CALCUL MENTAL

Soit un échantillon de carbone de masse 6,0 g. La masse d'un atome de carbone est $2{,}0 \times 10^{-26}$ kg.

1. Combien d'atomes de carbone cet échantillon contient-il ?
2. Calculer la quantité de matière que cela représente.

29 La masse du fer

Il y a plus de 3 000 ans que l'Homme a commencé à utiliser le fer pour forger des armes et confectionner des outils.
On considère un morceau de fer de masse $m = 140$ g et qui contient 2,5 moles d'atomes de fer.

1. Combien d'atomes de fer cet échantillon contient-il ?
2. Calculer la masse d'un atome de fer.

30 Grains de sel

Le sel de table consommé dans l'alimentation est en réalité du chlorure de sodium.
La fleur de sel est récoltée dans les marais salants après évaporation de l'eau de mer sous l'action du Soleil. C'est un solide ionique de formule NaCl (s), composé d'ions chlorure Cl^- et d'ions sodium Na^+.



On a compté dans une salière un nombre de 24×10^{23} ions chlorure.

1. Combien y a-t-il également d'ions sodium dans cette salière ? Justifier la réponse.
2. Déterminer la quantité de matière d'ions chlorure, présente dans l'échantillon de la salière.
3. Sachant que la masse d'un ion chlorure est de $6{,}2 \times 10^{-26}$ kg, calculer leur masse dans cet échantillon.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

31 Vous avez dit magnésium ?



Pour lutter contre le stress ou pour aider notre système immunitaire, notre organisme ne peut pas se passer de magnésium. Celui-ci combat aussi le vieillissement des cellules et les problèmes cardiaques !
Le symbole du noyau d'un atome de magnésium est $^{24}_{12}\text{Mg}$.

Données :
Masse du nucléon : $m_{nu} = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg.
Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

1. **Donner la composition** de ce noyau.
2. **a.** Calculer la masse m_1 d'un atome de magnésium en tenant compte de tous ses constituants.
b. Calculer la masse m_2 du noyau.
c. **Comparer** ces résultats et conclure.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- Le **symbole** d'un noyau indique le nombre Z de protons (donc aussi le nombre d'électrons de l'atome) et le nombre A de nucléons.
- La masse d'un électron est environ **2 000 fois plus petite** que celle d'un nucléon.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Donner la composition** : donner le nombre des différents constituants du noyau.
- **Comparer** : répondre à la question : « Les deux résultats sont-ils proches ou au contraire très différents ? »

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Le noyau de l'atome de magnésium est constitué de 12 protons et 12 neutrons.
2. **a.** $m_1 = 24 \times m_{nu} + 12 \times m_e$, donc $\boldsymbol{m_1 = 4{,}01 \times 10^{-26}}$ **kg**.
b. $m_2 = 24 \times m_{nu}$, donc $\boldsymbol{m_2 = 4{,}01 \times 10^{-26}}$ **kg**.
c. On pouvait négliger la masse des électrons : la masse de l'atome est donc essentiellement concentrée dans son noyau.

QUELQUES CONSEILS

1. Ne pas citer le nombre Z d'électrons car on s'intéresse ici seulement au noyau et non pas à l'atome.
2. **a.** et 2. **b.** On veillera au nombre de chiffres significatifs, ici ce nombre est 3.

EXERCICES SIMILAIRES

32 Diverses facettes de l'azote

Composant majoritaire de l'atmosphère, on trouve l'azote aussi bien dans les engrais que dans certains aliments comme agent de conservation, ou encore à l'intérieur des pneus de voitures ! Cependant, son excès peut aussi causer des problèmes de pollution de l'eau, du sol ou de l'air.
Associé à l'oxygène, l'azote devient un produit nocif.
L'atome d'azote de symbole N a pour numéro atomique $Z = 7$.

Données :
Masse du nucléon : $m_{nu} = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg.
Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

1. Quelle est la masse m du cortège électronique de l'atome d'azote ?
2. Quelle est la masse m' du noyau de cet atome qui contient 7 neutrons ?
3. En déduire la masse de l'atome d'azote. Que peut-on en conclure ?

33 Le béryllium



La température de fusion très élevée du béryllium (photo), qui approche la valeur de 1 300 °C, rend difficile l'extraction de ce métal, pourtant très recherché car il est plus léger et plus résistant que l'aluminium.

Données :
Masse du nucléon : $m_{nu} = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg.
Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

1. Symboliser un noyau de béryllium qui contient 4 protons et 5 neutrons.
2. Calculer la masse de l'atome de béryllium.
3. **a.** Calculer la masse de tous les électrons de cet atome.
b. Que constate-t-on ? En déduire la masse du noyau de béryllium.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

34 Le chlore, une redoutable arme chimique

On attribue aux forces allemandes les premières attaques au chlore lors de la bataille d'Ypres (Belgique) en 1915. Depuis, le chlore n'a plus été utilisé comme arme jusqu'à son retour sur les champs de bataille en Syrie ces dernières années.



L'élément chlore a pour symbole Cl et son numéro atomique est $Z = 17$.

Le dichlore Cl_2, un gaz vert à l'odeur suffocante, est extrêmement toxique. Il est indispensable de manipuler sous la hotte dans les situations où ce gaz est susceptible de se former.

Donnée : *la configuration électronique du fluor est* $_9F$ $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$.

1. **Justifier** le choix de la configuration électronique de l'atome de chlore parmi les propositions suivantes :

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^4\ 3p^6$

2. Combien d'électrons de valence cet atome possède-t-il ?

3. **Exploiter** les configurations électroniques du chlore et du fluor pour en tirer une conclusion.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- La somme des exposants de la **configuration électronique** permet de connaître le nombre total d'électrons.
- Les **électrons de valence** déterminent les propriétés chimiques des éléments.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Justifier** : donner une explication au choix effectué à l'aide de données dans l'énoncé.
- **Exploiter** : utiliser une donnée pour répondre à une question.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Puisque le chlore possède 17 électrons, la somme des exposants dans sa configuration électronique doit être égale à 17.
La seule possibilité est : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$.

2. Le chlore possède **7** électrons de valence.

3. La configuration électronique du chlore finit par $3s^2\ 3p^5$ et celle du fluor par $2s^2\ 2p^5$: ils ont le même nombre d'électrons de valence, ils appartiennent donc à la même famille chimique.

QUELQUES CONSEILS

2. On appelle électrons de valence les électrons de la couche électronique la plus externe.

3. Les éléments chimiques d'une famille sont dans une même colonne du tableau périodique.

EXERCICE SIMILAIRE

35 Quelle famille pour le sodium ?

Ci-contre un extrait de la classification périodique des éléments chimiques dans laquelle est donnée pour chaque élément sa configuration électronique.

1. Utiliser les renseignements fournis dans l'énoncé pour en déduire la configuration électronique de l'élément sodium Na (photo).

2. Sachant que l'élément hydrogène H est un cas particulier, quel autre élément doit faire partie de la même famille chimique que le sodium ?

3. Combien d'électrons de valence comporte le béryllium ?
Justifier la réponse.

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



Croiser les notions

36 Du soufre pour les plantes SVT

Le soufre S est l'un des trois éléments nécessaires pour assurer la croissance des plantes. En effet, sans une quantité suffisante de soufre, les plantes ne peuvent pas utiliser l'azote et les autres nutriments.

Il existe quatre isotopes stables du soufre. Cet élément de numéro atomique $Z = 16$ se situe sur la troisième ligne du tableau périodique et deux colonnes avant celle des gaz nobles.

1. Combien d'électrons de valence le soufre possède-t-il ?

2. Sachant qu'ils comportent 32, 33, 34 et 36 nucléons, écrire le symbole des noyaux des isotopes stables.

3. Qu'est-ce qui les différencie ?

37 Une famille de métaux

Le sodium est un métal mou et argenté que l'on rencontre dans la nature sous forme de sels.

On considère un atome de sodium dont le noyau a pour nombre de masse $A = 23$ et qui comporte $N = 12$ neutrons.

Données :
Masse de l'atome de sodium : $m_{Na} = 1{,}84 \times 10^{-26}$ *kg.*
Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$.

1. Donner la composition du noyau de cet atome.

2. Un noyau isotope du précédent possède 24 nucléons.
a. Qu'appelle-t-on des isotopes ?
b. Quelle différence existe-t-il entre ces deux noyaux ?

3. La configuration électronique du sodium est $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^1$. Où est-il situé dans le tableau périodique ?

4. Comme le lithium, le sodium appartient à la famille des métaux alcalins. Quel point commun présentent ces atomes ?

5. Pour mettre en œuvre la réaction du métal avec l'eau (photo), on dispose de 225 mmol de sodium.



Calculer le nombre d'atomes contenus dans ce morceau de sodium.

6. En déduire la masse de sodium que cela représente.

38 Le fluor

Le fluor est un oligo-élément, c'est-à-dire un élément indispensable à la vie, mais qui doit être présent en très petite quantité dans notre organisme.

La charge électrique du noyau d'un atome de fluor est $1{,}44 \times 10^{-18}$ C. On note q cette charge.



Données :
Charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ *C.*
Masse du nucléon : $m_{nu} = 1{,}67 \times 10^{-27}$ *kg.*
Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ *kg.*

1. Quel est le nombre de protons qui composent ce noyau ?

2. Donner, en le justifiant, le nombre d'électrons contenus dans son cortège électronique.

3. Sachant qu'un noyau de fluor a pour symbole $^{19}_{9}\mathrm{F}$, combien de neutrons contient-il ?

4. a. Calculer la masse de l'atome de fluor.
b. Quelle approximation peut-on faire sur ce calcul ?

39 Le calcium

Les os sont solides et les dents sont dures grâce à l'élément calcium. Pour pallier les carences, il est recommandé de consommer des aliments riches en calcium tels que les sardines en boîte, le cresson, les amandes, etc.



Le noyau de l'atome de calcium 40, l'isotope le plus courant, est symbolisé par $^{40}_{20}\mathrm{Ca}$.

Données :
Masse du nucléon : $m_{nu} = 1{,}67 \times 10^{-27}$ *kg.*
Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ *kg.*

1. Indiquer la composition de l'atome de calcium 40.

2. Calculer la masse de cet atome. La comparer à celle du noyau et conclure.

3. Il existe trois autres isotopes stables du calcium, $^{40}_{20}\mathrm{Ca}$ étant l'isotope 1.

Isotope	Caractéristique
2	Deux neutrons de plus que le calcium 40
3	Trois neutrons de plus que le calcium 40
4	Quatre neutrons de plus que le calcium 40

Donner le symbole du noyau de ces trois isotopes.

40 Position in the periodic table

We consider the electron configuration of a beryllium atom and a magnesium atom:

Be $1s^2\ 2s^2$ Mg $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$

1. What is the atomic number of these atoms?
2. How many protons does each atom's nucleus contain?
3. Do you notice any difference in the number of electrons in the outermost shell of these atoms?
4. Where are these atoms located in the periodic table?
5. What do we call all the elements located in this column?

41 Des ampoules plus économes

Dans la suite logique de l'élimination des ampoules à incandescence, depuis le 1er septembre 2018, il est interdit aux vendeurs de réalimenter leurs stocks en ampoules halogènes, jugées trop consommatrices en énergie.

Les lampes halogènes contenaient un gaz tel le diiode ou le dibrome afin de réduire l'usure du filament de tungstène.

D'autres types d'ampoules plus économes ont pris le relais. Les tubes au néon sont encore utilisés dans les enseignes des magasins.



1. Qu'est-ce qui caractérise un élément chimique ?
2. Rechercher le symbole des éléments cités dans l'énoncé.
3. La configuration électronique du néon est $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$. Combien d'électrons de valence possède-t-il ?
4. À quelle famille d'éléments le néon appartient-il ?
5. Donner la composition du noyau de néon qui comporte 20 nucléons.
6. Expliquer pourquoi les noyaux ^{182}W, ^{184}W et ^{186}W sont isotopes.

JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- compté tous les électrons de la couche externe ;
- appliqué la formule $N = A - Z$;
- bien fait la distinction entre Z et A.

42 Le magnésium et ses voisins

Le magnésium est un métal utilisé dans la construction automobile (photo), il est aussi un réactif très employé en chimie. L'élément magnésium est situé sur la troisième ligne et dans la deuxième colonne du tableau périodique.

Données :
Masse de l'atome de magnésium : $m_{Mg} = 4{,}01 \times 10^{-26}$ *kg.*
Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$.



1. a. Quel numéro porte la couche électronique externe de l'atome de magnésium ? *On peut consulter le tableau périodique, en rabat VI.*
b. Combien possède-t-il d'électrons sur cette couche ?
2. Parmi les propositions ci-contre, quelle est la configuration électronique de l'atome de magnésium ?

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$
$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$
$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$

Justifier la réponse.

3. Combien d'électrons sur sa couche externe l'atome, situé immédiatement avant le magnésium, possède-t-il ?
4. a. Donner la configuration électronique de l'atome de l'élément situé juste au-dessus du magnésium.
b. Quel est le numéro atomique de cet élément ?
c. Il s'agit du béryllium Be. Écrire le symbole d'un noyau de béryllium qui possède cinq neutrons.
5. Quelle est la masse d'un morceau de magnésium qui contient $2{,}00 \times 10^{23}$ atomes de magnésium ?
6. Quelle quantité de matière cela représente-t-il ?

43 Le lithium DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

De nombreux appareils sont alimentés par des piles bouton au lithium, qui durent longtemps.

L'atome de lithium Li contient 7 nucléons et sa configuration électronique à l'état fondamental est $1s^2\ 2s^1$.

Données :
Masse du nucléon : $m_{nu} = 1{,}67 \times 10^{-27}$ *kg.*
Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ *kg.*
Charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ *C.*



DÉMARCHE AVANCÉE

1. Vérifier la neutralité électrique de l'atome de lithium.
2. Montrer que sa masse est essentiellement contenue dans le noyau.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

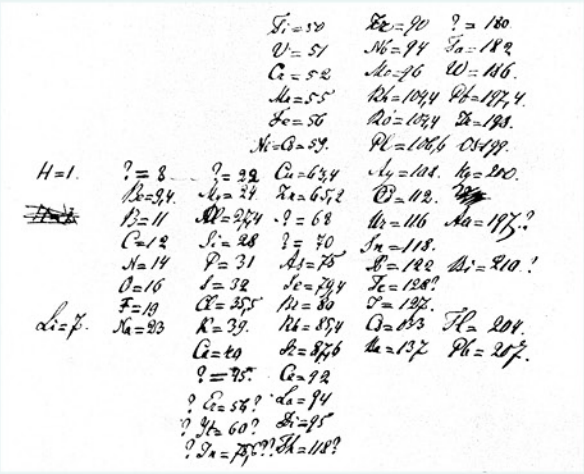
1. a. Combien d'électrons et de protons l'atome de lithium possède-t-il ?
b. Calculer leur charge.
2. Calculer la charge de l'atome et conclure.
3. a. Déterminer la masse de l'atome de lithium.
b. Calculer la masse de son noyau et conclure.

44 Naissance du tableau périodique

HISTOIRE DES SCIENCES

Au XIXe siècle, les chimistes essaient de classer les atomes alors qu'à cette époque, la structure de l'atome est totalement inconnue.

On ne peut donc utiliser ni le numéro atomique Z, ni le nombre d'électrons de valence, ni la configuration électronique. Le chimiste russe Dmitri Mendeleïev classe les éléments par masse croissante et regroupe par séries ceux dont les propriétés chimiques sont voisines. La périodicité des propriétés des éléments chimiques l'amène à faire des prévisions. Il laisse ainsi des cases vides dans son tableau (photo), correspondant à des éléments encore inconnus.



Mendeleïev place des points d'interrogation sur trois éléments qu'il baptise « ékabore », « ékaaluminium », « ékasilicium » et dont il prédit aussi les propriétés.

Les découvertes, de son vivant, du gallium en 1875, du scandium en 1879 et du germanium en 1887 prouveront qu'il a eu raison.

1. a. Comment Mendeleïev a-t-il classé les éléments ?
b. Les critères de classification actuels sont-ils les mêmes que ceux utilisés par Mendeleïev ?

2. Comment Mendeleïev a-t-il prédit la position des éléments inconnus à son époque ?

3. Comment appelle-t-on les séries de Mendeleïev ?

45 L'aluminium

D'après l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA), la dose hebdomadaire tolérable d'aluminium ingéré est de $3{,}68 \times 10^{-5}$ mol par kg de masse corporelle et par semaine.

Les céréales, les légumes et les boissons en apportent la plus grande part. Il est impossible de tirer une conclusion quant aux quantités libérées dans les aliments par leur conservation dans du papier ou des récipients contenant de l'aluminium.



Données :
$Z = 13$ et $A = 27$ pour l'aluminium.
Masse du nucléon : $m_{nu} = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg.
Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.
Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}.

1. a. Calculer la masse m_1 d'un atome d'aluminium en tenant compte de tous ses constituants.
b. Calculer la masse m_2 de son noyau.
c. En déduire le pourcentage d'écart relatif entre ces deux résultats, c'est-à-dire trouver la valeur $\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$.
d. Quelle conclusion peut-on tirer de la valeur de ce pourcentage ?

2. Combien d'atomes d'aluminium peut ingérer un homme de 70 kg chaque semaine ?

3. À quelle masse d'aluminium cela correspond-il ?

4. En déduire la dose tolérable exprimée en mg par kg de masse corporelle que cet homme peut ingérer sans danger chaque semaine.

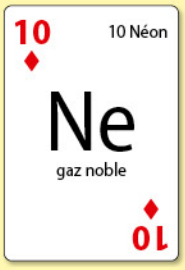
JE VÉRIFIE QUE J'AI...
- utilisé la relation de définition de la mole ;
- ramené la dose tolérable à la masse de l'homme.

À L'ORAL

46 Jeu de cartes

Dessiner 18 cartes à jouer et les découper.

Reporter sur ces cartes comme dans le modèle ci-contre les symboles des éléments qui ont un numéro atomique compris entre 1 et 18, et le nombre d'électrons des atomes appartenant à ces éléments.

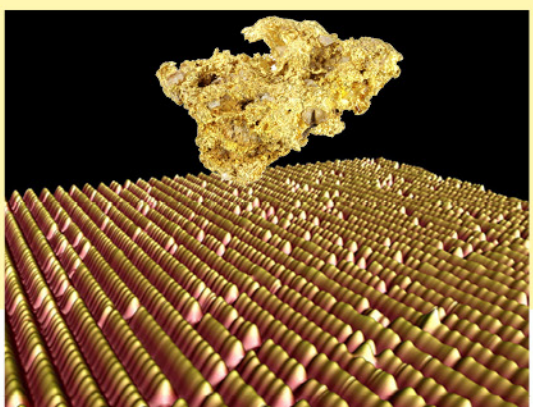


Rappeler à l'oral les critères d'élaboration du tableau périodique et expliquer la méthode à suivre afin de disposer les 18 cartes comme dans ce tableau.

47 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Cette image d'atomes d'or microscopiques, représentés chacun par une bosse, est construite grâce au microscope à effet tunnel.

Préparer un exposé oral permettant de décrire ces atomes.



Acquérir des compétences

48 Modèle de l'atome ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

APP **Rechercher et organiser l'information**

George Charpak (1924-2010), un de nos plus grands scientifiques, restitue dans un livre autobiographique la naissance de sa passion pour la physique quand il était jeune.

DOC 1 Extrait de l'ouvrage *La Vie à fil tendu*

« Lorsque j'entrai au laboratoire dirigé par Joliot au Collège de France, la connaissance que j'avais de la structure de la matière ne devait guère dépasser celle acquise par un lycéen de 1993 abonné à de bonnes revues de vulgarisation. Je les résume rapidement : la matière est composée d'atomes, eux-mêmes constitués de noyaux entourés d'un cortège d'électrons.

Les noyaux portent une charge électrique positive qui est de même valeur et de signe opposé à la charge des électrons qui gravitent autour du noyau.

La masse d'un atome est concentrée dans le noyau. [...]

Le noyau de l'hydrogène, ou proton, porte une charge électrique positive. Celui-ci a un compagnon, le neutron, qui est neutre électriquement et a sensiblement la même masse.

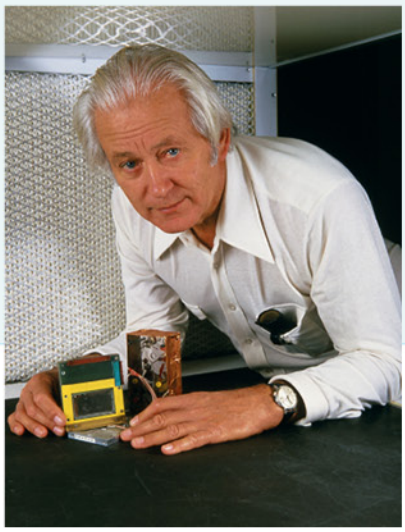
Tous deux s'associent de façon très compacte pour constituer les noyaux qui sont au cœur des atomes peuplant notre univers. Ils s'entourent d'un cortège d'électrons dont la charge compense exactement celle des protons. En effet, la matière est neutre, sinon elle exploserait en raison de la répulsion qu'exercent l'une sur l'autre des charges de même signe, positif ou négatif. Il faut avoir en tête l'échelle des dimensions.

Le diamètre d'un atome est voisin d'un centième de millionième de centimètre. Celui d'un noyau est cent mille fois plus petit.

On voit donc que presque toute la masse d'un atome est concentrée en un noyau central et que, loin sur la périphérie, se trouve un cortège qui est fait de particules de charge électrique négative, les électrons. »

G. Charpak, D. Saudinos, *La Vie à fil tendu*, © Odile Jacob, 1993.

DOC 2 Georges Charpak, prix Nobel de physique 1992



Charpak découvre le monde des atomes au CERN, Organisation européenne pour la recherche nucléaire, à Genève, où il travaillait.

Il y développe des détecteurs de plus en plus complexes pour analyser la matière fondamentale. Pour ces travaux, l'Académie des sciences de Suède lui décerne le prix Nobel en 1992.

Georges Charpak fait partie des 14 scientifiques français ayant reçu cette prestigieuse récompense, le dernier étant Gérard Mourou récompensé en 2018 pour ses recherches sur les lasers.

Les travaux de Charpak ont également permis d'appliquer des méthodes employées en physique nucléaire, faisant ainsi avancer la médecine et la biologie.

DOC 3 Données

- Masse du nucléon : $m_{nu} = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg.
- Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

ANALYSE

1. Quel est le diamètre du noyau de l'atome, supposé sphérique ?
2. Calculer la masse de l'atome d'hydrogène et celle de son noyau.
3. Justifier cette phrase de Georges Charpak : « La masse d'un atome est concentrée dans le noyau. »

SYNTHÈSE

Proposer un modèle de l'atome qui prenne aussi en compte les notions de masse et de charge électrique.

Retrouvez des exercices de synthèse p. 124

49 L'expérience de Rutherford

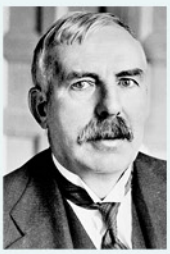
ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

VAL **Confirmer une hypothèse**

Plusieurs générations de scientifiques ont contribué par leurs recherches à l'élaboration du modèle actuel de l'atome. Certaines de leurs expériences sont restées célèbres.

HISTOIRE DES SCIENCES

DOC 1 Que contient la matière ?



En 1909, le physicien néo-zélandais Ernest Rutherford demande à son collaborateur Hans Geiger et à un jeune étudiant anglais, Ernest Marsden, d'étudier les propriétés des particules alpha quand elles traversent la matière. Pour cela, ils bombardent une feuille d'or par des particules alpha.

Si la majorité d'entre elles ne rencontrent pas d'obstacle sur leur trajet, certaines particules alpha subissent une forte déviation et rebondissent même, comme si elles en rencontraient un.

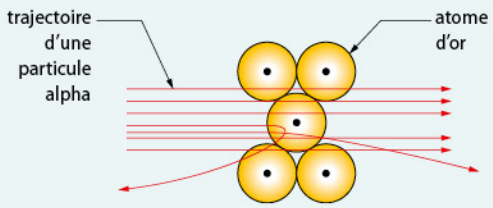
Rutherford réfléchira 18 mois pour comprendre.

En décembre 1910, il annonce enfin à Geiger :

« Je sais maintenant à quoi ressemble un atome ! »

Son article de base paraît dans *Philosophical Magazine* en mai 1911. Après cette expérience, Rutherford sera amené à affirmer que la matière, c'est presque entièrement du vide.

DOC 2 Schéma de l'expérience



Données :

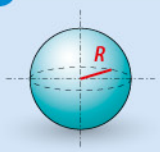
Rayon d'un atome d'or : $R_{atome} = 1{,}44 \times 10^{-10}$ m.

Rayon d'un noyau d'atome d'or : $R_{noyau} = 7{,}00 \times 10^{-15}$ m.

UN PONT VERS LES **MATHS**

Volume d'une sphère

Le volume V d'une sphère de rayon R est $V = \frac{4}{3} \pi R^3$.



ANALYSE

En s'appuyant sur les documents, développer une argumentation pour expliquer cette phrase de Rutherford :

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

SYNTHÈSE

En considérant qu'ensemble atome et noyau ont une forme sphérique, calculer le quotient du volume de l'atome d'or par le volume de son noyau, et conclure.

VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

50 Appartenance à une famille chimique

DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

AN/RAI **Concevoir un protocole**

Il est possible d'effectuer des tests chimiques pour identifier les éléments d'une même famille.

DOC 1 Liste de produits et de matériel

- Échantillons solides : calcium, magnésium, etc.
- Thymolphtaléine.
- Eau distillée.
- Tubes à essais et porte-tubes.

DOC 3 Famille des alcalino-terreux

Les éléments chimiques appartenant à la famille des alcalino-terreux sont situés dans la deuxième colonne du tableau périodique.

Ces éléments réagissent avec l'eau de façon comparable en donnant des ions hydroxyde HO^- (aq).

DOC 2 La thymolphtaléine

La thymolphtaléine est un indicateur coloré très utilisé en chimie.

Si on en verse quelques gouttes dans une solution qui contient des ions hydroxyde HO^- (aq), la solution prend une couleur bleue. En absence d'une quantité significative d'ions HO^- (aq), la solution ne se colore pas.



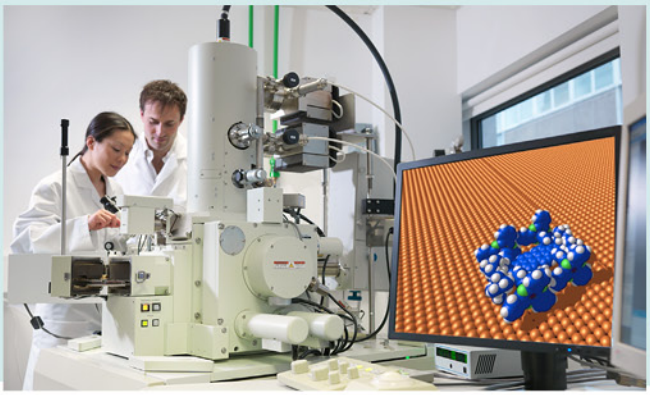
Proposer un protocole expérimental pour vérifier que les échantillons dont on dispose appartiennent à la famille des alcalino-terreux.

Les sciences et nous

GROS PLAN SUR...

Les microscopes électroniques

Les objets qui peuvent être vus au microscope optique classique doivent avoir une dimension d'au moins quelques dixièmes de micromètres. Les atomes étant environ 1 000 fois plus petits, leur observation doit donc faire appel à différentes techniques de microscopie électronique, qui utilisent des faisceaux d'électrons. Ces techniques permettent d'obtenir une image de synthèse, élaborée par ordinateur, et renseignent sur la disposition des atomes. Elles ne permettent pas une vision directe des atomes.



LES MÉTIERS DU CHAPITRE

Physicien·ne nucléaire



Le physicien nucléaire est le spécialiste de tout ce qui touche au noyau atomique. Il travaille aussi bien dans des organismes de recherche fondamentale (énergie atomique, études nucléaires...) que pour des entreprises ou des laboratoires du domaine de la recherche appliquée (énergie, éléments radioactifs, équipements médicaux...).
Il peut aussi être expert au sein d'administrations ou d'organismes environnementaux (ministère de la santé, radioprotection, stockage des déchets, contrôles...).
Le physicien nucléaire doit être curieux, logique et rigoureux.
Aimer l'abstraction et l'expérimentation est indispensable.

***Niveaux d'études** : bac+5 à bac+8 après un bac général avec spécialité physique-chimie.*

Technicien·ne de maintenance industrielle



Des appareils très sophistiqués équipent les laboratoires dans l'industrie et les centres de recherche. Le technicien de maintenance industrielle est responsable du bon état de marche de ces équipements et en assure l'entretien régulier.
Son objectif est d'éviter la panne ! Un métier pour celles et ceux qui aiment la précision et la rigueur.

***Niveaux d'études** : bac+2 après un bac général avec spécialité physique-chimie ou un bac technologique.*

Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- Un **atome** est constitué d'un **noyau** central autour duquel gravitent des **électrons**.
L'atome est électriquement neutre.
- Le **tableau périodique** donne le **nom** et le **symbole** de chaque élément chimique.
- Un **ion** monoatomique est un atome qui a gagné ou perdu un ou plusieurs électrons.
L'ion porte une charge positive ou négative.
- Une **molécule** est un ensemble d'atomes neutres unis par des liaisons chimiques.
Exemple : la molécule d'eau H_2O.



POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

Dans la nature, le chlore existe sous la forme Cl^- ou Cl_2.



À quel type d'entités chimiques correspond Cl^- ? et Cl_2 ? Pourquoi ?

SITUATION 2

La formule chimique de l'ammoniac est NH_3.

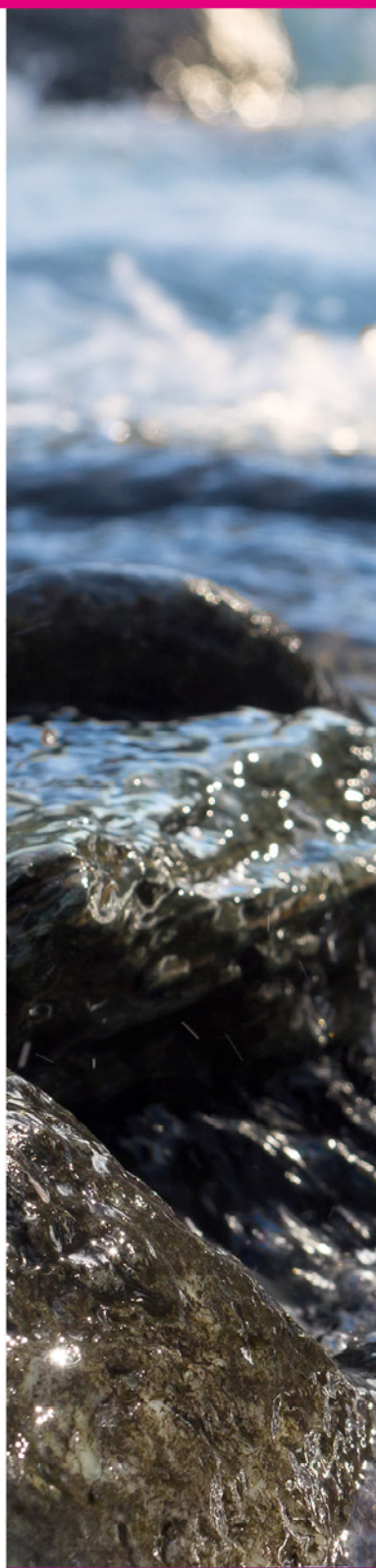
Quelle est la composition de la molécule d'ammoniac ?

SITUATION 3

En chimie, le sel de table est appelé chlorure de sodium. Saler un plat, c'est y incorporer des ions sodium Na^+ et des ions chlorure Cl^-.



Dans quelle proportion les ions Na^+ et Cl^- sont-ils présents dans le chlorure de sodium ?



CHAPITRE 3
CHIMIE

La liaison chimique



Molécules ou ions, comment expliquer l'existence de ces entités chimiques ?

➥ EXERCICE 45

NOTIONS ET CONTENUS

- Entités chimiques : molécules, atomes, ions monoatomiques.
- Électroneutralité de la matière.
- Stabilité chimique des gaz nobles et configurations électroniques associées.
- Modèle de Lewis de la liaison de valence, schéma de Lewis, doublets liants et non liants.
- Approche de l'énergie de liaison.
- Masse d'une entité déduite de sa formule brute et de la masse des atomes qui la composent.

CAPACITÉ EXPÉRIMENTALE

- Évaluer une énergie de liaison

➥ ACTIVITÉ 4

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
RÉA Mettre en œuvre les étapes d'une démarche

Notion d'ions monoatomiques

De nombreux éléments chimiques sont présents sur Terre à l'état d'ions monoatomiques. Comment peut-on prévoir la charge d'un ion monoatomique ?

DOC 1 Étiquette d'une eau minérale

Minéralisation totale / Samenstelling (mg/l)

Calcium Ca^{++}	80	Bicarbonates HCO_3^-	360
Magnésium Mg^{++}	26	Sulfates SO_4^{--}	14
Sodium Na^+	6,5	Chlorures Cl^-	10
Potassium K^+	1	Nitrates NO_3^-	3,8
Silice SiO_2	15		

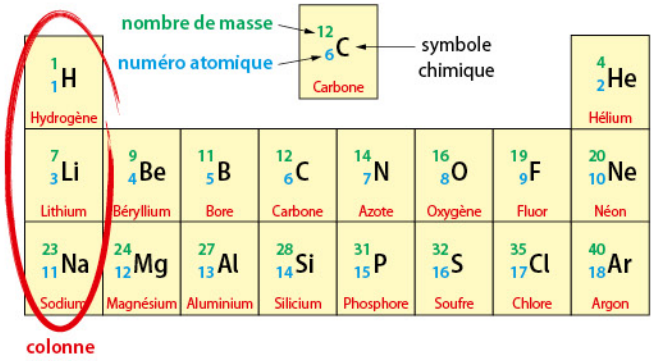
Teneur totale en sels minéraux à / Hoeveelheid minerale zouten bij 180°C : 345mg/l - pH = 7,2

DOC 2 Les gaz nobles

La famille des gaz nobles est constituée de l'hélium, du néon, de l'argon, du krypton, du xénon et du radon. Ces gaz ont une grande **inertie** chimique, donc ils ne réagissent jamais avec un autre composé. Ainsi, ils restent à l'état de gaz **monoatomique**. Cette inertie est due à leur couche électronique extérieure contenant deux électrons pour l'hélium et huit pour tous les autres gaz, ce qui les rend stables. Ils ne peuvent alors ni gagner, ni perdre d'électrons. Par conséquent, ils ne forment pas de liaisons comme le font les autres atomes pour devenir stables en formant soit des ions, soit des molécules.

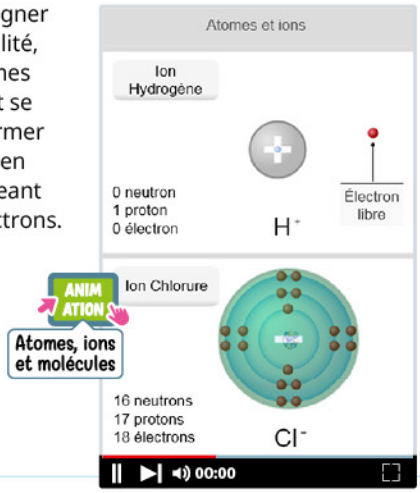
DOC 3 Tableau périodique

Dans une colonne du tableau périodique, on trouve les éléments chimiques d'une même famille. Ils ont des propriétés chimiques similaires et peuvent former des ions ayant la même charge.



DOC 4 Formation des ions

Pour gagner en stabilité, les atomes peuvent se transformer en ions en échangeant des électrons.



EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Sous quelle forme rencontre-t-on les gaz nobles dans la nature ? Où se trouvent-ils dans le tableau périodique ?

2 Quelle particularité la configuration électronique d'un gaz noble présente-t-elle ?

3 Sous quelle forme le chlore et le sodium se présentent-ils dans l'eau ?

4 Quels atomes peuvent former un ion ayant la même charge que celle de l'ion sodium ?
Donner la formule de ces ions.

5 Prévoir la charge des ions se trouvant dans la colonne :
a. du magnésium ;
b. de l'aluminium ;
c. de l'oxygène.

SYNTHÈSE

6 Comment déterminer la charge d'un ion à partir du tableau périodique ?

VOCABULAIRE
- **Inertie :** capacité d'un corps à ne pas changer.
- **Monoatomique :** formé d'un seul atome.

Je réussis si...
- **Je sais où se trouvent les gaz nobles dans le tableau périodique.**
- **Je sais expliquer pourquoi un gaz noble est stable.**
- **Je sais déterminer la charge d'un ion monoatomique à partir du tableau périodique.**

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
COM Présenter une démarche de manière synthétique

Schéma de Lewis d'une molécule

Comment schématiser simplement les molécules afin de comprendre leurs propriétés chimiques ?

DOC 1 Un nouveau modèle de la liaison chimique

HISTOIRE DES SCIENCES

Le chimiste américain Gilbert Norton Lewis (1875-1946) a remarqué que seuls les électrons de valence des atomes, ceux de la couche externe, interviennent dans les liaisons chimiques lors de la formation de molécules.

Les « électrons de cœur » ne sont pas impliqués.

Des atomes avec des sous-couches électroniques externes incomplètes peuvent se stabiliser en mettant en commun une paire ou plusieurs paires d'électrons, ils forment alors une ou plusieurs **liaisons de valence**. Chaque atome de la molécule ainsi formée acquiert alors une couche électronique externe identique à celle du gaz rare qui le suit dans le tableau périodique.

DOC 2 Principe du nouveau modèle

- Les électrons de valence de chaque atome doivent être tous représentés.
- Un trait reliant deux atomes symbolise une paire d'électrons qui forme une liaison de valence, on parle de doublet liant.
- Un trait accolé à un atome symbolise une paire d'électrons non engagés dans une liaison, on parle de doublet non liant.

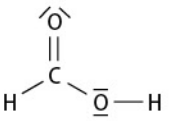
VOCABULAIRE

Liaison de valence : liaison entre deux atomes résultant de la mise en commun de deux électrons issus de la couche de valence de chacun d'entre eux.

DOC 3 Schéma de Lewis



L'acide méthanoïque, appelé aussi acide formique, se rencontre dans les glandes à poison de plusieurs insectes tels que la fourmi.



POINT MÉTHODE

Nombre d'électrons de valence : on peut connaître les électrons de valence d'un atome à partir de sa configuration électronique ou de sa position dans le tableau périodique.

DOC 4 Configurations électroniques de quelques atomes

Atome		Configuration
Hydrogène	**H**	$1s^1$
Hélium	**He**	$1s^2$
Carbone	**C**	$1s^2\ 2s^2\ 2p^2$
Azote	**N**	$1s^2\ 2s^2\ 2p^3$
Oxygène	**O**	$1s^2\ 2s^2\ 2p^4$
Fluor	**F**	$1s^2\ 2s^2\ 2p^5$
Néon	**Ne**	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6$

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Quelle est la conséquence de la mise en commun d'électrons entre atomes lors de la formation de molécules ?

2 Pour chaque atome présent dans la molécule d'acide méthanoïque, combien d'électrons manque-t-il pour acquérir une couche électronique externe identique à celle du gaz rare qui le suit dans le tableau périodique ?

3 Quel est alors pour chacun de ces atomes le nombre d'électrons qui ne participent pas à des liaisons de valence ?

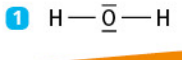
4 Comment expliquer le schéma de Lewis de la molécule d'acide formique (doc. 3) ?

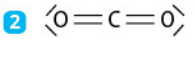
SYNTHÈSE

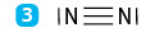
5 Comment vérifier rapidement si le schéma de Lewis d'une molécule respecte les règles de stabilisation pour chaque atome ?

6 **a.** Peut-on trouver une méthode générale permettant de prévoir le nombre de doublets liants et de doublets non liants pour un atome donné connaissant sa configuration électronique ?

b. Justifier, en utilisant cette méthode, les schémas de Lewis des molécules d'eau 1, de dioxyde de carbone 2 et de diazote 3.

1 

2 

3 

Je réussis si...

- **Je repère le nombre d'électrons de valence des atomes présents dans une molécule.**
- **J'en déduis le nombre de liaisons puis de doublets non liants à prévoir dans leur environnement.**

COMPÉTENCES :
AN/RAI Procéder à des analogies
AN/RAI Formuler une hypothèse

Identification d'ions et électroneutralité

SITUATION-PROBLÈME

De nombreux liquides (eaux minérales, médicaments, détergents, etc.) utilisés au quotidien contiennent des ions en solution.

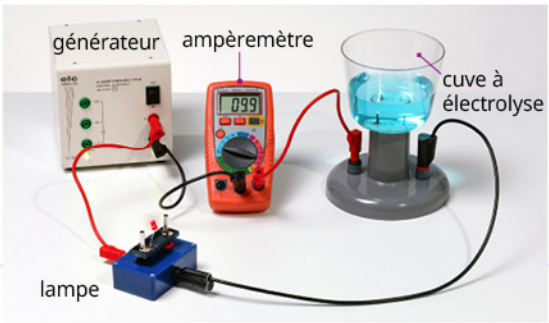
Comment identifier les ions et connaître leurs proportions dans une solution ionique ?



HYPOTHÈSE Proposer une hypothèse en la justifiant.

DOC 1 Montage expérimental

Dans une cuve à électrolyse, on place différentes solutions à tester.



DOC 2 Tests d'identification des ions

On peut mettre en évidence la présence d'ions dans la solution à tester en ajoutant quelques gouttes d'un réactif.

Ions présents en solution	Réactifs utilisés	Observations
Ions chlorure	Nitrate d'argent	**Précipité** blanc qui noircit à la lumière
Ions calcium	Oxalate d'ammonium	Précipité blanc
Ions aluminium	Hydroxyde de sodium	Précipité blanc
Ions magnésium	Hydroxyde de sodium	Précipité blanc

DOC 3 Résultats de l'expérience

Solution testée	Lampe éclairée	Intensité (en mA)	Résultat des tests d'identification des ions
Eau déminéralisée	non	0,5	Négatif à tous les tests
Eau contenant du chlorure de sodium NaCl	oui	22	Précipité blanc qui noircit à la lumière avec le nitrate d'argent
Eau sucrée contenant du glucose $C_6H_{12}O_6$	non	0,2	Négatif à tous les tests
Solution de chlorure de magnésium $MgCl_2$	oui	28	Précipité blanc qui noircit à la lumière avec le nitrate d'argent, précipité blanc avec l'hydroxyde de sodium
Solution de chlorure d'aluminium $AlCl_3$	oui	32	Précipité blanc qui noircit à la lumière avec le nitrate d'argent, précipité blanc avec l'hydroxyde de sodium

PISTES DE RÉSOLUTION

1 Qu'est-ce qui montre que certaines solutions sont conductrices d'électricité et d'autres isolantes ? Comment l'expliquer ?

2 Quels ions met-on en évidence dans chacune des solutions testées ?

VOCABULAIRE

- **Précipité :** solide en suspension dans un liquide.
- **Électroneutralité d'une solution** : caractère d'une solution électriquement neutre.

CONCLUSION

3 Déterminer la proportion de chaque type d'ions dans les solutions testées.

Je réussis si...

- **Je sais pourquoi une solution est conductrice d'électricité.**
- **Je sais utiliser l'*électroneutralité* d'une solution pour connaître la proportion de chaque type d'ions.**

4. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental
VAL Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

Évaluation de l'énergie de liaison

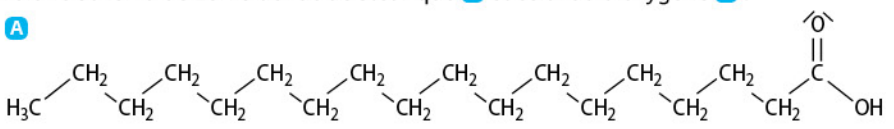
Peut-on établir un lien entre l'énergie libérée par transfert thermique lors d'une combustion et l'énergie mise en jeu dans les liaisons de valence des molécules ?

DOC 1 La combustion d'une bougie

Une combustion est une transformation chimique, c'est-à-dire une redistribution d'atomes.
Une bougie est essentiellement composée d'acide stéarique $C_{18}H_{36}O_2$.
Sa combustion avec le dioxygène présent dans l'air peut être modélisée par l'équation chimique suivante : $\mathbf{C_{18}H_{36}O_2 + 26\ O_2 \rightarrow 18\ CO_2 + 18\ H_2O}$

Voici le schéma de Lewis de l'acide stéarique A et celui du dioxygène B :

A



B 

Donnée : *une molécule d'acide stéarique pèse $4{,}72 \times 10^{-22}$ g.*

DOC 2 Définition de la calorie

Une calorie est l'énergie qu'il faut fournir pour augmenter d'un degré Celsius la température d'un gramme d'eau.
Une calorie vaut 4,18 joules (J).
Le joule est l'unité de l'énergie dans le Système international.

DOC 3 Énergie de liaison

Un système chimique consomme de l'énergie lorsque des liaisons se rompent, il en restitue lorsque des liaisons se forment.

Liaison entre éléments chimiques	Énergie mise en jeu lors de la formation ou de la rupture des liaisons (en J)
C—H	$6{,}89 \times 10^{-19}$
C—C	$5{,}73 \times 10^{-19}$
C—O	$5{,}91 \times 10^{-19}$
O=O	$8{,}27 \times 10^{-19}$
C=O	$1{,}32 \times 10^{-18}$
O—H	$7{,}69 \times 10^{-19}$

DOC 4 Dispositif expérimental



PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- Mettre 100 g d'eau dans une canette vide.
- Placer le thermomètre dans la canette et mesurer la température initiale.
- Mesurer la masse initiale de la bougie.
- Replacer la bougie et attendre que la température atteigne 50 °C.
- Éteindre la bougie et mesurer sa masse finale.

EXPÉRIENCE ET ANALYSE

1 Réaliser l'expérience.
a. Déterminer, à partir de la variation de masse de la bougie, le nombre de molécules d'acide stéarique consommées.
b. En utilisant l'élévation de température, calculer en joule l'énergie dégagée par la combustion.
c. Quelle est expérimentalement l'énergie dégagée par la combustion d'une molécule d'acide stéarique ?

2 **a.** Quel est le nombre de liaisons rompues dans les réactifs $C_{18}H_{36}O_2$ et 26 O_2 ?
b. Calculer l'énergie nécessaire pour « casser » une molécule d'acide stéarique et 26 molécules de dioxygène.
c. Un calcul similaire permet d'établir l'énergie $E_{formation}$ nécessaire à la formation des liaisons des produits 18 CO_2 et 18 H_2O :

$$E_{formation} = 7{,}52 \times 10^{-17}\ \text{J}$$

Pourquoi ne trouve-t-on pas la même valeur ?
À quoi correspond cette différence ? La calculer.

CONCLUSION

3 Expliquer la différence entre la valeur expérimentale de l'énergie libérée lors de la combustion et celle évaluée avec les énergies de liaison.

Je réussis si...
- **Je sais suivre un protocole expérimental.**
- **Je sais critiquer un protocole expérimental.**

1 Stabilisation des atomes par formation d'ions

Les gaz nobles

Les **gaz nobles** sont situés dans la dernière colonne du tableau périodique. Ce sont des gaz **monoatomiques** chimiquement **inertes** : ils ne présentent aucune réactivité avec d'autres atomes ou molécules.

On dénombre six gaz nobles : l'Hélium de symbole He (FIG. 1), le Néon Ne, l'Argon Ar, le Krypton Kr, le Xénon Xe et le Radon Rn.

La **stabilité** et l'inertie chimique des gaz nobles sont dues à leur **configuration électronique**.

EXEMPLE

L'hélium a deux électrons sur la couche de valence, le néon et l'argon en ont huit (FIG. 2).

Quel ion stable peut donner un atome ?

Un atome n'est pas toujours stable. Pour le devenir, il peut perdre ou gagner un ou plusieurs électrons afin d'acquérir la **configuration électronique** du **gaz noble le plus proche** dans le tableau périodique.

L'atome forme alors un ion monoatomique.

Si un atome gagne un ou plusieurs électrons, il devient un ion négatif, appelé **anion**. S'il perd un ou plusieurs électrons, il devient un ion positif, appelé **cation** (FIG. 3).

EXEMPLES

La configuration électronique du fluor est $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$. Pour compléter sa couche de valence et avoir la même configuration électronique que le néon, le fluor doit gagner un électron. Il formera donc l'ion fluorure de formule F^-.

Quant au magnésium dont la configuration électronique est $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$, il doit perdre deux électrons. Il formera l'ion magnésium de formule Mg^{2+}.

L'ion formé par un atome **découle de sa position** dans le tableau périodique.

EXEMPLE

L'atome d'oxygène se trouve deux colonnes avant le néon, il formera donc l'ion O^{2-}.

Tous les atomes se trouvant dans cette colonne du tableau périodique suivent cette règle et forment un ion stable ayant une charge $q = -2e$.

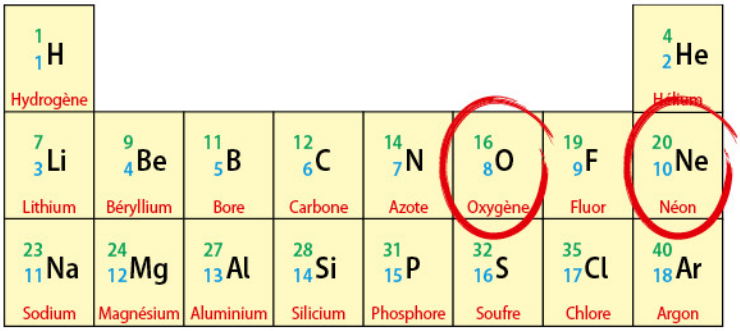




FIG. 1 Le ballon sonde est rempli à l'hélium, un gaz plus léger que l'air et inerte chimiquement.

Atome	Symbole	Configuration électronique et nombre d'électrons sur la couche de valence
Hélium	He	$1s^2$
Néon	Ne	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6$
Argon	Ar	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$

FIG. 2 Configuration électronique de quelques gaz nobles.

Nom de l'ion	Formule	Type d'ion
Ion chlorure	Cl^-	Anion
Ion fluorure	F^-	
Ion hydrogène	H^+	Cation
Ion sodium	Na^+	
Ion potassium	K^+	
Ion calcium	Ca^{2+}	
Ion magnésium	Mg^{2+}	

FIG. 3 Quelques exemples d'ions.

Électroneutralité de la matière

La **matière** qui nous entoure est toujours **électriquement neutre**, ce qui implique qu'un corps contenant des ions est toujours composé de cations et d'anions dont les charges se compensent. C'est cette neutralité qui permet de **prévoir la proportion** des cations et des anions.

EXEMPLE

Le chlorure de sodium NaCl solide contient autant d'ions chlorure Cl^- que d'ions sodium Na^+ car chaque ion porte une seule charge.

Dans la solution aqueuse de chlorure de magnésium $MgCl_2$, il y a deux fois plus d'ions chlorure Cl^- que d'ions magnésium Mg^{2+} car il faut deux ions chlorure pour compenser la charge d'un ion magnésium (FIG. 4).

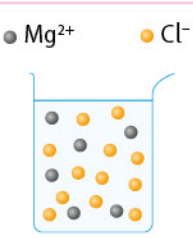


FIG. 4 Schématisation du chlorure de magnésium en solution.

2 Stabilisation des atomes par formation de molécules

La liaison de valence

Afin d'acquérir la configuration électronique des gaz nobles, les atomes peuvent aussi former des molécules.

Dans une **molécule**, les atomes sont liés par des **liaisons de valence**.

Une liaison de valence est formée entre deux atomes par la **mise en commun** d'une paire ou de plusieurs paires d'**électrons**.

Chaque atome acquiert ainsi la configuration électronique du gaz noble qui le suit dans le tableau périodique (FIG. 5).

EXEMPLE

La configuration électronique du carbone C est $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ (**4** électrons de valence) et celle du gaz noble qui le suit dans le tableau périodique, le néon Ne, est $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ (**8** électrons de valence). Le carbone établit alors **8** – **4** = 4 liaisons de valence (FIG. 5).

Entre deux atomes peuvent se former deux ou trois liaisons de valence. On parle alors de liaisons double ou triple.

Configuration électronique de l'atome	Gaz noble qui suit l'atome*	Liaisons de valence
C $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$	Ne	8 – 4 = **4**
N $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$	Ne	8 – 5 = **3**
O $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$	Ne	8 – 6 = **2**
Cl $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$	Ar	8 – 7 = **1**
H $1s^1$	He	2 – 1 = **1**

FIG. 5 Nombre de liaisons de valence de quelques atomes.
(**Ne** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$; **Ar** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$; **He** $1s^2$)
* dans le tableau périodique.

Les doublets non liants

Les **électrons** de la couche de valence **non engagés** dans des liaisons se rassemblent par paires pour former des **doublets non liants** (FIG. 6).

EXEMPLE

L'atome d'oxygène a **6** électrons de valence dont **2** sont engagés dans des liaisons (FIG. 5). Il reste alors **6** – **2** = 4 **électrons qui formeront** 2 doublets non liants (FIG. 6).

	Électrons de valence	Liaisons de valence	Électrons non engagés	Doublets non liants
C	4	4	4 – 4 = 0	**0**
N	5	3	5 – 3 = 2	**1**
O	**6**	**2**	**6** – **2** = 4	**2**
Cl	7	1	7 – 1 = 6	**3**
H	1	1	1 – 1 = 0	**0**

FIG. 6 Nombre de doublets non liants de quelques atomes.

Le modèle de Lewis

Les électrons de valence jouent un rôle essentiel dans les propriétés chimiques des molécules, en conditionnant, par exemple, leur géométrie et leur réactivité.

Dans le **schéma de Lewis** d'une molécule, tous les doublets sont représentés par des tirets.
Les **doublets liants** entre les atomes modélisent les liaisons de valence.
Les **doublets non liants** autour des atomes modélisent les électrons non engagés dans des liaisons.

Molécule	Formule brute	Schéma de Lewis
Eau	H_2O	H—Ö—H
Chlorure d'hydrogène	HCl	H—C̈l̈
Dihydrogène	H_2	H—H
Diazote	N_2	N≡N
Dioxyde de carbone	CO_2	O=C=O

3 Caractéristiques des molécules

Masse d'une molécule

La **masse** d'une molécule peut être calculée à partir de sa **formule brute** et de la masse des atomes qui la composent.

EXEMPLE

La masse d'une molécule d'eau H_2O est égale à la somme de la masse de deux atomes d'hydrogène et de la masse d'un atome d'oxygène.

$m(H_2O) = 2 \times m_H + 1 \times m_O = 2 \times 1{,}7 \times 10^{-27} + 2{,}7 \times 10^{-26} = 3{,}0 \times 10^{-26}$ kg

La masse d'un électron est environ deux mille fois plus faible que celle d'un nucléon. La perte ou le gain d'électrons a donc une influence négligeable sur la masse des ions comparée à celle des atomes.

Masse (en kg)	
électrons	nucléons
$9{,}1 \times 10^{-31}$	$1{,}7 \times 10^{-27}$

EXEMPLE

$m(^{35}_{17}Cl) = 35 \times m_{nu} + \mathbf{17} \times m_e = 35 \times 1{,}7 \times 10^{-27} + 17 \times 9{,}1 \times 10^{-31}$
$= 6{,}0 \times 10^{-26}$ kg

L'ion Cl^- est un anion, il a donc gagné **un** électron.

$m(^{35}_{17}Cl^-) = 35 \times m_{nu} + \mathbf{18} \times m_e = 35 \times 1{,}7 \times 10^{-27} + 18 \times 9{,}1 \times 10^{-31}$
$= 6{,}0 \times 10^{-26}$ kg

La masse d'un ion chlorure est égale à la masse d'un atome de chlore.

Énergie de liaison

Une molécule est plus stable que les atomes qui la forment pris séparément. Il faut fournir de l'énergie pour la dissocier.

L'**énergie de liaison** entre deux atomes est l'énergie nécessaire pour **rompre** cette liaison (FIG. 7). L'énergie est exprimée en joule (J).

EXEMPLE

L'énergie à fournir pour dissocier une molécule de dioxyde de carbone O=C=O correspond à l'énergie nécessaire à la rupture de deux liaisons C=O.

VOCABULAIRE

Formule brute : écriture la plus compacte décrivant la composition d'une entité chimique.

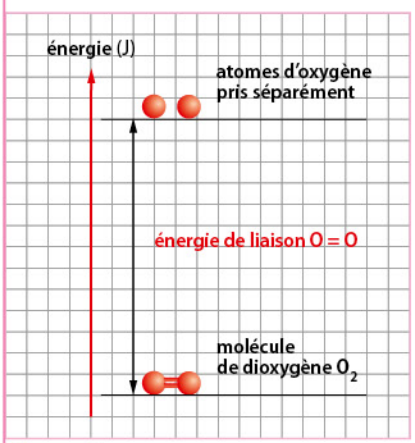


FIG. 7 Énergie de la liaison O=O dans la molécule de dioxygène O_2.

1 Stabilisation des atomes par formation d'ions

- Les **gaz nobles** sont situés dans la dernière colonne du tableau périodique. Leur configuration électronique leur confère une grande **stabilité**.

- Les atomes autres que les gaz nobles se stabilisent en gagnant ou perdant des électrons afin d'acquérir la **configuration électronique du gaz noble** le plus proche dans le tableau périodique.

L'oxygène, par exemple, **gagne** deux électrons pour acquérir la configuration électronique du néon et forme l'ion O^{2-}.

Le magnésium, par exemple, **perd** deux électrons pour acquérir la configuration électronique du néon et forme l'ion Mg^{2+}.

gaz nobles

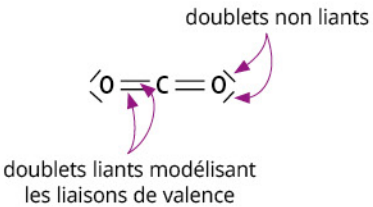
$^{1}_{1}H$ $1s^1$							$^{4}_{2}He$ $1s^2$
$^{7}_{3}Li$ $1s^2 2s^1$	$^{9}_{4}Be$ $1s^2 2s^2$	$^{11}_{5}B$ $1s^2 2s^2 2p^1$	$^{12}_{6}C$ $1s^2 2s^2 2p^2$	$^{14}_{7}N$ $1s^2 2s^2 2p^3$	$^{16}_{8}O$ $1s^2 2s^2 2p^4$	$^{19}_{9}F$ $1s^2 2s^2 2p^5$	$^{20}_{10}Ne$ $1s^2 2s^2 2p^6$
$^{23}_{11}Na$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$	$^{24}_{12}Mg$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$	$^{27}_{13}Al$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$	$^{28}_{14}Si$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$	$^{31}_{15}P$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$	$^{32}_{16}S$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$	$^{35}_{17}Cl$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$	$^{40}_{18}Ar$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

2 Stabilisation des atomes par formation de molécules

- Afin d'acquérir la configuration électronique des gaz nobles, les atomes mettent en commun des paires d'électrons et forment des **liaisons de valence** appelées aussi **doublets liants**.

- Les électrons de la couche de valence non engagés dans des liaisons se rassemblent par paires pour former des **doublets non liants**.

- Dans le **schéma de Lewis** d'une molécule, tous les doublets sont représentés par des tirets.



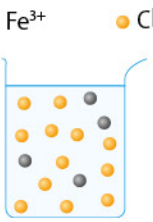
- **Quelques ions courants**

Ion négatif = **anion** Ion positif = **cation**

Chlorure	Cl^-	Hydrogène	H^+
Fluorure	F^-	Calcium	Ca^{2+}
Sodium	Na^+	Magnésium	Mg^{2+}
Potassium	K^+		

- La matière est **électriquement neutre** : il y a autant de charges positives que de charges négatives dans une solution ionique ou dans un solide ionique.

Dans cet exemple de solution de chlorure de fer, il y a 3 fois plus d'ions Cl^- que d'ions Fe^{3+}.

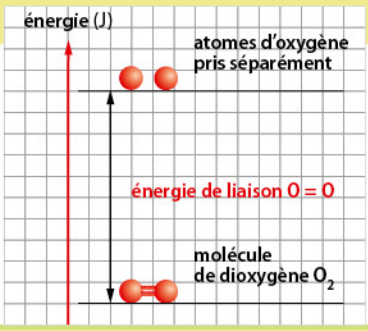


3 Caractéristiques des molécules

- Une molécule est plus stable que les atomes qui la forment pris séparément.

L'**énergie de liaison** entre deux atomes est l'énergie nécessaire pour rompre cette liaison. L'énergie est exprimée en joule (J).

- On calcule la masse d'une molécule à partir de sa **formule brute** et de la masse des atomes qui la composent.



Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

1 Stabilisation des atomes par formation d'ions

	A	B	C
1 Le néon, qui est un gaz noble, est stable sous la forme :	d'un ion Ne^+.	d'un ion Ne^-.	d'un atome de néon.
2 Pour être plus stable, l'atome de fluor F de configuration électronique $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$ peut former :	l'ion F^{7+}.	l'ion F^+.	l'ion F^-.
3 L'atome de chlore Cl devient l'ion chlorure Cl^- :	par perte d'un électron de sa couche de valence.	par gain d'un électron sur sa couche de valence.	par perte d'un proton dans son noyau.
4 Dans une solution de bromure d'aluminium qui contient des ions aluminium Al^{3+} et bromure Br^-, il y a :	autant d'ions aluminium que d'ions bromure.	trois fois plus d'ions bromure que d'ions aluminium.	trois fois plus d'ions aluminium que d'ions bromure.

2 Stabilisation des atomes par formation de molécules

	A	B	C
5 La configuration électronique du soufre est $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$. Celle du gaz noble qui le suit, l'argon, est $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$. Le soufre établit :	1 liaison de valence.	2 liaisons de valence.	3 liaisons de valence.
6 La configuration électronique du chlore est $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$ et celle du gaz noble qui le suit, l'argon, est $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$. Le chlore possède :	1 doublet non liant.	2 doublets non liants.	3 doublets non liants.
7 La configuration électronique de l'azote est $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$. Le schéma de Lewis de la molécule de diazote N_2 est :	N≡N	$\overline{N}=\overline{N}$	IN≡NI
8 Dans une molécule, les électrons non engagés dans des liaisons :	restent célibataires.	forment des doublets non liants.	partent vers un autre atome.

3 Caractéristiques des molécules

	A	B	C
9 La masse m d'une molécule de dioxyde de carbone CO_2 est :	$m = 2 \times m_C + m_O$	$m = 2 \times m_O + m_C$	$m = m_C + m_O$
10 La masse de l'ion chlorure Cl^- est :	inférieure à la masse de l'atome de chlore.	égale à la masse de l'atome de chlore.	supérieure à la masse de l'atome de chlore.
11 L'énergie de liaison E du dioxyde de carbone $\langle O=C=O \rangle$ est :	$E = 4 \times E_{C-O}$	$E = 2 \times E_{O=O}$	$E = 2 \times E_{C=O}$

Acquérir les notions

1 Stabilisation des atomes par formation d'ions

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Stabilité chimique des gaz nobles et configurations électroniques associées ➥ EXERCICES 12 et 13	• Identifier un gaz noble. • Identifier la configuration électronique d'un gaz noble. • Savoir qu'un gaz noble ne forme pas d'ions ou de molécules. • Savoir qu'un gaz noble n'a pas de réactivité chimique.
Ions monoatomiques ➥ EXERCICES 14 à 20	• Déterminer la charge d'un ion monoatomique à partir du tableau périodique. • Nommer certains ions. • Écrire leur formule. • Exploiter l'électroneutralité de la matière pour associer des espèces ioniques.

12 Gaz noble dans l'Univers



L'hélium est le deuxième gaz le plus abondant dans l'Univers. Une grande partie de ce gaz a été formé lors du Big Bang et il continue de se former lors des réactions de fusion dans les étoiles (photo). Comme le néon, il n'est présent qu'à l'état de traces dans l'atmosphère terrestre. Par contre, on y trouve l'argon en assez grande quantité : il est le troisième constituant de l'atmosphère.

1. Donner le nom et le symbole de chaque gaz noble cité dans l'énoncé.

2. Sous quelle forme trouve-t-on les gaz nobles dans l'Univers ? Proposer une explication.

3. Le néon et l'argon sont récupérés en liquéfiant l'air, puis par distillation. L'argon coûte beaucoup moins cher que le néon. Comment expliquer cette différence de prix ?

13 Ampoules à incandescence



Les lampes à incandescence, inventées en 1916 par l'américain Irving Langmuir, ont disparu des étalages des commerçants depuis quelques années.

La présence d'un filament de tungstène, porté à incandescence, assure l'émission de lumière.

Un gaz noble, l'argon chimiquement inerte, est placé dans l'ampoule. Il limite les risques de noircissement du verre garantissant ainsi une meilleure luminosité.

La configuration électronique de l'argon est $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$.

1. D'après sa configuration électronique, pourquoi l'argon est-il classé dans la famille des gaz nobles ?

2. Pourquoi est-il utilisé dans les ampoules des lampes à incandescence ? Que se passe-t-il s'il est remplacé par du dioxygène ?

3. Pourquoi n'utilise-t-on plus de lampes à incandescence ?

14 Eau minérale

1. Relever et classer en deux catégories (anions / cations) les ions monoatomiques de l'étiquette ci-contre.

2. Quels ions monoatomiques se trouvent dans la même colonne du tableau périodique ?

Justifier la réponse.

Pour 1 litre :	en mg • AR*
Ca^{2+}	Calcium • 468 • 58%
Mg^{2+}	Magnésium • 74,5 • 19%
Na^+	Sodium • 9,4
SO_4^{2-}	Sulfate • 1121
HCO_3^-	Bicarbonate • 372
Résidu sec à 180°C | 2078 mg/l	

15 Le sodium



Le sodium est un métal mou très réactif. Il réagit violemment avec l'eau. Sa configuration électronique est $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$.

1. Expliquer la raison de sa forte réactivité.

2. Quel ion l'atome de sodium est-il susceptible de former ? Quelle sera sa nouvelle configuration électronique ?

3. L'oxyde de sodium est un solide ionique de formule Na_2O constitué d'ion sodium et d'ion oxyde O^{2-}.

Dans quelle proportion les ions oxyde O^{2-} et sodium se trouvent-ils dans ce solide ionique ?

16 Produit de réhydratation

L'étiquette d'une boisson réhydratante pour sportifs mentionne la présence d'ions Na^+, Cl^-, Mg^{2+} et Ca^{2+}.

1. Nommer ces ions.

2. Cette boisson est préparée par dissolution de chlorure de magnésium $MgCl_2$ dans l'eau. Dans quelle proportion les ions Cl^- et Mg^{2+} se trouvent-ils dans la solution ?

17 Periodic table

The simplified periodic table is shown below.

$^{1}_{1}H$ Hydrogen							$^{4}_{2}He$ Helium
$^{7}_{3}Li$ Lithium	$^{9}_{4}Be$ Beryllium	$^{11}_{5}B$ Boron	$^{12}_{6}C$ Carbon	$^{14}_{7}N$ Nitrogen	$^{16}_{8}O$ Oxygen	$^{19}_{9}F$ Fluorine	$^{20}_{10}Ne$ Neon
$^{23}_{11}Na$ Sodium	$^{24}_{12}Mg$ Magnesium	$^{27}_{13}Al$ Aluminium	$^{28}_{14}Si$ Silicon	$^{31}_{15}P$ Phosphorus	$^{32}_{16}S$ Sulfur	$^{35}_{17}Cl$ Chlorine	$^{40}_{18}Ar$ Argon

1. In which column are noble gases found?

2. Determine the formula of ions formed from fluorine F, sulfur S and lithium Li. Justify the answer.

18 Pierres précieuses



Les émeraudes (photo) et les aigues-marines contiennent des ions issus des atomes d'aluminium Al, de béryllium Be et d'oxygène O.

Recopier et compléter le tableau suivant.

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			
Nombre d'électrons perdus / gagnés			
Formule de l'ion			
Cation / Anion			

19 Solutions ioniques

Données : *Configuration électronique*
du potassium K : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$
du chlore Cl : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$
du béryllium Be : $1s^2\ 2s^2$
du fluor F : $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$

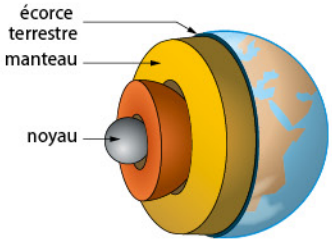
1. Le chlorure de potassium est une solution ionique que l'on rajoute à une perfusion si un patient manque de potassium dans le sang.
a. Quel ion l'atome de potassium K peut-il former ? Quel ion l'atome de chlore Cl peut-il former ?
b. Quelle est la proportion de chaque ion dans la solution de chlorure de potassium ?

2. Le fluorure de béryllium BeF_2 est un solide ionique toxique très soluble dans l'eau.
a. Quel ion l'atome de béryllium Be peut-il former ? Quel ion l'atome de fluor F peut-il former ?
b. Quelle est la proportion de chaque ion si on dissout le fluorure de béryllium dans l'eau ?

20 Autour de l'aluminium

L'aluminium est le métal le plus abondant dans l'écorce terrestre.

1. En consultant le tableau périodique en rabat VI, déterminer la formule de l'ion que l'atome d'aluminium est susceptible de former.



2. Une solution de chlorure d'aluminium contient des ions aluminium et des ions chlorure Cl^-. Quelle sera la proportion de chaque ion dans cette solution ?

2 Stabilisation des atomes par formation de molécules

Notions du programme

Modèle de Lewis de la liaison de valence
Doublets liants et non liants
➥ EXERCICES 21 à 26

Ce qu'on attend de moi

- Déterminer le nombre de doublets liants et non liants établis par un atome.
- Décrire le schéma de Lewis d'une molécule.

21 La chimie organique

Les molécules organiques sont composées essentiellement des atomes C, N, O et H.

La configuration électronique de chacun de ces atomes est donnée dans le tableau ci-dessous.

Atome	Configuration électronique
C	$1s^2\ 2s^2\ 2p^2$
N	$1s^2\ 2s^2\ 2p^3$
O	$1s^2\ 2s^2\ 2p^4$
H	$1s^1$

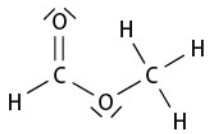
1. Indiquer le nombre de liaisons de valence établies par chacun des atomes C, N, O et H.

2. Quel est le nombre de doublets non liants autour de ces atomes ?

22 Arôme de rhum

Le méthanoate de méthyle de formule brute $C_2H_4O_2$ est une molécule qui a l'odeur du rhum, une eau-de-vie.

Voici le schéma de Lewis de cette molécule :



1. À partir des configurations électroniques des atomes, trouver le nombre total d'électrons de valence de la molécule.

2. Donner à partir du schéma de Lewis le nombre :
a. de doublets liants ;
b. de doublets non liants.

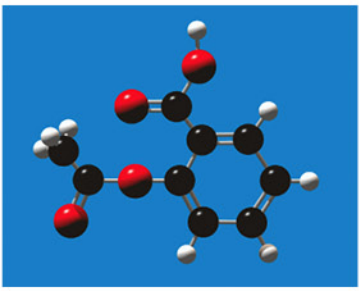
3. Comparer les résultats trouvés et conclure.

23 Mal de tête ?

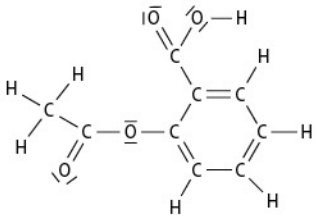


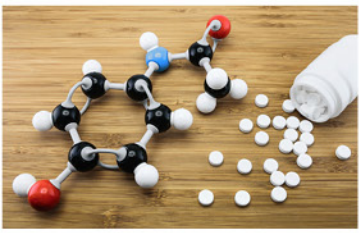
Le rôle des antalgiques est de diminuer la douleur.

Les modèles moléculaires de l'acide acétylsalicylique (aspirine) A et du paracétamol B sont représentés ci-après.

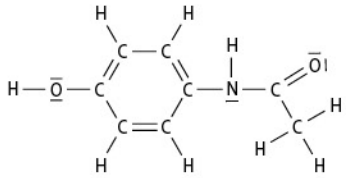


A





B



1. Écrire la formule brute de chaque molécule.
2. Tous les électrons de valence des atomes de la molécule sont-ils représentés dans chacune des modélisations ?
3. Justifier le schéma de Lewis de chaque molécule.

24 Halte à la pollution !

L'incinération de certains plastiques dégage du chlorure d'hydrogène HCl, une molécule qui nuit gravement à l'environnement.

1. À partir de leur configuration électronique, indiquer le nombre de liaisons de valence établies par chacun des atomes de la molécule HCl.
2. Quel est le nombre de doublets non liants autour de ces atomes ?
3. Justifier le schéma de Lewis de cette molécule : H — $\overline{\underline{Cl}}$|

25 Chercher les erreurs

Corriger les schémas de Lewis des molécules suivantes en expliquant pourquoi ils sont faux.

⚠ **Attention erreurs !**

Dioxyde de carbone (CO_2) : |O ≡ C — $\overline{\underline{O}}$|

Cyanure d'hydrogène (HCN) : H — C ≡ N

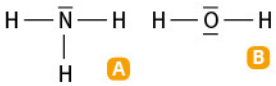
Ammoniac (NH_3) : H — $\overline{\underline{N}}$ — H — H

Méthanal (CH_2O) : H — C(H) — $\overline{\underline{O}}$|

26 Chez le coiffeur

Pour préparer les cheveux à une coloration, les coiffeurs utilisent de l'ammoniac, de formule brute NH_3, en solution dans l'eau, H_2O.

1. À partir des configurations électroniques, donner le nombre de liaisons de valence et le nombre de doublets non liants pour chacun des atomes présents dans ces molécules.
2. Justifier le schéma de Lewis des molécules d'ammoniac A et d'eau B.



A B

3 Caractéristiques des molécules

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Masse d'une entité ➥ EXERCICES 27 et 28	• Déterminer la masse d'une molécule ou d'un ion à partir de sa formule brute.
Approche de l'énergie de liaison ➥ EXERCICE 29	• Associer l'énergie de liaison à l'énergie nécessaire pour rompre cette liaison.

27 Le magnésium

Le magnésium est un minéral essentiel au bon fonctionnement de l'organisme humain. En solution, on le trouve sous forme d'ions Mg^{2+}.

Données : *Masse d'un électron* $m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}$ *kg.*
Masse d'un atome de magnésium $m_{Mg} = 4{,}04 \times 10^{-23}$ *g.*

1. Calculer la masse de l'ion magnésium.
2. Comparer la masse de l'ion magnésium à celle de l'atome de magnésium.
3. Quelle conclusion peut-on tirer de ces résultats ?

28 Bienfaits des agrumes SVT

Les vitamines sont des substances indispensables pour l'être humain, qui ne peut pas les fabriquer. On obtient la quantité journalière nécessaire grâce à l'alimentation. Ainsi, la vitamine C, appelée aussi acide ascorbique, de formule brute $C_6H_8O_6$, participe à la fabrication des os, des dents et de la peau, et aide à lutter contre le vieillissement. Cette vitamine est présente en grande quantité dans de nombreux fruits tels que le kiwi, l'orange, etc.



Un citron contient environ 75 mg d'acide ascorbique.

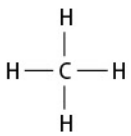
Données : *Masse d'un atome de carbone* $m_C = 1{,}99 \times 10^{-23}$ *g.*
Masse d'un atome d'oxygène $m_O = 2{,}66 \times 10^{-23}$ *g.*
Masse d'un atome d'hydrogène $m_H = 1{,}66 \times 10^{-24}$ *g.*

1. Calculer la masse d'une molécule de vitamine C.
2. Combien de molécules de vitamine C y a-t-il dans un citron ?

29 Le gaz de ville

Le méthane CH_4 est le gaz distribué dans le réseau des villes.

1. Déterminer le nombre de liaisons de valence C—H qu'il faut rompre pour « casser » la molécule.
2. Cette molécule est-elle plus ou moins stable que les atomes pris séparément ?
3. Représenter la formation de la molécule de méthane sous la forme d'un diagramme (comme la figure 7 du cours) faisant apparaître l'énergie de liaison C—H.



Exercice résolu EN AUTONOMIE

30 La charge des ions fer

On souhaite déterminer la formule des ions fer se trouvant dans une solution contenant aussi des ions chlorure Cl^-.
L'analyse d'un litre de cette solution donne sa composition en ions et leur masse m.

Ion	Masse m (en g)
Ion fer	25,0
Ion chlorure Cl^-	47,7

Atome	Masse atomique m' (en g)
Fer	$9{,}27 \times 10^{-23}$
Chlore	$5{,}89 \times 10^{-23}$

On dispose également ci-dessus des masses m' des atomes Fe et Cl.

1. **Déterminer** le signe de la charge portée par les ions fer.
2. **Déterminer** le nombre d'ions de chaque espèce contenus dans un litre de la solution étudiée.
3. **En déduire** la formule de l'ion fer.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ
- La **formule** des ions chlorure est précisée dans l'énoncé.
- Les **masses** sont exprimées dans la même unité.

LES QUESTIONS À LA LOUPE
- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **En déduire** : utiliser le résultat précédent pour répondre.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Les ions chlorure Cl^- étant chargés négativement (anions), les ions fer sont chargés positivement, ce sont des cations.

2. Dans un litre de solution, le nombre d'ions chlorure Cl^- est :
$\frac{m}{m'} = \frac{47{,}7}{5{,}89 \times 10^{-23}}$, donc il y a $\mathbf{8{,}10 \times 10^{23}}$ **ions chlorure**.

Dans un litre de solution, le nombre d'ions fer est :
$\frac{m}{m'} = \frac{25{,}0}{9{,}27 \times 10^{-23}}$, donc il y a $\mathbf{2{,}70 \times 10^{23}}$ **ions fer**.

3. Une solution étant électriquement neutre, le quotient entre le nombre d'anions et le nombre de cations donne la proportion entre les deux types d'ions :
$\frac{8{,}10 \times 10^{23}}{2{,}70 \times 10^{23}} = 3{,}00$; il y a trois fois plus d'ions chlorure Cl^- que d'ions fer.

La formule des ions fer est donc $\mathbf{Fe^{3+}}$.

QUELQUES CONSEILS

2. Comme la masse des électrons est négligeable devant celle des nucléons, la masse d'un ion est égale à la masse d'un atome.
On veillera au nombre de chiffres significatifs (ici 3).

3. Se rappeler que la matière est toujours électriquement neutre.

EXERCICE SIMILAIRE

31 La charge des ions zinc

On souhaite déterminer la formule des ions zinc se trouvant dans une solution contenant aussi des ions bromure Br^-.

L'analyse d'un litre de cette solution donne sa composition en ions et leur masse m.

Ion	Masse m (en g)
Ion zinc	11,4
Ion bromure Br^-	27,9

Atome	Masse atomique m' (en g)
Zinc	$1{,}09 \times 10^{-22}$
Brome	$1{,}33 \times 10^{-22}$

Les masses m' des atomes Zn et Br sont indiquées dans le tableau ci-dessus.

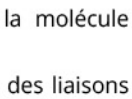
1. Déterminer le signe de la charge portée par les ions zinc.
2. Déterminer le nombre d'ions de chaque espèce contenus dans un litre de la solution étudiée.
3. En déduire la formule de l'ion zinc.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

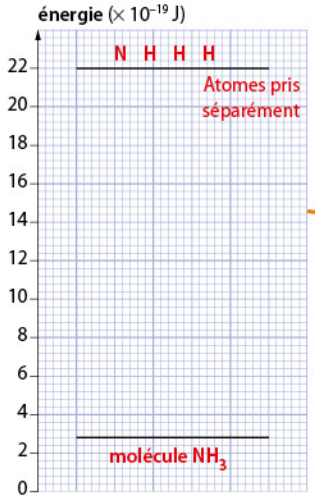
32 Énergie de liaisons azote-hydrogène

Afin de comprendre les conséquences des énergies de liaisons sur la stabilité des molécules chimiques, on utilise le diagramme d'énergie de l'ammoniac de formule brute NH_3.

Données : *configuration électronique*
de l'azote N : $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$
de l'hydrogène H : $1s^2$



1. **Justifier** le schéma de Lewis de la molécule d'ammoniac.
2. **En déduire** le nombre et la nature des liaisons rompues lors du passage de la molécule aux atomes pris séparément.
3. **Comparer** l'énergie de la molécule à celle des atomes pris séparément. Conclure.



LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- La **formule brute** d'une molécule et les **configurations électroniques** des atomes permettent de justifier le schéma de Lewis.
- Le **diagramme d'énergie** donne les niveaux d'énergie de la molécule et des atomes pris séparément.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Justifier** : donner une explication au choix effectué à l'aide de données dans l'énoncé.
- **En déduire** : utiliser le résultat précédent pour répondre.
- **Comparer** : mettre en regard deux résultats pour en identifier les différences ou les similitudes.

EXEMPLE DE RÉDACTION

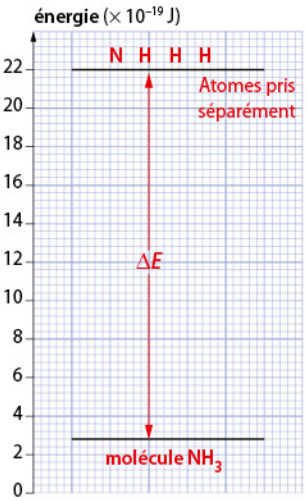
1. On détermine le nombre de doublets liants et non liants pour chacun des atomes (tableau).

Atome	Configuration électronique	Doublets liants	Électrons non engagés	Doublets non liants
H	$1s^1$	**2 – 1 = 1**	**1 – 1** = 0	$\frac{0}{2}$ = **0**
N	$1s^2\ 2s^2\ 2p^3$	**8 – 5 = 3**	**5 – 3** = 2	$\frac{2}{2}$ = **1**

Le schéma de Lewis de la molécule d'ammoniac, donné dans l'énoncé, est donc justifié.

2. Il faut rompre **3 liaisons N—H** pour passer de la molécule aux atomes pris séparément.

3. Le niveau d'énergie de la molécule est plus bas que celui des atomes pris séparément. La formation de liaisons de valence engendre une stabilisation.



QUELQUES CONSEILS

1. Le nombre de doublets liants est égal au nombre d'électrons permettant d'acquérir la couche électronique du gaz noble qui suit dans le tableau périodique.
Les électrons non engagés dans des liaisons se regroupent par paires pour former des doublets non liants.

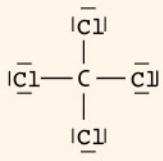
3. Une diminution de l'énergie correspond à une stabilisation de la molécule.

EXERCICE SIMILAIRE

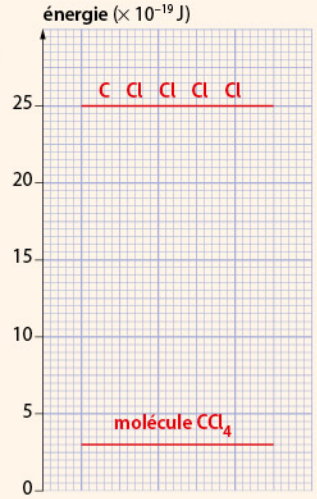
33 Énergie de liaisons carbone-chlore

On dispose du diagramme énergétique du tétrachlorométhane de formule brute CCl_4.
On s'intéresse à l'énergie des liaisons C—Cl.

Données :
Configuration électronique
du carbone C : $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$
du chlore Cl : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$



1. Justifier le schéma de Lewis de cette molécule :
2. Déterminer le nombre et la nature des liaisons qu'il faut rompre pour passer de la molécule aux atomes pris séparément.
3. Quel est l'effet énergétique de la rupture de ces liaisons ?



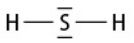
Croiser les notions

34 Le sulfure d'hydrogène

Le soufre est un élément chimique que l'on peut retrouver sous forme d'ion ou dans différentes molécules comme le sulfure d'hydrogène. Gaz incolore, à l'odeur nauséabonde d'œuf pourri, et très toxique, il se forme lors de la décomposition des végétaux ou des animaux.

Données : *Configuration électronique*
de l'hydrogène H : $1s^1$
du soufre S : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$

1. En utilisant le tableau périodique en rabat VI, déterminer la formule de l'ion que peut former l'atome de soufre.
2. Combien de doublets liants et non liants les atomes d'hydrogène et de soufre possèdent-ils ?
3. Déterminer la formule brute du sulfure d'hydrogène.
4. Justifier le schéma de Lewis du sulfure d'hydrogène :



35 Le sel de Camargue



L'évaporation de l'eau de mer dans les marais salants permet de récupérer différents sels : le chlorure de sodium NaCl, le chlorure de potassium KCl et le chlorure de magnésium $MgCl_2$.

Données :
Masses m d'un atome de sodium, de chlore, de potassium, de magnésium : $m_{Na} = 3{,}82 \times 10^{-23}$ g ; $m_{Cl} = 5{,}89 \times 10^{-23}$ g ; $m_K = 6{,}49 \times 10^{-23}$ g ; $m_{Mg} = 4{,}04 \times 10^{-23}$ g.

1. En utilisant le tableau périodique en rabat VI, déterminer la formule des différents ions que peuvent former les atomes se trouvant dans ces sels.
2. L'analyse d'un litre d'eau de mer donne la composition suivante.

Ion	**Masse** (en g · L^{-1})
Ion sodium	9,83
Ion chlorure	16,83
Ion potassium	0,90
Ion magnésium	0,30

a. Déterminer le nombre d'ions de chaque atome dans la solution.
b. Vérifier l'électroneutralité de la solution analysée.

36 Dureté de l'eau

La dureté de l'eau ou titre hydrotimétrique TH, exprimé en degré français (°f), est l'indicateur de la minéralisation de l'eau.

La minéralisation est liée à la quantité d'ions calcium et magnésium se trouvant dans l'eau du robinet sous forme de calcaire.

1 °f équivaut à 4 mg de calcium (ou 10 mg de calcaire) et à 2,4 mg de magnésium par litre d'eau.

Si la quantité est assez importante, il y a formation de calcaire, un dépôt blanc, dans les canalisations et sur les objets en contact avec l'eau.

En outre, le calcaire diminue l'efficacité des détergents.

Le tableau ci-dessous donne la qualité de l'eau selon sa dureté.

TH (en °f)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	40 et plus
Qualité de l'eau	très douce	douce	plutôt douce	dure	très dure

Données : *Masses m d'un atome de calcium, de magnésium : $m_{Ca} = 6{,}66 \times 10^{-23}$g ; $m_{Mg} = 4{,}04 \times 10^{-23}$g.*

1. En utilisant le tableau périodique en rabat VI, déterminer la formule des ions calcium et magnésium.
2. Un technicien de laboratoire effectue une mesure, il trouve : TH = 35 °f.
   a. Comment qualifier la qualité de cette eau ?
   b. Déterminer la masse de calcium et de magnésium par litre d'eau.
   c. Déterminer le nombre d'ions de chaque espèce chimique dans un litre d'eau.
3. L'enseignant demande à un élève volontaire de peser le résidu solide après évaporation d'un litre d'eau.

La masse trouvée est bien supérieure à celle obtenue à la réponse 2. b. Comment expliquer cette différence ?

37 L'urée

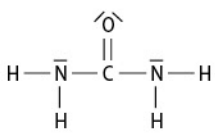
L'urée est une molécule organique qui a pour formule brute CH_4N_2O. Formée dans le foie, elle permet d'évacuer une partie de l'azote de l'organisme dans les urines.

Des techniques d'analyses permettent de savoir qu'il existe une double liaison entre l'atome de carbone et l'atome d'oxygène.

Données :

Atome	**Configuration électronique**	**Masse atomique** (en g)
H	$1s^1$	$1{,}66 \times 10^{-24}$
C	$1s^2\ 2s^2\ 2p^2$	$1{,}99 \times 10^{-23}$
O	$1s^2\ 2s^2\ 2p^4$	$2{,}66 \times 10^{-23}$
N	$1s^2\ 2s^2\ 2p^3$	$2{,}32 \times 10^{-23}$

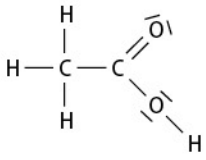
1. Combien de doublets liants et non liants chaque atome possède-t-il ?
2. Justifier le schéma de Lewis de l'urée.
3. Déterminer la masse d'une molécule d'urée.



4. L'azote est présent dans la molécule d'urée à un pourcentage en masse d'une valeur de *x* %. Trouver ce pourcentage.

38 L'acide acétique

Voici le schéma de Lewis de l'acide éthanoïque ou acide acétique :





L'acide éthanoïque se forme à partir de l'éthanol au contact du dioxygène de l'air. Cette réaction chimique se produit lorsque du vin se transforme en vinaigre.

Le caractère acide de la molécule provient de sa capacité à libérer, sous forme d'ion hydrogène H^+, l'atome lié à l'oxygène.

1. Justifier le schéma de Lewis de l'acide éthanoïque.

2. Quelle énergie faut-il fournir pour libérer l'ion H^+ ?

3. Quels sont alors les ions formés ?

Liaison	Énergie de liaison (en J)
C—H	$6{,}89 \times 10^{-19}$
C—C	$5{,}73 \times 10^{-19}$
C=O	$1{,}32 \times 10^{-18}$
O—H	$7{,}69 \times 10^{-19}$

JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- bien respecté l'électroneutralité.

39 Les hydrocarbures

Un hydrocarbure est un composé organique constitué exclusivement d'atomes de carbone et d'hydrogène.

Pétrole, charbon ou gaz naturel, les hydrocarbures sont une source d'énergie indispensable depuis la révolution industrielle.



On étudie un hydrocarbure de formule brute C_nH_{2n+2} (n est un entier) qui possède uniquement des liaisons simples. La masse d'une molécule est $m = 9{,}62 \times 10^{-23}$ g.

1. Comment les électrons de valence de chacun des atomes de la molécule étudiée se répartissent-ils ? Justifier la réponse.

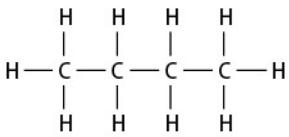
2. Exprimer la masse de la molécule en fonction de n et de la masse des atomes de carbone m_C et d'hydrogène m_H.

Données :

Atomes	Carbone	Hydrogène
Masse (en g)	$1{,}99 \times 10^{-23}$	$1{,}66 \times 10^{-24}$
Configuration électronique	$1s^2\ 2s^2\ 2p^2$	$1s^1$

3. Calculer n et en déduire la formule brute de la molécule étudiée.

4. Justifier le schéma de Lewis de cette molécule.



40 Des isomères DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

Des isomères sont des molécules qui ont la même formule brute, mais des schémas de Lewis différents.

On cherche à différencier les molécules d'éthanol et de méthoxyméthane de formule brute C_2H_6O.

L'éthanol est présent dans les boissons alcoolisées et comporte une liaison O—H.

Le méthoxyméthane est utilisé comme biocarburant.

Données :

Configuration électronique
de l'hydrogène H : $1s^1$
du carbone C : $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$
de l'oxygène O : $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

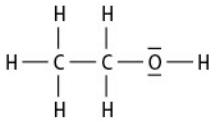
DÉMARCHE AVANCÉE

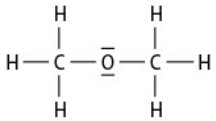
Établir le schéma de Lewis de l'éthanol et du méthoxyméthane.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Combien de doublets liants et non liants chacun des atomes de ces isomères possède-t-il lors de la formation de molécules ? Justifier la réponse.

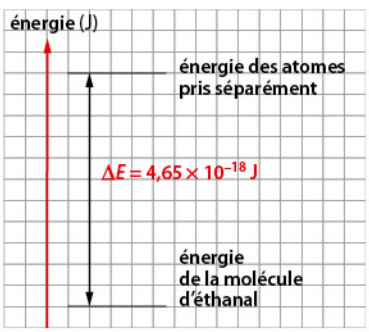
2. Choisir et justifier le schéma de Lewis correspondant à chacune de ces molécules.





41 Énergie de liaisons

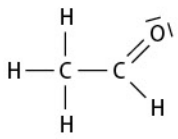
L'éthanal est un composé organique très cancérigène, de formule brute C_2H_4O.



Données :

Configuration électronique
de l'hydrogène H : $1s^1$
du carbone C : $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$
de l'oxygène O : $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

1. Justifier le schéma de Lewis de l'éthanal.



2. Réaliser un bilan de la nature et du nombre de liaisons qu'il faut rompre pour dissocier la molécule d'éthanal.

3. Analyser le diagramme énergétique ci-dessus et conclure sur l'effet de la formation de ces liaisons.

42 Les ions font la course

Les accélérateurs de particules ont de multiples applications tant dans la recherche fondamentale en physique que dans l'imagerie médicale en médecine.



Lorsqu'elles sont soumises à un champ électrique, les particules chargées subissent une accélération proportionnelle au quotient $\frac{|z|}{m}$ où m est la masse de la particule et $|z|$ la valeur absolue de sa charge.

(*Exemple* : $|z(Na^+)| = +1$.)

On cherche à savoir quel ion, issu du fluor ou du soufre, sera le plus accéléré.

Atome	Masse (en g)	Configuration électronique
F	$3{,}16 \times 10^{-23}$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^5$
S	$5{,}32 \times 10^{-23}$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$

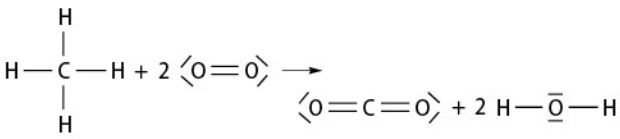
1. Quels ions stables le fluor et le soufre forment-ils ?
2. Quelle est la masse de ces ions ?
3. Calculer le quotient $\frac{|z|}{m}$ pour chaque ion.
4. Quel est l'ion le plus accéléré ?

43 Combustion du méthane

Une combustion est une transformation chimique, c'est-à-dire une redistribution d'atomes.

Le méthane CH_4 est le gaz de ville qui permet de cuisiner et parfois même de chauffer grâce à l'énergie qu'il libère lors de sa combustion.

La combustion du méthane dans l'air peut être modélisée par l'équation chimique suivante :



Liaison	Énergie mise en jeu lors de la formation ou de la rupture des liaisons (en J)
C—H	$6{,}89 \times 10^{-19}$
O=O	$8{,}27 \times 10^{-19}$
C=O	$1{,}32 \times 10^{-18}$
O—H	$7{,}69 \times 10^{-19}$

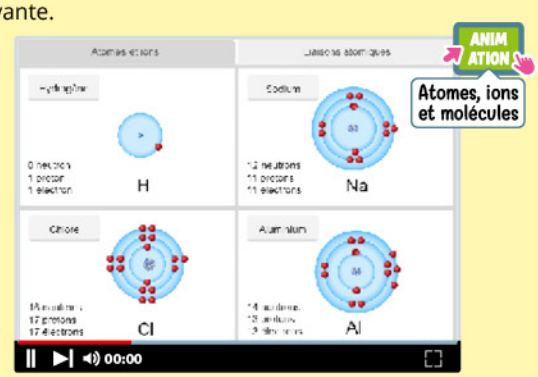
Données : *Configuration électronique de l'hydrogène H : $1s^1$*
du carbone C : $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$
de l'oxygène O : $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

1. Quelles liaisons faut-il rompre pour la combustion d'une molécule de méthane ? Préciser leur nombre.
2. Quelles sont les liaisons alors formées et leur nombre ?
3. **a.** Sans effectuer de calcul, comparer l'énergie nécessaire à la rupture des liaisons C—H à l'énergie libérée lors de la formation des liaisons O—H.
b. De même, comparer l'énergie nécessaire à la rupture des liaisons O=O à l'énergie libérée lors de la formation des liaisons C=O.
c. Un bilan des énergies mises en jeu conduit-il globalement à de l'énergie consommée ou à de l'énergie libérée ? Conclure.

À L'ORAL

44 Formation des ions et molécules

Préparer un exposé oral permettant d'expliquer la formation des ions ou molécules en utilisant l'animation suivante.



Cet exposé de quelques minutes devra utiliser ces mots clés :

- atome ;
- ions ;
- molécules ;
- gaz noble ;
- configuration électronique ;
- tableau périodique ;
- liaison de valence.

Ce court exposé devra pouvoir être réalisé sans note écrite.

45 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Dans la nature, on ne trouve que très peu d'atomes isolés.

Préparer un exposé oral permettant d'expliquer l'existence des entités chimiques ions et molécules.



Acquérir des compétences

46 La charge d'un ion — DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

AN/RAI Faire des prévisions à l'aide d'un modèle
COM Présenter une démarche de manière synthétique

L'ion fluorure F^- est l'ion stable que peut former l'atome de fluor. On le rencontre dans différents solides ioniques. Selon le cation avec lequel il formera le solide ionique, les ions seront disposés différemment.

Afin de déterminer la charge de deux cations, on dispose de la maille, un motif qui se répète à l'identique dans un solide ionique, de deux cristaux contenant des ions fluorure.

Le fluorure de calcium est un solide ionique constitué par l'empilement d'ions calcium et d'ions fluorure A. Les ions calcium qui se trouvent au sommet du cube formant la maille se partagent entre huit mailles différentes. Ceux qui se trouvent au centre de chaque face du cube se partagent entre deux mailles différentes. Les ions fluorure sont entièrement à l'intérieur de la maille.

Le fluorure de sodium est constitué de l'empilement d'ions sodium et d'ions fluorure B. Les ions sodium se trouvant sur les arêtes du cube se partagent entre quatre mailles différentes et celui qui est au centre est entièrement dans la maille. Les ions fluorure se trouvant au sommet de la maille se partagent entre huit mailles différentes et ceux qui se trouvent au centre de chaque face du cube se partagent entre deux mailles différentes.

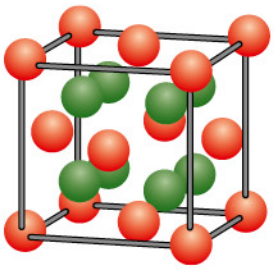
Données : *calcium Ca, sodium Na.*

DÉMARCHE EXPERTE

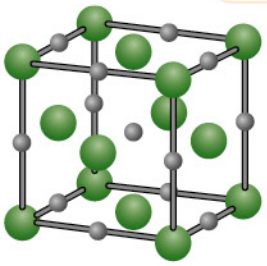
Proposer une méthode qui permette de déterminer la charge de l'ion calcium et de l'ion sodium.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Déterminer le nombre :
a. d'ions fluorure et d'ions calcium dans la maille de fluorure de calcium ;
b. d'ions fluorure et d'ions sodium dans la maille du fluorure de sodium.
2. Quelle est la proportion de chaque type d'ions dans chaque solide ionique ?
3. En déduire la charge de l'ion calcium et de l'ion sodium.



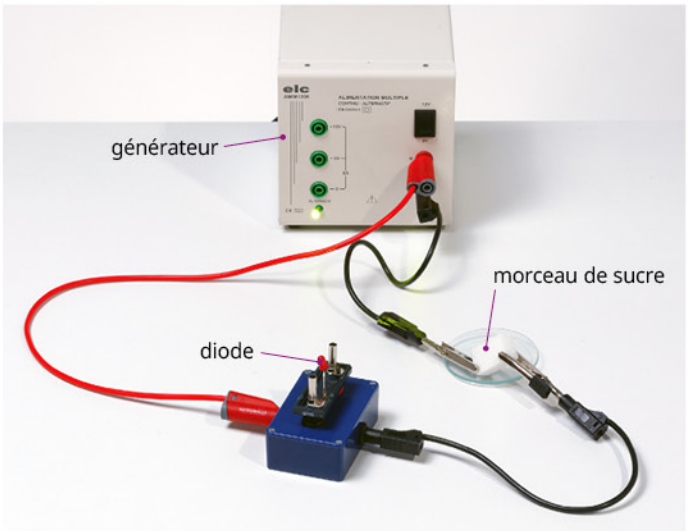
A Une maille du fluorure de calcium



B Une maille du fluorure de sodium

47 Solide ionique ou solide moléculaire ? — DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

APP Rechercher et organiser l'information



Un élève souhaite comprendre la différence entre un solide ionique et un solide moléculaire. Il dispose d'un morceau de sucre et d'un bloc de sel pour réaliser l'expérience ci-contre.

À sa grande surprise, la diode ne s'allume ni avec le bloc de sel, ni avec le morceau de sucre.

Quelle expérience pourrait-on réaliser pour différencier le solide ionique et le solide moléculaire ?

Retrouvez des exercices de synthèse p. 124

48 Spectromètre de masse — DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

AN/RAI Faire des prévisions à l'aide d'un modèle
COM Présenter une démarche de manière synthétique

Un spectromètre de masse permet de séparer les ions issus d'un mélange gazeux.

Le schéma de principe ci-contre permet de comprendre le fonctionnement de cet appareil. T_1 et T_2 sont des trous qui permettent aux ions de passer d'une zone à l'autre.

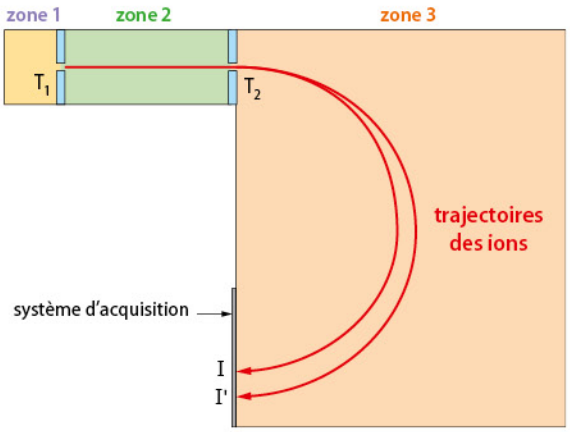
Dans la zone 1, les atomes sont ionisés.

Dans la zone 2, les ions sont accélérés.

Dans la zone 3, les ions sous l'influence d'un champ magnétique ont une trajectoire circulaire de rayon proportionnel au quotient $\frac{m}{|z|}$ où m est la masse de l'ion et $|z|$ la valeur absolue de sa charge.

(*Exemple* : $|z(Na^+)| = +1$.)

On étudie la déviation d'ions issus des atomes de magnésium et de lithium.



Données :

Atome	Masse (en g)	Configuration électronique
Li	$1{,}16 \times 10^{-23}$	$1s^2\ 2s^1$
Mg	$3{,}99 \times 10^{-23}$	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2$

DÉMARCHE EXPERTE

Lequel des ions lithium ou magnésium sera récupéré au point I ? au point I' ?

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Quels ions stables le lithium et le magnésium peuvent-ils former ?
2. Quelle est la masse de ces ions ?
3. Calculer le quotient $\frac{m}{|z|}$ pour chacun des ions.
4. Lequel des deux ions aura une trajectoire de plus grand rayon dans la zone 3 ?
5. Quel ion sera récupéré au point I ? au point I' ?

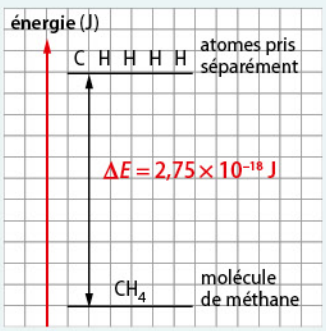
VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

49 Propriétés des liaisons — TÂCHE COMPLEXE

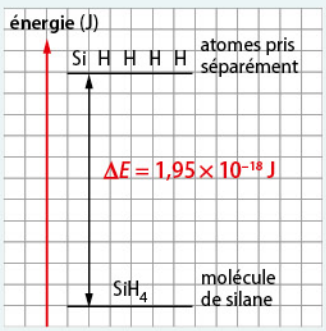
APP Rechercher et organiser l'information

Le méthane CH_4 et le silane SiH_4 sont des composés de l'hydrogène et de deux atomes appartenant à la même colonne du tableau périodique. Ils n'ont pas que des points communs.

DOC 1 Diagramme d'énergie du méthane CH_4



DOC 2 Diagramme d'énergie du silane SiH_4



DOC 3 Configurations électroniques

Atome	Configuration électronique
C	$1s^2\ 2s^2\ 2p^2$
Si	$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$
H	$1s^1$

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Quels sont le nombre et la nature des liaisons entre les atomes des molécules de méthane et silane ? Quelle est la liaison la plus facile à rompre ?

Les sciences et nous

GROS PLAN SUR...

Les fibres de carbone

Les fibres de carbone sont constituées de fils extrêmement fins, de l'ordre du micromètre, contenant essentiellement du carbone.
Malgré sa finesse, une fibre de carbone est un matériau très résistant et de faible densité. Elle est très rigide, mais peut s'étirer ou se comprimer.
Il faut lui appliquer une force importante pour la rompre.
Ces fibres sont utilisées pour renforcer des matériaux afin d'obtenir des matériaux composites.
On les rencontre par exemple dans l'aéronautique, le matériel destiné à la pratique du sport (vélos, raquette de tennis, skis...) ou dans les voitures.



LES MÉTIERS DU CHAPITRE

Technicien·ne d'exploitation de l'eau



Le technicien d'exploitation de l'eau veille au bon fonctionnement des systèmes de production d'eau ou au traitement des eaux usées ou industrielles.
Pour produire de l'eau potable à partir d'une nappe souterraine ou d'une rivière, il analyse l'eau et doit connaître les produits pour lutter contre différents types de pollution.
Ce métier est technique et à responsabilité. Le technicien est garant de la qualité de l'eau des villes.

***Niveaux d'études** : bac+2 après un bac professionnel, un bac technologique ou un bac général avec spécialité physique-chimie.*



Pharmacien·ne

Dans un laboratoire ou une unité de production, le pharmacien contribue à l'élaboration de nouveaux médicaments ou à l'amélioration de médicaments existants.
Il met en place les procédures de fabrication et le contrôle des médicaments produits.
Le pharmacien dans l'industrie est le garant de la qualité et de la sécurité du médicament.

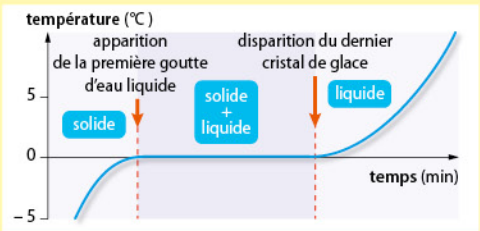
***Niveaux d'études** : bac+6 après un bac général avec spécialité physique-chimie.*

Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

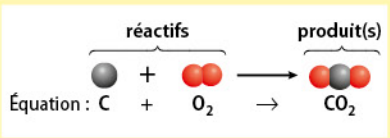
Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- Il faut savoir distinguer une transformation **chimique** d'une transformation **physique**.
- Un **changement d'état** est une transformation **physique**, il se produit à température constante. Par exemple, la fusion de l'eau se produit à 0 °C :



- Au cours d'une transformation chimique, des **réactifs** disparaissent et des **produits** se forment. Tous les atomes des réactifs sont redistribués dans les produits.



- La masse des réactifs est égale à la masse des produits. On dit que **la masse se conserve** lors d'une transformation chimique.

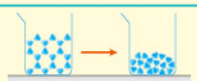
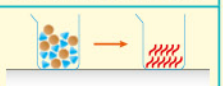
POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

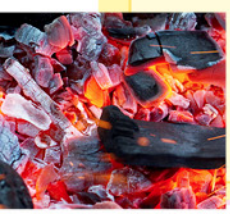
On observe le comportement microscopique de la matière au cours de trois transformations.

Recopier et compléter la première ligne du tableau avec les termes « transformation chimique » ou « transformation physique ».

Transformation de la matière			
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			

SITUATION 2

Au cours de sa combustion, un morceau de charbon de bois réagit avec le dioxygène de l'air, et il se forme du dioxyde de carbone.



Quels sont les réactifs et le(s) produit(s) de cette transformation chimique ?

SITUATION 3

Le dihydrogène H_2 réagit avec le dioxygène O_2 pour former de l'eau H_2O. Un élève propose une équation pour décrire cette transformation : $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$

Cette équation est-elle correcte ?

CHAPITRE 4

de la matière

CHIMIE



Plus besoin de pétrole, ce « prototype » roule au dihydrogène et ne rejette que de l'eau par son pot d'échappement. De quel type de transformation s'agit-il ?

➥ EXERCICE 46

NOTIONS ET CONTENUS

- Transformation nucléaire, physique et chimique.
- Modélisation de ces transformations par l'écriture d'une équation.
- Réaction chimique, stœchiométrie et réactif limitant.
- Synthèse d'une espèce chimique présente dans la nature.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- Déterminer le réactif limitant lors d'une transformation chimique totale ➥ ACTIVITÉ 3
- Mettre en œuvre un montage à reflux pour synthétiser une espèce chimique présente dans la nature et exploiter une chromatographie sur couche mince (CCM) pour comparer cette espèce synthétisée à l'espèce naturelle ➥ ACTIVITÉ 4

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
VAL Faire preuve d'esprit critique

Les transformations de la matière : une histoire d'échelle

Nous voyons tous les jours des phénomènes dans lesquels la matière se transforme. Transformation physique, chimique ou nucléaire, en quoi sont-elles différentes ?

Vers l'infiniment petit

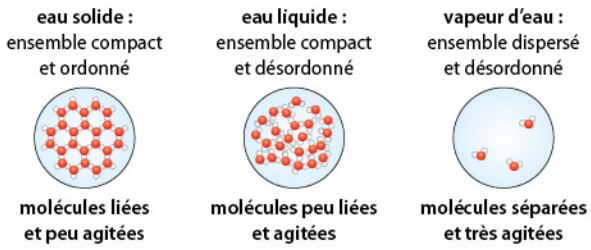
Énergie mise en jeu de plus en plus grande

DOC 1 La composition de la matière

La matière est ce qui compose les objets qui nous entourent, tout ce qui a une masse et un volume. Elle est constituée de molécules qui sont des assemblages d'atomes. Les atomes eux-mêmes sont composés de petites particules : des protons et des neutrons forment leur noyau, autour duquel des électrons sont en mouvement.

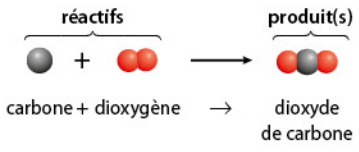
DOC 2 Transformation physique : on ne touche pas aux molécules !

Au cours d'une transformation physique, la matière change d'état mais les molécules qui la composent ne sont pas modifiées. Par exemple, lorsque l'eau passe d'un état à un autre, les molécules se retrouvent plus ou moins éloignées, plus ou moins agitées, plus ou moins liées entre elles, mais la molécule d'eau H_2O n'est jamais modifiée.



DOC 3 Transformation chimique : on modifie les molécules

Au cours d'une transformation chimique, les molécules se cassent. Les atomes présents à la fin de la transformation sont identiques à ceux présents au début. Ils sont réarrangés différemment dans de nouvelles espèces chimiques qui n'étaient pas présentes au début de la transformation.



DOC 4 Transformation nucléaire : on modifie les atomes

Au cours d'une transformation nucléaire, les noyaux des atomes sont modifiés. Ainsi, dans un accélérateur de particules, on dispose de suffisamment d'énergie pour transformer un atome de mercure en un atome d'or, mais sans devenir riche pour autant. En effet, fabriquer de l'or de cette manière coûte beaucoup plus cher que l'extraire de la nature !

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Classer ces particules de la plus petite à la plus grande : molécule, noyau, atome.

2 Recopier et compléter le tableau suivant, en indiquant de quel type de transformation il s'agit.

État initial	État final	Type de transformation
Atome d'uranium U	Atome de plutonium Pu	
Molécules de dioxygène liquide O_2 (ℓ)	Molécules de dioxygène gazeux O_2 (g)	
Molécules de méthane CH_4 et de dioxygène O_2	Molécules de dioxyde de carbone CO_2 et d'eau H_2O	

SYNTHÈSE

3 Au Moyen-Âge, les alchimistes cherchaient à transformer le plomb en or en lui faisant subir une transformation chimique. Expliquer pourquoi cette quête ne pouvait pas aboutir.

Je réussis si...

- **Je suis capable d'expliquer de quoi est composée la matière.**
- **Je sais reconnaître chaque type de transformation de la matière.**

COMPÉTENCES :
AN/RAI Proposer une stratégie de résolution
AN/RAI Procéder à des analogies

La chimie, c'est de la cuisine !

Dans cette activité, nous allons aborder les notions de stœchiométrie et de réactif limitant, à partir d'une analogie avec la préparation de sandwiches par un boulanger.

DOC 1 Le problème du boulanger

Dans une boulangerie, un apprenti prépare des sandwiches et souhaite gérer au mieux son stock de pain et de jambon. Les sandwiches préparés sont très simples : deux tranches de pain (une tranche est notée P) et une tranche de jambon (notée J).

Avec ces notations, l'équation de la « fabrication » d'un sandwich peut s'écrire :

$$2\,P + J \rightarrow P_2J$$







Les masses d'une tranche de pain et d'une tranche de jambon sont connues : $M_P = 60$ g et $M_J = 20$ g.

Dans son stock, le boulanger dispose des masses $m_P = 12{,}0$ kg de pain et $m_J = 2{,}2$ kg de jambon.

DÉMARCHE EXPERTE

Quel ingrédient viendra à manquer en premier au boulanger : le pain ou le jambon ? Cet ingrédient manquant s'appelle en chimie le « réactif limitant ».

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Calculer n_P et n_J, respectivement le nombre de tranches de pain et de jambon disponibles dans le stock du boulanger.

2. Du pain ou du jambon, lequel sera totalement consommé en premier ? On l'appelle en chimie le « réactif limitant ».

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Convertir, en gramme, les masses de pain et de jambon disponibles dans le stock du boulanger.

2. Calculer le nombre de tranches de pain disponibles dans le stock. Combien le boulanger peut-il faire de sandwiches ?

3. Combien de tranches de jambon sont nécessaires pour réaliser ces sandwiches ?

4. Calculer le nombre de tranches de jambon disponibles dans le stock du boulanger.

5. Du pain ou du jambon, lequel sera totalement consommé en premier ? On l'appelle en chimie le « réactif limitant ».

Je réussis si...

- **Je fais des conversions correctes.**
- **Je sais utiliser la proportionnalité.**
- **J'arrive à identifier le réactif limitant dans la situation proposée.**
- DÉMARCHE EXPERTE **Je décris la stratégie avec du texte et je prends des initiatives pour obtenir un résultat.**

TP

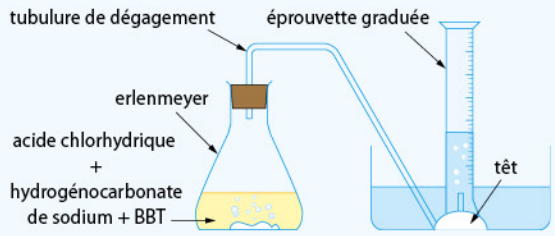
COMPÉTENCES :
AN/RAI Élaborer un protocole
VAL Interpréter des mesures

Déterminer le réactif limitant

Une transformation chimique cesse lorsqu'au moins un des réactifs est totalement consommé, c'est le réactif limitant. Comment le déterminer expérimentalement ?

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- Remplir d'eau une éprouvette graduée et la retourner sur un têt dans un cristallisoir contenant de l'eau.
- Dans un erlenmeyer, introduire une masse m d'hydrogénocarbonate de sodium solide.
- Préparer une autre éprouvette graduée avec un volume V d'acide chlorhydrique concentré (concentration en masse d'ions H_3O^+ : $19\ g \cdot L^{-1}$) et ajouter quelques gouttes de BBT (indicateur coloré).
- Verser l'acide dans l'erlenmeyer et le fermer rapidement avec un bouchon muni d'une tubulure de dégagement permettant de recueillir le gaz formé dans l'éprouvette graduée (figure ci-dessous).
- Attendre l'arrêt du dégagement gazeux, observer le contenu de l'erlenmeyer et noter la valeur du volume de gaz recueilli.



DOC 1 Les mélanges étudiés

Mélange	1	2	3
Hydrogénocarbonate de sodium	1,0 g	1,0 g	1,0 g
Acide chlorhydrique	5 mL	20 mL	30 mL

DOC 2 Les couleurs du BBT

Le bleu de bromothymol (BBT) est un indicateur de présence des ions oxonium H_3O^+ (aq). Il prend une teinte jaune en leur présence et bleue en leur absence.

DOC 3 La transformation chimique

L'hydrogénocarbonate de sodium solide $NaHCO_3$ (s) réagit avec les ions oxonium H_3O^+ (aq) contenus dans l'acide chlorhydrique selon l'équation :

$$NaHCO_3\,(s) + H_3O^+\,(aq) \rightarrow CO_2\,(g) + 2\,H_2O\,(\ell) + Na^+\,(aq)$$

Cette équation montre que lorsqu'une mole de $NaHCO_3$ (s) disparaît avec une mole de H_3O^+ (aq), alors il se forme une mole de CO_2 (g), deux moles de H_2O (ℓ) et une mole de Na^+ (aq).

EXPÉRIENCE ET EXPLOITATION

1 Mettre en œuvre très soigneusement le protocole expérimental afin d'étudier successivement l'évolution des trois mélanges proposés dans le **document 1**.

2 À partir des observations effectuées durant la manipulation, recopier et compléter le tableau suivant :

Mélange	1	2	3
Couleur de la solution dans l'état initial			
Couleur de la solution dans l'état final			
Reste-t-il du solide dans l'état final ?			
Volume de gaz formé dans l'état final			

3 D'après vos observations, quel est le réactif limitant dans chaque mélange ? Justifier à partir du tableau.

4 Expliquer pourquoi le volume de gaz formé est le même dans les mélanges 2 et 3.

5 Déterminer les quantités de matière de $NaHCO_3$ (s) et de H_3O^+ (aq) présentes initialement dans chaque mélange.

Données :
$m_C = 2{,}00 \times 10^{-23}\ g$. $m_O = 2{,}67 \times 10^{-23}\ g$.
$m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}\ g$. $m_{Na} = 3{,}82 \times 10^{-23}\ g$.
Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{-23}\ mol^{-1}$.

6 Montrer que ces quantités sont cohérentes avec la réponse à la question **3**.

CONCLUSION

7 Que « limite » le réactif limitant ? Expliquer.

Je réussis si...

- **Je mets en œuvre le protocole en respectant les règles de sécurité.**
- **Je sais déterminer quel est le réactif limitant dans la réaction de $NaHCO_3$ (s) avec les ions H_3O^+ (aq) et expliquer son rôle.**

TP

COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité
AN/RAI Justifier un protocole

Synthèse de l'arôme de jasmin

L'huile essentielle de jasmin (utilisée dans les parfums) contient de l'acétate de benzyle, principale espèce chimique responsable de son odeur. Comment synthétiser cette espèce chimique au laboratoire ?

DOC 1 Le jasmin

Les parfums naturels doivent leur délicatesse à un mélange complexe d'un grand nombre de substances. Par exemple, l'arôme du jasmin est dû à la combinaison de 250 espèces chimiques odorantes. À l'inverse, les parfums artificiels, moins coûteux, contiennent souvent quelques espèces chimiques seulement, parfois même une seule. Les fleurs du jasmin se ramassent à la main : il faut environ 150 heures à une personne pour cueillir 1 million de fleurs. Ce million de fleurs ne permet d'obtenir que 100 g d'huile essentielle de jasmin, composée d'environ 20 % d'acétate de benzyle, l'espèce chimique que nous allons synthétiser.



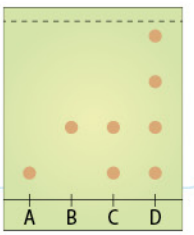
PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- Mettre des gants et des lunettes de protection.
- Se placer sous la hotte aspirante et verser, dans un ballon, 15 mL d'acide acétique, 12 mL d'alcool benzylique, quelques gouttes d'acide sulfurique concentré, puis ajouter quelques grains de pierre ponce.
- Réaliser un montage à reflux (FICHE PRATIQUE ➥ p. 309).
- Chauffer à ébullition douce pendant 30 min.
- Laisser refroidir le mélange réactionnel.
- Dans un bécher, introduire environ 50 mL d'une solution saturée d'eau salée. Y ajouter le contenu du ballon, puis mélanger à l'aide d'une baguette de verre.
- Retirer les grains de pierre ponce, puis transvaser ce mélange dans une ampoule à décanter. Boucher, agiter, retirer le bouchon et laisser décanter.
- Dans un bécher, récupérer la phase contenant l'espèce chimique synthétisée.

DOC 2 Identification par CCM de l'espèce chimique synthétisée

Dépôts :
- alcool benzylique pur (A) ;
- acétate de benzyle pur (B) ;
- phase liquide récupérée en fin de synthèse (C) ;
- huile essentielle naturelle de jasmin (D).

Chromatogramme obtenu :



DOC 3 Tableau de données

	Alcool benzylique	Acide acétique	Acétate de benzyle	Eau salée
Solubilité dans l'eau	faible	totale	faible	
Solubilité dans l'eau salée	faible	totale	nulle	
Masse volumique ($g \cdot cm^{-3}$)	1,04	1,05	1,06	1,24

DOC 4 Réaction chimique de la synthèse

Cette réaction peut s'écrire :

alcool benzylique + acide acétique → acétate de benzyle + eau

EXPÉRIENCE ET EXPLOITATION

1 **a.** Mettre en œuvre le protocole.
b. Dans un dictionnaire, on trouve la définition du mot *reflux* : « mouvement en arrière qui succède à un mouvement en avant ». Expliquer le nom du « montage à reflux » utilisé pour la synthèse.
c. Pourquoi chauffe-t-on le milieu réactionnel ?
d. Pourquoi l'eau salée permet-elle d'extraire l'acétate de benzyle du mélange réactionnel ?

2 Représenter l'ampoule à décanter et détailler la composition des différentes phases.

3 **a.** La phase liquide récupérée à la fin de la synthèse est-elle pure ?
b. A-t-on synthétisé l'acétate de benzyle ?
c. A-t-on synthétisé de l'huile essentielle de jasmin ?

CONCLUSION

4 Pourquoi cherche-t-on à synthétiser l'acétate de benzyle alors qu'il existe dans la nature ?

Je réussis si...

- **Je mets en œuvre le protocole de la synthèse en respectant les règles de sécurité.**
- **J'interprète correctement le chromatogramme obtenu.**

1 Transformations nucléaires

Une **transformation nucléaire** est une transformation de la matière au cours de laquelle les noyaux des atomes sont modifiés (FIG. 1).

Modéliser une transformation nucléaire

Les noyaux des atomes n'ont pas tous la même durée d'existence. Elle peut être quasi illimitée pour certains, et de quelques microsecondes seulement pour d'autres. Plus un noyau est stable, plus sa durée d'existence est longue.

Au cours d'une transformation nucléaire, un ou plusieurs noyaux « père » instables se transforment en un ou plusieurs noyaux « fils » plus stables.

L'équation de transformation s'écrit en plaçant les noyaux « père » à gauche et les noyaux « fils » à droite d'une flèche qui donne le sens de la transformation. Souvent, il y a aussi de petites particules qui sont émises ou captées.

EXEMPLE

Dans le réacteur expérimental ITER, la réaction nucléaire de fusion (FIG. 2) du deutérium $^{2}_{1}H$ et du tritium $^{3}_{1}H$ s'écrit :

$$\underbrace{^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H}_{\text{noyaux « père »}} \rightarrow \underbrace{^{4}_{2}He}_{\text{noyau « fils »}} + ^{1}_{0}n \quad \leftarrow \text{particule émise (neutron)}$$

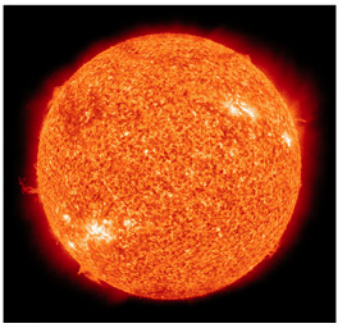


FIG. 1 Dans le Soleil, le noyau d'hydrogène $^{1}_{1}H$ se transforme en noyau d'hélium $^{4}_{2}He$. Cette transformation est spontanée, elle se produit d'elle-même.



FIG. 2 Fusion du deutérium $^{2}_{1}H$ et du tritium $^{3}_{1}H$.

2 Transformations physiques

Une **transformation physique** est une transformation au cours de laquelle la matière change d'état, sans création de nouvelles espèces chimiques. Au cours de cette transformation, le nombre et la nature des espèces chimiques ne varient pas, la masse reste donc **constante**.

EXEMPLES

- Lorsqu'on met un morceau de sucre dans le café, ou dans de l'eau, le sucre passe de l'état solide à l'état dissous. Initialement, les molécules de saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$ (s) (sucre) sont liées entre elles, et bien rangées les unes contre les autres. Après dissolution, elles se sont séparées et sont dispersées dans l'eau. La dissolution fait intervenir deux espèces chimiques : un soluté (ici, le sucre) et un solvant (ici, l'eau) (FIG. 3).
- Lorsqu'on sort un glaçon du congélateur, l'eau passe de l'état solide à l'état liquide. Les molécules d'eau, initialement liées et bien rangées, se retrouvent séparées et désordonnées. La fusion ne fait intervenir qu'une seule espèce chimique (ici, l'eau) (FIG. 3).

Modéliser une transformation physique

L'équation de transformation s'écrit en plaçant les espèces chimiques à « l'état initial » à gauche et celles à « l'état final » à droite d'une flèche qui donne le sens de la transformation.

EXEMPLE

La dissolution du saccharose dans l'eau s'écrit :

$$C_{12}H_{22}O_{11}\,(s) \rightarrow C_{12}H_{22}O_{11}\,(aq)$$

POUR VISUALISER



Une vidéo qui illustre le comportement microscopique des molécules d'eau lors d'un changement d'état (solide, liquide, gaz).

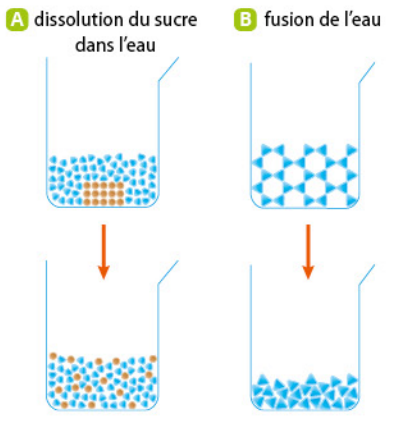


FIG. 3 Comportement microscopique des particules de matière.

3 Transformations chimiques

Au cours d'une **transformation chimique** des espèces chimiques disparaissent, et d'autres apparaissent. La masse reste **constante**.

La nature et la quantité de matière des espèces chimiques présentes sont modifiées. Ces modifications sont souvent observables et permettent de modéliser la transformation par une réaction chimique.

EXEMPLE

On verse du vinaigre sur la résistance entartrée d'une bouilloire (FIG. 4). L'apparition des bulles et la disparition du tartre sont des observations qui permettent de modéliser la transformation chimique qui se produit.

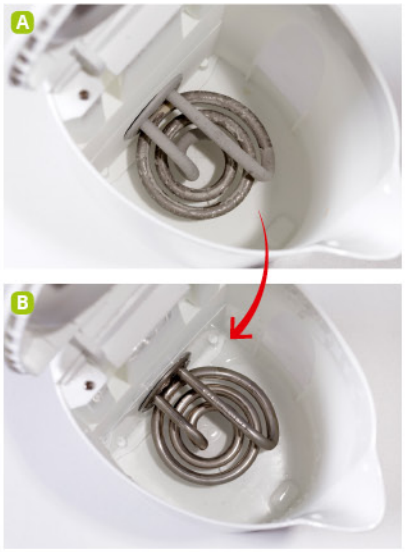


FIG. 4 Détartrage d'une bouilloire avec du vinaigre blanc. Le vinaigre réagit avec le tartre et provoque la formation de bulles de dioxyde de carbone.

Modéliser une transformation chimique

Une espèce chimique dont la quantité de matière **diminue** au cours de la transformation chimique est un **réactif**.
Une espèce chimique dont la quantité de matière **augmente** au cours de la transformation chimique est un **produit**.
Une espèce chimique dont la quantité de matière **n'évolue pas** au cours de la transformation est une **espèce chimique spectatrice**.

On écrit les réactifs à gauche, et les produits à droite, d'une flèche qui donne le sens de la transformation. On n'écrit pas les espèces chimiques spectatrices.

EXEMPLE

Au cours de la combustion du méthane dans l'air (mélange de dioxygène et de diazote), il se forme du dioxyde de carbone et de l'eau (FIG. 5).

État initial	transformation chimique (FIG. 6)	État final
Méthane, 2 mol Dioxygène, 6 mol Diazote, 24 mol	→	Méthane, 0 mol Dioxygène, 2 mol Eau, 4 mol Dioxyde de carbone, 2 mol Diazote, 24 mol

La transformation chimique est modélisée par la réaction :

méthane + dioxygène → dioxyde de carbone + eau



FIG. 5 Combustion du méthane dans la cuisine.

Réactifs	Ce sont le *méthane* et le *dioxygène*, car leurs quantités de matière diminuent.
Produits	Ce sont le *dioxyde de carbone* et l'*eau*, car leurs quantités de matière augmentent.
Espèce spectatrice	C'est le *diazote*, car sa quantité de matière n'évolue pas.

FIG. 6 Analyse de la combustion du méthane.

Écriture de l'équation chimique

Au cours d'une transformation chimique, il y a **conservation des éléments**, c'est-à-dire que le nombre d'atomes de même nature doit être identique avant et après la transformation. Il en va de même pour la **charge électrique**.

L'**équation chimique** est l'écriture symbolique de la réaction chimique.
Cette écriture obéit à des règles qu'il faut scrupuleusement respecter :
– Les réactifs et les produits sont représentés par leurs **formules brutes**, qui ne peuvent en aucun cas être modifiées.
– Il faut « ajuster » l'équation en plaçant, devant les formules des réactifs et des produits, des **nombres stœchiométriques** de façon à respecter la conservation des éléments et des charges (FIG. 7). Le nombre 1 n'est pas écrit.

EXEMPLES FICHE MÉTHODE ➥ p. 325

- L'équation chimique ajustée de la réaction de combustion complète du méthane dans le dioxygène est : $CH_4\,(g) + 2\,O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + 2\,H_2O\,(\ell)$
- Pour la corrosion du fer par un acide : $Fe\,(s) + 2\,H^+\,(aq) \rightarrow Fe^{2+}\,(aq) + H_2\,(g)$

Signification des nombres stœchiométriques

Au niveau macroscopique, l'équation chimique indique les proportions (en mole) dans lesquelles les réactifs sont consommés et les produits se forment au cours de la transformation.

EXEMPLE

Pour l'équation $CH_4\,(g) + 2\,O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + 2\,H_2O\,(\ell)$, la réaction d'une mole de CH_4 (g) nécessite exactement deux moles de O_2 (g). Il se forme alors une mole de CO_2 (g) et deux moles d'H_2O (ℓ).

Réactif limitant

Au cours d'une transformation chimique, les réactifs disparaissent et les produits apparaissent. La transformation cesse lorsqu'au moins un des réactifs a été totalement consommé, c'est le **réactif limitant**.

Le réactif limitant est **totalement consommé** à la fin de la transformation.

Les chimistes font souvent un bilan de matière. Il s'agit de prévoir les quantités de matière des réactifs et des produits lorsque la transformation est terminée. Pour cela, il faut savoir déterminer quel est le **réactif limitant**, à partir des quantités de réactifs mises en jeu.

EXEMPLE

On dispose de 3 moles de CH_4 (g) et 4 moles de O_2 (g) pour la combustion du méthane $CH_4\,(g) + 2\,O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + 2\,H_2O\,(\ell)$. Or pour une mole de CH_4 (g) la réaction nécessite 2 moles de O_2 (g). On en déduit, par proportionnalité, que pour 3 moles de CH_4 (g) la réaction nécessite $3 \times 2 = 6$ moles de O_2 (g). Comme on dispose seulement de 4 moles de O_2 (g), on en conclut que O_2 (g) est le réactif limitant.

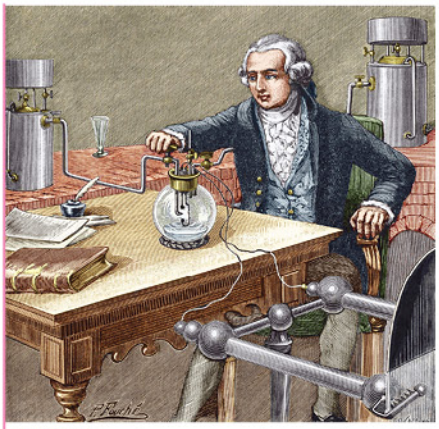


FIG. 7 Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794). Ce scientifique français montra que, malgré les changements observés, la masse totale des réactifs et des produits reste identique du début à la fin d'une transformation chimique. On lui attribue la célèbre phrase *« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme »*.

4 Synthèse d'une espèce chimique

Synthétiser une espèce chimique consiste à fabriquer une espèce chimique, à partir d'autres espèces, grâce à une transformation chimique.

De très nombreuses espèces chimiques présentes dans la nature sont utiles dans notre vie quotidienne (médicaments, colorants...). On a appris à les extraire de la nature, mais pour des raisons principalement économiques et écologiques, on préfère souvent les synthétiser au laboratoire.

Pour réaliser une synthèse chimique au laboratoire, il faut suivre un protocole opératoire, sorte de « recette » de la synthèse, qu'il faut scrupuleusement respecter. Bien souvent, les montages réactionnels intègrent un appareil de chauffage qui permet une réaction plus rapide. Le **chauffage à reflux** présente de plus l'avantage d'éviter les pertes de matière. Néanmoins, son utilisation nécessite de respecter des conditions de sécurité.

L'identification de la molécule synthétisée peut se faire par la mesure de constantes physiques (masse volumique, température de fusion...) ou par **chromatographie sur couche mince** (CCM) par exemple (FIG. 8).

Il n'y a **aucune différence** entre l'espèce chimique synthétisée au laboratoire et l'espèce chimique présente dans la nature.

POUR VISUALISER



Une animation qui permet de visualiser le principe d'un chauffage à reflux (FICHE PRATIQUE ➥ p. 309).



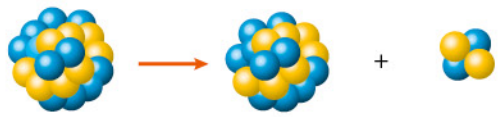
FIG. 8 Chromatogramme montrant une espèce chimique synthétisée (A) et une espèce identique, présente dans la nature (B).

1 Transformations nucléaires

Au cours d'une **transformation nucléaire**, les noyaux des atomes sont modifiés.

Par exemple, la désintégration alpha du noyau de radon $^{223}_{86}Rn$ peut se modéliser par la réaction nucléaire :

$$^{223}_{86}Rn \longrightarrow {}^{219}_{84}Po + {}^{4}_{2}He$$



noyau père — noyau fils — particule alpha

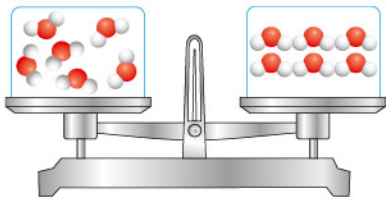
2 Transformations physiques

Au cours d'une **transformation physique**, l'état de la matière est modifié mais il n'y a pas création de nouvelles espèces chimiques.

Par exemple, l'eau placée au congélateur à l'état liquide se transforme en eau à l'état solide.

Cette transformation physique, appelée solidification, peut se modéliser par la réaction :

$$H_2O\ (\ell) \rightarrow H_2O\ (s)$$



Au cours d'une telle transformation, les espèces chimiques ne sont pas modifiées et la masse est conservée.

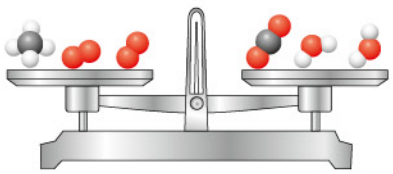
3 Transformations chimiques

Au cours d'une **transformation chimique**, il y a disparition d'espèces chimiques (les **réactifs**), et apparition de nouvelles espèces chimiques (les **produits**). Les quantités de matière des réactifs et des produits sont modifiées.

Par exemple, la combustion du méthane peut se modéliser par la **réaction chimique** dont **l'équation ajustée** s'écrit :

réactifs : carbone + dioxygène → produits : dioxyde de carbone + eau

$$CH_4 + 2\,O_2 \rightarrow CO_2 + 2\,H_2O$$

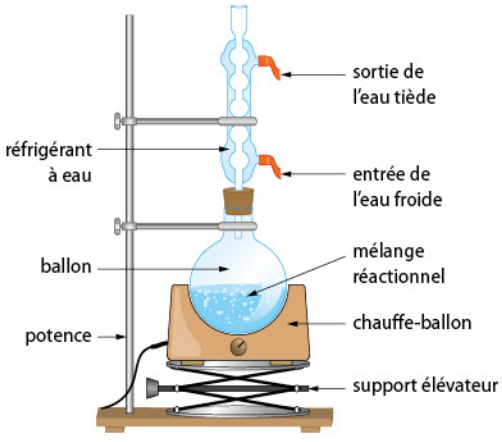


Au cours d'une telle transformation, la masse est conservée. Les atomes (et les charges électriques s'il y en a) sont réarrangés différemment, mais leur nombre est conservé. C'est pourquoi l'équation de la réaction chimique doit être ajustée avec des **nombres stœchiométriques**. Ils donnent les proportions dans lesquelles les réactifs disparaissent et les produits apparaissent.

La transformation cesse lorsqu'au moins un des réactifs est totalement consommé : c'est le **réactif limitant**.

4 Synthèse d'une espèce chimique

Pour différentes raisons (écologique, économique...), on fabrique parfois au laboratoire une espèce chimique déjà présente dans la nature. On réalise ainsi la **synthèse d'une espèce chimique**. Pour effectuer cette synthèse, on utilise souvent un **montage à reflux**.



Pour vérifier que l'espèce chimique synthétisée est bien identique à l'espèce chimique présente dans la nature, on peut réaliser une **chromatographie sur couche mince** (CCM).

Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

1 Transformations nucléaires

	A	B	C
1 Au cours d'une transformation nucléaire :	l'état de la matière est modifié.	les noyaux des atomes sont modifiés.	de nouvelles molécules se forment.

2 Transformations physiques

	A	B	C
2 Au cours d'une transformation physique :	de nouvelles molécules se forment.	la masse se conserve.	l'état de la matière est modifié.
3 L'équation : $C_6H_{12}O_6\,(s) \rightarrow C_6H_{12}O_6\,(aq)$ correspond à :	une dissolution.	une fusion.	une transformation physique.

3 Transformations chimiques

	A	B	C
4 Au cours d'une transformation chimique :	des produits sont consommés.	de nouvelles espèces chimiques apparaissent.	la quantité de matière d'un réactif diminue.
5 Dans l'équation : $3\,Fe + x\,O_2 \rightarrow Fe_3O_4$ le nombre x vaut :	0	2	4
6 Les nombres stœchiométriques :	permettent d'ajuster l'équation chimique.	donnent les proportions dans lesquelles les réactifs sont consommés.	donnent le nombre d'atomes dans chaque molécule.
7 La quantité de matière du réactif limitant :	est nulle à la fin de la transformation.	augmente au cours de la transformation.	diminue au cours de la transformation.
8 Soit l'équation : $O_2 + 2\,H_2 \rightarrow 2\,H_2O$ Si on mélange :	2 moles de O_2 et 6 moles de H_2, alors O_2 est limitant.	3 moles de O_2 et 4 moles de H_2, alors H_2 est limitant.	5 moles de O_2 et 5 moles de H_2, alors H_2 et O_2 sont limitants.

4 Synthèse d'une espèce chimique

	A	B	C
9 La synthèse d'une molécule présente dans la nature conduit :	à une molécule différente.	à une molécule plus lourde.	à une molécule identique.
10 Une chromatographie sur couche mince permet :	d'identifier une espèce chimique.	de séparer les constituants d'un mélange.	la synthèse d'une espèce chimique.

Acquérir les notions

1 Transformations nucléaires

Notions du programme

Écriture d'une réaction nucléaire

➥ EXERCICES 11 et 12

Ce qu'on attend de moi

- Savoir reconnaître une transformation nucléaire.
- Reconnaître les noyaux pères et fils.

11 Transformations nucléaires

Recopier les équations correspondant aux transformations nucléaires dans les questions ci-dessous. Dans chaque équation, repérer et entourer éventuellement de quatre couleurs différentes : les noyaux pères et fils, les particules captées et émises.

1. Le noyau de polonium $^{210}_{84}Po$ est un noyau instable. Il se désintègre spontanément en formant un noyau de plomb $^{206}_{82}Pb$ et en émettant une particule alpha $^{4}_{2}He$ selon l'équation : $^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$.

2. Dans une centrale nucléaire, un noyau d'uranium $^{235}_{92}U$ capte un neutron $^{1}_{0}n$. La fission qui se produit alors conduit à la formation d'un noyau de strontium $^{94}_{38}Sr$, d'un noyau de xénon $^{139}_{54}Xe$, et de trois neutrons :

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{94}_{38}Sr + {}^{139}_{54}Xe + 3\ {}^{1}_{0}n$$

12 Des équations fausses

Parmi les équations suivantes, identifier celles qui sont fausses. Justifier la réponse.

1. $^{238}_{92}U \rightarrow {}^{238}_{92}U + {}^{4}_{2}He$
2. $^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{93}_{36}Kr + {}^{140}_{56}Ba + 3\ {}^{1}_{0}n$
3. $^{13}_{6}C + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{13}_{6}C + {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$

⚠ Attention erreurs

2 Transformations physiques

Notions du programme

Modélisation microscopique d'un changement d'état

Écriture d'une transformation physique

➥ EXERCICES 13 à 16

Ce qu'on attend de moi

- Savoir reconnaître une transformation physique.
- Écrire l'équation d'un changement d'état.
- Distinguer fusion et dissolution.
- Citer des exemples de changements d'état physique de la vie courante et dans l'environnement.

13 Fusion ou dissolution ?

Corriger, si nécessaire, les affirmations données.

a. On ajoute un morceau de sucre dans le café, et on agite. Le sucre fond.

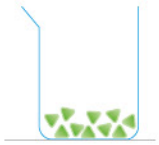
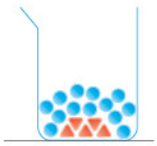
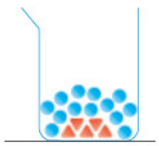
b. La fusion de l'or consiste à faire passer l'or de l'état solide à l'état liquide.

c. Du sel est versé dans de l'eau, et l'on agite. Il s'agit d'une dissolution.

d. Pour préparer un gâteau, on chauffe des morceaux de chocolat dans une casserole. Le chocolat se dissout.

14 Représentations microscopiques

Recopier et compléter le tableau en représentant le bécher et son contenu au cours des transformations suivantes.

	Avant	Après
Fusion d'un solide		
Dissolution d'un solide soluble dans un solvant		
Dissolution d'un solide insoluble dans un solvant		

15 Un peu d'imagination

Citer trois exemples de changement d'état physique observables fréquemment dans notre quotidien.

16 Écriture d'une équation



Écrire les équations correspondant aux transformations physiques suivantes.

1. En soufflant sur une vitre froide, de la buée se forme.

2. Un morceau de sucre $C_{12}H_{22}O_{11}$ se dissout dans de l'eau.

3. L'acide oléique $C_{18}H_{34}O_2$ est le constituant majoritaire de l'huile d'olive. Il se solidifie à 13 °C.

4. En sortant d'un extincteur, le dioxyde de carbone CO_2 forme de la « neige carbonique » en passant directement de l'état gazeux à l'état solide.



3 Transformations chimiques

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Modélisation d'une transformation par une réaction chimique Écriture symbolique d'une équation chimique ➥ EXERCICES 17 à 24	• Écrire une équation de réaction. • Identifier les réactifs, les produits et les espèces spectatrices. • Utiliser la conservation des éléments pour ajuster une équation.
Stœchiométrie et réactif limitant ➥ EXERCICES 25 à 29	• Utiliser la proportionnalité. • Identifier le réactif limitant.

17 Écriture d'une équation

Écrire les équations correspondant aux transformations chimiques suivantes, et les ajuster correctement.

1. La combustion du monoxyde de carbone CO dans le dioxygène O_2 conduit à la formation de CO_2.

2. Dans certaines conditions, le diazote N_2 réagit avec le dihydrogène H_2 pour former de l'ammoniac NH_3.

18 Réactifs, produits ou spectateurs

On décrit les états initial et final au cours de deux transformations chimiques.

Transformation A :

État initial	État final
• Carbone : $n(C) = 2$ mol • Dioxygène : $n(O_2) = 0{,}4$ mol • Diazote : $n(N_2) = 1{,}6$ mol	• Carbone : $n(C) = 1{,}6$ mol • Dioxygène : $n(O_2) = 0$ mol • Diazote : $n(N_2) = 1{,}6$ mol • Dioxyde de carbone : $n(CO_2) = 0{,}4$ mol

Transformation B :

État initial	État final
• Ions cuivre (II) : $n(Cu^{2+}) = 2$ mol • Zinc métal : $n(Zn) = 2$ mol • Ions sulfate : $n(SO_4^{2-}) = 2$ mol • Eau : H_2O	• Cuivre métal : $n(Cu) = 2$ mol • Ions zinc (II) : $n(Zn^{2+}) = 2$ mol • Ions sulfate : $n(SO_4^{2-}) = 2$ mol • Eau : H_2O • Zinc métal et ions cuivre (II) : $n = 0$ mol

1. Pour chaque transformation, identifier les réactifs, les produits et, s'il y a lieu, les espèces spectatrices.

2. Écrire l'équation correspondant à chaque transformation, et l'ajuster.

19 Des équations mal ajustées

Parmi les équations suivantes, certaines sont fausses. Les identifier et les corriger.

1. $2\,C + O_2 \rightarrow 2\,CO$
2. $C_2H_4 + 2\,O_2 \rightarrow 2\,CO_2 + 2\,H_2O$
3. $Cu^{2+} + Ag \rightarrow Cu + Ag^+$

20 Ajuster des équations chimiques

Ajuster les équations en déterminant la valeur de x.

a. $CH_4 + 2\,Cl_2 \rightarrow C + x\,HCl$
b. $C_2H_6O + x\,O_2 \rightarrow 2\,CO_2 + 3\,H_2O$
c. $Zn + x\,H^+ \rightarrow Zn^{2+} + H_2$

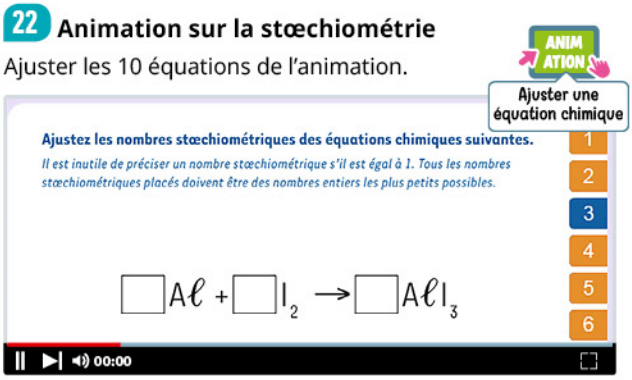
21 Déterminer les nombres stœchiométriques

Ajuster les équations suivantes :

a. ... N_2 (g) + ... H_2 (g) → ... N_2H_4 (g)
b. ... C_2H_6 (g) ... O_2 (g) → ... H_2O (ℓ) + ... CO_2 (g)
c. ... CuO (s) + ... H^+ (aq) → ... Cu^{2+} (aq) + ... H_2O (ℓ)
d. ... H_2O (ℓ) + ... CO_2 (g) → $C_{12}H_{22}O_{11}$ (s) + ... O_2 (g)

22 Animation sur la stœchiométrie

Ajuster les 10 équations de l'animation.



23 Combustion de l'essence

Le constituant principal de l'essence est l'isooctane, de formule C_8H_{18}. Dans le moteur, l'isooctane mélangé à l'air est soumis à une étincelle. Il se produit diverses transformations :
– une combustion complète,
... C_8H_{18} (ℓ) + ... O_2 (g) → ... CO_2 (g) + ... H_2O (ℓ)
– des combustions incomplètes de l'isooctane,
... C_8H_{18} (ℓ) + ... O_2 (g) → ... C (s) + ... H_2O (ℓ)
... C_8H_{18} (ℓ) + ... O_2 (g) → ... CO (g) + ... H_2O (ℓ)
Il se produit par ailleurs une oxydation du diazote de l'air :
... N_2 (g) + ... O_2 (g) → ... NO (g)

Ajuster les équations se produisant lors de la combustion de l'essence.

24 Airbag for avalanche



An airbag can save your life during an avalanche. It is a pillow which swells very quickly on your back during a fall in order to stay above the snow. If you fall, a spark activates the thermal decomposition of sodium azide solid NaN_3 (s) which forms sodium metal Na (s) and liberates nitrogen gas N_2 (g).

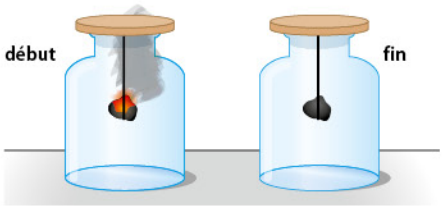
1. Identify the reactant(s) and the product(s) of the chemical process.

2. Write the balanced chemical equation by adjusting the stoichiometric numbers.

3. Why does the airbag swell during the fall?

25 Combustion d'un morceau de charbon

Un morceau de charbon incandescent C (s) est introduit dans un flacon contenant du dioxygène O_2 (g). On observe alors une vive combustion et un dégagement gazeux. Lorsque la transformation cesse, on constate qu'il reste du charbon. On introduit alors de l'eau de chaux dans le flacon, elle se trouble instantanément.



1. Quels sont les réactifs et les produits de cette transformation ?
2. Écrire l'équation correspondant à la transformation chimique, et l'ajuster.
3. D'après les observations expérimentales, quel est le réactif limitant ?

26 Réactif limitant et aspect microscopique

La combustion du dihydrogène H_2 s'écrit :

Équation	$2\,H_2$	+	O_2	→	$2\,H_2O$
Aspect microscopique					

On réalise les trois expériences ci-dessous :

	État initial		État final
	H_2	O_2	H_2, O_2, H_2O
Exp 1			
Exp 2			
Exp 3			

Pour chaque expérience, compléter l'état final en représentant les molécules présentes et identifier le réactif limitant.

POUR VISUALISER



27 Corrosion du fer

La corrosion du fer Fe par un acide s'écrit :

$$Fe + 2\,H^+ \rightarrow Fe^{2+} + H_2$$

On réalise trois expériences au cours desquelles on modifie les quantités initiales de réactifs.

Réactif	Fe	H^+
Expérience 1	2 mol	6 mol
Expérience 2	3 mol	4 mol
Expérience 3	5 mol	10 mol

Pour chaque expérience, identifier le réactif limitant. Justifier la réponse.

28 Déterminer le réactif limitant

Au cours des transformations ci-dessous, les quantités initiales des réactifs A et B sont égales à 3 moles chacune.

	Réactif A		Réactif B		Produit(s)
a.	$2\,Mg$	+	O_2	→	$2\,MgO$
b.	Al^{3+}	+	$3\,Cl^-$	→	$AlCl_3$
c.	H_2	+	Cl_2	→	$2\,HCl$

D'après les quantités initiales des réactifs A et B, déterminer le réactif limitant dans chaque transformation.

29 Proportions stœchiométriques

Au cours des transformations ci-dessous, la quantité initiale du réactif A est égale à 8 mol.

	Réactif A		Réactif B		Produit(s)
a.	Cl_2	+	$2\,HI$	→	$2\,HCl + I_2$
b.	$4\,Na$	+	O_2	→	$2\,Na_2O$
c.	$2\,Al$	+	$3\,H_2O$	→	$Al_2O_3 + 3\,H_2$

Déterminer la quantité initiale du réactif B qu'il faut utiliser, pour que les réactifs soient dans les proportions stœchiométriques (les deux réactifs sont alors limitants).

4 Synthèse d'une espèce chimique

Notions du programme

Synthèse d'une espèce chimique présente dans la nature

➥ EXERCICES 30 et 31

Ce qu'on attend de moi

- Montrer qu'une espèce synthétisée peut être identique à l'espèce naturelle.
- Légender un montage à reflux.
- Interpréter une CCM.

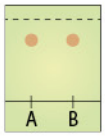
30 Savoir utiliser un montage à reflux

1. Quel est le rôle de la pierre ponce dans le ballon ?
2. Le support mis sous le chauffe-ballon doit être en position haute lors du chauffage. Pourquoi ?
3. Pourquoi fixe-t-on le ballon à une potence ?
4. Doit-on fermer l'extrémité supérieure du réfrigérant ?

31 Synthèse chimique

En TP, des élèves utilisent un montage à reflux pour réaliser la synthèse de l'arôme de banane.

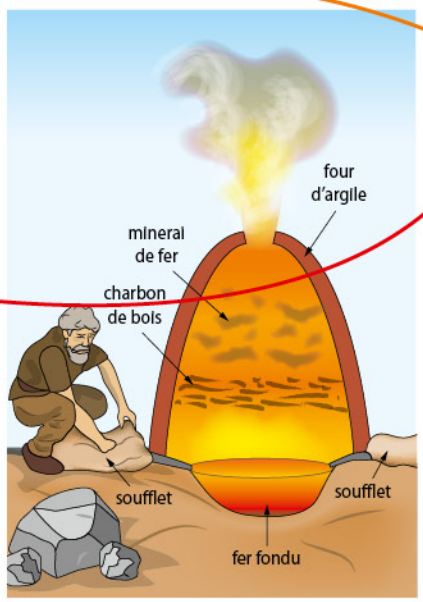
1. Faire un schéma correctement légendé du montage de chauffage à reflux.
2. Les élèves font ensuite une chromatographie pour analyser l'espèce chimique obtenue. Les 2 dépôts réalisés sont :
A : arôme obtenu par la synthèse
B : arôme de banane extrait du fruit
L'arôme de banane obtenu par synthèse est-il identique à celui obtenu par extraction ? Justifier la réponse.



Exercice résolu EN AUTONOMIE

32 Obtention du fer à partir d'un minerai par la méthode gauloise

Le minerai de fer est une roche qui contient de l'oxyde de fer Fe_3O_4 (s). Dans un four à environ 1 000 °C, un Gaulois mélange du minerai et du charbon. Il se produit alors une transformation au cours de laquelle le minerai réagit avec du monoxyde de carbone CO (g). Il se forme du dioxyde de carbone CO_2 (g) et du fer liquide Fe (ℓ). Le four contient 15 mol de Fe_3O_4 (s) et 40 mol de CO (g).



1. **Déterminer** s'il s'agit d'une transformation physique, chimique ou nucléaire.
2. **Ajuster** l'équation en trouvant la valeur du nombre *x* qui convient :

$$Fe_3O_4\,(s) + x\,CO\,(g) \rightarrow 4\,CO_2\,(g) + 3\,Fe\,(\ell)$$

3. **Déterminer** quel est le réactif limitant.
4. À la sortie du four, le fer se refroidit et se solidifie. Écrire l'équation correspondant à cette transformation.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- Plusieurs **espèces chimiques** sont impliquées dans la transformation.
- Ces **quantités de matière** réagissent dans les proportions données par les nombres stœchiométriques.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **Ajuster** une équation chimique : trouver les nombres stœchiométriques qui permettent la conservation des éléments.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. D'après la description de la transformation, il y a des espèces chimiques qui disparaissent (Fe_3O_4 (s) et CO (g)) et d'autres qui se forment (CO_2 (g) et Fe (ℓ)). Les espèces chimiques ont été modifiées, mais pas les atomes, il s'agit donc d'une **transformation chimique**.

2. Pour respecter la conservation des éléments C et O, il faut que $x = 4$.
L'équation est : $Fe_3O_4\,(s) + 4\,CO\,(g) \rightarrow 4\,CO_2\,(g) + 3\,Fe\,(\ell)$

3. D'après les nombres stœchiométriques, la réaction d'une mole de Fe_3O_4 (s) nécessite 4 moles de CO (g). On en déduit, par proportionnalité, que la réaction de 15 mol de Fe_3O_4 (s) nécessite $4 \times 15 = 60$ mol de CO (g). Or on dispose seulement de 40 mol de CO (g).
$40 < 60$, donc **CO (g) est le réactif limitant**.

4. D'après la description de la transformation, du fer liquide devient du fer solide. Il s'agit d'un changement d'état, c'est une transformation physique dont l'équation s'écrit : **Fe (ℓ) → Fe (s)**.

QUELQUES CONSEILS

2. Le nombre *x* doit permettre la conservation des éléments carbone et oxygène. Il doit y avoir autant d'atomes de C et O avant la réaction qu'après.

3. On raisonne à partir des nombres stœchiométriques et des quantités de matière de réactifs, en utilisant la proportionnalité.

4. Avant d'écrire l'équation, on détermine le type de transformation (physique, chimique ou nucléaire).

EXERCICE SIMILAIRE

33 Combustion de l'éthène

On réalise la combustion de 5 moles d'un hydrocarbure de formule C_2H_4 (g) dans un récipient en verre contenant 20 moles de dioxygène O_2 (g). Il se forme du dioxyde de carbone CO_2 (g) et de la vapeur d'eau H_2O (g) qui se liquéfie et forme de la buée sur les parois du récipient.

1. Déterminer s'il s'agit d'une transformation physique, chimique ou nucléaire.
2. Déterminer la valeur du nombre *x* qui permet d'ajuster l'équation de la transformation :

$$C_2H_4\,(g) + x\,O_2\,(g) \rightarrow 2\,CO_2\,(g) + 2\,H_2O\,(g)$$

3. Déterminer le réactif limitant.
4. Écrire l'équation correspondant à la liquéfaction de l'eau.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

34 Synthèse d'une espèce chimique

Le benzoate de sodium $C_7H_5O_2Na$ est un additif alimentaire utilisé par les industriels pour ses propriétés fongicides. En effet, même à faibles doses, il détruit les champignons parasites qui peuvent apparaître dans un aliment et le rendre dangereux pour la santé. Il peut être préparé au laboratoire par réaction entre le benzaldéhyde C_7H_6O et l'hydroxyde de sodium NaOH. L'équation de la réaction est :

$$2\,C_7H_6O + NaOH \rightarrow C_7H_5O_2Na + C_7H_8O$$

La synthèse est réalisée à partir d'une quantité $n_1 = 0{,}30$ mol de benzaldéhyde C_7H_6O et $n_2 = 0{,}30$ mol d'hydroxyde de sodium NaOH. Un chauffage à reflux est nécessaire.

1. Dessiner et légender le montage du chauffage à reflux.
2. **Expliquer** les intérêts de ce chauffage.
3. **Déterminer** si les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques.
4. Si non, **déterminer** alors le réactif limitant.



LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

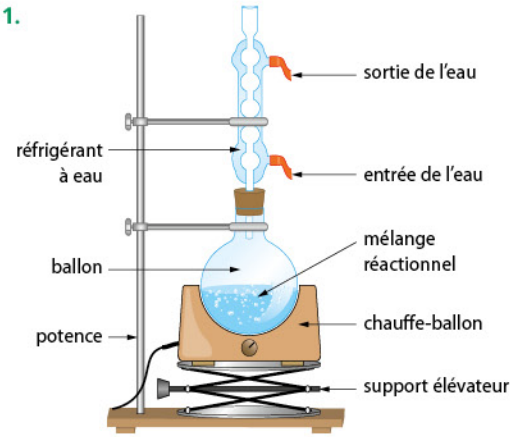
- Les **nombres stœchiométriques** de l'équation indiquent les proportions dans lesquelles les réactifs réagissent.
- Les **quantités de matière** des réactifs sont données.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Expliquer** : donner une justification à une affirmation.
- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1.



2. Le chauffage à reflux permet de chauffer le mélange réactionnel (pour accélérer la transformation chimique) sans pertes par évaporation, puisque les vapeurs se liquéfient dans le réfrigérant vertical et retombent dans le ballon.

3. D'après les nombres stœchiométriques, la réaction de 2 mol de C_7H_6O nécessite 1 mol de NaOH.

On en déduit, par proportionnalité, que la réaction de 0,30 mol de C_7H_6O nécessite 0,15 mol de NaOH

Or on dispose de 0,30 mol de NaOH, c'est plus que nécessaire : **les réactifs ne sont pas introduits dans les proportions stœchiométriques**.

4. D'après la question précédente, la quantité initiale de NaOH est supérieure à la quantité nécessaire, donc NaOH est le réactif en excès. On en déduit que **le réactif limitant est le benzaldéhyde C_7H_6O**.

QUELQUES CONSEILS

1. Faire un schéma suffisamment grand, et s'appliquer.
2. Il faut connaître le principe du chauffage à reflux (FICHE PRATIQUE ➥ p. 309).
3. On raisonne à partir des nombres stœchiométriques et des quantités de réactifs, en utilisant la proportionnalité.
4. Le réactif limitant est celui qui est totalement consommé à la fin de la réaction. L'autre réactif est « en excès ».

EXERCICE SIMILAIRE

35 Synthèse du méthanol

La synthèse du méthanol CH_4O peut être réalisée à partir du dioxyde de carbone CO_2 selon la réaction :

$$CO_2 + 3\,H_2 \rightarrow CH_4O + H_2O$$

La synthèse est réalisée à partir d'une quantité $n_1 = 0{,}20$ mol de CO_2 et $n_2 = 0{,}40$ mol de dihydrogène H_2.

1. Déterminer si les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques.
2. Si non, déterminer alors le réactif limitant.

Croiser les notions

36 Reconnaître une transformation à partir de sa description

Les transformations décrites ci-dessous sont-elles nucléaires, physiques ou chimiques ?

1. On remplit un bac à glaçons d'eau, et on le place au congélateur.

2. Dans une centrale électrique, l'uranium $^{235}_{92}U$ se transforme en barium $^{141}_{56}Ba$ et en krypton $^{92}_{36}Kr$.

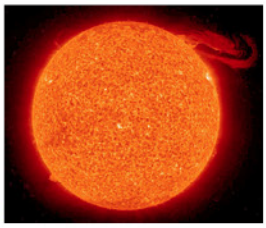
3. Dans une cuve à fermentation, le sucre du jus de raisin se transforme en alcool.

4. Au fond d'un verre, on verse du sirop de menthe, puis on ajoute de l'eau.

37 Des transformations quotidiennes

Les images ci-dessous correspondent-elles à une transformation nucléaire, physique ou chimique ?

A 

B 

C 

D 

38 Du mobilier en aluminium

Le mobilier de jardin est souvent réalisé en aluminium. Ce métal présente plusieurs avantages : il est solide, léger, et contrairement au fer, il n'est pas détruit par la formation de la rouille.



En effet, au contact du dioxygène O_2 (g), l'aluminium Al (s) se recouvre d'une fine couche d'alumine Al_2O_3 (s), étanche à l'air, qui le protège de la corrosion.

1. D'où provient le dioxygène qui réagit avec l'aluminium ?

2. Écrire l'équation correspondant à la formation de l'alumine, et l'ajuster.

3. Dans le cas d'une chaise en aluminium, sur la terrasse à l'extérieur d'une maison, dire, sans calcul, si un des réactifs est limitant.

4. Pourquoi l'alumine, qui se forme en surface, protège-t-elle l'aluminium d'une corrosion en profondeur ?

39 Réaction entre un acide et une base

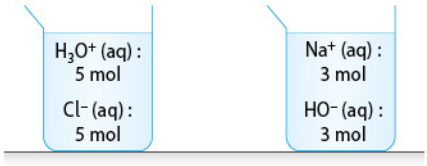
On mélange de l'acide chlorhydrique $(H_3O^+(aq) + Cl^-(aq))$ et une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium $(Na^+(aq) + HO^-(aq))$. Il se forme de l'eau H_2O (ℓ).

1. Une transformation chimique s'est-elle produite ? Justifier la réponse.

2. Quels sont les réactifs, les produits et les espèces spectatrices ?

3. Écrire l'équation ajustée correspondant à la transformation.

4. Avant le mélange, on donne les compositions de chaque solution :



D'après les quantités de matière initiales, quel est le réactif limitant ?

40 L'hydrogène, carburant du futur

Dans le réservoir de ce bus « zéro émission », le dihydrogène H_2 est stocké à l'état liquide. Il est vaporisé en entrant dans la pile à hydrogène qui sert de moteur. Il réagit alors avec le dioxygène de l'air O_2 pour former de l'eau H_2O, seul rejet du pot d'échappement.

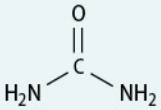


1. Écrire l'équation correspondant à la vaporisation du dihydrogène à sa sortie du réservoir. De quel type de transformation s'agit-il ?

2. a. Écrire l'équation correspondant à la formation de l'eau dans la pile à hydrogène, et l'ajuster. De quel type de transformation s'agit-il ?

b. Pour parcourir 1 km, ce bus utilise environ 40 mol de H_2. Quelle quantité de dioxygène O_2 doit-il utiliser pour que le mélange soit stœchiométrique (les deux réactifs sont limitants) ?

41 L'urée HISTOIRE DES SCIENCES



Formule semi-développée de l'urée



Friedrich Wöhler

L'urée est une molécule qui se forme naturellement dans le foie, puis est ensuite éliminée, au niveau des reins, dans l'urine. En 1828, le chimiste allemand Friedrich Wöhler réussit à synthétiser de l'urée dans son laboratoire, une molécule « organique ». Ce terme, à l'époque, définissait une molécule des organismes vivants.

Avant cette expérience, on considérait que les molécules « organiques » ne pouvaient être fabriquées que par les organismes vivants, habités par la « force vitale ». En réussissant cette synthèse de l'urée, Wöhler remet en cause l'existence même de la force vitale qui, pense-t-on alors, différencie le monde vivant du monde minéral. Il écrit à son ami : « *il n'est pas nécessaire d'avoir des reins d'homme ou de chien pour l'obtenir* ».

De nos jours, l'urée est produite de façon industrielle, à partir de dioxyde de carbone CO_2 et d'ammoniac NH_3. Lors de cette réaction, il se forme également de l'eau H_2O.

Données :

Masse d'un atome de carbone : $m_C = 2{,}00 \times 10^{-23}$ g.
Masse d'un atome d'oxygène : $m_O = 2{,}67 \times 10^{-23}$ g.
Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}.

1. Expliquer l'importance historique de la synthèse de l'urée réalisée par Wöhler.

2. Donner la formule brute de l'urée.

3. Écrire l'équation correspondant à la réaction de production industrielle de l'urée, et l'ajuster.

4. Un industriel souhaite fabriquer de l'urée en utilisant $5{,}0 \times 10^3$ mol d'ammoniac. Quelle quantité de matière minimale de CO_2 devra-t-il utiliser ?

5. En déduire la masse de CO_2 qu'il devra utiliser.

6. De façon générale, expliquer pourquoi, d'un point de vue écologique, il y a un grand intérêt à utiliser le CO_2 comme réactif d'une synthèse industrielle.

42 Synthèse d'un savon



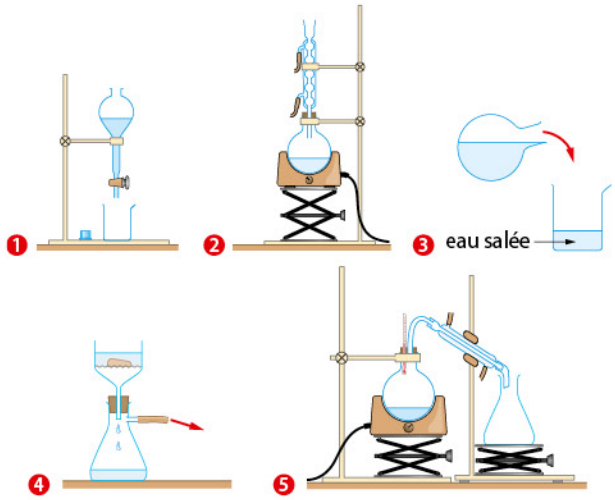
Les étapes de la synthèse d'un savon sont détaillées ci-dessous.

Étape 1 : Dans un ballon, on introduit 22 mL d'huile d'olive, 40 mL de soude, 20 mL d'éthanol et quelques grains de pierre ponce. On chauffe à reflux pendant 30 minutes.

Étape 2 : On verse alors le tout dans un grand bécher contenant une solution aqueuse de chlorure de sodium (eau salée) et, après agitation, on observe l'apparition d'un solide jaunâtre : le savon.

Étape 3 : Le savon obtenu est filtré sur Büchner.

1. Associer à chaque étape le dispositif lui correspondant parmi ceux proposés ci-après.



2. a. Quelle est l'utilité du chauffage ?
b. Dans un montage à reflux, à quoi sert le réfrigérant ?

3. Quel est l'avantage de filtrer sur Büchner ?

43 Superéthanol E85

Le superéthanol E85 est un carburant constitué de 85,0 % en volume d'éthanol C_2H_6O (ℓ) et de 15,0 % en volume d'essence, assimilée à de l'octane C_8H_{18} (ℓ). Lors de sa combustion complète dans le moteur, le carburant réagit avec le dioxygène O_2 en formant du CO_2 et de l'eau H_2O.

Données :

Masse d'un atome de carbone : $m_C = 2{,}00 \times 10^{-23}$ g.
Masse d'un atome d'oxygène : $m_O = 2{,}67 \times 10^{-23}$ g.
Masse d'un atome d'hydrogène : $m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}$ g.
Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}.
Masse volumique de l'éthanol : $\rho_1 = 789$ g · L^{-1}.
Masse volumique de l'octane : $\rho_2 = 703$ g · L^{-1}.

1. La combustion du carburant est-elle une transformation physique ou chimique ? Justifier la réponse.

2. Écrire les équations ajustées de la combustion complète de l'éthanol et de l'octane.

3. On considère la combustion complète des 50,0 L de superéthanol contenus dans le réservoir d'une voiture.
a. Calculer les volumes d'éthanol V_1 et d'octane V_2 dans le réservoir plein.
b. Calculer les masses d'éthanol m_1 et d'octane m_2 correspondantes.
c. En déduire les quantités de matière d'éthanol n_1 et d'octane n_2 contenues dans le réservoir.

4. Le dioxygène O_2 nécessaire à la combustion provient de l'air ambiant.
a. Quel est le réactif limitant de ces combustions ?
b. Quelle est la quantité de matière de dioxygène O_2 consommée lors de la combustion complète des 50,0 L de superéthanol ?

44 Synthèse de l'aspirine



L'aspirine est un des médicaments les plus consommés dans le monde.

Sa synthèse au laboratoire est relativement simple : elle est obtenue par réaction entre l'anhydride éthanoïque et l'acide salicylique.

$C_4H_6O_3$ + $C_7H_6O_3$ → $C_9H_8O_4$ + $C_2H_4O_2$

anhydride éthanoïque — acide salicylique — aspirine — acide éthanoïque

Le protocole expérimental est le suivant :

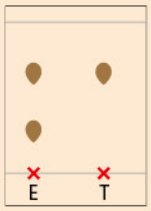
A On introduit dans un ballon 21,6 g d'anhydride éthanoïque, 10,0 g d'acide salicylique et quelques gouttes d'acide sulfurique concentré qui sert de catalyseur (utilisé pour accélérer la réaction).

B On chauffe ensuite à reflux le mélange à une température de 60 °C pendant 20 minutes.

C Au bout de 20 minutes, on retire le ballon du chauffe-ballon et on le place dans un bain d'eau glacée. Un solide blanc cristallise alors.

D On filtre le mélange et on récupère le solide.

E Pour identifier le produit formé, on réalise une chromatographie : on utilise un échantillon E du solide obtenu à la fin de la synthèse et un témoin T qui est de l'aspirine pure. Après révélation, on obtient le chromatogramme ci-contre.



Données :

Masse d'un atome de carbone : $m_C = 2{,}00 \times 10^{-23}$ g.
Masse d'un atome d'oxygène : $m_O = 2{,}67 \times 10^{-23}$ g.
Masse d'un atome d'hydrogène : $m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}$ g.
Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}.
Masse volumique de l'anhydride éthanoïque : $\rho = 1{,}08$ g · mL^{-1}.
L'aspirine est très peu soluble dans le mélange réactionnel à basse température.

1. Quels sont les réactifs de cette synthèse ?

2. Vérifier que l'équation modélisant la transformation chimique est bien ajustée.

3. Quel volume d'anhydride éthanoïque doit-on mesurer pour prélever la masse requise ?

4. a. Montrer que la quantité initiale d'anhydride éthanoïque est égale à 0,211 mol.
b. La quantité initiale d'acide salicylique est égale à 0,0722 mol. Déterminer le réactif limitant.

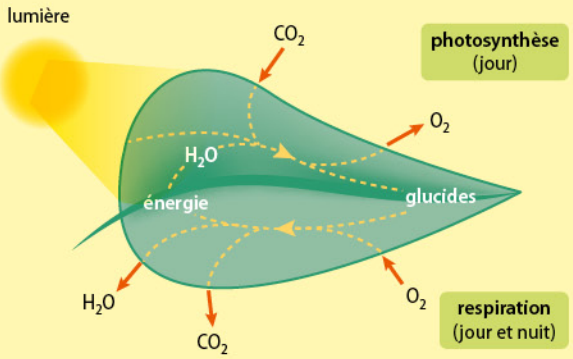
5. a. Faire un schéma correctement légendé du montage de chauffage à reflux.
b. Quels sont les avantages d'un tel montage ?

6. En utilisant les données, expliquer pourquoi l'aspirine apparaît sous forme solide à l'étape **C**.

7. À partir du chromatogramme, que peut-on déduire sur le produit synthétisé ?

À L'ORAL

45 Les plantes respirent SVT



Comme tous les êtres vivants, les plantes respirent en permanence, 24 h sur 24, avec ou sans lumière, c'est-à-dire qu'elles absorbent du dioxygène O_2 dans leur milieu de vie, et y rejettent du dioxyde de carbone CO_2 et de l'eau H_2O.

Une plante est majoritairement constituée de cellulose qui est un assemblage de molécules de glucide. Au cours de la respiration d'une plante, un glucide, le glucose de formule $C_6H_{12}O_6$, réagit avec le dioxygène.

De jour, lorsque la plante reçoit de la lumière, un autre phénomène, beaucoup plus efficace que la respiration, est à prendre en compte : la photosynthèse. Au cours de cette réaction, le CO_2 réagit avec l'eau, il se forme du glucose $C_6H_{12}O_6$ et du dioxygène O_2.

• Préparer un exposé oral de quelques minutes permettant de présenter les deux transformations chimiques dont parle l'énoncé. Préciser notamment leurs points communs, leurs différences et leur intérêt pour la vie animale.

46 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE



Plus besoin de pétrole, ce « prototype » roule au dihydrogène et ne rejette que de l'eau par son pot d'échappement. **Préparer un exposé oral pour expliquer, en argumentant, de quel type de transformation il s'agit.**

Acquérir des compétences

47 Interpréter l'expérience de la bougie

ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

APP **Rechercher et organiser l'information**

On place une bougie dans une assiette remplie d'eau. On allume la bougie et on la recouvre avec un verre. L'eau monte alors lentement dans le verre. Après quelques secondes, la bougie s'éteint. L'eau monte alors rapidement jusqu'à remplir environ 20 % du verre. On observe aussi la formation de buée à l'intérieur du verre.

Interprétations souvent entendues :

– la bougie s'éteint car elle a consommé tout le dioxygène,

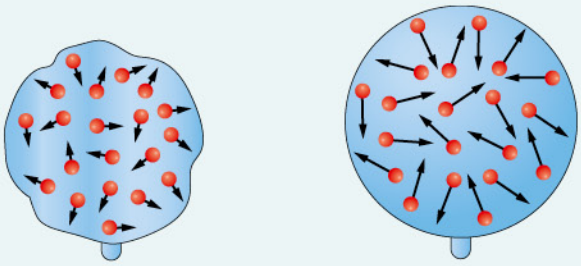
– l'eau monte car elle prend la place du dioxygène.





DOC 1 Dilatation et contraction d'un gaz

Lorsque la température augmente, les particules qui constituent le gaz bougent plus vite. Elles se cognent plus violemment entre elles et s'éloignent les unes des autres. Le gaz se dilate, il prend plus de place. Inversement, lorsqu'un gaz se refroidit, il prend moins de place, il se contracte.



gaz froid — gaz chaud

DOC 2 Combustion de la bougie

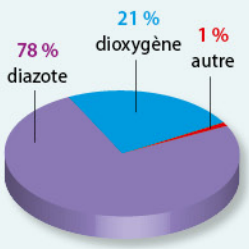
On peut considérer que la paraffine qui constitue la bougie a pour formule $C_{25}H_{52}$.

Sa combustion dans le dioxygène s'écrit :

$$C_{25}H_{52}\,(s) + 38\,O_2\,(g) \rightarrow 25\,CO_2\,(g) + 26\,H_2O\,(g)$$

DOC 3 Quelques données sur l'air

Masse volumique (à 20 °C)	air	CO_2 (g)
ρ (en kg · m^{-3})	1,2	1,5



DOC 4 Le dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone CO_2 éteint les combustions. Certains extincteurs sont remplis de CO_2.



ANALYSE

1. D'après le **document 2**, la disparition du dioxygène gazeux peut-elle expliquer à elle seule la montée de l'eau dans le verre ?
2. Comment expliquer alors la formation de buée à l'intérieur du verre ? Écrire l'équation correspondant à cette transformation.
3. Quelle espèce chimique est probablement responsable de l'extinction de la bougie (avant que le dioxygène ne soit totalement consommé) ? Expliquer pourquoi.
4. D'après les observations et le **document 1**, quel phénomène est majoritairement responsable de la montée de l'eau dans le verre ? Est-ce un phénomène chimique ou physique ?
5. Expliquer pourquoi le fait qu'à la fin de l'expérience l'eau occupe environ 20 % du verre peut envoyer sur une fausse piste.

SYNTHÈSE

Expliquer pourquoi les deux interprétations souvent entendues sont, au moins partiellement, fausses.

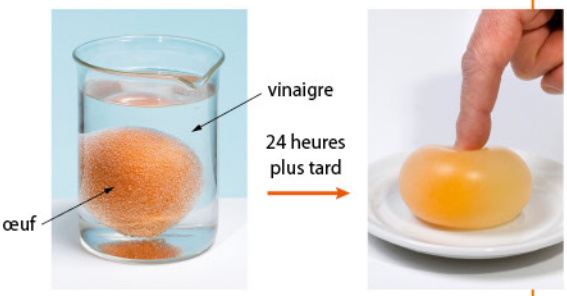
Retrouvez des exercices de synthèse p. 124

48 Réussir l'expérience de l'œuf rebondissant

DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

AN/RAI **Proposer une stratégie de résolution**
RÉA **Utiliser la proportionnalité**
AN/RAI **Faire des prévisions à l'aide d'un modèle**

Une expérience amusante trouvée dans un livre :
« On place un œuf dans un verre et on le recouvre de vinaigre blanc. Après 24 h, on le rince sous l'eau, la coquille de l'œuf a disparu. Il reste juste une fine peau qui contient le blanc et le jaune. L'œuf est mou, il peut rebondir comme une balle. Attention, il est fragile, il ne faut pas le lancer de plus de quelques centimètres de haut ! »
Un élève souhaite réaliser cette expérience. Il dispose d'un œuf et de 150 mL de vinaigre blanc à 8 %.



DOC 1 Réaction chimique

En moyenne, la coquille d'un œuf pèse 6,0 g. Elle est constituée de calcaire $CaCO_3$ qui peut réagir avec l'acide éthanoïque $C_2H_4O_2$ contenu dans le vinaigre, selon l'équation :

$$CaCO_3(s) + 2\,C_2H_4O_2(aq) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2\,C_2H_3O_2^-(aq) + H_2O(\ell) + CO_2(g)$$

DONNÉES

- $m_C = 2{,}00 \times 10^{-23}$ g
- $m_O = 2{,}67 \times 10^{-23}$ g
- $m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}$ g
- $m_{Ca} = 6{,}66 \times 10^{-23}$ g
- $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}

DOC 2 Un vinaigre à 8 %

Cela signifie que ce vinaigre contient 8 % d'acide éthanoïque : dans un litre (c'est-à-dire 1 000 mL de vinaigre), il y a 80 g d'acide éthanoïque.

DÉMARCHE EXPERTE

L'élève qui souhaite réaliser l'expérience dispose-t-il de suffisamment de vinaigre pour faire disparaître la totalité de la coquille ?

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Déterminer la quantité de matière (en mol) de calcaire $CaCO_3$ contenu dans la coquille.
2. Déterminer la quantité de matière (en mol) d'acide éthanoïque $C_2H_4O_2$ contenu dans le vinaigre.
3. D'après les nombres stœchiométriques de l'équation, l'élève qui souhaite réaliser l'expérience dispose-t-il de suffisamment de vinaigre pour faire disparaître la totalité de la coquille ?

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. **a.** Déterminer la masse d'une molécule de calcaire $CaCO_3$.
b. Déterminer le nombre de molécules de calcaire $CaCO_3$ qu'il y a dans la coquille.
c. Déterminer la quantité de matière (en mol) de $CaCO_3$ qu'il y a dans la coquille.
2. **a.** Déterminer la masse d'acide éthanoïque qu'il y a dans 150 mL de vinaigre à 8 %.
b. Suivre la même méthode que pour le calcaire et déterminer la quantité de matière (en mol) d'acide éthanoïque $C_2H_4O_2$ contenu dans le vinaigre.
3. D'après les nombres stœchiométriques de l'équation, et les réponses aux questions 1.c et 2.b, l'élève qui souhaite réaliser l'expérience dispose-t-il de suffisamment de vinaigre pour faire disparaître la totalité de la coquille ?

VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

49 La voiture à hydrogène

TÂCHE COMPLEXE

AN/RAI **Proposer une stratégie de résolution**
RÉA **Utiliser la proportionnalité**

Dans une voiture dite « zéro émission », alimentée par une pile à hydrogène, l'énergie provient d'une réaction chimique dont l'équation s'écrit :

$$2\,H_2 + O_2 \rightarrow 2\,H_2O$$

Le réservoir de la voiture est plein, il contient 50,0 kg de dihydrogène.

Données : $m_O = 2{,}67 \times 10^{-23}$ g *et* $m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}$ g.
Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}



LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Quelle masse de dioxygène est utilisée par le moteur de la voiture pour consommer tout le dihydrogène du réservoir ?

Les sciences et nous

GROS PLAN SUR...

ITER, l'énergie du futur

POUR VISUALISER



Une vidéo qui explique les objectifs du projet ITER.

Le projet ITER (de l'anglais *International Thermonuclear Expérimental Reactor*) est le plus grand projet scientifique mondial actuel. Il est financé par 35 pays : ceux de l'Union européenne, la Suisse, l'Inde, la Chine, le Corée du Sud, le Japon, la Russie et les États-Unis. L'installation, dont la mise en activité est prévue pour 2025, est actuellement en construction en France, dans les Bouches-du-Rhône. L'objectif d'ITER est de montrer qu'il est possible de reproduire et contrôler la fusion nucléaire des étoiles. C'est une source d'énergie quasiment inépuisable et qui ne produit ni CO_2, ni déchets nucléaires dangereux.



LES MÉTIERS DU CHAPITRE



Ingénieur·e chimiste

L'ingénieur chimiste conçoit et teste les matières de notre quotidien. Il intervient dans de nombreux domaines, qui peuvent être la cosmétique, les médicaments ou encore les nouveaux matériaux. La chimie verte est aujourd'hui en plein essor. L'ingénieur chimiste peut donc être sollicité pour développer des alternatives à la pétrochimie ou participer à l'élaboration de principes de fabrication plus respectueux de l'environnement.

***Niveaux d'études** : bac+5 après un bac général avec spécialité physique-chimie.*



Technicien·ne de la police scientifique

Ce scientifique de la police aide les enquêteurs dans leurs enquêtes, liées à des crimes ou des délits. Sur le terrain, il est amené à faire des prélèvements et à relever des indices. Dans son laboratoire, il analyse les prélèvements et pratique des tests pour confirmer ou infirmer certaines hypothèses. Il peut être amené, par exemple, à déterminer la composition d'infimes traces de peinture, comparer différents résidus de terre ou encore analyser et identifier des stupéfiants.

***Niveaux d'études** : Concours à bac+2 après un bac général (avec la spécialité physique-chimie de préférence) ou technologique.*

Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

PAGE Flashable

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- La matière existe sous trois états physiques : solide, liquide et gazeux. Les changements d'état sont des **transformations physiques** qui la font passer d'un état à l'autre.
- Lors d'une **transformation chimique**, des espèces chimiques disparaissent et d'autres apparaissent.
- Une **transformation nucléaire** est le changement de composition de noyaux d'atome : elle permet le passage d'éléments chimiques à d'autres.
- L'**énergie** existe sous différentes formes : cinétique, potentielle, électrique, nucléaire, chimique et lumineuse.
  Lorsque l'énergie passe d'une forme à une autre, on parle de **conversion d'énergie**.
- Lorsque de l'énergie est échangée, mais garde la même forme, on parle de **transfert d'énergie**.
- L'énergie est globalement **conservée** : elle est convertie ou transférée, mais elle ne disparaît jamais.

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

En 1911, Marie Curie reçoit le prix Nobel de Chimie pour la découverte de l'élément radium Ra qui donne spontanément du radon Rn et de l'hélium He selon l'équation suivante :

$$Ra \rightarrow Rn + He$$

Quel type de transformation le radium subit-il ?



SITUATION 2

Dans une lampe de poche, une pile alimente un circuit électrique contenant une ampoule.

Quelles sont les formes d'énergie mises en jeu ?

SITUATION 3

Un cycliste sur son vélo avance en pédalant.

Pourquoi peut-on dire que le pédalier transfère l'énergie du cycliste au vélo ?



CHAPITRE

5

CHIMIE

Transferts d'énergie



D'où provient la quantité phénoménale d'énergie libérée par le Soleil ?

➥ EXERCICE 33

NOTIONS ET CONTENUS

- Transformations physiques endothermiques et exothermiques.
- Énergie massique de changement d'état et applications.
- Transformations chimiques endothermiques et exothermiques.
- Aspects énergétiques des transformations nucléaires : Soleil, centrales nucléaires.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

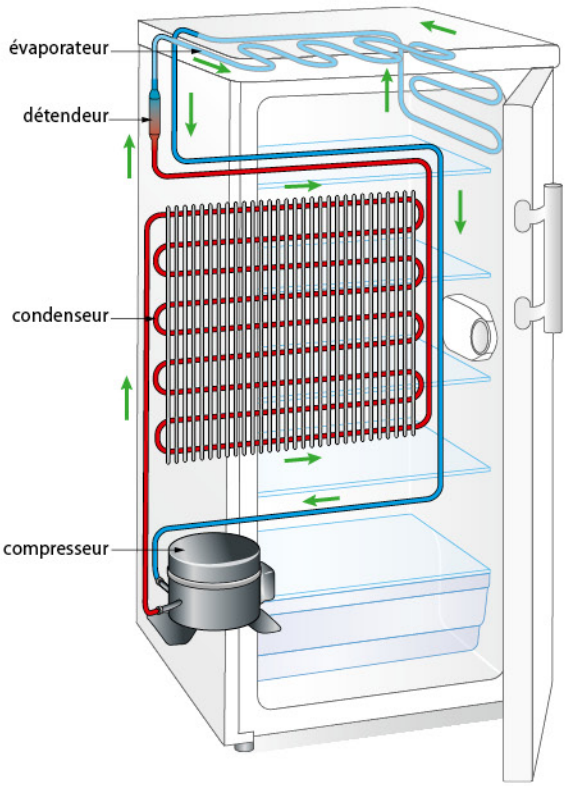
- Relier l'énergie échangée à la masse de l'espèce qui change d'état ➥ ACTIVITÉ 2
- Suivre l'évolution d'une température pour déterminer le caractère endothermique ou exothermique d'une transformation chimique et étudier l'influence de la masse du réactif limitant ➥ ACTIVITÉ 3

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
COM Utiliser un vocabulaire adapté

Transfert thermique lors d'un changement d'état

Les réfrigérateurs permettent de conserver les aliments plus longtemps en abaissant leur température. Comment expliquer la basse température régnant à l'intérieur d'un réfrigérateur ?

DOC 1 Constitution d'un réfrigérateur



DOC 2 Fonctionnement d'un réfrigérateur

Une espèce chimique, appelée fluide frigorigène, circule de manière cyclique dans un tuyau serpentant à l'extérieur du réfrigérateur (tuyau *condenseur*) et dans ses parois intérieures (tuyau *évaporateur*).

Le fluide à l'état liquide circule dans l'évaporateur où il devient gazeux. Il passe ensuite dans un compresseur dont le rôle est d'augmenter la pression du fluide afin de faciliter son passage à l'état liquide dans le condenseur. Enfin, le détendeur abaisse la pression du liquide qui repart dans l'évaporateur pour un nouveau cycle.

DOC 3 Transfert thermique lors d'un changement d'état

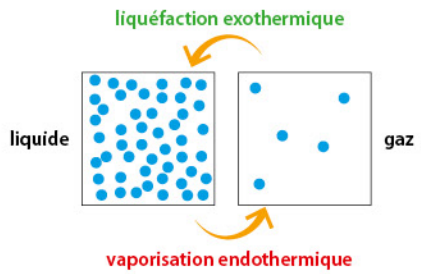
Certains changements d'état d'une espèce chimique nécessitent un **apport d'énergie** par **transfert thermique**, ils sont dits **endothermiques**.

D'autres changements d'état de la même espèce chimique **libèrent de l'énergie** par **transfert thermique**, ils sont dits **exothermiques**.

VOCABULAIRE

- **Transfert thermique :** énergie échangée sous forme de chaleur par une espèce chimique.

DOC 4 États du fluide frigorigène



EXPLOITATION ET ANALYSE

1 **a.** Quel changement d'état du fluide frigorigène se produit dans l'évaporateur ?
b. Préciser le sens du transfert thermique ayant lieu entre l'intérieur du réfrigérateur et le fluide dans l'évaporateur.
c. Ce résultat est-il en accord avec le **document 4** ?

2 **a.** Quel changement d'état du fluide frigorigène se produit dans le condenseur ?
b. Cette appellation couramment admise de condenseur est-elle correcte ? Proposer un autre nom au changement d'état concerné.
c. Ce changement d'état est-il endothermique ou exothermique ?

SYNTHÈSE

3 Expliquer comment les changements d'état du fluide frigorigène permettent d'abaisser la température à l'intérieur d'un réfrigérateur.

Je réussis si...

- **J'identifie le sens du transfert thermique lors d'un changement d'état.**
- **Je relie le sens du transfert thermique au caractère endothermique ou exothermique d'un changement d'état.**

TP

COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre les étapes d'une démarche
VAL Identifier des sources d'erreur

Détermination de l'énergie massique de vaporisation de l'eau

La vaporisation de l'eau est une transformation endothermique. Comment relier la masse d'eau vaporisée à la valeur du transfert thermique nécessaire à sa vaporisation ?

DOC 1 Énergie massique de vaporisation

L'énergie massique de vaporisation d'une espèce chimique L_{vap} correspond au transfert thermique nécessaire pour qu'un kilogramme de cette espèce chimique soit vaporisée :

$$Q = m \cdot L_{vap}$$

- Q : transfert thermique nécessaire à la vaporisation (en **J**)
- m : masse d'espèce chimique vaporisée (en **kg**)
- L_{vap} : énergie massique de vaporisation (en **J · kg^{-1}**)

DÉMARCHE EXPERTE

Après avoir élaboré un protocole expérimental à l'aide du document 2, déterminer la valeur de l'énergie massique de vaporisation de l'eau et la comparer à la valeur donnée ci-dessous. Identifier de possibles sources d'erreur.

Donnée : L_{vap} *(eau)* $= 2{,}3 \times 10^6$ J · kg^{-1}.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Reproduire le montage proposé (doc. 2) en chauffant 250 mL d'eau dans le ballon à la puissance maximum. Mesurer le volume d'eau vaporisée en 10 min et en déduire la masse d'eau correspondante.
2. Calculer la valeur :
   a. du transfert thermique Q fourni par la chauffe-ballon en 10 min ;
   b. de l'énergie massique de vaporisation de l'eau L_{vap}.
3. Identifier de possibles sources d'erreur.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Mettre en œuvre ce protocole expérimental.

- Réaliser le montage du document 2 en chauffant 250 mL d'eau dans le ballon à la puissance maximum.
- Après quelques minutes d'ébullition, déclencher un chronomètre et mesurer le volume d'eau vaporisée en 10 min.

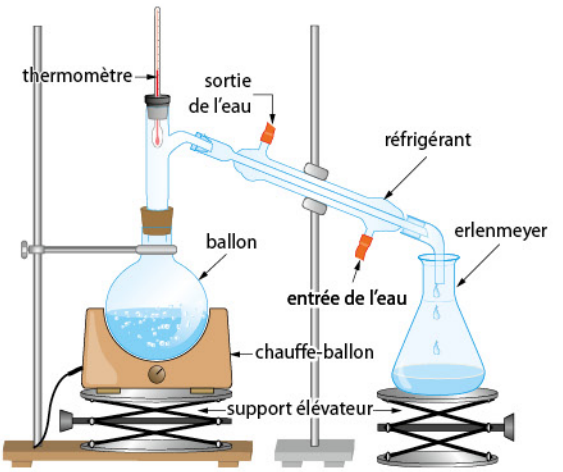
2. a. Rappeler la valeur de la masse volumique de l'eau.
   b. En déduire la masse d'eau vaporisée en 10 min.
3. Calculer la valeur du transfert thermique Q fourni par le chauffe-ballon en 10 min (doc. 3).
4. a. Calculer la valeur de l'énergie massique de vaporisation de l'eau L_{vap} (doc. 1).
   b. Identifier de possibles sources d'erreur.

DOC 2 Montage expérimental de distillation

La distillation est généralement utilisée pour séparer deux liquides miscibles dont les températures d'ébullition sont différentes.

Le montage de distillation peut aussi être utilisé pour estimer l'énergie massique de vaporisation d'un corps pur placé dans le ballon. Une fois la température d'ébullition de l'espèce chimique atteinte dans le ballon, celle-ci est vaporisée, puis passe dans le réfrigérant pour être refroidie et liquéfiée. Après quelques minutes d'ébullition, le rythme de distillation est régulier.

Une éprouvette graduée remplaçant alors l'erlenmeyer permet de mesurer le volume de l'espèce chimique ayant été vaporisée pendant une durée donnée.



DOC 3 Puissance et énergie

Un chauffe-ballon de puissance P fournit pendant une durée Δt une quantité d'énergie par transfert thermique Q au contenu du ballon :

$$Q = P \cdot \Delta t$$

- Q : transfert thermique (en **J**)
- P : puissance (en **W**)
- Δt : durée (en **s**)

Je réussis si...

- **Je relie la valeur du transfert thermique reçu à la masse d'eau vaporisée.**
- **J'identifie de possibles sources d'erreur.**
- **DÉMARCHE EXPERTE Je décris précisément le protocole expérimental. Je compare la valeur déterminée expérimentalement à la valeur donnée.**

TP

COMPÉTENCES :
VAL Interpréter des mesures
COM Utiliser un vocabulaire adapté

Transfert thermique lors d'une transformation chimique

Dans une chaudière, une combustion libère de l'énergie utilisée pour chauffer un bâtiment. Comment savoir si une transformation chimique dégage ou absorbe de l'énergie ?

DOC 1 Effets thermiques d'une transformation chimique

Si au cours d'une transformation chimique, le système chimique absorbe de l'énergie par transfert thermique, **sa température diminue** et la transformation est endothermique.

Au contraire, si le système libère de l'énergie par transfert thermique, **sa température augmente** et la transformation est exothermique.

DOC 2 Données

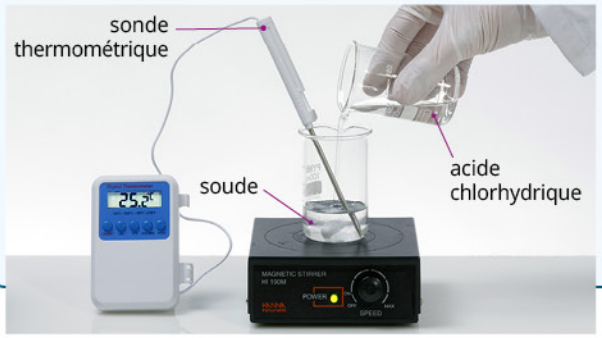
- Masses m des atomes de chlore, de sodium, de carbone, d'oxygène et d'hydrogène : $m_{Cl} = 5{,}89 \times 10^{-23}$ g ; $m_{Na} = 3{,}82 \times 10^{-23}$ g ; $m_C = 1{,}99 \times 10^{-23}$ g ; $m_O = 2{,}66 \times 10^{-23}$ g ; $m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}$ g.
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}.

PROTOCOLES EXPÉRIMENTAUX

Expérience 1

L'objectif est d'étudier les effets thermiques de la réaction chimique entre les ions H^+ (aq) et HO^- (aq). Le seul produit de cette réaction bleuit le sulfate de cuivre anhydre.

- Verser dans un bécher 25 mL d'acide chlorhydrique (H^+ (aq) + Cl^- (aq)) de concentration en masse $c_{mA} = 36{,}5$ g · L^{-1}.
- Mesurer sa température initiale T_i.
- Verser dans un autre bécher 25 mL de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (ou soude) (Na^+ (aq) + HO^- (aq)) de concentration en masse $c_{mB} = 40{,}0$ g · L^{-1}.



- Vérifier que sa température est bien égale à T_i.
- Poser le bécher contenant la soude sur un agitateur magnétique. Introduire un barreau aimanté, puis verser avec précaution l'acide contenu dans le premier bécher (voir photo).
- Agiter et noter la température finale T_f.

Expérience 2

L'objectif est d'étudier les effets thermiques de la réaction chimique entre l'hydrogénocarbonate de sodium $NaHCO_3$ (s) et l'ion H^+ (aq). Cette réaction produit l'ion Na^+ (aq), de l'eau et un gaz qui trouble l'eau de chaux.

- Verser dans un bécher 25 mL d'acide chlorhydrique (H^+ (aq) + Cl^- (aq)) de concentration en masse $c_{mA} = 36{,}5$ g · L^{-1}.
- Mesurer sa température initiale T_i.
- Poser ce bécher sur un agitateur magnétique, introduire un barreau aimanté, puis une masse $m = 2{,}0$ g d'hydrogénocarbonate de sodium $NaHCO_3$ (s).
- Agiter et noter la température finale T_f.

EXPÉRIENCES ET ANALYSE

1 **a.** Réaliser l'expérience 1.
b. La transformation chimique est-elle exothermique ou endothermique ?
c. Écrire l'équation de la réaction chimique.

2 **a.** Réaliser l'expérience 2.
b. La transformation chimique est-elle exothermique ou endothermique ?
c. Écrire l'équation de la réaction chimique.
d. Déterminer lequel des réactifs est limitant.

3 **a.** Reprendre l'expérience 2 en n'introduisant qu'une masse $m = 1{,}0$ g d'hydrogénocarbonate de sodium.
b. Justifier que $NaHCO_3$ (s) est le réactif limitant.

CONCLUSION

4 **a.** Comment déterminer le caractère endothermique ou exothermique d'une transformation chimique ?
b. Quel est l'effet d'une augmentation de la masse du réactif limitant ?

Je réussis si...

- **Je sais déterminer le caractère endothermique ou exothermique d'une transformation chimique.**
- **Je connais l'influence de la masse de réactif limitant sur la variation de température du système chimique.**

CLASSE INVERSÉE

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
COM Utiliser un vocabulaire adapté

Énergie libérée lors des transformations nucléaires

La production d'énergie est un enjeu majeur de notre époque. D'où l'énergie dégagée par le Soleil et celle convertie dans les centrales nucléaires proviennent-elles ?

DOC 1 L'énergie de liaison nucléaire

« Le noyau des atomes est composé de neutrons et protons, qui tiennent ensemble grâce à la force la plus intense de la nature : l'interaction forte, responsable de "l'énergie de liaison nucléaire". Cette énergie peut être libérée soit en cassant des noyaux lourds [...], soit en fusionnant des noyaux légers. »

D'après www.cea.fr

DOC 3 Énergie convertie dans les centrales nucléaire

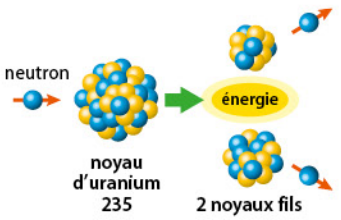
« La fission consiste à projeter un neutron sur un atome lourd instable (uranium 235 ou plutonium 239).

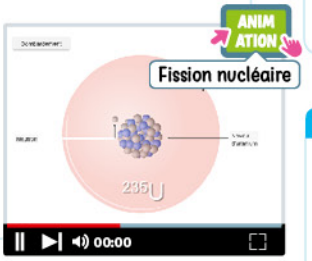
Ce dernier éclate alors en 2 atomes plus légers.

Cela produit de l'énergie [...] et 2 ou 3 neutrons capables à leur tour de provoquer une fission. Et ainsi de suite. C'est le mécanisme de la réaction en chaîne.

Aujourd'hui, c'est la fission qui est utilisée dans les centrales nucléaires de production d'électricité. »

D'après www.irsn.fr



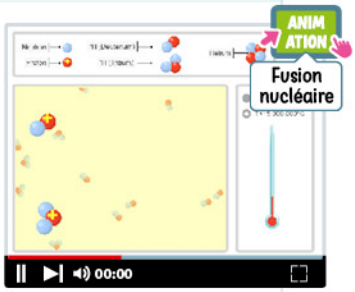


DOC 2 Énergie convertie dans le Soleil

« Dans des conditions de température extrême (des millions de degrés Celsius), la matière se présente sous forme de plasma : ni solide, ni liquide, ni gazeuse, la matière est comparable à une « soupe » où noyaux et électrons ne sont plus liés, ils circulent librement. Lorsque deux noyaux « légers » se percutent à grande vitesse, ils peuvent fusionner, créant un noyau plus lourd : c'est la fusion nucléaire. »

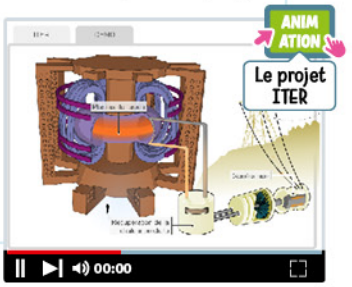
D'après www.cea.fr

Dans le Soleil, la température dépasse 15 millions de degrés Celsius rendant possible la fusion nucléaire de deux noyaux d'hydrogène (précisément de deux de ses isotopes appelés deutérium $^{2}_{1}H$ et tritium $^{3}_{1}H$) en un noyau d'hélium $^{4}_{2}He$ tout en libérant un neutron. Chaque seconde, le Soleil transforme ainsi 600 millions de tonnes d'hydrogène en hélium, libérant une gigantesque quantité d'énergie !



DOC 4 La fusion pour produire de l'électricité ?

À masse égale, l'énergie libérée par les réactions de fusion nucléaire est environ dix millions de fois supérieure à la combustion du pétrole, et environ cent fois supérieure à celle des réactions de fission nucléaire. D'où l'importance des recherches des scientifiques du projet ITER pour arriver à contrôler la fusion nucléaire. Celle-ci pourrait devenir dans quelques dizaines d'années une nouvelle ressource d'énergie, sans risque majeur ni déchets hautement radioactifs.



EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Quel phénomène est responsable de l'énergie stockée dans les noyaux des atomes ?

2 Expliquer le mécanisme de réactions en chaîne ayant lieu dans les centrales nucléaires.

3 Expliquer pourquoi des scientifiques cherchent à maîtriser la fusion nucléaire.

SYNTHÈSE

4 a. Écrire l'équation de la réaction qui a lieu au cœur du Soleil en libérant de l'énergie.

b. Écrire l'équation de la fission de l'uranium $^{235}_{92}U$ ayant lieu dans les centrales nucléaires en deux noyaux de xenon $^{140}_{54}Xe$ et strontium $^{94}_{38}Sr$, qui libère deux neutrons.

Je réussis si...

- **Je relie l'énergie convertie dans le Soleil et dans une centrale nucléaire à des réactions nucléaires.**

PAGE Flashable

1 Transfert thermique lors d'un changement d'état

Transfert thermique

Le **transfert thermique** Q est l'énergie échangée sous forme de chaleur par une espèce chimique. Il est exprimé en joule (J).

Si l'espèce chimique reçoit de l'énergie par transfert thermique, le transfert thermique est **positif** ($Q > 0$).

Si l'espèce chimique libère de l'énergie par transfert thermique, le transfert thermique est **négatif** ($Q < 0$) (FIG. 1).

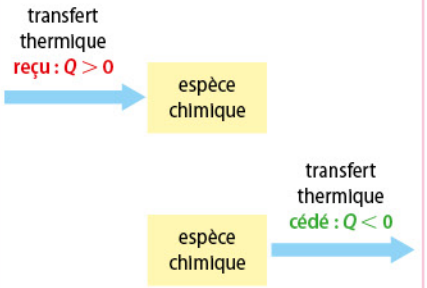


FIG. 1 Convention de signes du transfert thermique Q.

Changements d'état endothermiques et exothermiques

Certains **changements d'état** d'une espèce chimique nécessitent un **apport d'énergie** par transfert thermique (Q positif), ils sont **endothermiques**.

D'autres **changements d'état** de la même espèce chimique **libèrent de l'énergie** par transfert thermique (Q négatif), ils sont **exothermiques**.

EXEMPLE La vaporisation de l'eau nécessite un apport d'énergie par transfert thermique, elle est endothermique (FIG. 2).



FIG. 2 La vaporisation de l'eau est endothermique.

Énergie massique de changement d'état

Le transfert thermique Q mis en jeu lors d'un changement d'état est lié à la **masse** m de l'espèce chimique qui change d'état et à l'**énergie massique** L **du changement d'état** de l'espèce considérée.

transfert thermique mis en jeu lors du changement d'état (en J) — $Q = m \cdot L$ — énergie massique de changement d'état (en J · kg^{-1})

masse de l'espèce chimique ayant changé d'état (en kg)

L'énergie massique de changement d'état L dépend de l'espèce chimique considérée et du changement d'état (FIG. 3). Elle correspond à la quantité d'énergie nécessaire pour qu'un kilogramme de l'espèce chimique change d'état sous une pression donnée.

Pour un changement d'état endothermique, le transfert thermique Q et l'énergie massique L sont positifs alors que pour un changement d'état exothermique, le transfert thermique Q et l'énergie massique L sont négatifs (FIG. 4).

EXEMPLE Le transfert thermique mis en jeu lors de la vaporisation de 650 g d'eau est :

$$Q = m \cdot L_{vap} = 650 \times 10^{-3} \times 2{,}3 \times 10^{6} = 1{,}5 \times 10^{6}\ \text{J}$$

Pour une même espèce chimique, deux changements d'états inverses ont des énergies massiques opposées.

EXEMPLE Pour l'éthanol, sous pression atmosphérique :
$L_{vap} = 8{,}6 \times 10^{5}$ J · kg^{-1} et $L_{liq} = -\,8{,}6 \times 10^{5}$ J · kg^{-1}. La vaporisation d'un kilogramme d'éthanol nécessite $8{,}6 \times 10^{5}$ J, elle est endothermique, tandis que sa liquéfaction libère $8{,}6 \times 10^{5}$ J, elle est exothermique.

Espèce chimique	L_{fus} (en J · kg^{-1})	L_{vap} (en J · kg^{-1})
Dioxygène	$1{,}4 \times 10^{4}$	$2{,}1 \times 10^{5}$
Eau	$3{,}3 \times 10^{5}$	$2{,}3 \times 10^{6}$
Carbone diamant	$8{,}8 \times 10^{6}$	$6{,}0 \times 10^{7}$
Éthanol	$1{,}1 \times 10^{5}$	$8{,}6 \times 10^{5}$

FIG. 3 Valeurs des énergies massiques de fusion L_{fus} et de vaporisation L_{vap} de quelques espèces chimiques sous pression atmosphérique.

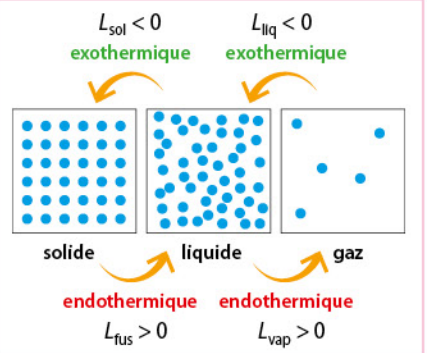


FIG. 4 Caractère endothermique et exothermique des changements d'état (sol : solidification ; liq : liquéfaction ; fus : fusion ; vap : vaporisation.)

Dans un réfrigérateur (FIG. 5), un fluide effectue un cycle pendant lequel il subit deux changements d'état inverses l'un de l'autre. Lors de sa vaporisation endothermique, le fluide absorbe de l'énergie à l'intérieur du réfrigérateur par transfert thermique. Puis lors de sa liquéfaction exothermique, le fluide cède cette énergie à l'extérieur par transfert thermique. Le principe des climatiseurs et des pompes à chaleur est similaire.

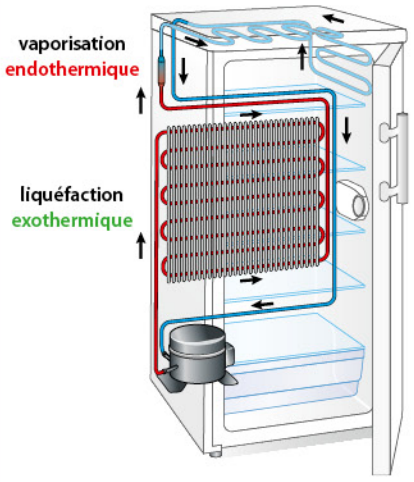


FIG. 5 Fonctionnement d'un réfrigérateur.

2 Transfert thermique lors d'une transformation chimique

Transformations chimiques endothermiques et exothermiques

Un système chimique est un ensemble d'espèces chimiques susceptibles de réagir entre elles. Une transformation chimique peut modifier l'énergie que possède le système chimique.

Si au cours d'une transformation chimique, le système chimique **absorbe de l'énergie** par transfert thermique, la **transformation** est **endothermique**.

Au contraire, si le système **libère de l'énergie** par transfert thermique, la **transformation** est **exothermique**.

EXEMPLE Les combustions sont des transformations chimiques exothermiques (FIG. 6).
La dissolution du chlorure d'ammonium dans l'eau est endothermique.

Parfois, le transfert thermique libéré par un système, siège d'une transformation chimique exothermique, s'accompagne d'un dégagement d'énergie sous d'autres formes telles que le passage d'un courant électrique, la mise en mouvement ou l'apparition de lumière (FIG. 6).



FIG. 6 La combustion du gaz propane est exothermique, il y a dégagement de chaleur et de lumière.

Variation de température du système, siège d'une transformation chimique

Au cours d'une transformation chimique **endothermique**, la **température** du système chimique **diminue**. Au cours d'une transformation chimique **exothermique**, la **température** du système **augmente**.

La mesure de la variation de température du système chimique lors d'une transformation chimique permet de déterminer son caractère endothermique ou exothermique.

Influence de la masse de réactif limitant

La transformation chimique se poursuivant jusqu'à l'épuisement du réactif limitant, la masse de celui-ci influe sur la quantité d'énergie absorbée ou libérée par le système, donc sur sa variation de température.

Plus la **masse de réactif limitant** est grande, plus l'**énergie** mise en jeu et la **variation de température** sont importantes.

EXEMPLE La réaction chimique dont l'équation est donnée ci-dessous est endothermique :

$$NaHCO_3\,(s) + H^+\,(aq) \rightarrow Na^+\,(aq) + H_2O\,(\ell) + CO_2\,(g)$$

Si l'hydrogénocarbonate de sodium $NaHCO_3$ (s) est le réactif limitant, plus sa masse initiale est importante, plus la température finale du système sera faible.

3 Énergie libérée par une transformation nucléaire

Transformations nucléaires dans les centrales nucléaires

Une **centrale nucléaire** produit de l'électricité grâce à l'énergie dégagée par la **fission** de noyaux d'uranium 235.

Un neutron est projeté sur le noyau d'un atome d'uranium 235 qui se scinde en 2 noyaux fils en libérant une grande quantité d'énergie et des neutrons capables à leur tour de provoquer la fission d'autres noyaux d'uranium : il s'agit de réactions en chaîne (FIG. 7).

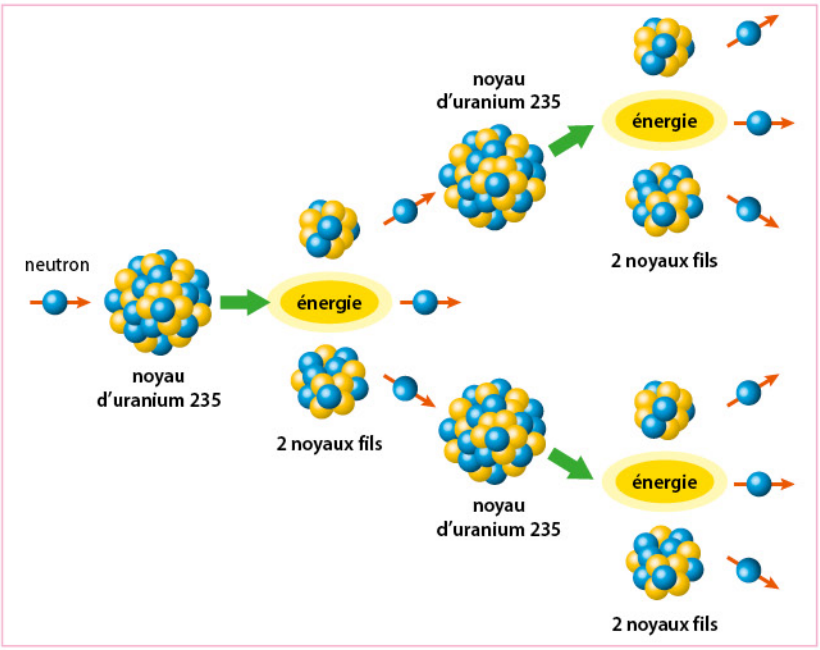


FIG. 7 Réactions en chaîne de fission de l'uranium 235 dans une centrale nucléaire.

EXEMPLE Ces deux équations de fission de l'uranium 235 sont possibles :

$${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{94}_{38}Sr + 2\,{}^{1}_{0}n \qquad {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{140}_{55}Cs + {}^{94}_{37}Rb + 2\,{}^{1}_{0}n$$

Transformations nucléaires dans le Soleil

L'énergie libérée par le **Soleil** provient de réactions de **fusion** nucléaire.

Au cœur du Soleil, la forte densité et la température dépassant 15 millions de degrés Celsius permettent à deux noyaux légers de fusionner en libérant une grande quantité d'énergie (FIG. 8).

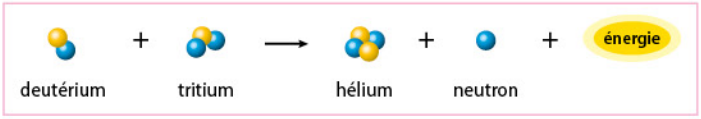


FIG. 8 Fusion dans le Soleil de deux noyaux isotopes de l'hydrogène.

EXEMPLE Fusion dans le Soleil de 2 noyaux isotopes de l'hydrogène :

$${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$

À masse égale, l'énergie libérée par les réactions de fusion nucléaire est environ dix millions de fois supérieure à la combustion du pétrole, et environ cent fois supérieure à celle des réactions de fission nucléaire.

APPROFONDISSEMENT SCIENTIFIQUE

En 1905, Albert Einstein énonce l'équivalence entre masse et énergie.

Une transformation nucléaire libère de l'énergie car la masse des noyaux et particules produites est inférieure à celle des noyaux et particules ayant subi la transformation nucléaire. Cette perte de masse est à l'origine de l'énergie libérée : la masse ne disparaît pas, elle se transforme en énergie.

L'ESSENTIEL À RETENIR

Le vocabulaire à retenir
Les relations à connaître et savoir utiliser

1 Transfert thermique lors d'un changement d'état

- Un **transfert thermique Q** est l'énergie échangée sous forme de chaleur par une espèce chimique. Il est exprimé en joule (J). Son signe est fixé par convention :

transfert thermique reçu : $Q > 0$ → espèce chimique → espèce chimique → transfert thermique cédé : $Q < 0$

- Pour une espèce chimique, un **changement d'état** :
  - nécessite un apport d'énergie → le transfert thermique est reçu $Q > 0$ → le changement d'état est **endothermique**
  - libère de l'énergie → le transfert thermique est cédé $Q < 0$ → le changement d'état est **exothermique**

- Lors d'un changement d'état :

$$Q = m \cdot L$$

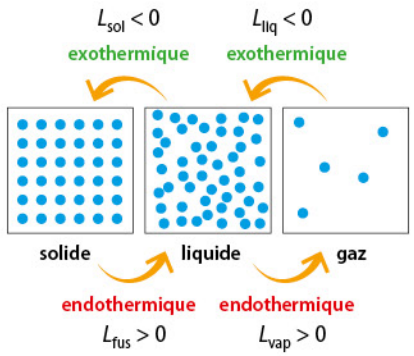
Q : transfert thermique mis en jeu lors du changement d'état (en J) ; L : énergie massique de changement d'état (en J · kg^{-1}) ; m : masse de l'espèce chimique ayant changé d'état (en kg)

- L'**énergie massique de changement d'état L** dépend de l'espèce chimique considérée et du changement d'état.

Par exemple, pour l'eau : $L_{vaporisation} = 2{,}3 \times 10^6$ J · kg^{-1}.

La vaporisation d'un kilogramme d'eau qui nécessite $2{,}3 \times 10^6$ J est **endothermique** tandis que sa liquéfaction qui libère $2{,}3 \times 10^6$ J est **exothermique**.





2 Transfert thermique lors d'une transformation chimique

- Une transformation chimique modifie l'énergie que possède le système chimique.

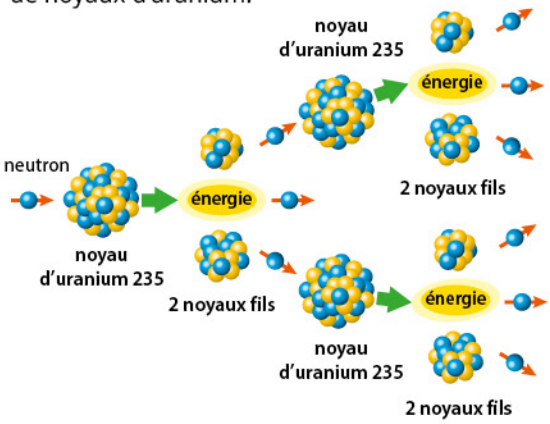
- Au cours de la transformation, le système chimique :
  - absorbe de l'énergie par transfert thermique → la **transformation** est **endothermique** → la température du système **diminue**
  - cède de l'énergie par transfert thermique → la **transformation** est **exothermique** → la température du système **augmente**

Par exemple, une combustion est une transformation chimique exothermique.

- Plus la **masse de réactif limitant** est grande, plus l'énergie mise en jeu et la variation de température sont importantes.

3 Énergie libérée par une transformation nucléaire

- Une **centrale nucléaire** produit de l'électricité grâce à l'énergie dégagée par la **fission** de noyaux d'uranium.



- L'énergie libérée par le **Soleil** provient de réactions de **fusion** nucléaire.



Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

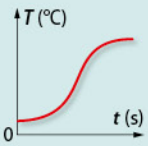
DONNÉE

- Pour l'eau : $L_{fusion} = 3{,}3 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1 Transfert thermique lors d'un changement d'état

	A	B	C
1 Le transfert thermique Q :	est égal à l'énergie échangée sous forme de chaleur.	s'exprime en joule.	est négatif si l'espèce chimique reçoit de l'énergie.
2 Le transfert thermique reçu ou cédé par une espèce chimique changeant d'état dépend :	de l'espèce chimique considérée.	du changement d'état considéré.	de la masse de l'espèce chimique changeant d'état.
3 Si lors de sa fusion, un glaçon d'eau transfère $Q = 8{,}3 \times 10^3$ J : 	la fusion de l'eau nécessite de l'énergie.	la fusion de l'eau est exothermique.	la masse du glaçon est $m = 25$ g.

2 Transfert thermique lors d'une transformation chimique

	A	B	C
4 Voici la courbe d'évolution de la température d'un système chimique au cours d'une transformation. On peut dire que : 	la température du système chimique augmente.	le système chimique cède de l'énergie par transfert thermique.	la transformation chimique est endothermique.
5 Lors d'une transformation chimique endothermique, augmenter la masse de réactif limitant :	n'a aucune conséquence sur la variation de la température du système.	entraîne une baisse moins importante de la température du système.	entraîne une baisse plus importante de la température du système.

3 Énergie libérée par une transformation nucléaire

	A	B	C
6 L'énergie convertie dans une centrale nucléaire provient :	d'un changement d'état exothermique.	d'une réaction de fusion nucléaire.	d'une réaction de fission nucléaire.
7 L'énergie libérée par le Soleil provient : 	d'une transformation chimique exothermique.	d'une réaction de fusion nucléaire.	d'une réaction de fission nucléaire.

Acquérir les notions

1 Transfert thermique lors d'un changement d'état

Notions du programme

Énergie de changement d'état et applications
➥ EXERCICES 8 à 12

Ce qu'on attend de moi

- Identifier le sens du transfert thermique lors d'un changement d'état et le relier au terme exothermique ou endothermique.
- Exploiter la relation entre l'énergie transférée lors d'un changement d'état et l'énergie massique de changement d'état d'une espèce chimique.

8 Du froid pour soulager les sportifs

Certains soigneurs utilisent une bombe cryogène pour soulager la douleur de leurs sportifs blessés. Cette bombe aérosol contient un mélange d'espèces chimiques maintenues à l'état liquide sous forte pression. Lorsque ce mélange est projeté à la pression atmosphérique sur la blessure d'un sportif, celui-ci ressent un froid intense localisé permettant de réduire la douleur.



Données :
Une bombe cryogène contient du butane, du propane, de l'isobutane et des huiles essentielles.
Les températures d'ébullition sous pression atmosphérique du butane, du propane et de l'isobutane sont respectivement − 1 °C, − 42 °C et − 12 °C.

1. Quel est l'état physique des trois gaz de la bombe aérosol, sous pression atmosphérique à la température de 20 °C ?

2. En déduire le changement d'état que subissent ces espèces chimiques après leur sortie de la bombe aérosol.

3. Ce changement d'état est-il endothermique ou exothermique ? Expliquer le principe d'une bombe cryogène.

9 Vaporisation du dixoygène

L'air contient principalement 78 % de diazote et 21 % de dioxygène. Ce dernier est indispensable à la respiration.

Données :
Pour le dioxygène, la température d'ébullition est − 183 °C ;
$L_{vaporisation} = 2{,}1 \times 10^5\ J \cdot kg^{-1}$.

1. Quel est l'état physique du dioxygène à la température usuelle de 20 °C ? Justifier la réponse.

2. a. La vaporisation du dioxygène est-elle endothermique ou exothermique ?
b. En déduire le sens du transfert thermique entre le milieu extérieur (l'air) et le dioxygène se vaporisant.
c. Calculer le transfert thermique Q mis en jeu lors de la vaporisation de 180 g de dioxygène.

10 Fabrication d'une statue en bronze

Le bronze est un alliage contenant essentiellement du cuivre (au moins 60 %) et de l'étain. Les statues en bronze sont généralement obtenues en « coulant » le métal en fusion dans un moule.



Donnée :
Énergie massique de fusion du cuivre :
$L = 2{,}0 \times 10^5\ J \cdot kg^{-1}$.

1. Peut-on trouver la valeur de la température de fusion du bronze dans des ouvrages ? Justifier la réponse.

2. En supposant que l'énergie massique de fusion du bronze est égale à celle du cuivre, calculer (en kJ) la valeur de l'énergie à fournir pour réaliser la fusion d'une masse $m = 2{,}1$ kg de bronze ayant atteint sa température de fusion.

11 La « chair de poule »

Un morceau de coton est placé sur une sonde thermométrique, elle indique 19 °C. Le tout est plongé quelques secondes dans de l'éthanol, puis exposé à l'air libre.



Le coton devient sec et la sonde thermométrique indique une température de 15,8 °C.

1. Nommer le changement d'état subi par l'éthanol.

2. Quel est le sens du transfert thermique lors du changement d'état ?

3. Ce changement d'état est-il endothermique ou exothermique ?

4. En s'appuyant sur l'expérience décrite dans l'énoncé, expliquer la sensation de froid ressentie lorsque l'on sort de l'eau après un bain, sans se sécher.

12 De l'eau liquide aux glaçons

Un bac à glaçons contenant 120 grammes d'eau liquide est placé dans un congélateur.

Donnée : $L_{fusion} = 3{,}3 \times 10^5\ J \cdot kg^{-1}$.

1. Quelle est la valeur de l'énergie massique de solidification de l'eau ?

2. La solidification de l'eau est-elle endothermique ou exothermique ?

3. Calculer la valeur du transfert thermique mis en jeu lors de la solidification de l'eau en glaçons une fois atteinte la température de 0 °C.

2 Transfert thermique lors d'une transformation chimique

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Transformations chimiques endothermiques et exothermiques ➥ EXERCICES 13 à 18	• Déterminer le caractère endothermique ou exothermique d'une transformation chimique. • Étudier l'influence de la masse du réactif limitant sur l'évolution de la température du système chimique.

13 Endothermique ou exothermique ?

1. Rappeler la définition d'une transformation chimique endothermique.

2. Comment peut-on déterminer le caractère endothermique ou exothermique d'une transformation chimique ?

3. Citer un exemple de transformation chimique exothermique.

14 Deux solides pour former un liquide

Dans un erlenmeyer, on mélange deux poudres blanches : de l'hydroxyde de baryum ($Ba(OH)_2$, 8 H_2O) (s) et du thiocyanate d'ammonium NH_4SCN (s).

La température initiale du mélange est de 22 °C. Après agitation, le contenu de l'erlenmeyer est liquide, sa température est 3 °C.

L'équation de la transformation chimique est :

$$2\ NH_4SCN\ (s) + (Ba(OH)_2,\ 8H_2O)\ (s) \rightarrow Ba(SCN)_2\ (aq) + 10\ H_2O\ (\ell) + 2\ NH_3\ (g)$$

1. Pourquoi le contenu de l'erlenmeyer est-il liquide après la transformation chimique ?

2. Cette transformation chimique est-elle endothermique ou exothermique ? Justifier la réponse.

15 Chaufferette



Une chaufferette permet de se réchauffer les mains par temps froid. Elle contient entre autres de la poudre de fer qui réagit avec le dioxygène de l'air pour former des oxydes de fer.

Lorsque l'on achète une chaufferette, elle est accompagnée d'un mode d'emploi qui indique de la retirer de son emballage hermétique et de l'agiter plusieurs fois.

1. La transformation chimique est-elle endothermique ou exothermique ?

2. Pourquoi la chaufferette est-elle conservée dans un emballage hermétique ?

3. Pourquoi le mode d'emploi indique-t-il de l'agiter plusieurs fois après ouverture ?

4. Justifier qu'une telle chaufferette ne puisse pas être réutilisée.

16 Boisson auto-chauffante



Une boisson auto-chauffante est dotée d'un dispositif qui permet de la réchauffer en 3 minutes sans électricité ni gaz. Il suffit d'appuyer sur le compartiment inférieur de la canette pour que l'eau et de l'oxyde de calcium CaO (s) qu'il contient entrent en contact. Ces espèces chimiques réagissent alors pour former de l'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$ (s).

1. Écrire l'équation de la transformation chimique ayant lieu dans le compartiment inférieur.

2. a. Le liquide à réchauffer cède-t-il ou reçoit-il un transfert thermique ?
b. Qu'en est-il pour le compartiment inférieur où a lieu la transformation chimique ?

3. En déduire si la transformation chimique est endothermique ou exothermique.

17 Influence du réactif limitant

On verse une spatule d'hydrogénocarbonate de sodium (solide blanc) dans un bécher contenant de l'acide chlorhydrique. Un dégagement de dioxyde de carbone gazeux se produit tandis que la température passe de 24,2 °C à 19,8 °C.

1. Justifier qu'une transformation chimique a bien eu lieu.

2. Cette transformation est-elle endothermique ou exothermique ?

3. Une fois le dégagement gazeux terminé, on verse une seconde spatule d'hydrogénocarbonate de sodium dans le bécher. Le dégagement gazeux reprend.
a. Justifier que l'hydrogénocarbonate de sodium était le réactif limitant après ajout de la première spatule.
b. Comment va évoluer la température après ajout de la seconde spatule ?

18 Un volcan au laboratoire !



Le dichromate d'ammonium solide $(NH_4)_2Cr_2O_7$ (s) se décompose aux environs de 180 °C en formant du diazote gazeux, de l'oxyde de chrome (III) Cr_2O_3 (s) et de l'eau à l'état de vapeur. Sur une plaque réfractaire, on place un petit tas de dichromate d'ammonium avec lequel on met en contact un morceau de cuivre porté au rouge. Des projections d'étincelles apparaissent, ce qui donne l'aspect d'un volcan.

Les fabricants de feux d'artifice utilisent souvent cette transformation, appelée « feu de Vésuve ».

1. Écrire l'équation ajustée de la décomposition thermique du dichromate d'ammonium.

2. Expliquer pourquoi la température du système se maintient autour de 180 °C lorsque l'on enlève le morceau de cuivre chauffé.

3 Énergie libérée par une transformation nucléaire

Notions du programme

Aspects énergétiques des transformations nucléaires : Soleil, centrales nucléaires

➥ EXERCICES 19 à 24

Ce qu'on attend de moi

- Savoir que l'énergie convertie dans le Soleil provient de réactions de fusion nucléaire.
- Savoir que l'énergie convertie dans une centrale nucléaire provient de réactions de fission nucléaire.

19 Dans le Soleil ou dans une centrale nucléaire ?

Pour chacune des équations suivantes, préciser le type de transformation nucléaire et si elle est susceptible de se produire dans le Soleil ou dans une centrale nucléaire.

$$^{235}_{92}\text{U} + ^{1}_{0}\text{n} \rightarrow ^{140}_{55}\text{Cs} + ^{94}_{37}\text{Rb} + 2\,^{1}_{0}\text{n}$$

$$^{2}_{1}\text{H} + ^{3}_{1}\text{H} \rightarrow ^{4}_{2}\text{He} + ^{1}_{0}\text{n}$$

$$^{235}_{92}\text{U} + ^{1}_{0}\text{n} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2\,^{1}_{0}\text{n}$$

20 Énergie d'origine nucléaire

En subissant une transformation nucléaire, un gramme de deutérium et tritium peut libérer 400 milliards de joules tandis que cent grammes d'uranium enrichi peuvent libérer 300 milliards de joules.

1. Pour chacune des deux transformations nucléaires, préciser s'il s'agit d'une fission ou d'une fusion nucléaire.

2. Où peut se produire chacune de ces deux transformations ?

3. Pour une même masse d'espèces chimiques, sources d'énergie, laquelle de ces deux transformations libère le plus d'énergie ?

4. Déterminer le quotient des énergies libérées par chacune de ces transformations pour une même masse.

21 Fission de l'uranium



La fission de l'uranium 235 par collision avec un neutron est utilisée comme source d'énergie dans les centrales nucléaires.

Beaucoup de réactions de fission sont possibles, par exemple :

$$^{235}_{92}\text{U} + ^{1}_{0}\text{n} \rightarrow ^{140}_{55}\text{Cs} + ^{94}_{37}\text{Rb} + 2\,^{1}_{0}\text{n}$$

$$^{235}_{92}\text{U} + ^{1}_{0}\text{n} \rightarrow ^{134}_{51}\text{Sb} + ^{99}_{41}\text{Nb} + 3\,^{1}_{0}\text{n}$$

1. Justifier que ces équations correspondent bien à des réactions de fission nucléaire.

2. Pourquoi peut-on dire qu'il s'agit de réactions en chaîne ?

22 Soleil et centrales nucléaires

Les transformations de fusion nucléaire au cœur du Soleil libèrent chaque seconde environ 4×10^{26} J.

En 2017, les centrales nucléaires françaises ont produit $1{,}4 \times 10^{18}$ J d'énergie électrique avec un rendement d'environ 33 % par rapport à l'énergie nucléaire libérée par la fission.

1. a. Calculer la valeur de l'énergie nucléaire convertie en électricité l'année 2017 en France.

b. En déduire la valeur de l'énergie nucléaire moyenne libérée chaque seconde dans les centrales nucléaires françaises.

2. Calculer le quotient de l'énergie nucléaire libérée par le Soleil par celle produite en moyenne par les centrales nucléaires françaises. Conclure.

23 Isotopes of uranium

Uranium in its natural state contains more than 99 % uranium 238 and approximately 0.7 % uranium 235.

These two isotopes have different nuclear properties. Uranium 238 undergoes alpha decay; it emits a helium nucleus $^{4}_{2}\text{He}$. Uranium 235 is fissile.

1. Why is uranium used in nuclear power plants enriched in isotope 235?

2. There are several possibilities for the fission of uranium 235. Two of them are given by the following equations:

a. $^{235}_{92}\text{U} + ^{1}_{0}\text{n} \rightarrow ^{94}_{38}\ldots + ^{141}_{54}\text{Xe} + ^{1}_{0}\text{n}$

b. $^{235}_{92}\text{U} + ^{1}_{0}\text{n} \rightarrow ^{92}_{58}\text{Ce} + ^{141}_{34}\ldots + 3\,^{1}_{0}\text{n}$

Fill the blanks in these equations.

24 Transformations nucléaires et énergie

1. Dans le Soleil, des noyaux de deutérium $^{2}_{1}\text{H}$ et tritium $^{3}_{1}\text{H}$ se transforment en noyau d'hélium $^{4}_{2}\text{He}$ en libérant un neutron et de l'énergie.

a. S'agit-il d'une fusion ou d'une fission nucléaire ?

b. Écrire l'équation de cette réaction.

2. Dans les centrales nucléaires, le bombardement d'un noyau d'uranium 235 $^{235}_{92}\text{U}$ par un neutron $^{1}_{0}\text{n}$ peut produire un noyau de strontium $^{94}_{38}\text{Sr}$, un noyau de xénon $^{139}_{54}\text{Xe}$ et des neutrons.

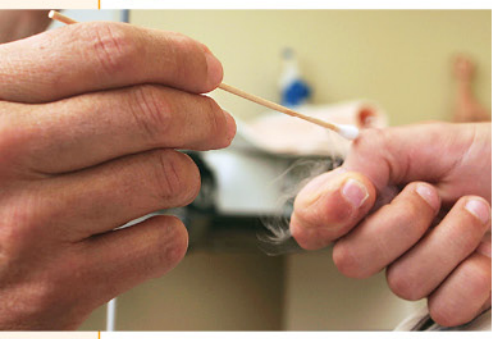
a. S'agit-il d'une fusion ou d'une fission nucléaire ?

b. Pourquoi dit-on que les réactions nucléaires de ce type sont provoquées ?

3. À masse égale, lequel des deux types de réaction nucléaire libère le plus d'énergie ?

Exercice résolu EN AUTONOMIE

25 Traitement de verrues



La cryodessication, ou dessication par le froid, est un traitement physique qui permet de « brûler » les verrues par le froid.

Un médecin qui reçoit un patient avec une verrue au doigt lui applique généralement du diazote liquide. Celui-ci passe ensuite à l'état gazeux.

Ce médecin dispose d'un récipient réfrigéré contenant un volume de 3,0 L de diazote.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- La **température** de la verrue diminue fortement.
- Le diazote initialement liquide passe à l'état gazeux, il est **vaporisé**.

Données :

Masse volumique du diazote liquide :
$\rho = 0{,}81\ kg \cdot L^{-1}$.

Énergie massique de vaporisation du diazote :
$L_{vap} = 99\ kJ \cdot kg^{-1}$.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **En déduire** : utiliser le résultat précédent pour répondre.

1. **Déterminer** le sens du transfert thermique entre la verrue et le diazote. **En déduire** si la vaporisation du diazote est endothermique ou exothermique.

2. **Déterminer** la valeur du transfert thermique Q nécessaire pour vaporiser la totalité du diazote contenu dans le récipient.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Le transfert thermique a lieu de la verrue vers le diazote se vaporisant. La vaporisation du diazote est donc **endothermique**.

2. Le volume $V = 3{,}0$ L de diazote correspond à une masse m :
$m = \rho \cdot V = 0{,}81 \times 3{,}0$ donc $m = 2{,}4$ kg.
Le transfert thermique reçu par le diazote est :
$Q = m \cdot L_{vap} = 2{,}4 \times 99 \times 10^3$ donc $\boldsymbol{Q = 2{,}4 \times 10^5\ J}$.

QUELQUES CONSEILS

2. Pour déterminer la valeur du transfert thermique, il faut d'abord calculer la masse de diazote vaporisé.

On veillera au nombre de chiffres significatifs (ici 2).

EXERCICE SIMILAIRE

26 Fabrication d'un lingot d'or

Pour fabriquer un lingot d'or, on fait fondre de l'or provenant de bijoux par exemple.

L'or fondu est placé dans un moule. L'or devient peu à peu solide tandis que la température ambiante de la pièce s'élève.



Données :

Volume du moule à lingot d'or : $V = 0{,}026$ L.
Masse volumique de l'or : $\rho = 19{,}3\ kg \cdot L^{-1}$.
Énergie massique de solidification de l'or : $L_{sol} = -6{,}4 \times 10^4\ J \cdot kg^{-1}$.

1. Déterminer le sens du transfert thermique entre l'or et l'air environnant.
En déduire si la solidification de l'or est endothermique ou exothermique.

2. Déterminer la valeur du transfert thermique Q mis en jeu lors de la solidification d'un lingot.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

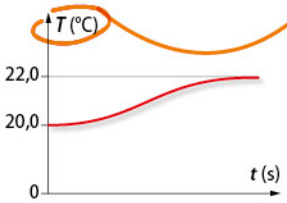
27 Transformation chimique

On étudie les effets thermiques de la transformation chimique entre l'acide éthanoïque et l'hydroxyde de sodium (ou soude) dont l'équation chimique est :

$$HO^-\,(aq) + C_2H_4O_2\,(aq) \rightarrow H_2O\,(\ell) + C_2H_3O_2^-\,(aq)$$

Pour cela, on mélange dans un bécher un volume $V_1 = 60{,}0$ mL d'une solution d'acide éthanoïque $C_2H_4O_2$ (aq) de concentration en masse $c_{m1} = 30{,}0\ g \cdot L^{-1}$ avec un volume $V_2 = 100{,}0$ mL d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (Na^+ (aq) + HO^- (aq)) de concentration en masse $c_{m2} = 20{,}0\ g \cdot L^{-1}$.

On mesure ensuite la température et on suit son évolution au cours du temps. Ci-contre le graphique obtenu.



Données :
Masses des atomes de sodium, de carbone, d'oxygène et d'hydrogène : $m_{Na} = 3{,}82 \times 10^{-23}$ g ; $m_C = 1{,}99 \times 10^{-23}$ g ; $m_O = 2{,}66 \times 10^{-23}$ g ; $m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}$ g.
Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$.

1. a. **Déterminer** si la transformation étudiée est endothermique ou exothermique.

b. **Déterminer** lequel des réactifs est limitant.

2. On réalise la même expérience en utilisant un volume de solution d'acide éthanoïque égal à 40,0 mL.
Comparer la température finale à celle de la première expérience.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- Les valeurs des volumes et des concentrations en masse des solutions utilisées permettent de calculer la **quantité initiale** de chacun des réactifs.
- Le graphique permet de connaître la **température** en fonction du temps.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **Comparer** : mettre en regard deux résultats pour en identifier les différences ou les similitudes.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. a. La transformation étudiée est **exothermique** car la température du système chimique augmente d'après le graphique.

b. $$n_i(HO^-) = \frac{m_i(Na^+\,(aq) + HO^-\,(aq))}{(m_{Na} + m_H + m_O) \times N_A} = \frac{c_{m\,2} \times V_2}{(m_{Na} + m_H + m_O) \times N_A}$$

$$n_i(HO^-) = \frac{20{,}0 \times 100{,}0 \times 10^{-3}}{(3{,}82 \times 10^{-23} + 1{,}67 \times 10^{-24} + 2{,}66 \times 10^{-23}) \times 6{,}02 \times 10^{23}}$$

$$\boldsymbol{n_i(HO^-) = 5{,}00 \times 10^{-2}\ mol}$$

En procédant de la même façon pour $n_i(C_2H_4O_2)$, on trouve :
$\boldsymbol{n_i(C_2H_4O_2) = 3{,}00 \times 10^{-2}\ mol}$. $n_i(C_2H_4O_2) < n_i(HO^-)$ et leurs nombres stœchiométriques étant égaux, **l'acide éthanoïque est le réactif limitant**.

2. La masse de réactif limitant étant moins grande dans la seconde expérience, **la température du système** augmentera, mais **restera inférieure à 22,0 °C**. (Cette valeur de température finale dans la première expérience est lue graphiquement.)

QUELQUES CONSEILS

1. b. Convertir les volumes en L.

2. Pour prévoir l'évolution de la température dans la seconde expérience, il faut savoir si la masse de réactif limitant est plus petite ou plus grande que dans la première expérience.

EXERCICE SIMILAIRE

28 Une autre transformation chimique

On étudie les effets thermiques de la transformation chimique entre l'acide chlorhydrique et l'hydroxyde de sodium (soude) dont l'équation chimique est :

$$H^+\,(aq) + HO^-\,(aq) \rightarrow H_2O\,(\ell)$$

Pour cela, on mélange dans un bécher un volume $V_1 = 50{,}0$ mL d'acide chlorhydrique (H^+ (aq + Cl^- (aq)) de concentration en masse $c_{m1} = 7{,}3\ g \cdot L^{-1}$ avec un volume $V_2 = 20{,}0$ mL d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (Na^+ (aq) + HO^- (aq)) de concentration en masse $c_{m2} = 40{,}0\ g \cdot L^{-1}$.
La température passe de 20,3 °C à 23,1 °C.

Données :
Masses des atomes de sodium, de chlore, d'oxygène et d'hydrogène : $m_{Na} = 3{,}82 \times 10^{-23}$ g ; $m_{Cl} = 5{,}89 \times 10^{-23}$ g ; $m_O = 2{,}66 \times 10^{-23}$ g ; $m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}$ g.
Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$.

1. a. Déterminer si la transformation est endothermique ou exothermique.

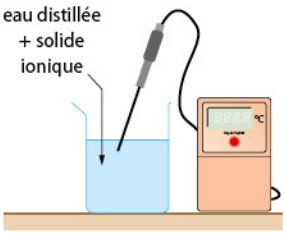
b. Déterminer lequel des réactifs est limitant.

2. On réalise la même expérience en utilisant un volume d'acide chlorhydrique égal à 10,0 mL. Comparer la température finale à celle de la première expérience.

Croiser les notions

29 Mélanges solide-eau

On réalise trois expériences en utilisant trois solides ioniques différents s_1, s_2 et s_3 : hydroxyde de sodium (s_1), chlorure d'ammonium (s_2) et chlorure de sodium (s_3). On mesure la température initiale et finale du système chimique.



		Bécher 1	Bécher 2	Bécher 3
		même volume d'eau distillée		
		4 g de s_1	4 g de s_2	4 g de s_3
		agitation, puis mesure de la température		
Température (en °C)	initiale	21,0	21,0	21,0
	finale	40,7	15,1	20,5

1. Les solides ioniques introduits subissent-ils une fusion ou une dissolution ?

2. Pour chaque transformation, préciser s'il s'agit d'un phénomène endothermique ou exothermique.

3. Des « poches de froid » contiennent l'une de ces espèces chimiques et une capsule d'eau hermétique que l'on peut rompre en appuyant dessus. La poche est alors appliquée sur une blessure afin de soulager la douleur. Laquelle de ces trois espèces chimiques est la plus adaptée pour fabriquer une poche de froid ?



JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- comparé la dissolution de trois solutés dans les mêmes conditions ;
- déterminé la dissolution la plus endothermique.

30 Régulation de la température corporelle SVT

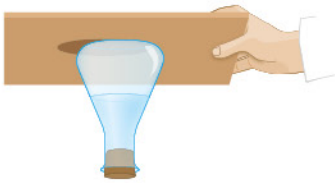
L'amidon contenu dans le riz, les pâtes ou les pommes de terre est hydrolysé dans l'organisme humain par l'eau en glucose $C_6H_{12}O_6$ (s).

La dégradation du glucose produit du dioxyde de carbone et de l'eau. Cette transformation permet, entre autres, de maintenir la température corporelle à 37 °C en évitant de se refroidir.

1. a. Quels sont les effets de la dégradation du glucose par l'organisme ?
b. Comment qualifier une telle transformation ?
c. Comment sont éliminés les produits de cette transformation ?

2. Pendant un effort intense, le corps se recouvre de sueur contenant des ions et de l'eau qui peu à peu est vaporisée par évaporation.
a. La vaporisation de l'eau est-elle endothermique ou exothermique ?
b. En déduire l'intérêt de transpirer pour l'organisme.

31 Soudure à l'eau



Sur une planche en bois, on verse de l'eau et on pose dessus un erlenmeyer contenant environ 20 g de nitrate d'ammonium solide NH_4NO_3. On verse ensuite 20 mL d'eau dans l'erlenmeyer et on agite avec une tige de verre jusqu'à dissolution complète sans le faire bouger. On met un bouchon sur l'erlenmeyer et on retourne la planche.

1. En observant la planche, on remarque une pellicule de glace entre celle-ci et l'erlenmeyer, ce qui explique que ce dernier ne tombe pas lorsque l'on retourne la planche.
a. La solidification de l'eau est-elle une transformation chimique ?
b. De la glace qui fond constitue-t-elle un système qui reçoit de l'énergie ou qui en perd ?
En déduire si la solidification de l'eau est un processus exothermique ou endothermique.

2. Que peut-on déduire de cette expérience sur les effets thermiques de la dissolution du nitrate d'ammonium ?

À L'ORAL

32 Conversion d'énergie

Préparer un exposé oral présentant la conversion d'énergie dans le Soleil et dans les centrales nucléaires. Cet exposé devra utiliser les mots clés ci-dessous :

- Soleil ;
- centrale nucléaire ;
- transformation nucléaire ;
- énergie ;
- fission ;
- fusion ;
- neutron ;
- uranium ;
- température ;
- mécanisme de réaction en chaîne.

Ce court exposé devra pouvoir être réalisé sans note écrite.

33 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Le Soleil est une sphère de gaz, principalement du dihydrogène, qui rayonne de l'énergie dans toutes les directions de l'espace.

D'où provient la quantité phénoménale d'énergie libérée par le Soleil ?



Acquérir des compétences

34 Détermination d'une énergie de vaporisation — DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

AN/RAI Justifier un protocole

VAL Comparer à une valeur de référence

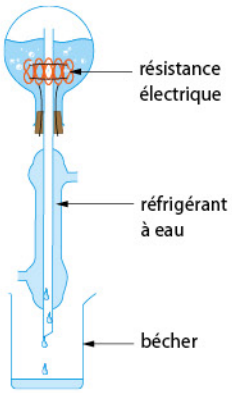
Lorsqu'un conducteur électrique est parcouru par un courant, il s'échauffe. Ce phénomène, appelé effet Joule, est utilisé dans les sèche-cheveux par exemple.

Dans l'expérience schématisée ci-contre, l'énergie dissipée par effet Joule permet de vaporiser une masse d'eau initialement portée à sa température d'ébullition.

L'eau évaporée se liquéfie ensuite, est récupérée dans un bécher, puis pesée.

La quantité d'énergie apportée par le circuit électrique est de 1,3 J par seconde, mais on suppose que seule 90 % de cette énergie est effectivement utilisée pour vaporiser l'eau.

La masse d'eau liquéfiée dans le bécher après 1,0 heure de chauffage vaut 1,8 g.



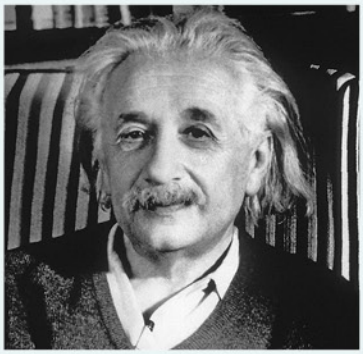
1. Pourquoi prend-on en compte seulement 90 % de l'énergie apportée par le circuit électrique ?
2. Déterminer la valeur de l'énergie massique de vaporisation de l'eau.
La comparer avec cette valeur de référence : $L_{vap} = 2{,}3 \times 10^{6}\ J \cdot kg^{-1}$.

35 Perte de masse du Soleil — ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

AN/RAI Évaluer des ordres de grandeur

DOC 1 Transformation nucléaire et perte de masse

En 1905, Einstein, énonce le principe d'équivalence entre masse et énergie. Lors d'une transformation nucléaire, c'est la perte de masse qui est à l'origine de l'énergie libérée : la masse ne disparaît pas, elle est convertie en énergie.



Albert Einstein (1879-1955), physicien américain d'origine allemande.

DOC 2 Fusion nucléaire au cœur du Soleil

L'énergie rayonnée par le Soleil provient des réactions de fusion des noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium.

La réaction de fusion de noyaux de l'isotope ${}_{1}^{1}\mathrm{H}$ de l'hydrogène donne un noyau d'hélium et deux particules de symbole ${}_{1}^{0}\mathrm{e}$ appelées positons, selon l'équation :

$$4\,{}_{1}^{1}\mathrm{H} \rightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + 2\,{}_{1}^{0}\mathrm{e}$$

L'énergie libérée est de 24 MeV (mégaélectronvolt) tandis que la masse du système chimique diminue de $4{,}3 \times 10^{-29}$ kg.

DOC 3 Caractéristiques du Soleil

- Masse actuelle du Soleil : $2{,}0 \times 10^{30}$ kg.
- Âge : 4,6 milliards d'années.
- Puissance totale rayonnée : $3{,}9 \times 10^{26}$ W.

DOC 4 Données

- $1\ eV = 1{,}602 \times 10^{-19}\ J$.
- $1\ W = 1\ J \cdot s^{-1}$.

$$E = P \cdot \Delta t$$

E : énergie (en J) ; P : puissance (en W) ; Δt : durée (en s)

ANALYSE

1. Convertir en joule l'énergie libérée par la fusion de noyaux de l'isotope ${}_{1}^{1}\mathrm{H}$.
2. Déterminer l'énergie libérée par Soleil depuis sa formation.
3. En supposant que l'énergie rayonnée provient intégralement de la fusion, déterminer la perte de masse du Soleil depuis sa formation.

SYNTHÈSE

Résumer le principe de conversion d'énergie dans le Soleil et justifier que sa perte de masse est négligeable par rapport à sa masse actuelle.

Retrouvez des exercices de synthèse p. 124

36 Fluide réfrigérant d'une pompe à chaleur — TÂCHE COMPLEXE

RÉA Effectuer des procédures courantes (calculs)

Une pompe à chaleur est un système de chauffage qui permet d'effectuer un transfert thermique entre l'extérieur et l'intérieur d'une habitation en utilisant les changements d'état d'un fluide.

Le fluide réfrigérant contenu dans le circuit d'une pompe à chaleur est du tétrafluoroéthane de formule brute $C_2H_2F_4$ connue sous le nom de code R-134a.

Données :

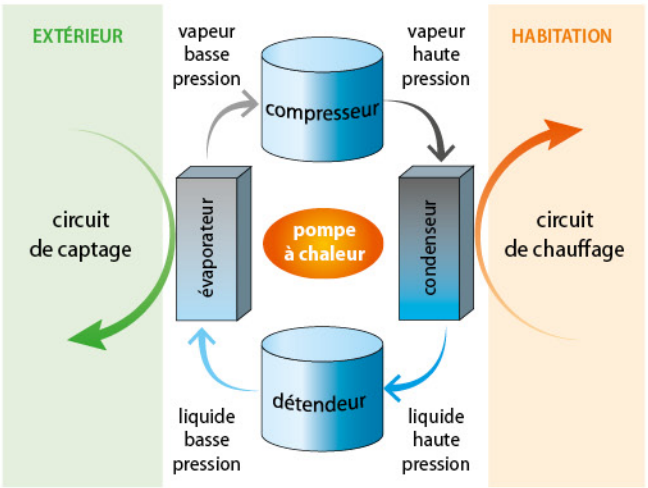
$1\ W = 1\ J \cdot s^{-1}$.

Énergie massique de vaporisation du tétrafluoroéthane :

$L_{vap} = 216\ kJ \cdot kg^{-1}$.

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

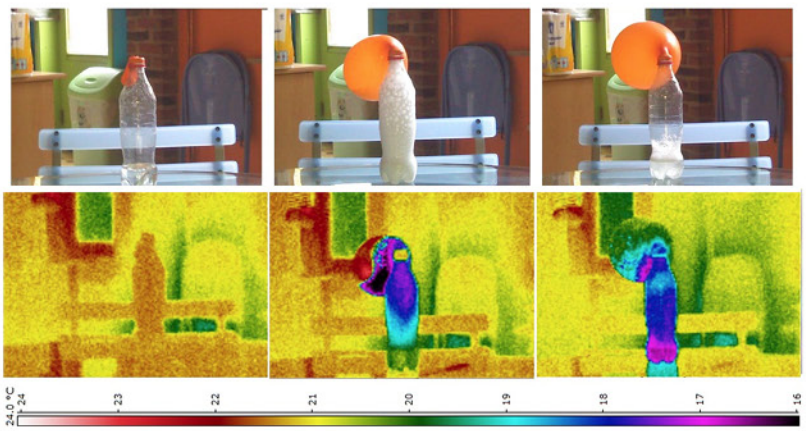
Déterminer la masse de fluide liquéfié chaque seconde lorsque la pompe à chaleur fournit une puissance de 3 000 W.



VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

37 Étude des effets d'une transformation chimique — DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

AN/RAI Faire des prévisions à l'aide d'un modèle



Données :

Masses des atomes de sodium, de carbone, d'oxygène et d'hydrogène :

$m_{Na} = 3{,}82 \times 10^{-23}\ g$; $m_C = 1{,}99 \times 10^{-23}\ g$; $m_O = 2{,}66 \times 10^{-23}\ g$; $m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}\ g$.

Constante d'Avogadro :

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

Un ballon de baudruche contenant une masse $m = 4{,}0$ grammes d'hydrogénocarbonate de sodium $NaHCO_3$ (s) est placé sur le goulot d'une bouteille contenant 100 mL de vinaigre blanc.

Le vinaigre blanc est une solution aqueuse d'acide éthanoïque $C_2H_4O_2$ (aq) de concentration en masse $c_m = 60\ g \cdot L^{-1}$.

On fait tomber le contenu du ballon dans la bouteille et on suit l'évolution de l'expérience à l'aide d'une caméra infrarouge. Cette dernière permet d'évaluer à distance la température des objets filmés par thermographie, c'est-à-dire en réalisant des images appelées thermogrammes (photo) dont les couleurs varient en fonction de la température des objets.

L'équation chimique de la transformation étudiée est :

$$NaHCO_3\ (s) + C_2H_4O_2\ (aq) \rightarrow Na^+\ (aq) + C_2H_3O_2^-\ (aq) + H_2O\ (\ell) + CO_2\ (g)$$

1. Pourquoi le ballon se gonfle-t-il au cours de la transformation chimique ?
2. Évaluer les températures initiale et finale du système chimique.

En déduire si la transformation est endothermique ou exothermique.

3. Déterminer le réactif limitant.
4. Que se passe-t-il si l'on place initialement 8,0 grammes d'hydrogénocarbonate de sodium dans le ballon de baudruche ?

Les sciences et nous

GROS PLAN SUR...

Les feux d'artifices



Les feux d'artifice contiennent de la poudre noire et différentes espèces chimiques.
Lorsque l'on tire un feu d'artifice, la poudre noire subit une combustion explosive et très exothermique dans le ciel. Les autres espèces chimiques absorbent en grande partie cette énergie dégagée.
La température de ces espèces augmente considérablement, certaines fondent ou se vaporisent. Dans ces conditions, des composés métalliques émettent de la lumière colorée caractéristique, bleue pour le cuivre ou rouge pour le lithium. Des particules métalliques incandescentes poursuivent leur combustion en formant des gerbes d'étincelles colorées, argent pour l'aluminium ou blanc lumineux pour le magnésium.

LES MÉTIERS DU CHAPITRE

Ingénieur·e nucléaire



Spécialisé dans le nucléaire, l'ingénieur travaille le plus souvent pour une grande entreprise du secteur énergétique.
Ses missions sont très différentes selon son poste et son profil : il peut gérer la production d'électricité dans une centrale nucléaire, veiller à la sécurité des installations ou encore travailler à la mise au point de nouveaux procédés.
L'ingénieur est très organisé et endosse de grandes responsabilités. Il doit faire preuve d'initiative et d'autonomie même s'il travaille le plus souvent en équipe.

***Niveaux d'études** : bac+5 après un bac général avec spécialité physique-chimie.*

Technicien·ne en génie climatique



Le technicien veille au confort de tous en entretenant et en réparant les appareils de climatisation, de chauffage et de ventilation des locaux. Il intervient aussi bien dans les logements individuels que dans les entreprises ou les équipements collectifs (salles de spectacles, gymnases...).
Le technicien est autonome et possède une grande capacité d'adaptation. Il dispose d'attestations l'autorisant à manipuler des fluides frigorigènes.

***Niveaux d'études** : bac+2 après un bac technologique ou général avec spécialité physique-chimie.*

Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

EXERCICES DE SYNTHÈSE



1 Des éléments chimiques familiers

En faisant du tri, Jérémy trouve un vieux flacon de désinfectant dans son armoire à pharmacie. Il s'agit d'un antiseptique utilisé pour lutter contre la multiplication des bactéries. Cet antiseptique de couleur jaune peut être considéré comme une solution aqueuse de diiode. On notera *S* cette solution.

Il découvre ensuite un pulvérisateur nasal à base de soufre, prévu pour déboucher le nez en cas de rhume.

Le soufre est un élément chimique qu'il a repéré dans le tableau périodique accroché au mur de la salle de TP !

DOC 1 Matériel à disposition





Volumes : 5 mL, 10 mL et 20 mL.

DOC 2 Extrait du tableau périodique

$_{1}H$								$_{2}He$
$_{3}Li$	$_{4}Be$		$_{5}B$	$_{6}C$	$_{7}N$	$_{8}O$	$_{9}F$	$_{10}Ne$
$_{11}Na$	$_{12}Mg$		$_{13}Al$	$_{14}Si$	$_{15}P$	$_{16}S$	$_{17}Cl$	$_{18}Ar$

DOC 3 Données

La configuration électronique du soufre est :

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$

La masse du nucléon est :

$m_{nu} = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg

1. On peut trouver expérimentalement un encadrement de la concentration en masse de diiode de la solution *S* que Jérémy a trouvée.

a. Expliquer brièvement la méthode expérimentale.

b. Lors de la mise en œuvre de cette méthode, pourquoi faut-il que les récipients utilisés soient tous identiques ?

c. En utilisant la verrerie disponible, expliquer comment Jérémy devra procéder pour préparer une solution *S'* dix fois plus diluée que la solution *S*.

2. a. Donner la composition du noyau d'un atome de soufre qui possède 32 nucléons.

b. Un noyau isotope du soufre a une masse de $5{,}7 \times 10^{-26}$ kg. Qu'appelle-t-on noyaux isotopes ?

c. Quelle est la composition du noyau isotope ?

d. Quel ion stable le soufre peut-il former facilement ? Justifier la réponse.

2 Le cuivre dans une pièce de 10 centimes



Une pièce de 10 centimes d'euro est constituée d'un mélange de plusieurs métaux : cuivre, aluminium, zinc et étain. Sa masse est 4,10 g.

On souhaite déterminer expérimentalement le pourcentage massique de cuivre dans une pièce et le comparer à la valeur de référence égale à 89 %.

Le cuivre est un métal qui réagit avec l'acide nitrique (H^+ (aq) + NO_3^- (aq)) pour former des ions cuivre Cu^{2+} (aq), de l'eau et du monoxyde d'azote NO (g) selon cette équation chimique :

$$3\ Cu\ (s) + 8\ H^+\ (aq) + 2\ NO_3^-\ (aq) \rightarrow 3\ Cu^{2+}\ (aq) + 4\ H_2O\ (\ell) + 2\ NO\ (g)$$

DOC 1 Dangers du dioxyde d'azote

Le monoxyde d'azote NO (g) est un gaz instable à température ordinaire et se combine avec le dioxygène atmosphérique en formant du dioxyde d'azote NO_2 (g), un gaz roux dont les pictogrammes de sécurité sont donnés ci-contre.



DOC 2 Protocole expérimental

On souhaite étudier la transformation chimique entre le cuivre et l'acide nitrique. Pour cela, on dépose une pièce de 10 centimes dans un erlenmeyer de 100 mL que l'on place sous une hotte aspirante en fonctionnement. Équipé de gants et de lunettes de protection, on verse dans l'erlenmeyer 20 mL d'une solution d'acide nitrique très concentrée.

Lorsque la pièce est complètement dissoute, on transfère intégralement le contenu de l'erlenmeyer dans une fiole jaugée de 100 mL et on complète cette dernière avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge : on obtient une solution *S*.



DOC 3 Échelle de teintes

On prépare une échelle de teintes de quatre solutions de sulfate de cuivre (Cu^{2+} (aq) + SO_4^{2-} (aq)).

Solution S_i	S_1	S_2	S_3	S_4
Concentration c_{mi} (en g · L^{-1})	150	75,0	37,5	20,0



1. Le mélange de métaux constituant une pièce de 10 centimes est-il homogène ou hétérogène ? Justifier la réponse.
2. Justifier que l'expérience devrait être réalisée sous une hotte aspirante (**Doc. 2**).
3. **a.** Justifier que la quantité d'ions cuivre produits lors de la transformation chimique serait égale à la quantité d'atomes de cuivre ayant réagi (**Doc. 2**).
   b. Qu'est-ce qui permettrait d'affirmer que le réactif limitant est le cuivre ?
4. La solution *S* obtenue, placée dans un tube à essais, a la couleur de la solution S_3.
   a. Donner une estimation de la masse de cuivre présente dans la pièce de monnaie.
   b. En déduire le pourcentage massique du cuivre dans cette pièce.
   c. Proposer un argument expliquant l'écart entre la valeur du pourcentage déterminée et celle du pourcentage de référence donné.

EXERCICES DE SYNTHÈSE

3 Le paracétamol



Le paracétamol ou **para-acét**yl-**am**ino-phén**ol** est entre autres un antipyrétique, synthétisé pour la première fois en 1878 par Harmon Northrop Morse, chimiste américain.

Jusque-là, les antipyrétiques étaient obtenus à partir de préparations réalisées avec des écorces de Cinchona ou de Saule.

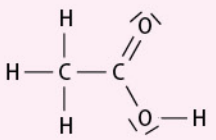
Le genre Cinchona (photo) rassemble une vingtaine d'espèces d'arbres ou d'arbustes, tous originaires d'Amérique du Sud.

Le paracétamol découvert par H. N. Morse ne fut commercialisé qu'une cinquantaine d'années plus tard sous le nom de paracétamol.

DOC 1 Synthèse du paracétamol

La synthèse du paracétamol peut être réalisée au laboratoire à partir du para-aminophénol et de l'anhydride éthanoïque. L'équation de la réaction de la synthèse est :

C_6H_7NO **para-aminophénol** + $C_4H_6O_3$ **anhydride éthanoïque** → $C_8H_9NO_2$ **paracétamol** + $C_2H_4O_2$ **acide éthanoïque**



DOC 2 Matériel à disposition

Pour effectuer une chromatographie sur couche mince, on dispose :

- de plaques pour CCM, de capillaires et d'une cuve à chromatographie ;
- d'éluant, un mélange de $CHCl_3$ (chloroforme) et de CH_3OH (méthanol) en proportions 60/40 en volume ;
- de trois échantillons de solutions :
  - 1 mL d'éluant et une pointe de spatule de para-aminophénol,
  - 1 mL d'éluant et une pointe de spatule de paracétamol synthétisé et purifié,
  - 1 mL d'éluant et une pointe de spatule de paracétamol du commerce.

DOC 3 Protocole expérimental de la première étape de synthèse

- Dans un erlenmeyer de 150 mL, introduire 2,7 g de para-aminophénol, 25 mL d'eau distillée et 3,5 mL d'anhydride éthanoïque prélevés à la pipette graduée, et un barreau aimanté.
- Adapter sur l'erlenmeyer un réfrigérant à air.
- Plonger l'erlenmeyer pendant 20 minutes dans un bain-marie à 80 °C, placé sur un agitateur magnétique chauffant.

DOC 4 Données

- Masses atomiques du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène :
  $m_C = 2{,}00 \times 10^{-23}$ g ; $m_O = 2{,}67 \times 10^{-23}$ g ; $m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}$ g.
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}.
- Masse volumique de l'anhydride éthanoïque :
  $\rho = 1{,}08$ g · mL^{-1}
- Configurations électroniques de l'hydrogène, du carbone et de l'oxygène :
  H $1s^1$ **C** $1s^2\,2s^2\,2p^2$ **O** $1s^2\,2s^2\,2p^4$

1. **a.** Réaliser un schéma légendé du dispositif expérimental utilisé (**Doc. 3**).
   b. Quel nom ce dispositif porte-t-il ?
2. **a.** Montrer que l'on a introduit 37 mmol d'anhydride éthanoïque (**Doc. 3**).
   b. La quantité initiale de para-aminophénol est égale à 25 mmol. Déterminer quel est le réactif limitant.
3. La chromatographie sur couche mince (CCM) est l'une des techniques qui permet de s'assurer de la formation du paracétamol.
   a. Expliquer sa mise en œuvre en s'aidant d'un schéma légendé.
   b. Dessiner l'allure du chromatogramme obtenu.
4. Justifier alors le schéma de Lewis de l'acide éthanoïque donné (**Doc. 1**).

4 Réduire le dioxyde de carbone dans l'atmosphère

La lutte contre le réchauffement climatique constitue un défi majeur du XXIe siècle. Parmi les priorités, il faut chercher à diminuer les émissions de CO_2, le dioxyde de carbone.

C'est dans cette optique que de nouvelles technologies ont été développées. Elles visent d'abord les activités fortement émettrices de dioxyde de carbone, telles que la production d'énergie dans les centrales thermiques, le raffinage des pétroles, la fabrication des ciments ou la sidérurgie. Mais, il est également possible de valoriser le dioxyde de carbone qui est émis en le transformant.



DOC 1 Synthèse industrielle de l'urée

L'urée $CO(NH_2)_2$ est fabriquée industriellement à partir d'ammoniac NH_3 et de dioxyde de carbone CO_2.

Soixante-dix millions de tonnes d'urée sont produites chaque année.

La synthèse de l'urée réalisée sous forte pression, de 140 à 160 bars, et à des températures comprises entre 160 °C et 180 °C, forme également de l'eau H_2O.

DOC 3 Données

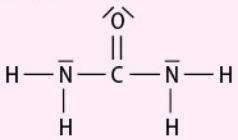
- Masses atomiques du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'azote :

$$m_C = 2{,}00 \times 10^{-23}\ \text{g} ;\ m_O = 2{,}67 \times 10^{-23}\ \text{g} ;$$
$$m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}\ \text{g} ;\ m_N = 2{,}32 \times 10^{-23}\ \text{g}.$$

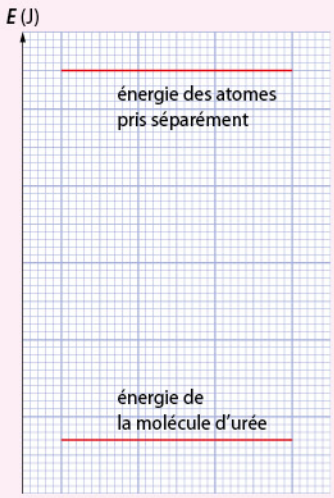
- Configurations électroniques de l'hydrogène, du carbone, de l'azote et de l'oxygène :

H $1s^1$ **C** $1s^2\,2s^2\,2p^2$
N $1s^2\,2s^2\,2p^3$ **O** $1s^2\,2s^2\,2p^4$

- Schéma de Lewis de l'urée :



DOC 2 Diagramme énergétique de la molécule d'urée



1. Écrire l'équation ajustée de la synthèse de l'urée à partir du dioxyde de carbone.
2. **a.** Combien de doublets liants et non liants chacun des atomes de carbone, hydrogène, azote et oxygène possède-t-il ?
   b. Justifier alors le schéma de Lewis de la molécule d'urée.
3. **a.** Exprimer la masse de la molécule d'urée en fonction de la masse des atomes la constituant.
   b. Calculer sa valeur.
   c. Comment pourrait-on identifier l'urée synthétisée dans un échantillon solide ?
4. **a.** Établir un bilan de la nature et du nombre de liaisons qu'il faut rompre pour dissocier la molécule d'urée.
   b. Analyser le diagramme énergétique (**Doc. 2**) et conclure sur l'effet de la formation de ces liaisons.

EXERCICES DE SYNTHÈSE

5 D'une odeur âcre à une odeur fruitée

Les esters sont des composés chimiques qui ont souvent une odeur agréable. On les trouve naturellement dans les fruits, dont ils sont généralement responsables de l'arôme (voir tableau ci-dessous).

La parfumerie et l'industrie alimentaire utilisent aussi les esters.

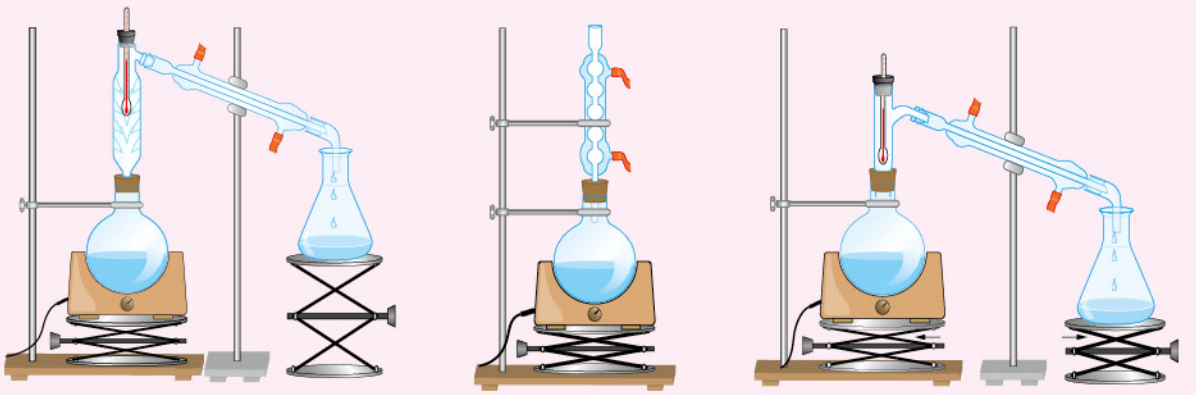
De tous temps, certains « nez » éduqués ont été capables de distinguer des odeurs très voisines et d'identifier ainsi des esters. Il est relativement aisé de passer d'un produit ayant une odeur âcre, comme l'acide formique, à l'odeur fruitée d'un ester. Ceci est illustré par le **document 1** qui présente le protocole de la synthèse du méthanoate de butyle à partir de l'acide formique.



La synthèse s'effectue par chauffage à reflux dans un bain-marie à une température d'environ 50 °C sous la pression atmosphérique.

Ester	Méthanoate de butyle	Éthanoate de propyle	Éthanoate de butyle	Éthanoate d'octyle	Propanoate d'éthyle	Butanoate d'éthyle
Odeur	fruitée	poire	pomme	orange	fraise	ananas

DOC 1 Des montages expérimentaux



montage A montage B montage C

DOC 2 Données

- **Réaction de synthèse** :

acide formique + butan-1-ol → méthanoate de butyle + eau
CH_2O_2 $C_4H_{10}O$ $C_5H_{10}O_2$ H_2O

- **Énergie massique** de vaporisation de l'eau : $L_{vap} = 2{,}3 \times 10^6\ J \cdot kg^{-1}$.

1. **a.** Parmi les montages du **document 1**, justifier celui qu'il convient de choisir pour la synthèse de l'ester à odeur de fruit.
   b. Pourquoi les deux autres montages ne conviennent-ils pas ?
2. **a.** Le butan-1-ol est liquide à température ambiante. Décrire, à l'aide de schémas, une expérience qui permettrait d'identifier ce réactif de la synthèse.
   b. Répondre à la même question que **2. a** pour l'eau produite par la synthèse, mais en utilisant une méthode différente.
3. Un problème de thermostat provoque une augmentation de la température du bain-marie lors de la synthèse.
   a. À quelle température le niveau de l'eau dans le bain-marie va-t-il commencer à diminuer ?
   b. Le changement d'état qui se produit alors est-il endothermique ou exothermique ?
4. Calculer le transfert thermique mis en jeu si 18 g d'eau changent d'état.

6 Au soleil d'ITER

C'est seulement en 1920 que le voile est levé par les Britanniques Francis William Aston et Arthur Eddington : les noyaux d'atomes d'hydrogène, le principal constituant solaire, se transforment en hélium en fusionnant. Une réaction qui libère une énergie faramineuse.

Le projet ITER est un projet de réacteur de recherche civil à fusion nucléaire. Son objectif est de démontrer la possibilité scientifique et technologique de la production d'énergie par la fusion des atomes.

La fusion contrôlée est un défi scientifique et technologique majeur qui pourrait répondre au problème crucial de disposer, à plus ou moins long terme, de nouvelles ressources énergétiques.



À côté de l'énergie de fission, l'énergie de fusion représente l'espoir d'avoir une source d'énergie propre et abondante au cours du XXIe siècle.

À l'heure de la raréfaction des énergies fossiles, il est d'une importance vitale d'explorer le potentiel de toutes les autres sources d'énergie.

DOC 1 Étude de la réaction de fusion

Le concept solaire de production d'énergie est basé sur une réaction dont la probabilité de se réaliser est extrêmement faible sur notre planète. Mais l'idée reste intéressante ! Il « suffit » de remplacer l'hydrogène par des noyaux qui ont un maximum de chance de fusionner sur Terre, en l'occurrence ceux de deutérium et de tritium, et de les chauffer à des températures très élevées, de l'ordre de 100 millions de degrés.

C'est donc sur cette réaction que se concentrent les recherches concernant la fusion contrôlée :

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

DOC 2 L'unité de tonne d'équivalent pétrole

La tonne d'équivalent pétrole (symbole tep) est une unité d'énergie utilisée dans l'industrie et en économie. Elle sert à comparer les énergies obtenues à partir de sources différentes.

1 tep représente $4{,}2 \times 10^{10}$ J, c'est-à-dire l'énergie libérée en moyenne par la combustion d'une tonne de pétrole.

DOC 3 Données

- Masse d'un noyau :
  - de deutérium $m_D = 3{,}34358 \times 10^{-27}$ kg ;
  - de tritium $m_T = 5{,}00736 \times 10^{-27}$ kg.
- Énergie libérée par la fusion d'un noyau de deutérium et d'un noyau de tritium : $E = 28{,}2 \times 10^{-13}$ J
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}

1. a. Comment appelle-t-on le deutérium et le tritium ?
b. Préciser ce qui les différencie.

2. a. Vérifier que le nombre de noyaux présents dans 1,0 g de noyaux de deutérium est $3{,}0 \times 10^{23}$ noyaux.
b. Vérifier qu'il en est de même dans 1,5 g de noyaux de tritium.
c. À quelle quantité de matière de noyaux cela correspond-il dans le cas du deutérium ? du tritium ?

3. a. Quelle énergie pourrait-on espérer obtenir si on réalisait la réaction de fusion de 1,0 g de noyaux de deutérium avec 1,5 g de noyaux de tritium dans le réacteur ITER ?
b. Calculer, en tep, l'énergie libérée par la fusion de 1,0 g de deutérium et de 1,5 g de tritium.
c. Sachant que dans une centrale nucléaire la fission de 2,5 g d'uranium libère une énergie de 4,5 tep, expliquer en quoi ITER est un espoir pour la production d'énergie.

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

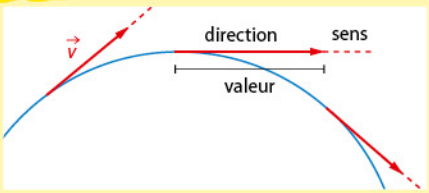
LES ACQUIS INDISPENSABLES

- La **vitesse** d'un objet en mouvement est caractérisée par sa **valeur**, son **sens** et sa **direction**.

distance parcourue par l'objet (en **m**)

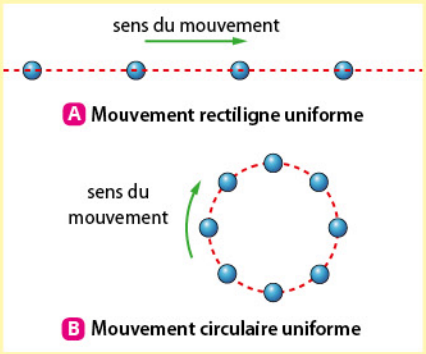
vitesse d'un objet (en **m/s**) → $v = \frac{d}{\Delta t}$ ← durée de parcours (en **s**)

Elle est représentée par un **segment fléché**.



- Un mouvement peut être **rectiligne** A ou **circulaire** B.

Si la valeur de la vitesse reste constante au cours du temps, le mouvement est dit **uniforme** A B.



- Le mouvement d'un objet n'est pas perçu de la même manière selon que l'**observateur** est immobile ou en mouvement.

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

Le mouvement d'une pomme qui tombe verticalement est représenté par une chronophotographie.

Comment peut-on qualifier le mouvement de cette pomme ?



SITUATION 2

Une joggeuse a parcouru 10 km en 50 minutes.



Comment déterminer la valeur de sa vitesse en mètre par seconde (m/s) ?

SITUATION 3

Un passager, assis dans un train en mouvement, est observé par deux personnes : la première est assise en face de lui et la seconde se trouve sur le quai à l'extérieur du train.

Le mouvement du passager assis est-il le même pour chacune de ces personnes ?

CHAPITRE 6

PHYSIQUE

d'un mouvement



Peut-on décrire à partir de cette photographie le mouvement des avions de la patrouille de France, symbole de l'Armée de l'air française ?

➥ EXERCICE 47

NOTIONS ET CONTENUS

- Système. Échelles caractéristiques d'un système. Référentiel et relativité du mouvement.
- Description du mouvement d'un système par celui d'un point. Position. Trajectoire d'un point.
- Vecteur déplacement d'un point. Vecteur vitesse moyenne d'un point. Vecteur vitesse d'un point.
- Mouvement rectiligne.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- Réaliser et exploiter une vidéo ou une chronophotographie d'un système en mouvement, et représenter des vecteurs vitesse. ➥ ACTIVITÉS 3 ET 4
- Décrire la variation du vecteur vitesse. ➥ ACTIVITÉ 4

COMPÉTENCES :
AN/RAI Proposer une stratégie de résolution
APP Rechercher et organiser l'information

Échelles caractéristiques d'un système



LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

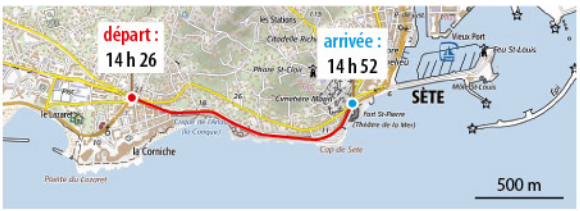
De nombreux objets connectés, applications ou sites internet permettent de repérer des **systèmes** en mouvement dans l'espace et le temps.

Quelles échelles spatiales et temporelles doit-on utiliser pour repérer, au cours du temps, la position d'un avion se déplaçant de Paris à Rome à 850 km · h^{-1} ?

COUP DE POUCE ➥ p. 330

DOC 1 Échelle sur une carte routière

L'échelle se situe généralement au bas d'une carte et indique une longueur réelle proportionnelle à la longueur sur la carte. L'échelle permet d'évaluer la distance d'un itinéraire.



DOC 2 GPS embarqué

Sur l'écran d'un GPS figurent de multiples informations qui facilitent notre repérage tout au long d'un itinéraire.



DOC 3 Déplacement de bateaux

La position et le mouvement de bateaux peuvent être visualisés en temps réel sur quelques sites Internet, en général toutes les dix minutes.



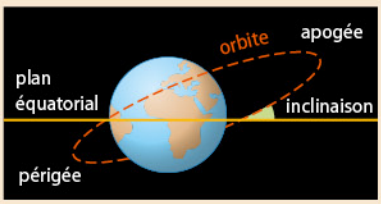
DOC 4 Localisation d'un satellite

Plus de 16 000 satellites gravitent autour de la Terre. Il est possible de localiser chaque satellite en fonction de différents paramètres comme la **période**, l'**inclinaison**, l'**apogée** ou le **périgée**.



VOCABULAIRE

- Le **système** désigne l'objet dont on étudie le mouvement.
- Une représentation **spatiale** est liée à l'espace.
- Étudier un événement **temporel**, c'est le situer dans le temps.
- La durée mise par un satellite pour effectuer un tour complet autour de la Terre est appelée **période** de révolution.
- L'**inclinaison** est l'angle entre le plan équatorial et le plan de l'orbite d'un satellite.



- L'**apogée** correspond à la position d'un corps céleste, la plus éloignée de la Terre.
- Le **périgée** correspond à la position d'un corps céleste, la plus proche de la Terre.

POUR VISUALISER



Une animation pour approcher les notions de longitude et latitude.

Je réussis si...

- **Je sais associer à un mouvement une échelle spatiale et une échelle temporelle.**

CLASSE INVERSÉE

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
COM Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente

Choix d'un référentiel

Pourquoi doit-on définir un référentiel avant d'étudier un mouvement ?

DOC 1 Mouvement d'un cycliste

Trois caméras filment un même système en mouvement. Les enregistrements sont tous différents et permettent d'introduire la notion de référentiel.



DOC 2 Mouvement de planètes

Les planètes du Système solaire ne se déplacent pas toutes à la même vitesse sur leur orbite. Mars, par exemple, va moins vite que la Terre ; pour un observateur terrestre, Mars **rétrograde** dans le ciel.



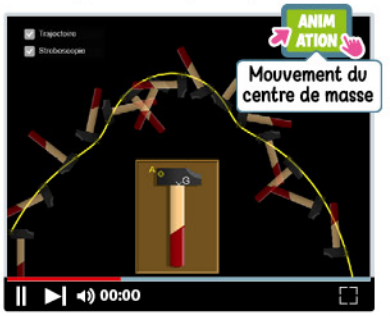
DOC 3 Mouvement d'un bateau

Le bateau se déplace sur un cours d'eau et son mouvement peut être étudié par rapport à un référentiel fixe, le sol, ou par rapport à un référentiel lui-même en mouvement, l'eau.



DOC 4 Mouvement de deux points d'un marteau

La **trajectoire des points** d'un marteau en mouvement est complexe, à l'exception d'un point particulier.



DOC 5 Approche du mouvement d'un point par Python

Pour représenter les positions successives d'un point mobile dans un repère bidimensionnel, on utilise ce programme écrit à l'aide du langage Python.

```
import matplotlib.pyplot as plt
x=[1,2,3,4,5]
y=[1,1.2,1.4,1.6,1.8]
plt.plot(x,y,"ro")
plt.axis([0,5.5,0,2])
plt.xlabel("abscisses (m)")
plt.ylabel("ordonnées (m)")
plt.title("trajectoire balle")
plt.show()
```

VOCABULAIRE

- **Repère géocentrique :** repéré par rapport au centre de la Terre.
- **Repère héliocentrique :** repéré par rapport au centre du Soleil.
- **Rétrograde :** qui va vers l'arrière.
- **Trajectoire d'un point :** ensemble des positions successives de ce point au cours de son mouvement.
- **Translation :** absence de rotation et de déformation lors d'un déplacement.

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 **a.** Citer les trois référentiels utilisés dans le **document 1**. Les mouvements observés sont-ils les mêmes ?
b. Quel est le référentiel qui a un mouvement de **translation** par rapport au sol ?

2 **a.** Les trajectoires modélisées par un point particulier de Mars sont-elles les mêmes dans les deux repères proposés dans l'animation (**doc. 2**) ?
b. En modélisant le mouvement de Mars par un point et à l'aide du **document 4**, quelle information perd-on au niveau du mouvement de Mars ?

3 Quelle doit être la vitesse du courant d'eau pour que le bateau paraisse immobile par rapport au sol ?

4 Quel est le mouvement du point mobile (**doc. 5**) si les valeurs de $x \neq 0$ restent constantes ?

SYNTHÈSE

5 Pourquoi doit-on toujours préciser le référentiel dans lequel est étudié le mouvement d'un système ?

Je réussis si...

- **Je sais choisir un référentiel.**
- **Je sais expliquer l'influence du choix du référentiel sur la description du mouvement.**

PAGE Flashable

TP

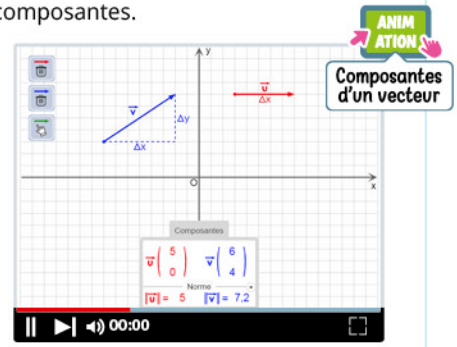
COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
RÉA Mettre en œuvre les étapes d'une démarche

Vecteur vitesse

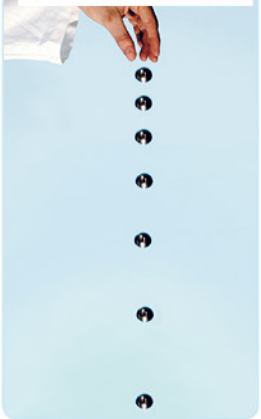
La représentation vectorielle de la vitesse apporte des informations supplémentaires, par exemple sur le sens et la direction de la trajectoire décrite par ce système. Comment représenter un vecteur vitesse et quels renseignements apporte-t-il ?

DOC 1 Notion de vecteur

Cette animation permet de se familiariser avec les **vecteurs** et de calculer leurs composantes.



DOC 2 Lâcher vertical d'une bille



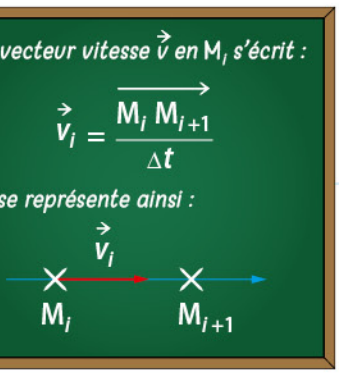
DOC 3 Notion de vecteur vitesse

M_i et M_{i+1} sont les positions successives occupées par un point M en mouvement aux instants t et $t + \Delta t$ pour un intervalle de temps Δt très petit.

Le vecteur vitesse $\vec{v}$ en M_i s'écrit :

$$\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{M_i M_{i+1}}}{\Delta t}$$

et se représente ainsi :



DOC 4 Approche du vecteur vitesse par Python

Pour tracer des vecteurs vitesse, on utilise ce programme écrit à l'aide du langage Python.

```
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]
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]))
xv=x[1:len(x)-1]
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()
```

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- Enregistrer, à l'aide d'une webcam, le mouvement d'une balle lâchée à la verticale, puis ouvrir l'enregistrement dans un logiciel de traitement de vidéo.
- Effectuer les réglages indispensables (FICHE PRATIQUE ➥ p. 312).
- Utiliser la fonction « pointage » du logiciel afin de visualiser la **trajectoire** du centre de la balle, noté M.
- Imprimer la trajectoire, puis numéroter les différentes positions occupées par le point M qui modélise le système : M_0, M_1, M_2...
- Tracer sur cette trajectoire les **vecteurs** $\overrightarrow{M_i M_{i+1}}$ pour $i = 1$, $i = 4$ et $i = 8$.

VOCABULAIRE

- **Trajectoire :** courbe orientée qui indique le sens et la direction du mouvement. La trajectoire d'un point traduit l'ensemble des positions successives occupées par ce point au cours de son mouvement.
- **Vecteur :** grandeur orientée caractérisée par son origine, sa direction, son sens et sa norme. (La norme du vecteur vitesse correspond à la valeur de la grandeur, exprimée en $m \cdot s^{-1}$.)

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Quelle est la durée Δt entre les différentes positions occupées par le point M ?

2 Déterminer graphiquement les valeurs des vecteurs $\overrightarrow{M_i M_{i+1}}$ en tenant compte de l'échelle spatiale.

3 En déduire les valeurs des vecteurs vitesse correspondants.

4 Construire ces vecteurs vitesse sur la trajectoire imprimée en utilisant une échelle adaptée.

CONCLUSION

5 Que peut-on dire du vecteur vitesse du point M au cours de son mouvement ?

Je réussis si...

- **Je sais calculer la valeur du vecteur vitesse.**
- **Je sais représenter des vecteurs vitesse.**

TP

COMPÉTENCES :
AN/RAI Proposer une stratégie de résolution
RÉA Mettre en œuvre les étapes d'une démarche

Mouvement rectiligne et vecteur vitesse



SITUATION-PROBLÈME

Les drones sont des objets qui peuvent décoller très rapidement verticalement, puis ralentir brutalement pour se stabiliser à l'altitude souhaitée.

Comment caractériser ces variations de mouvement à l'aide du vecteur vitesse ?

HYPOTHÈSE Proposer une hypothèse en la justifiant.

DOC 1 Utilisation du smartphone

À l'aide de certaines applications pour smartphone (FICHE PRATIQUE ➥ p. 302), on a la possibilité de visualiser la **chronophotographie** du mouvement d'un système.



VOCABULAIRE

- **Chronophotographie :** représentation des positions successives d'un objet en mouvement sur une même photographie.
- **Mouvement rectiligne non uniforme :** mouvement pour lequel le vecteur vitesse varie.
- **Mouvement rectiligne uniforme :** mouvement pour lequel le vecteur vitesse ne varie pas.
- **Variation d'une grandeur x :** $\Delta x = x_{final} - x_{initial}$.

PISTES DE RÉSOLUTION

Réaliser la vidéo ou la chronophotographie d'un drone qui s'élève verticalement, puis se stabilise.

1 Tracer les vecteurs vitesse d'un point particulier du drone.

2 Décrire la variation des vecteurs vitesse au cours de différentes phases du mouvement du drone.

CONCLUSION

3 Décrire le type de mouvement observé au cours de différentes phases du mouvement du drone.

DOC 2 Approche du vecteur vitesse par Python

Pour vérifier les constructions vectorielles, on utilise ce programme bien paramétré et écrit à l'aide du langage Python.

```
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]

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()
```

Je réussis si...

- **Je sais décrire la variation du vecteur vitesse.**
- **Je sais caractériser un mouvement rectiligne.**

1 Système et référentiel

Notion de système

Le terme généralement employé pour définir l'objet dont on étudie le mouvement est **système**.

EXEMPLE Si on étudie le mouvement d'un parachutiste au cours de sa chute, le système est le parachutiste.

Échelles caractéristiques

Pour décrire le mouvement d'un système, il faut pouvoir repérer à chaque instant sa position, le but étant de savoir si cette position évolue dans le temps.

Pour décrire le mouvement d'un système, il faut identifier une **échelle spatiale** et une **échelle temporelle** adaptées.

EXEMPLE
Pour suivre le déplacement d'un avion, les contrôleurs aériens le repèrent à l'aide de ses coordonnées géographiques (latitude et longitude), ainsi que par son altitude. Sa position est mise à jour toutes les secondes (FIG. 1).

Référentiel

L'objet de référence par rapport auquel on étudie un mouvement est appelé **référentiel**.

Attention : le choix du référentiel doit être adapté au mouvement que l'on veut étudier.

APPROFONDISSEMENT SCIENTIFIQUE

Pour des mouvements de courtes durées qui se déroulent sur Terre, ou à son voisinage, on utilise des objets qui sont fixes par rapport à la surface terrestre. On les nomme **référentiels terrestres**.
Pour des mouvements s'effectuant autour de la Terre, on choisit le **référentiel géocentrique**, qui est lié au centre de la Terre.

Relativité du mouvement

Pour illustrer cette notion, on considère un système constitué par une personne assise dans un train qui démarre. Elle est immobile par rapport au train, mais en mouvement par rapport à un observateur resté sur le quai (FIG. 2).

Le mouvement d'un système dépend du référentiel.

Si le référentiel est animé d'un mouvement de translation par rapport au système étudié, la description du mouvement en sera modifiée.

EXEMPLE
Au cinéma, le travelling est un déplacement de la caméra au cours de la prise de vues, on peut ainsi suivre un sujet parallèlement à son mouvement. Cette technique est aussi utilisée lors de la retransmission d'épreuves sportives pour accompagner les joueurs dans leur déplacement (FIG. 3).

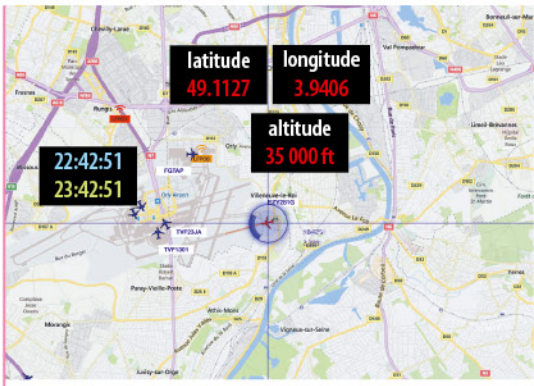


FIG. 1 Localisation d'un avion dans l'espace aérien.



A Référentiel : le train.
▶ Le système est immobile.



B Référentiel : le quai.
▶ Le système est en mouvement.

FIG. 2 Relativité du mouvement (le **système** est une personne assise dans un train en mouvement).



FIG. 3 Mouvemetnt de translation d'une caméra sur rails.

2 Modélisation du système

Notion de point matériel

Lorsqu'un système se déplace, tous les points qui le constituent sont également en mouvement. L'étude du mouvement de l'objet peut devenir rapidement très complexe.

Pour simplifier, on réduit généralement cette étude à celle d'un **point particulier** du système mobile, appelé **point matériel**, puisque l'on lui associe la masse *m* du système.

EXEMPLE

Dans le cas d'un ballon ou d'une balle, le point choisi pour modéliser le mouvement est son centre.

La modélisation d'un système par un point peut toutefois faire perdre des informations sur le mouvement.

EXEMPLE

Pour un marteau qui tourne sur lui-même au cours de son mouvement, le réduire à un point fait perdre l'information de l'existence de cette rotation.

POUR VISUALISER



Une animation sur le mouvement de deux points d'un marteau (il y a perte d'information).

Coordonnées du point matériel

Pour analyser le mouvement d'un point matériel, il faut pouvoir identifier à différents instants la position de ce point (FIG. 4).

La position d'un point mobile est définie par ses **coordonnées** dans un **repère d'espace** gradué à l'aide d'une **échelle spatiale adaptée**.

EXEMPLE

Pour un mouvement plan, le repère d'espace est orthonormé, il est constitué de deux axes gradués en mètre. Les coordonnées du point matériel sont alors *x* et *y*.

Pour pouvoir localiser à différents instants le point matériel en mouvement, il faut aussi définir un repère de temps.

Dans un **repère de temps**, on associe aux coordonnées du point mobile un instant t compté à partir d'une **échelle temporelle adaptée** et d'une **origine** choisie où $t = t_0 = 0$.

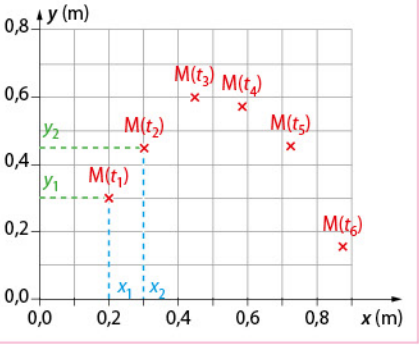


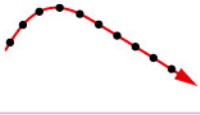
FIG. 4 Le point matériel M est repéré par ses coordonnées *x* et *y* à différents instants *t*.

Trajectoire d'un point matériel

Les traces de pas laissées dans le sable mouillé (FIG. 5) renseignent sur la trajectoire effectuée par le marcheur, c'est-à-dire sur le sens et la direction de la marche.

La **trajectoire** d'un point matériel en mouvement est une courbe orientée qui indique le sens et la direction du mouvement. Cette courbe traduit l'ensemble des positions successives occupées par ce point au cours de son mouvement.

EXEMPLES

Trajectoire rectiligne	Trajectoire circulaire	Trajectoire curviligne
Le point décrit une **droite**.	Le point décrit un **cercle**.	Le point décrit une **courbe**.
		

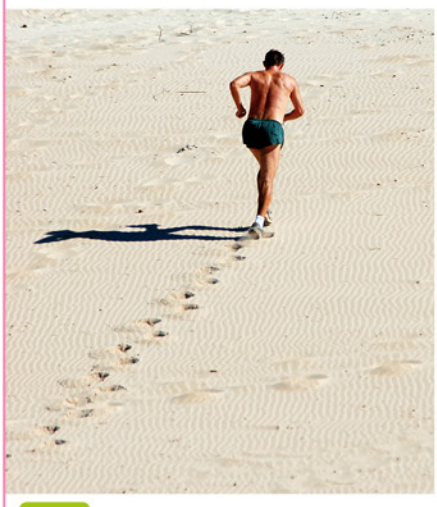


FIG. 5 Trajectoire d'un marcheur.

3 Déplacement et vitesse

Vecteur déplacement d'un point

Lorsqu'un point se déplace d'une position de départ, notée M, vers une position d'arrivée M', le **vecteur déplacement** $\overrightarrow{MM'}$ se représente par un segment orienté qui relie le point de départ et le point d'arrivée.

EXEMPLE

Pour un randonneur qui va d'un point M à un point M', le vecteur déplacement qui relie M et M', renseigne sur le déplacement effectué globalement (FIG. 6).



FIG. 6 Représentation d'un vecteur déplacement $\overrightarrow{MM'}$.

Vecteur vitesse moyenne d'un point

On considère M et M' les positions respectives d'un point au départ du parcours et à son arrivée.

La **vitesse moyenne** v de ce point correspond au quotient de la distance moyenne d parcourue par la durée Δt du parcours :

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{MM'}{\Delta t}$$

En représentation vectorielle, le vecteur déplacement $\overrightarrow{MM'}$ permet de définir le **vecteur vitesse moyenne** $\vec{v}$ (FIG. 7).

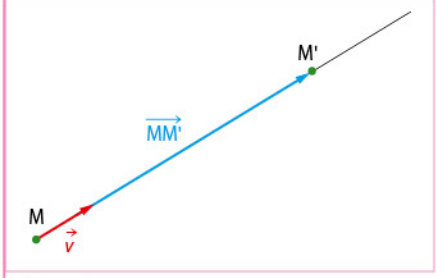


FIG. 7 Représentation du vecteur vitesse moyenne d'un point.

vecteur vitesse (en $m \cdot s^{-1}$) → $\vec{v} = \frac{\overrightarrow{MM'}}{\Delta t}$ ← vecteur déplacement (en m) ; ← durée du parcours (en s)

Vecteur vitesse d'un point

Si on décompose la trajectoire d'un point en une succession de positions M_0, M_1, ... M_i, M_{i+1} (avec $\overrightarrow{M_iM_{i+1}}$ comme vecteur déplacement), le **vecteur vitesse** $\vec{v}_i$ en M_i est défini par :

vecteur vitesse au point M_i → $\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{M_iM_{i+1}}}{\Delta t}$ ← vecteur déplacement (en m) ; ← durée du parcours (en s)

Mouvement rectiligne et variation du vecteur vitesse

Pour décrire le mouvement d'un objet, il faut connaître sa trajectoire, ainsi que l'évolution de sa vitesse. Il est donc nécessaire de vérifier si le vecteur vitesse varie en sens, direction et norme au cours du mouvement de l'objet.

Dans le cas d'une trajectoire rectiligne, si **le vecteur vitesse ne varie pas**, le mouvement est **rectiligne uniforme**. Par contre, si **le vecteur vitesse varie**, le mouvement est **rectiligne non uniforme**.

EXEMPLE

L'évolution de la distance entre deux positions successives d'un point d'un objet, ou entre deux images prises à intervalle de temps régulier, renseigne sur l'évolution de la vitesse.

Le vecteur vitesse conserve la direction du mouvement, mais sa norme peut augmenter ou diminuer au cours du temps (FIG. 8).

UN PONT VERS LES MATHS

Représenter un vecteur vitesse

Le segment fléché qui représente la vitesse est un objet mathématique appelé **vecteur**.

En mathématiques, le vecteur vitesse $\vec{v}$ est caractérisé par :

- son origine (correspondant au point d'application) ;
- sa direction (la tangente à la trajectoire) ;
- son sens (celui du mouvement) ;
- sa norme (correspondant à sa valeur exprimée en $m \cdot s^{-1}$).

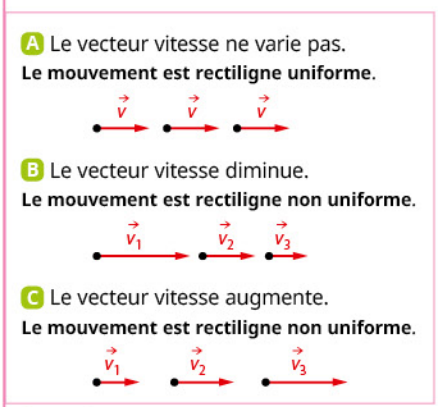


FIG. 8 Différents mouvements rectilignes d'un point.

L'ESSENTIEL À RETENIR

Le vocabulaire à retenir
Les relations à connaître et savoir utiliser

1 Système et référentiel

- L'objet dont on étudie le mouvement est appelé **système**.
- Pour décrire le mouvement d'un système, il faut identifier une **échelle spatiale** et une **échelle temporelle** adaptées.



Échelle spatiale : l'unité astronomique
Échelle temporelle : le mois



Échelle spatiale : le mètre
Échelle temporelle : la seconde

- L'étude d'un mouvement doit être associée à un objet de référence appelé **référentiel**. Le mouvement d'un système dépend du référentiel.



Référentiel : le sol
L'avion est en mouvement.



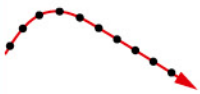
Référentiel : le ravitailleur
L'avion est immobile.

2 Modélisation du système

- Lorsqu'un système se déplace, tous les points qui le constituent sont également en mouvement.
- Pour simplifier l'étude du mouvement, on réduit le système à un point particulier appelé **point matériel**. La position d'un point matériel est définie par ses **coordonnées** dans un **repère d'espace**, gradué à l'aide d'une échelle spatiale adaptée.
- La **trajectoire** d'un système est l'ensemble des positions successives occupées par le point matériel modélisant le système.



Il existe plusieurs types de trajectoire, les plus simples sont **rectilignes**, **circulaires** ou **curvilignes**.

Trajectoire rectiligne	Trajectoire circulaire	Trajectoire curviligne
Le point décrit une **droite**.	Le point décrit un **cercle**.	Le point décrit une **courbe**.
		

3 Déplacement et vitesse

- On définit le **vecteur déplacement** $\overrightarrow{MM'}$ d'un point lorsque celui-ci se déplace d'une position M à une autre M'.
- La **vitesse moyenne** d'un point peut être représentée par un **vecteur** $\vec{v}$ défini par :

$$\vec{v} = \frac{\overrightarrow{MM'}}{\Delta t}$$

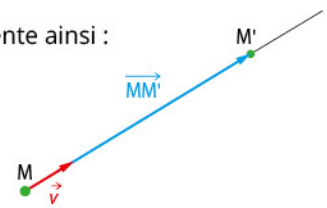
vecteur vitesse (en $m \cdot s^{-1}$) ← $\vec{v}$; $\overrightarrow{MM'}$: vecteur déplacement (en **m**) ; Δt : durée du parcours (en **s**)

- Le **vecteur vitesse** $\vec{v}_i$ en un point M_i pour un vecteur déplacement $\overrightarrow{M_iM_{i+1}}$ s'écrit :

$$\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{M_iM_{i+1}}}{\Delta t}$$

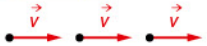
vecteur vitesse au point M_i ← $\vec{v}_i$; $\overrightarrow{M_iM_{i+1}}$: vecteur déplacement (en **m**) ; Δt : durée du parcours (en **s**)

Il se représente ainsi :



- Dans le cas d'une **trajectoire rectiligne** :

– si le vecteur vitesse ne varie pas, le mouvement est dit **rectiligne uniforme** ;



– si le vecteur vitesse varie, le mouvement est dit **rectiligne non uniforme**.



le vecteur vitesse diminue



le vecteur vitesse augmente

Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

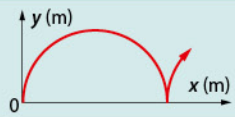
QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

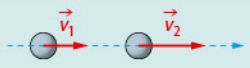
1 Système et référentiel

	A	B	C
1 Le système est :	l'objet par rapport auquel on étudie le mouvement.	l'objet dont on étudie le mouvement.	l'ensemble des positions de l'objet en mouvement.
2 Pour étudier le mouvement d'un ballon, l'échelle spatiale la mieux adaptée est :	le kilomètre.	le micromètre.	le mètre.
3 L'échelle temporelle la mieux adaptée pour étudier le mouvement d'un plongeur est :	la seconde.	la minute.	l'heure.
4 Le conducteur d'une voiture roulant à vitesse constante sur une route horizontale est :	immobile par rapport au sol.	immobile par rapport à la voiture.	en mouvement par rapport au sol.

2 Modélisation du système

	A	B	C
5 L'ensemble des positions successives occupées par un point en mouvement est :	le mouvement du point.	la trajectoire du point.	la trajectoire du système modélisé par ce point.
6 	La trajectoire est rectiligne.	La trajectoire est curviligne.	La trajectoire est circulaire.

3 Déplacement et vitesse

	A	B	C
7 	Le vecteur déplacement est le vecteur représenté en noir.	Le vecteur déplacement est le vecteur représenté en rouge.	Le vecteur déplacement est le vecteur représenté en vert.
8 La valeur de la vitesse moyenne v d'un point se déplaçant de M en M' pendant une durée Δt est :	$v = \frac{\Delta t}{MM'}$	$v = \Delta t \cdot MM'$	$v = \frac{MM'}{\Delta t}$
9 	Le mouvement est rectiligne uniforme.	Le vecteur vitesse ne varie pas.	Le mouvement est rectiligne non uniforme.
10 Le vecteur vitesse est :	égal au vecteur déplacement.	de même sens que le vecteur déplacement.	de même direction que le vecteur déplacement.
11 	Le vecteur vitesse ne varie pas.	Le vecteur vitesse augmente.	Le vecteur vitesse diminue.

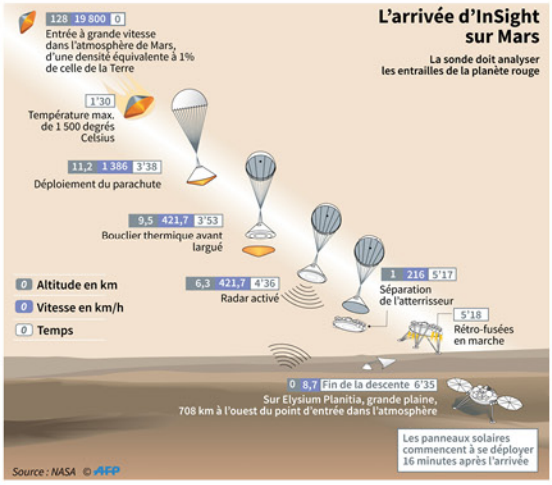
Acquérir les notions

1 Système et référentiel

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Système ➥ EXERCICES 12 et 13	• Identifier un système. • Choisir le système en mouvement.
Échelles caractéristiques d'un système ➥ EXERCICES 14 et 15	• Identifier les échelles spatiales et temporelles pour décrire un mouvement. • Choisir les échelles spatiales et temporelles pour décrire un mouvement.
Référentiel et relativité du mouvement ➥ EXERCICES 16 à 18	• Choisir le référentiel. • Décrire l'influence du référentiel dans le cas d'un mouvement de translation.

12 La sonde InSight de la Nasa

Après sept mois de voyage, la sonde InSight de la Nasa a déposé sur la planète Mars le 26 novembre 2018, après sept minutes d'une délicate descente, SEIS, le sismographe français qui pourra « entendre le cœur de la planète rouge ».



Quel est le système dont on étudie le mouvement lors de cette descente ?

13 Parachute ascensionnel

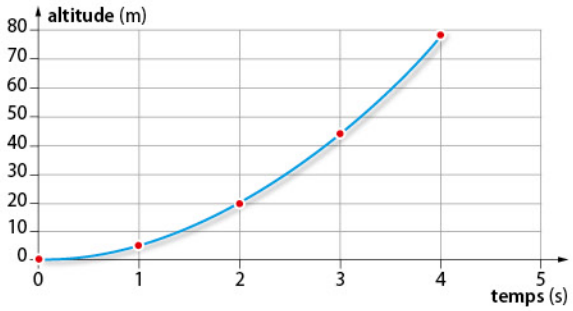


Identifier trois systèmes susceptibles d'être en mouvement dans le champ de la photographie.

PAGE Flashable

14 Variation d'altitude

L'altitude d'un système en mouvement est représentée sur le graphique suivant.



Quelles sont les échelles spatiale et temporelle utilisées lors de cette étude ?

15 Les bonnes échelles

Quelles sont les échelles spatiale et temporelle les mieux adaptées pour décrire le mouvement d'un ballon de basketball lors d'un lancer franc ?



16 Ascenseur

Andréa est dans un ascenseur qui monte. Dans quel référentiel est-elle immobile ?

17 Espace et ISS

Thomas Pesquet est le dixième spationaute français à partir dans l'espace.

Il a passé 196 jours dans la Station spatiale internationale (ISS), qu'il a quittée le 2 juin 2017.

Lors de ses sorties de la station, Thomas Pesquet a vu défiler, 400 km en dessous de lui, la Terre à une vitesse de l'ordre de 28 000 km · h^{-1}.



1. Dans quel référentiel Thomas Pesquet est-il immobile ?

2. Quel est le mouvement du spationaute pour un observateur situé à la surface de la Terre ?

18 Dépassement de vitesse

1. Lorsque deux voitures roulent côte à côte, que peut-on dire du mouvement d'une voiture par rapport à l'autre ?

2. a. Si le référentiel d'étude est la voiture de droite, quel est dans ce référentiel le mouvement de l'autre voiture ?

b. Si la voiture « référentiel » freine, quel sera, dans ce référentiel, le mouvement de l'autre voiture ?



2 Modélisation du système

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Description du mouvement d'un système par celui d'un point ➥ EXERCICES 19 et 20	• Modéliser le mouvement d'un système par celui d'un point du système. • Décrire les pertes d'informations liées à cette modélisation.
Position d'un point ➥ EXERCICES 21 et 22	• Repérer un point par sa position.
Trajectoire d'un point ➥ EXERCICES 23 et 24	• Caractériser différentes trajectoires.

19 Mouvement d'un vélo

Un cycliste se déplace sur une route horizontale.

1. Identifier trois parties du vélo qui n'ont pas le même mouvement. *On pourra modéliser chacune par un point.*

2. À quel point peut-on associer le mouvement le plus simple ?

3. Proposer trois points différents du vélo qui possèdent ce même mouvement simple.

20 La roue d'une voiture

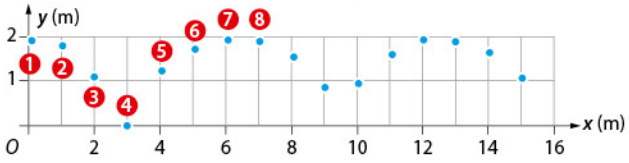
On s'intéresse au mouvement d'une roue de voiture qui se déplace sur une route plane.

1. Quel point de la roue a le mouvement le plus simple à étudier ?

2. a. Le mouvement sera-t-il le même si on choisit un autre point pour modéliser le mouvement de la roue ?
b. Quelle information manque-t-il alors si on réduit l'observation au point choisi à la réponse 1 ?

21 Cycloïde

Les positions occupées par un point situé à la périphérie de la roue d'un vélo se déplaçant sur un support horizontal, sont représentées toutes les 0,1 s sur le graphique ci-dessous. La courbe est nommée *cycloïde*.

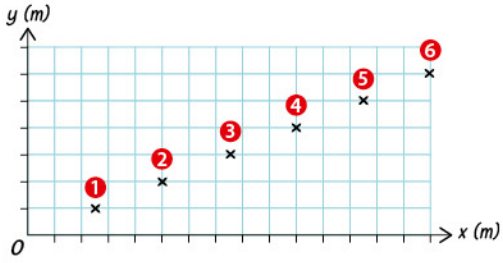


1. Donner les coordonnées des positions 1 et 5 dans le repère $(O ; x, y)$ du graphique.

2. Quelles sont les coordonnées d'un point de la roue en contact avec le sol ?

22 Coordonnées manquantes

Un élève a représenté les six positions successives occupées par un point en mouvement toutes les 0,10 s dans un repère orthonormé $(O ; x, y)$.



On peut remarquer qu'il manque les valeurs sur les axes et que le tableau de mesures est incomplet.

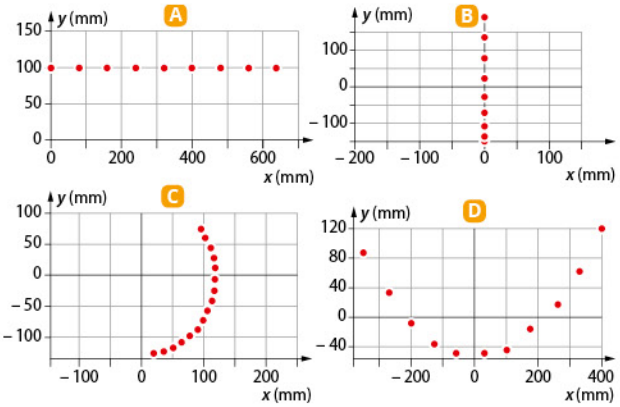
x (en m)	0,25	.....	.....	.....	.....	1,5
y (en m)	0,10	.....	.....	.....	.....	0,6

1. Recopier la représentation graphique et placer sur les axes les valeurs manquantes.

2. Recopier le tableau et le compléter.

23 Différentes trajectoires

On enregistre le mouvement d'un point d'un mobile. Voici les trajectoires obtenues :



Caractériser chaque trajectoire en utilisant les termes appropriés.

24 Quelle trajectoire ?

Dans chaque situation, décrire la trajectoire du système en mouvement.



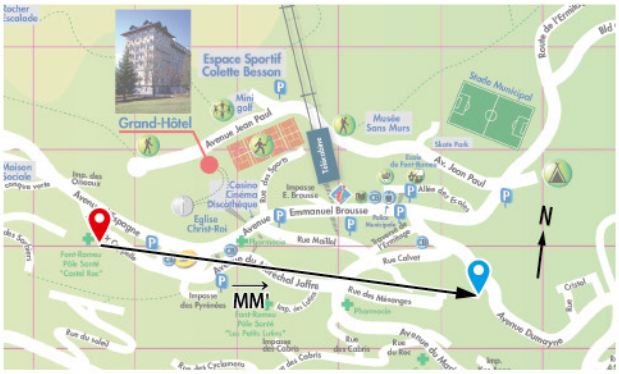
3 Déplacement et vitesse

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Vecteur déplacement Vecteur vitesse moyenne Vecteur vitesse d'un point ➥ EXERCICES 25 à 28	• Connaître l'expression vectorielle du vecteur déplacement. • Connaître l'expression vectorielle du vecteur vitesse moyenne. • Connaître l'expression vectorielle du vecteur vitesse. • Représenter ces vecteurs.
Mouvement rectiligne Décrire la variation du vecteur vitesse ➥ EXERCICE 29	• Caractériser un mouvement rectiligne uniforme et non uniforme.

25 À la découverte de Font-Romeu

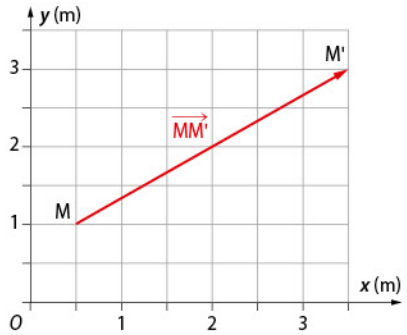
Un promeneur se déplace pendant 20 minutes dans la station de Font-Romeu située dans les Pyrénées-Orientales. Le vecteur déplacement $\overrightarrow{MM'}$ correspondant est tracé sur le plan ci-dessous. En vraie grandeur, le côté d'un carré rouge sur le plan mesure 170 m.

1. Donner les caractéristiques du vecteur déplacement.
2. Déterminer la valeur de la vitesse moyenne du promeneur.
3. En déduire les caractéristiques du vecteur vitesse moyenne.



26 Coordonnées du vecteur déplacement

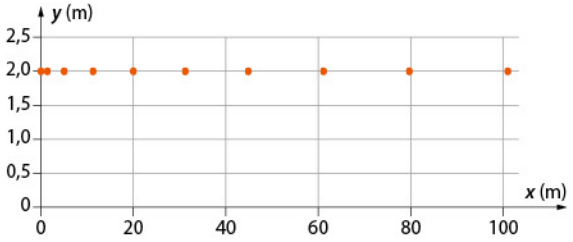
Un vecteur déplacement $\overrightarrow{MM'}$ est représenté dans un repère orthonormé $(O\,;\,x,\,y)$.



1. Déterminer les coordonnées des points M et M' dans ce repère.
2. En déduire les coordonnées du vecteur déplacement.

27 Mouvement et vitesse

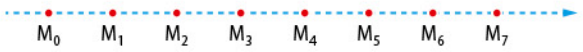
À partir d'un enregistrement vidéo, on obtient toutes les 5 secondes, les coordonnées d'un point en mouvement de la gauche vers la droite.



1. Déterminer la valeur du vecteur déplacement du point pour l'enregistrement effectué.
2. En déduire la valeur de la vitesse moyenne.
3. Reproduire la trajectoire du point, puis tracer le vecteur vitesse moyenne en utilisant l'échelle suivante : 1 cm pour 1 m · s^{-1}.

28 Vecteur vitesse en un point

Le mouvement du centre M d'une boule de pétanque est filmé. À l'aide d'un logiciel adapté, on obtient la trajectoire suivante à l'échelle 1. La durée Δt qui sépare les positions successives du centre de la boule est de 0,25 s.



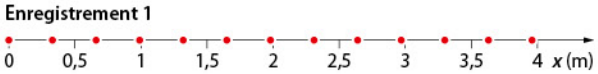
1. Mesurer la distance entre les positions M_4 et M_5.
2. Déterminer en cm · s^{-1} la valeur de la vitesse v_4 en M_4.
3. Reproduire la trajectoire du centre M, puis tracer le vecteur vitesse $\vec{v}_4$ en employant l'échelle : 1 cm pour 2 cm · s^{-1}.

29 Quels mouvements ?

On enregistre les positions relatives au centre d'un système en mouvement à intervalles de temps réguliers égaux. La durée Δt est égale à 40 ms.

Pour trois mouvements différents, on a les trajectoires ci-dessous.

Enregistrement 1



Enregistrement 2



Enregistrement 3



1. Caractériser chaque mouvement.
2. Pour chaque enregistrement, indiquer si le vecteur vitesse reste constant, augmente ou diminue.

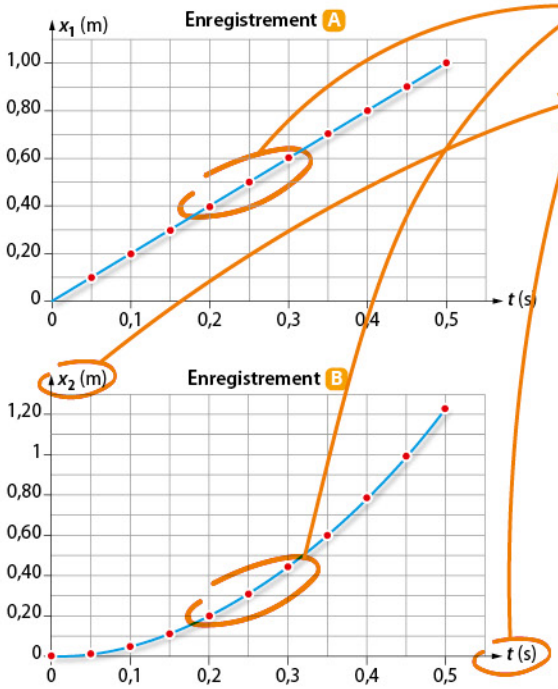
Exercice résolu EN AUTONOMIE

MESURES ET INCERTITUDES

30 Mouvements rectilignes

Les positions x d'un point matériel animé d'un mouvement rectiligne sont enregistrées à intervalles de temps réguliers. Ces positions renseignent sur la distance parcourue par le point au cours du temps.
Deux types de mouvement rectiligne (correspondant chacun à un enregistrement) sont ainsi étudiés.
Les mesures effectuées au cours de cette étude permettent de tracer les courbes A et B ci-contre $x_1 = f(t)$ et $x_2 = f(t)$.

1. **Expliquer** comment évoluent les positions x du point au cours du temps pour chaque situation.
2. **En déduire** la nature de chaque mouvement.
3. **Déterminer** avec le plus de précision possible la vitesse du point matériel dans la situation A.



LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- La **courbe** obtenue traduit l'évolution de la position x au cours du temps.
- Les échelles spatiale et temporelle de l'enregistrement informent sur la **distance parcourue** et la **durée de parcours**.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Expliquer :** donner une justification à une observation ou une affirmation.
- **En déduire :** utiliser le résultat précédent pour répondre.
- **Déterminer :** mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Dans la situation A, les positions x_1 évoluent régulièrement. La courbe obtenue représente une fonction linéaire.
Dans la situation B, les positions x_2 n'évoluent pas régulièrement, donc la distance parcourue évolue en augmentant.

2. Le mouvement A est rectiligne uniforme, le mouvement B est rectiligne non uniforme.

3. La valeur de la vitesse reste constante pour l'enregistrement A.
Pour avoir une valeur précise, il faut utiliser les valeurs les plus élevées pour x et Δt (durée) correspondant.
La distance parcourue est $\boldsymbol{x_1 = 1{,}0\ m}$ pour une durée correspondante $\boldsymbol{\Delta t = 0{,}50\ s}$.
La vitesse v du point matériel est $\boldsymbol{v} = \frac{x_1}{\Delta t} = \frac{1{,}0}{0{,}50}$, donc $\boldsymbol{v = 2{,}0\ m \cdot s^{-1}}$.

QUELQUES CONSEILS

2. Le mouvement rectiligne peut être uniforme ou non uniforme.

3. Les coordonnées de la position la plus éloignée de l'origine sont déterminées graphiquement.

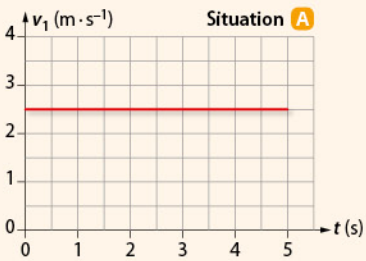
On veillera au nombre de chiffres significatifs (ici, 2).

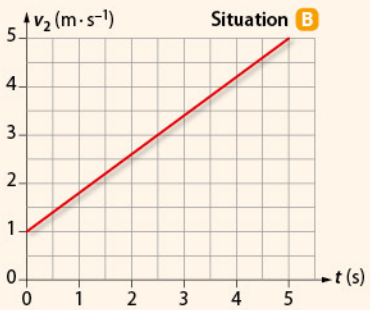
EXERCICE SIMILAIRE

31 Représentations graphiques de la vitesse

On donne les représentations graphiques de la vitesse d'un point matériel d'un système en mouvement au cours du temps dans deux situations différentes.

1. Expliquer l'évolution de la valeur de la vitesse dans chaque situation.
2. Déterminer la valeur de la vitesse v_1.
3. a. Déterminer la valeur de la vitesse v_2 aux instants $t = 0$ s et $t = 5$ s.
b. Comparer les deux valeurs obtenues.
4. En déduire, pour chaque situation, si le mouvement est uniforme ou non uniforme.
5. Expliquer si le mouvement étudié dans chaque situation peut être qualifié de rectiligne.





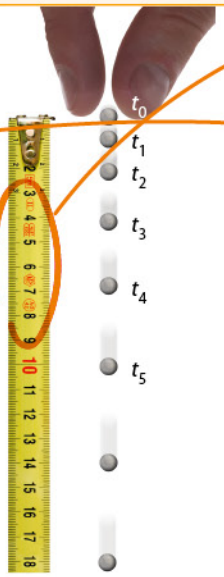
Exercice résolu EN AUTONOMIE

MESURES ET INCERTITUDES

32 Chute d'une bille

La chronophotographie ci-contre permet d'étudier la chute d'une bille d'acier.
Le système bille est modélisé par un point matériel : le centre de la bille.
La durée entre deux positions successives de la bille est de 0,028 s.

1. **Caractériser** la trajectoire du centre de la bille.
2. **Expliquer** si la vitesse du centre de la bille est constante ou non.
3. **Déterminer** la valeur de la vitesse du centre de la bille v_1 à l'instant t_1 et v_4 à l'instant t_4.
En déduire si le vecteur vitesse varie.
4. **Caractériser** le mouvement du centre de la bille.



LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- La **distance** parcourue par le centre de la bille peut être déterminée par une mesure directe sur le mètre.
- La **durée** de parcours Δt est le temps écoulé entre deux positions successives du centre de la bille.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Caractériser** : exploiter les observations pour qualifier un phénomène.
- **Expliquer** : donner une justification à une observation ou une affirmation.
- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **En déduire** : utiliser le résultat précédent pour répondre.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. La trajectoire est rectiligne.

2. La distance entre deux positions successives du centre M de la bille (c'est-à-dire entre deux images prises à intervalles de temps réguliers) augmente, la vitesse n'est donc pas constante.

3. Pour déterminer la valeur de la vitesse v_i, on mesure la distance $M_{t_i}M_{t_{i+1}}$.
La durée (d'après l'énoncé) est : $\Delta t = t_{i+1} - t_i = 0{,}028$ s.

$$v = \frac{M_{t_i}M_{t_{i+1}}}{\Delta t} = \frac{M_{t_i}M_{t_{i+1}}}{t_{i+1} - t_i}$$

• À l'instant t_1, le mètre indique 1,5 cm, donc $M_{t_1}M_{t_2} = \mathbf{1{,}5\ cm} = 1{,}5 \times 10^{-2}$ m.

$v_1 = \dfrac{M_{t_1}M_{t_2}}{t_2 - t_1} = \dfrac{1{,}5 \times 10^{-2}}{0{,}028}$, donc $\boldsymbol{v_1 = 0{,}54\ m \cdot s^{-1}}$.

• À l'instant t_4, le mètre indique 3,4 cm, donc $M_{t_4}M_{t_5} = \mathbf{3{,}4\ cm} = 3{,}4 \times 10^{-2}$ m.

$v_4 = \dfrac{M_{t_4}M_{t_5}}{t_5 - t_4} = \dfrac{3{,}4 \times 10^{-2}}{0{,}028}$, donc $\boldsymbol{v_4 = 1{,}2\ m \cdot s^{-1}}$.

La valeur de la vitesse augmente, donc le vecteur vitesse varie.

4. Le mouvement est rectiligne non uniforme.

QUELQUES CONSEILS

3. Pour déterminer la vitesse en $m \cdot s^{-1}$, il faut exprimer la distance en mètre.
La valeur de la distance parcourue par un point entre deux instants t_i et t_{i+1} se mesure ici directement sur la chronophotographie.
4. Le mouvement d'un point est caractérisé par sa trajectoire, mais aussi par rapport à la variation ou non de la vitesse du point.

EXERCICE SIMILAIRE

33 La pomme de Newton !

On enregistre le mouvement de chute d'une pomme.
La chronophotographie obtenue présente ci-contre les dix positions de cette pomme.
Le système pomme est modélisé par un point, son centre.
La durée entre deux images, donc entre deux positions successives de la pomme, est de 0,033 s.

1. Déterminer l'échelle de cette chronophotographie sachant que la pomme utilisée a un diamètre de 8 cm.
2. Déterminer la valeur de la vitesse du centre de la pomme quand il se situe :
a. en 6e position ;
b. en 9e position.
3. Caractériser ce mouvement.



Croiser les notions

34 Tapis roulant

Un tapis ou trottoir roulant permet le déplacement des voyageurs dans les longs couloirs des stations de métro et du RER, ou des aéroports. Le déplacement est ainsi plus rapide ou moins fatiguant sur de longues distances.

La vitesse moyenne d'un tapis ou trottoir roulant est d'environ 1 m · s^{-1}.



Tom et Chloé empruntent un tapis roulant dans le métro parisien, puis s'arrêtent de marcher.

1. a. Sont-ils en mouvement ou immobile par rapport :
– au référentiel « tapis » ?
– au référentiel « mur du métro » ?
b. En déduire leur vitesse par rapport :
– au tapis ;
– au mur du métro.

2. Tom se remet à marcher à la vitesse de 1,2 m · s^{-1}.
a. Quelle est sa vitesse par rapport :
– au tapis ?
– au mur du métro ?
b. En déduire son mouvement dans chaque référentiel.

35 Immobile ou en mouvement ?

Margot et Samira sont confortablement installées à bord d'un TGV qui circule sur une portion parfaitement rectiligne à une vitesse de 270 km · h^{-1}.

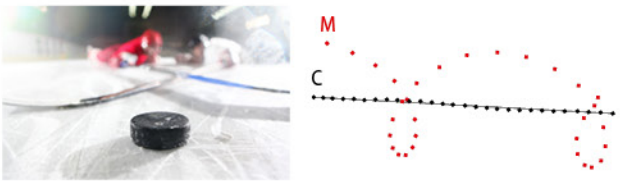


1. Aider Margot à répondre à la question de Samira en précisant le référentiel où elles sont immobiles, puis celui où elles sont en mouvement.

2. Arrivées à destination, sur le quai de la gare, Margot dit à Samira :
« Là, nous sommes immobiles et aussi en mouvement ! »
a. Dans quel référentiel les deux jeunes filles sont-elles immobiles ?
b. Quel référentiel permet à Margot de dire qu'elles sont en mouvement ?

36 Palet de hockey

On lance sur la glace un palet de hockey muni de deux repères visuels, un en son centre (C), l'autre en périphérie (M). Le mouvement du palet est filmé.
À l'aide d'un logiciel approprié, on obtient pour chacun des points C et M une trajectoire.



1. Préciser le référentiel dans lequel le mouvement de ces deux points est étudié.

2. Caractériser le mouvement des deux points ?

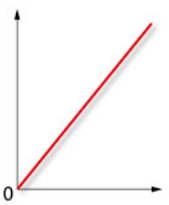
3. a. Quel est le point du palet dont la trajectoire est la plus simple ?
b. Quelle information est perdue si on modélise par ce point le mouvement du palet ?
c. En déduire comment a été lancé le palet.

37 Données manquantes DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

Un élève réalise l'enregistrement vidéo d'une voiture qui se déplace horizontalement à vitesse constante.
Un logiciel de traitement vidéo lui permet, après avoir étalonné une image à partir des dimensions de la voiture, de choisir un axe x (gradué en mètre).
Le but est d'afficher les différentes positions occupées par un point de la carrosserie de la voiture pendant quelques secondes.
L'élève n'a gardé que les valeurs reportées dans ce tableau.

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

La courbe donnant les variations de x en fonction du temps t, notée $x = f(t)$, est représentée ci-dessous.



DÉMARCHE AVANCÉE

1. À l'aide du tableau de valeurs et de la courbe $x = f(t)$, écrire une relation entre les grandeurs x et t.
2. Déterminer la vitesse de la voiture (en m · s^{-1} puis en km · h^{-1}).

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. a. Reproduire les valeurs conservées par l'élève dans un logiciel de type tableur-grapheur.
Tracer la courbe $x = f(t)$.
b. Que peut-on dire de ces deux grandeurs ?
c. En déduire, à l'aide des fonctionnalités du logiciel, la relation liant ces deux grandeurs.

2. a. À partir de la relation trouvée précédemment, déterminer la valeur de la vitesse du point en m · s^{-1}.
b. Convertir cette valeur en km · h^{-1}.

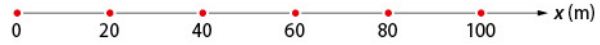
38 Vitesses sur un sprint

Lors d'un sprint sur 100 m, réalisé en 9,69 s par l'athlète Usain Bolt, des temps intermédiaires et des durées Δt mises pour effectuer 20 mètres sont mesurés et regroupés dans le tableau ci-dessous.

x (en m)	0	20	40	60	80	10
t (en s)	0	2,87	4,65	6,32	7,97	9,69
Δt (en s)	_	2,87	1,78	1,67	1,65	1,72

1. Déterminer les cinq valeurs de la vitesse du sprinteur tous les 20 mètres.

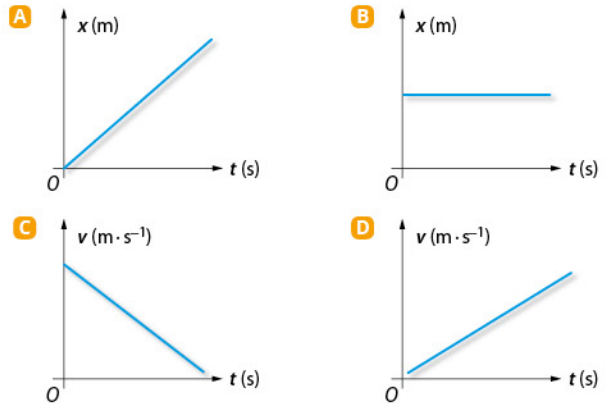
2. Reproduire la trajectoire suivante, puis tracer les cinq vecteurs vitesse en choisissant une échelle adaptée.



3. Caractériser le mouvement du sprinteur lors de cette course.

39 Le bon graphique

Ces quatre graphiques correspondent à différents mouvements rectilignes d'un point matériel sur un axe Ox.



Associer chaque graphique à un « mouvement » de cette liste :
Mouvement non uniforme
Mouvement uniforme
Système au repos

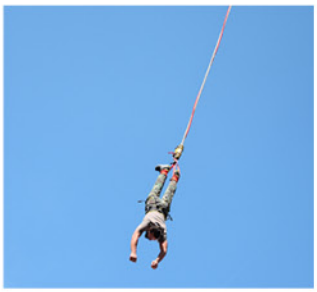
JE VÉRIFIE QUE J'AI...
- bien repéré les grandeurs sur chaque axe du graphique.

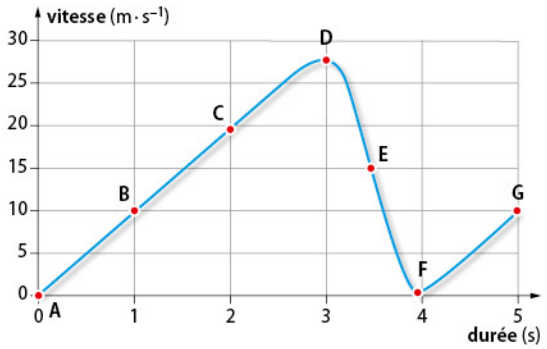
40 Saut à l'élastique

Le saut à l'élastique est une activité de plein air. Il s'effectue en se jetant d'une position située en hauteur.

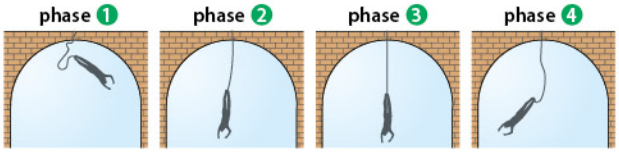
Le sauteur est accroché au niveau des chevilles ou du torse à l'aide d'une corde élastique qui ralentit, puis stoppe la chute.

On donne ci-après la représentation graphique des variations de la vitesse du sauteur en fonction du temps.





Un saut à l'élastique comporte principalement 4 phases.



Chute libre durant laquelle la vitesse augmente.

L'élastique commence à se tendre, le sauteur ralentit.

L'élastique est tendu au maximum, la vitesse du sauteur s'annule un bref instant.

L'élastique se contracte, le sauteur remonte en reprenant de la vitesse.

1. a. Préciser le système dont on étudie le mouvement.
b. Dans quel référentiel ce mouvement est-il étudié ?

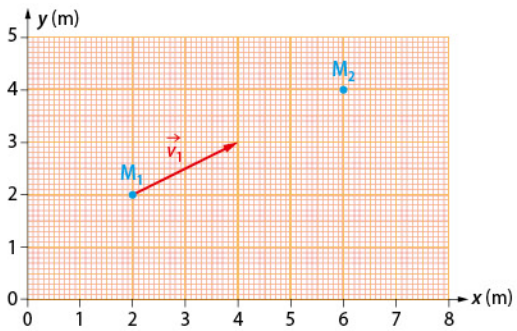
2. En utilisant les lettres qui figurent sur le graphique, associer à chaque phase du mouvement les parties du graphique correspondantes.

3. a. Déterminer (en $m \cdot s^{-1}$ puis en $km \cdot h^{-1}$) la valeur de la vitesse maximale atteinte par le système.
b. En déduire la durée de la première phase du mouvement.

4. Caractériser le mouvement du système lors de la première phase.

41 Coordonnées du vecteur vitesse

La trajectoire d'un point mobile est représentée dans un repère orthonormé où on a tracé le vecteur vitesse $\vec{v}_1$.



1. Déterminer les coordonnées du vecteur vitesse $\vec{v}_1$.

2. a. Déterminer la norme du vecteur vitesse.

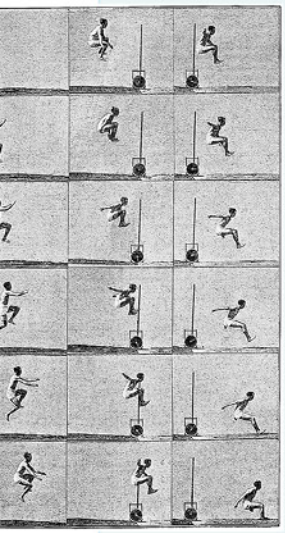
UN PONT VERS LES MATHS

Norme d'un vecteur

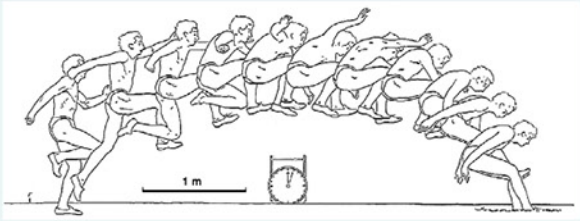
La norme d'un vecteur $\vec{v}$ de coordonnées $(x\,;y)$ est $\|\vec{v}\| = \sqrt{x^2 + y^2}$.

b. En déduire ses caractéristiques.

42 La chronophotographie HISTOIRE DES SCIENCES



En 1882, le physiologiste français Étienne-Jules Marey améliore la technique du photographe anglais Eadweard Muybridge, le premier à réaliser des photos permettant la décomposition d'un mouvement.
Étienne-Jules Marey utilise un dispositif rotatif, le fusil photographique, et réalise les premières chronophotographies à l'aide d'un seul objectif photographique.
La chronophotographie du saut en longueur de l'Américain Sweeney, rassemble une série d'images disposées en trois colonnes où l'intervalle entre les images est d'un quatorzième de seconde. En décalquant la silhouette du sauteur, on peut obtenir cette représentation.

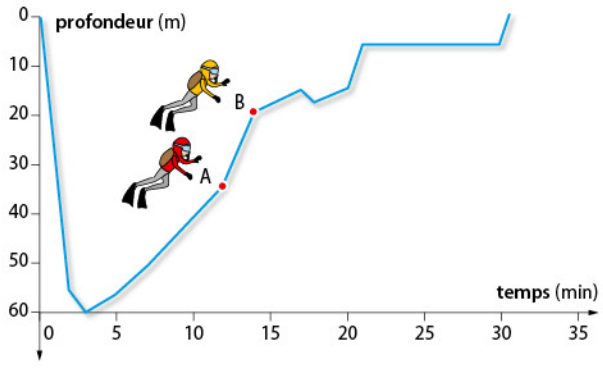


1. Proposer une définition de la chronophotographie.
2. Comment sont déterminées les échelles spatiale et temporelle sur les deux documents fournis ?
3. Déterminer la longueur du saut.
4. En supposant que le mouvement de l'athlète est rectiligne, déterminer sa vitesse.

43 Vitesse de remontée

Pour assurer la sécurité et éviter les accidents, les plongeurs se déplacent en palanquée lors de plongées en bouteille.

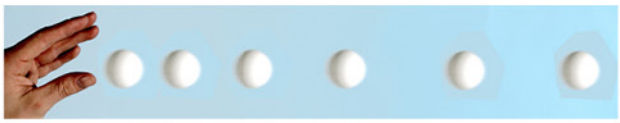
Une palanquée est un groupe de plongeurs effectuant une plongée dont les caractéristiques durée, profondeur et trajet sont les mêmes. Ils peuvent également suivre un parcours représenté par un profil de plongée.



1. Quel est le système dont on visualise le mouvement sur ce profil de plongée ?
2. Préciser quelles sont les échelles spatiale et temporelle utilisées sur ce profil.
3. Quelle est la profondeur maximale atteinte pour le système ?
4. Déterminer la vitesse à laquelle le système remonte du point A au point B.

44 A strange fall

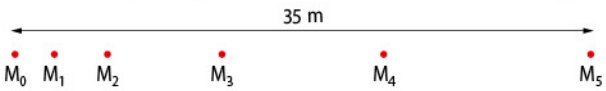
A steel ball is dropped. Its movement is recorded. Here is the image obtained:



1. What is this type of image called?
2. Is the image well oriented?
3. Characterize the movement of the center of the ball.

45 Départ arrêté

L'enregistrement d'un point d'une voiture de course est réalisé pendant les quatre premières secondes de son démarrage.



1. Déterminer les valeurs des vecteurs vitesses aux positions M_1 et M_4.
2. Reproduire la trajectoire, puis tracer les vecteurs vitesse $\vec{v}_1$ (en M_1) et $\vec{v}_4$ (en M_4) à l'aide d'une échelle adaptée.
3. En déduire les caractéristiques du mouvement.

À L'ORAL

46 Saut en parachute



Lors de sa descente, ce parachutiste va ouvrir son parachute. Va-t-il remonter à l'ouverture de son parachute ?

Pour répondre à la question, préparer un exposé oral court et argumenter en utilisant un langage scientifique adapté.

47 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Lors de certaines cérémonies ou de meetings aériens, les pilotes des avions de la patrouille de France effectuent des acrobaties.



Préparer un exposé oral permettant de décrire le mouvement des avions de la patrouille de France, symbole de l'Armée de l'air française.

Acquérir des compétences

48 Chute libre — ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

APP Rechercher et organiser l'information

De nombreux parcs d'attraction proposent des tours à sensations fortes où des nacelles contenant plusieurs personnes sont lâchées du haut d'une tour.

DOC 1 Chute libre et parachutisme

En physique, pour qu'une chute soit qualifiée de libre, il faut qu'elle s'effectue en l'absence d'air, c'est-à-dire dans le vide.

La vitesse v d'un système en chute libre est reliée à :

- la durée t de la chute par $\boldsymbol{v = g \cdot t}$;
- la hauteur h de chute par $\boldsymbol{v = \sqrt{2g \cdot h}}$;

avec g l'intensité de pesanteur égale ici à 9,81 N · kg^{-1}, v exprimée en m · s^{-1}, t en s et h en m.

Lorsqu'un parachutiste saute d'un avion à une altitude voisine des 4 000 m, il y a moins d'air autour de lui qu'au sol. Sa chute est, pour un physicien, considérée comme libre pendant une durée assez courte. La variation de la vitesse d'un parachutiste lors d'un saut est représentée ci-dessous.



DOC 2 Tours de « chute libre » ?



◄ Cette première attraction d'une hauteur totale de 100 m permet, sur les premiers 86 mètres, d'atteindre une vitesse maximale de chute de 115 km · h^{-1} en 4 secondes. Lors des 14 derniers mètres, la nacelle subit un très fort freinage, afin de s'arrêter au niveau du sol.

Cette seconde attraction d'une hauteur totale de 56 m permet, quant à elle, d'atteindre une vitesse de 63 km · h^{-1} après 40 m de chute. ►



ANALYSE

1. a. À quelle relation du **document 1** correspond la portion de droite sur le graphique ?

b. En déduire la durée de la chute libre pour le parachutiste.

2. Convertir en m · s^{-1} les valeurs des vitesses indiquées dans le **document 2**.

SYNTHÈSE

En utilisant les documents mis à disposition, dire si les attractions présentées peuvent être effectivement qualifiées de tours de « chute libre ».

49 Le swing — TÂCHE COMPLEXE

AN/RAI Proposer une stratégie de résolution

Les deux pieds du golfeur sur la photo sont espacés de 50 cm et le pointage a été réalisé image par image à l'aide d'une vidéo de 500 images par seconde.



LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Déterminer la valeur de la vitesse du centre de la balle.

Retrouvez des exercices de synthèse p. 196

50 Mouvement d'une balle de golf — DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

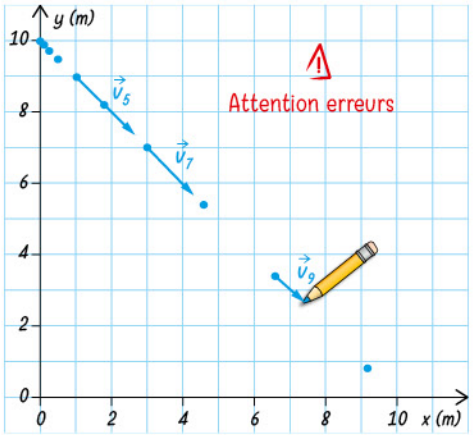
AN/RAI Proposer une stratégie de résolution

Le mouvement du centre d'une balle de golf, en mouvement sur un plan incliné, est filmé à l'aide d'une caméra qui enregistre 5 images par seconde.

Un logiciel de traitement de vidéo permet d'obtenir la trajectoire de ce point.

Un élève propose la représentation ci-contre des vecteurs vitesse de ce point. Cette représentation comporte des erreurs.





DÉMARCHE EXPERTE

Proposer une méthode qui permet de corriger cette représentation vectorielle, puis tracer correctement les vecteurs vitesse.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Déterminer les valeurs des vitesses v_5, v_7 et v_9.
2. a. Proposer une échelle permettant de tracer ces vecteurs.
   b. Tracer les vecteurs.

VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

51 La voiture ballon — DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

AN/RAI Proposer un protocole
VAL Interpréter des mesures

Une voiture ballon est mise en mouvement à l'aide de l'air éjecté du ballon en baudruche. On doit mesurer la vitesse de la voiture pour vérifier si la vitesse dépend du volume d'air éjectée.

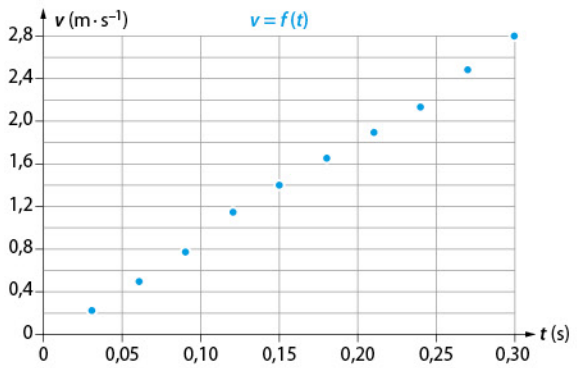
Matériel mis à disposition

- Une voiture ballon (photo).
- Une webcam.
- Une potence.
- Un objet de dimensions déterminées.
- Un ordinateur muni d'un logiciel de traitement de vidéo.



1. Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer la vitesse d'un point de la voiture.

2. Les mesures des positions d'un point de la voiture sont répertoriées dans un tableur-grapheur.
La vitesse du point a été calculée. On obtient le graphique ci-après.



a. L'évolution de la valeur de la vitesse en fonction du temps est-elle linéaire ?
b. Déduire le mouvement du système voiture.
c. Déterminer la valeur de la vitesse de la voiture au temps $t = 0{,}3$ s.

3. Si on augmente le volume d'air dans le ballon, à quel instant doit-on mesurer la vitesse de la voiture pour pouvoir comparer les vitesses ?

Les sciences et nous

GROS PLAN SUR...

La géolocalisation

La géolocalisation permet de repérer un véhicule, un téléphone ou un objet, immobile ou en mouvement sur une carte, à l'aide d'une échelle spatiale adaptée (latitude, longitude, altitude) à laquelle on associe une échelle temporelle très précise, dans un référentiel approprié.
La géolocalisation s'effectue le plus souvent à l'aide de satellites, le plus connu étant le système GPS (Global Positioning System).
L'Europe développe GALILEO, son propre système de navigation et de positionnement, afin d'être indépendante du système développé par les Américains.
Un utilisateur muni d'un récepteur GPS a la possibilité, grâce aux signaux émis par quatre satellites, de se géolocaliser à un instant précis.



LES MÉTIERS DU CHAPITRE

Contrôleur·euse aérien



Le contrôleur aérien, depuis la tour de contrôle d'un aéroport, gère le décollage, le vol et l'atterrissage des avions en communiquant avec le pilote ou le copilote.
Il surveille plusieurs avions en même temps dans l'espace aérien qu'il contrôle, afin d'assurer la sécurité des différents vols en modifiant, si besoin, leur trajectoire, tout en tenant compte des conditions météorologiques ou de l'importance du trafic.

***Niveaux d'études** : bac+5 après un bac général avec spécialité physique-chimie.*

Géomaticien·ne



Le géomaticien est un spécialiste de l'analyse spatiale qui s'appuie sur des cartes, des images satellites ou aériennes, des statistiques ou autres types de données. Il joue un rôle important au niveau de l'aménagement du territoire, de l'environnement, de l'urbanisme et de l'étude des mouvements des véhicules ou des trains dans ces espaces.
Le géomaticien peut exercer son métier pour le compte des collectivités locales, des organismes publics ou au sein d'entreprises privées.

***Niveaux d'études** : bac+2 à bac+5 après un bac professionnel, technologique ou général avec spécialité physique-chimie.*

Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

Modélisation d'une

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- Deux objets qui exercent une action l'un sur l'autre sont en interaction. Ces actions peuvent s'exercer **à distance** ou **au contact** des deux objets.
- On modélise une action par **une force**. Celle-ci est représentée par un **vecteur force** $\vec{F}$ qui indique la direction, le sens et la valeur de la force.

La valeur se mesure avec un dynamomètre et s'exprime en newton (N).

- La valeur *F* de la **force de gravitation** modélise l'interaction entre deux objets massiques A et B :

valeur de la force de gravitation (en **N**) ; masses de A et B (en **kg**)

$$F = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2}$$

constante de gravitation universelle ($G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ **N · m²/kg²**) ; distance entre les centres de A et B (en **m**)

- La valeur *P* du **poids** d'un objet modélise l'action qu'exerce un astre sur cet objet à son voisinage :

valeur du poids de l'objet (en **N**) ; intensité de la pesanteur (en **N/kg**)

$$P = m \times g$$

masse de l'objet (en **kg**)

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → **Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr**

SITUATION 1

La légende dit que Newton découvrit une loi importante de la physique en voyant tomber une pomme.



Pourquoi une pomme tombe-t-elle ?

SITUATION 2

Un astronaute qui se déplace avec difficulté sur la Terre arrive à faire des bonds sur la Lune.



Comment expliquer ce phénomène ?

SITUATION 3

La Terre tourne autour du Soleil car ces deux astres sont en interaction gravitationnelle.

Quelle est la valeur *F* de la force de gravitation qui modélise l'interaction existante entre ces deux astres ?

Données :

Masse du Soleil : $M_S = 1{,}99 \times 10^{30}$ kg.

Masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.

Distance Soleil-Terre : $d = 150 \times 10^6$ km.

Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m²/kg².

CHAPITRE 7

PHYSIQUE

action sur un système



Un pilote pratiquant le flyboard® est propulsé par de l'eau sous pression. Comment expliquer son immobilité dans l'air ?

EXERCICE 45

NOTIONS ET CONTENUS

- Modélisation d'une action par une force.
- Caractéristiques d'une force : force d'interaction gravitationnelle, poids, force exercée par un support et par un fil.
- Principe des actions réciproques (troisième loi de Newton).

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
RÉA Utiliser un modèle

Actions mécaniques et forces

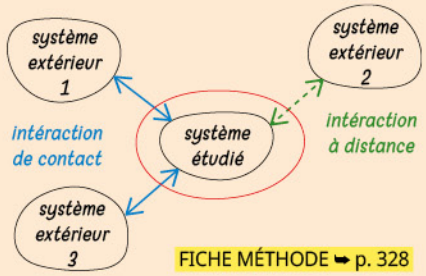
Lorsqu'un système agit sur un autre, il exerce une action mécanique.
Comment modéliser l'action d'un système extérieur sur un autre ?

DOC 1 Diagramme objets-interactions

Lorsqu'un **système étudié** subit des interactions avec plusieurs **systèmes extérieurs**, il est utile de construire un diagramme objets-interactions (DOI).

COMMENT CONSTRUIRE UN DOI ?

- Repérer le système étudié et l'écrire dans un ovale. Entourer celui-ci d'un ovale plus grand de couleur différente.
- Lister les systèmes extérieurs agissant sur le système étudié, les écrire chacun autour dans un ovale. Ne pas oublier la Terre et les supports (sol, table...).
- Représenter les interactions de contact par des doubles flèches pleines ⟷ et les interactions à distance par des doubles flèches en pointillés <- ->.



FICHE MÉTHODE ➥ p. 328

DOC 2 Modélisation d'une action mécanique par une force

Une action mécanique qui s'exerce sur un système *S* est **modélisée** par une force $\vec{F}_{\text{S extérieur/S étudié}}$ caractérisée par sa direction, son sens et sa norme (ou valeur).
Ces caractéristiques rappellent celles du vecteur, outil mathématique servant à représenter cette force (FICHE MÉTHODE ➥ p. 326).

DOC 3 Trois systèmes d'étude



A Le ballon de rugby qui tombe.



B La balle de tennis qui est frappée.

C Le swiss-ball posé sur le sol.



VOCABULAIRE

- **Système étudié :** objet que l'on étudie.
- **Système extérieur :** élément extérieur au système étudié qui agit sur lui.
- **Action de contact :** le système étudié et le système extérieur se touchent.
- **Action à distance :** le système étudié et le système extérieur ne se touchent pas.
- **Modéliser** : représenter d'une façon simplifiée.

EXPLOITATION ET ANALYSE

Répondre aux questions 1 à 4 pour chaque système du document 3.

1 Construire le diagramme objets-interactions.

2 Identifier les actions mécaniques qui agissent sur le système étudié.

3 Indiquer les effets de ces actions sur ce système.

4 Représenter, sans souci d'échelle, les forces qui modélisent les actions exercées sur chaque système étudié.

SYNTHÈSE

On représente chaque système étudié (doc. 3) par un point unique.

Je réussis si...

- **J'identifie les interactions entre système étudié et systèmes extérieurs.**
- **Je sais modéliser l'interaction par une force.**

COMPÉTENCES :
AN/RAI Choisir un modèle ou des lois pertinentes
RÉA Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, etc.)

La force d'interaction gravitationnelle

En 1687, Newton élabora une théorie universelle qui permit d'expliquer à la fois le mouvement d'une pomme tombant sur Terre, mais aussi de la Lune autour de la Terre et de toutes les planètes autour du Soleil. Comment représenter l'interaction gravitationnelle ?

DOC 1 Extraits de textes de I. Newton

PROPOSITION VI. THÉORÉME VI.

Tous les corps gravitent vers chaque planette, & ſur la même planette quelconque leurs poids, à égale diſtance du centre, ſont proportionnels à la quantité de matiere que chacun d'eux contient.

PROPOSITION LXXVI. THÉORÉME XXXVI.

Deux ſpheres dont toutes les parties agiſſent en raiſon renverſée du quarré des diſtances, étant compoſées l'une & l'autre d'orbes concentriques dont les denſités du centre à la circonférence varient ſuivant une loi quelconque, s'attirent réciproquement avec des forces qui ſont en raiſon renverſée du quarré des diſtances de leurs centres.

Le grand ſ : c'est la lettre s.

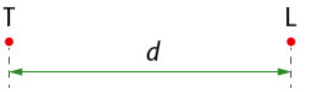
Principes mathématiques de la philosophie naturelle, 1726. Traduction par la comtesse du Châtelet.

DOC 2 Mouvement de la Lune autour de la Terre

La Lune est un satellite naturel de la Terre qui gravite autour d'elle car la Terre et la Lune exercent mutuellement l'une sur l'autre une attraction gravitationnelle.



DOC 3 Représentation et données



La Terre est représentée par le point T et la Lune par le point L.

- Masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.
- Masse de la Lune : $M_L = 7{,}35 \times 10^{22}$ kg.
- Distance entre T et L : $d = 3{,}84 \times 10^{5}$ km.
- Échelle du vecteur force : 1,0 cm représente $1{,}0 \times 10^{20}$ N.

DÉMARCHE EXPERTE

À l'aide des différents documents, représenter à l'échelle fournie les forces $\vec{F}_{Terre/Lune}$ et $\vec{F}_{Lune/Terre}$ et conclure.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. *Utiliser le* document 1.

a. Déterminer si la force de gravitation est proportionnelle, inversement proportionnelle ou indépendante des masses de deux systèmes A et B.

b. Déterminer si la force de gravitation est proportionnelle, inversement proportionnelle ou indépendante du carré de la distance entre ces systèmes.

c. Quelle expression semble conforme pour exprimer la valeur de la force de gravitation universelle ?

1. $F_{A/B} = G \cdot m_A \cdot m_B \cdot d^2$
2. $F_{A/B} = G \cdot \dfrac{m_A \cdot m_B}{d}$
3. $F_{A/B} = G \cdot \dfrac{m_A \cdot m_B}{d^2}$
4. $F_{A/B} = G \cdot \dfrac{d^2}{m_A \cdot m_B}$

2. *Utiliser le* document 2.

a. Dans quelle direction s'exerce l'action de la Terre sur la Lune ? Quel est le sens de cette action ?

b. Dans quelle direction s'exerce l'action de la Lune sur la Terre ? Quel est le sens de cette action ?

3. *Utiliser le* document 3.

a. Calculer la valeur de la force $F_{Terre/Lune}$.

b. Déterminer la longueur du vecteur $\vec{F}_{Terre/Lune}$ correspondant.

c. Représenter au point L la force $\vec{F}_{Terre/Lune}$ et au point T la force $\vec{F}_{Lune/Terre}$.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. À l'aide du document 1 et des connaissances acquises, rappeler l'expression de la valeur de la force de gravitation universelle.

2. a. Calculer la valeur de la force $F_{Terre/Lune}$. En déduire la longueur du vecteur $\vec{F}_{Terre/Lune}$ correspondant.

b. Représenter à l'échelle fournie les forces $\vec{F}_{Terre/Lune}$ et $\vec{F}_{Lune/Terre}$.

Je réussis si...

- **Je sais calculer la valeur de la force de gravitation universelle.**
- **Je sais déterminer la direction et le sens de cette force.**
- **Je sais tracer à l'échelle fournie le vecteur représentant la force.**
- **DÉMARCHE EXPERTE Je sais extraire des informations de différents documents et établir une conclusion de mon investigation.**

COMPÉTENCES :
RÉA Utiliser un modèle
COM Utiliser un vocabulaire adapté

Poids et masse, une vraie différence !

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Qu'un objet soit situé à la surface de la Terre ou à la surface de la Lune, il a la même masse, mais pas le même poids.

Comment expliquer qu'un objet n'a pas le même poids suivant l'astre sur lequel il se trouve ?

COUP DE POUCE ➥ p. 330

DOC 1 Expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle

A et B sont deux objets massiques.

expressions vectorielles des forces modélisant l'interaction entre A et B (valeur de F en **N**)

masses de A et B (en **kg**)

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \cdot \vec{u}_{BA}$$

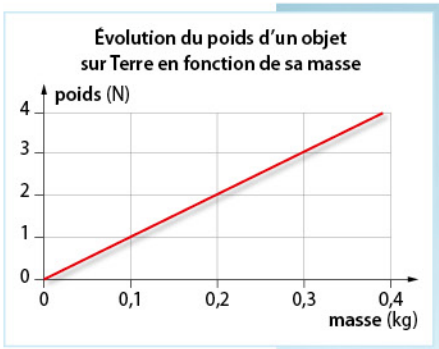
constante de gravitation universelle ($G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ **N · m² · kg⁻²**)

distance entre les centres de A et B (en **m**)

vecteur unitaire porté par la droite (AB), orienté de B vers A

Un vecteur unitaire est le vecteur de norme 1 donnant la direction et le sens d'un vecteur non nul.

DOC 2 Relation entre poids et masse

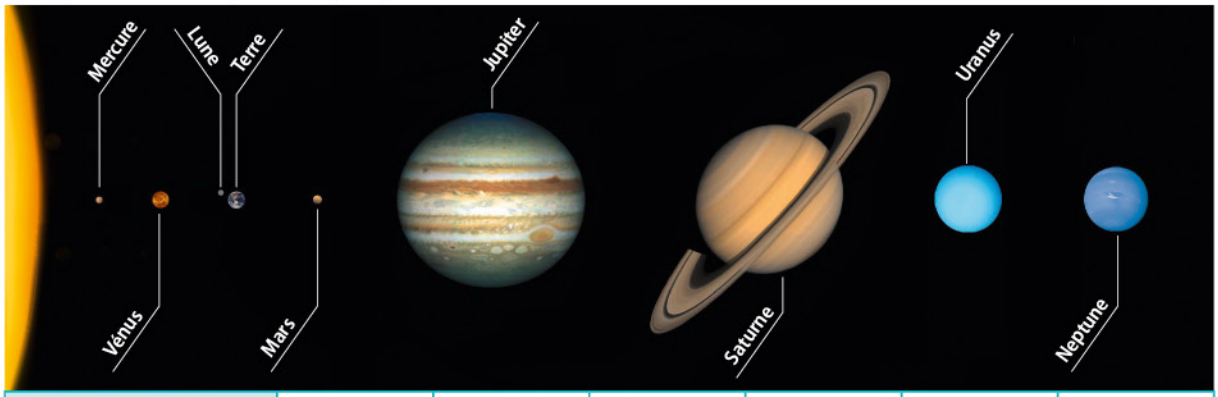


Dispositif expérimental



Les résultats expérimentaux permettent de tracer le graphique ci-dessus.

DOC 3 Masses et rayons de quelques astres



Astre attracteur	Mercure	Vénus	Terre	Lune	Mars	Jupiter
Masse (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 moyen (en km)	2 440	6 052	6 371	1 737	3 390	$6{,}991 \times 10^{4}$

VOCABULAIRE

- La **masse** est une grandeur qui rend compte de la quantité de matière dans un objet (exprimée en kg).
- Le **poids** est la force qui modélise l'attraction exercée par un astre (à sa surface) sur un objet.

Je réussis si...

- **Je sais établir l'expression vectorielle du poids d'un objet à partir de la force d'interaction gravitationnelle s'exerçant sur cet objet à la surface d'une planète.**
- **Je sais donner l'expression de l'intensité de pesanteur à la surface d'un astre et calculer sa valeur.**

TP

COMPÉTENCES :
AN/RAI Choisir, élaborer, justifier un protocole
COM Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente

La troisième loi de Newton

SITUATION-PROBLÈME

En octobre 2013, l'astronaute Karen Nyberg a illustré un phénomène évoqué par l'actrice Sandra Bullock lors de la préparation du film *Gravity* : elle s'est propulsée avec un cheveu.

Comment expliquer ce phénomène de propulsion alors que c'est K. Nyberg qui exerce une action mécanique ?



HYPOTHÈSE Proposer une hypothèse en la justifiant.

DOC 1 L'expérience de Karen L. Nyberg

Karen L. Nyberg est une ingénieure et astronaute américaine qui a séjourné dans la Station spatiale internationale (ISS) du 28 mai au 11 novembre 2013.

L'ISS est un ensemble de modules en orbite autour de la Terre. Cette station accueille régulièrement des spationautes de toutes les nationalités et permet de réaliser des expériences en apesanteur.

Le film *Gravity* raconte un incident subi par des astronautes lors d'une sortie spatiale.

Au cours de la préparation du film, l'actrice Sandra Bullock évoque avec Cady Coleman, une autre astronaute américaine, la possibilité de se projeter en arrière simplement en se poussant avec un cheveu.

Quelques jours plus tard, Karen Nyberg réalise l'expérience à bord de l'ISS et confirme la véracité de ce qui a été imaginé.

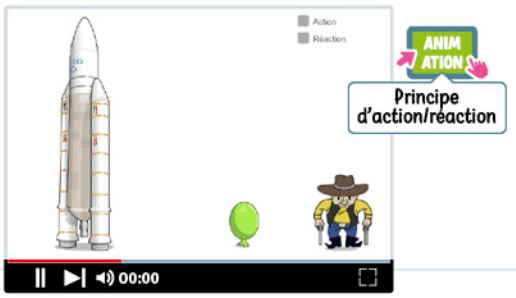
DOC 2 Expérience de propulsion à bord de l'ISS

Karen L. Nyberg tend un cheveu entre ses mains et appuie avec sur un tuyau métallique de l'ISS.



DOC 3 Décollage d'une fusée

Cette animation permet entre autres de comprendre ce qui se passe au moment du décollage d'une fusée.



PISTES DE RÉSOLUTION

1 Proposer un protocole expérimental permettant de simuler l'expérience de Karen L. Nyberg sur Terre.

2 **a.** Sur quoi Karen L. Nyberg exerce-t-elle une action ?
b. Quelle action l'a-t-elle propulsée ?

3 Représenter sur un même schéma, sans souci d'échelle, les forces modélisant les actions mécaniques mis en jeu.

CONCLUSION

4 Comparer les forces modélisant les actions mécaniques identifiées et répondre à la problématique.

DOC 4 Limiter les frottements

Sur un sol parfaitement lisse, une chaise à roulettes ou un skateboard limite les frottements au niveau du sol.



Je réussis si...

- **Je sais identifier les actions mécaniques qui agissent sur chaque système.**
- **Je sais comparer les deux forces modélisant deux actions mécaniques.**

PAGE Flashable

1 De l'action mécanique à la force

Action mécanique

Lorsqu'un **système extérieur** agit sur un **système étudié**, il y a une **action mécanique** du premier qui s'exerce sur le second.

Les actions mécaniques peuvent avoir différents effets sur le système étudié (FIG. 1) : le **mettre en mouvement** A, **modifier** sa trajectoire et/ou sa vitesse B, ou encore le **déformer** C.

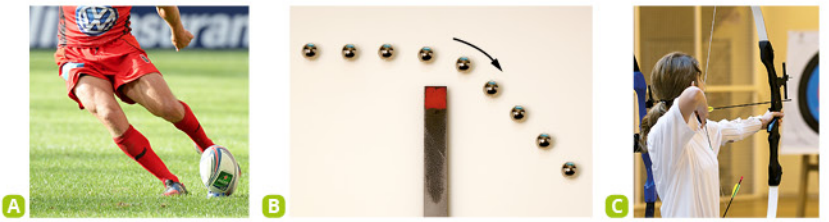


FIG. 1 Trois effets différents d'actions mécaniques.
A Mise en mouvement d'un ballon de rugby.
B Bille déviée par un aimant.
C Arc déformé par le tireur.

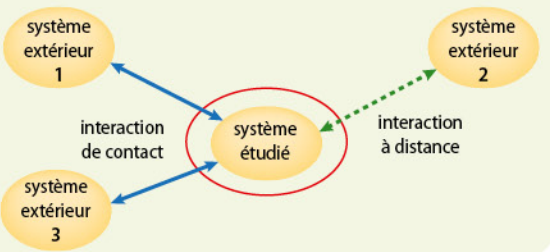
Action à distance et action de contact

Si les systèmes étudié et extérieur se touchent, on parle d'**action** mécanique **de contact** (FIG. 1 A C).
Si le système extérieur agit sur le système étudié sans le toucher, on parle d'**action** mécanique **à distance** (FIG. 1 B).

Diagramme objets-interactions

Le système étudié peut subir les actions de plusieurs systèmes extérieurs, il est alors important de faire le bilan de toutes les actions mécaniques agissant sur lui.

Le **diagramme objets-interactions** permet de dresser schématiquement le bilan des actions mécaniques qui s'exercent sur le système étudié.



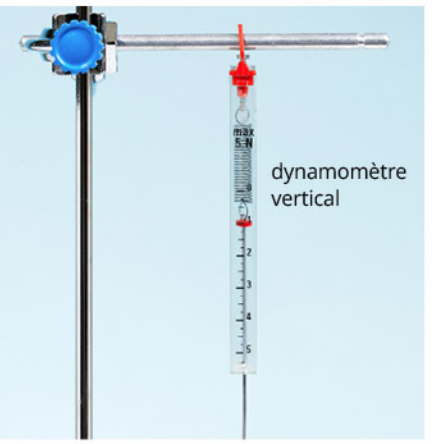


FIG. 2 La valeur de la force se mesure avec un dynamomètre.

Modélisation d'une action mécanique par une force

Pour pouvoir étudier une action mécanique, on la modélise par une **force** représentée par un **vecteur** $\vec{F}_{\text{Système extérieur/Système étudié}}$.

Les caractéristiques d'un vecteur $\vec{F}_{\text{Syst. ext./Syst. étu.}}$ sont :
- l'origine, le point représentant le système étudié ;
- la **direction**, celle de l'action mécanique ;
- le **sens**, celui de l'action mécanique ;
- la **norme** (ou longueur) est proportionnelle à la valeur (ou intensité) de la force, exprimée en newton (N) (FIG. 2).

EXEMPLE L'action mécanique d'une raquette sur une balle de tennis est modélisée par une force d'intensité 1 000 N. Le vecteur a une norme (ou longueur) égale au double de l'échelle (FIG. 3).

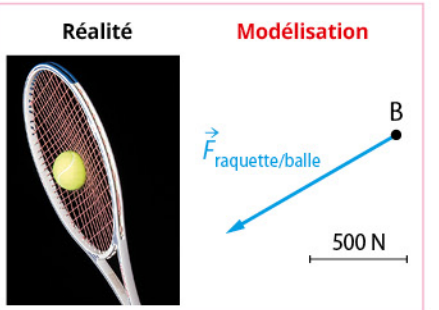


FIG. 3 Action mécanique d'un système modélisée par une force qui est représentée par un vecteur.

2 Exemples de forces

La force d'interaction gravitationnelle

En 1687, Newton publie dans son ouvrage *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, les prémices de ce qui allait devenir la loi de la gravitation universelle.

Tous les corps massiques de l'Univers s'attirent mutuellement, d'où le terme d'universelle. Cette attraction due à leur masse, est modélisée par la force d'interaction gravitationnelle.

Deux systèmes A et B, de masses respectives m_A et m_B, séparés d'une distance d, exercent l'un sur l'autre des actions mécaniques attractives modélisées par des forces, appelées **forces d'interaction gravitationnelle**, de même intensité, de même direction, mais de sens opposés.

L'expression vectorielle de ces forces $\vec{F}$ est :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \cdot \vec{u}_{BA}$$

- $\vec{F}_{A/B}$: expressions vectorielles des forces modélisant l'interaction entre A et B (valeur de F en N)
- m_A et m_B : masses de A et B (en kg)
- G : constante de gravitation universelle ($G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m² · kg⁻²)
- d : distance entre les centres de A et B (en m)
- $\vec{u}_{BA}$: vecteur unitaire porté par la droite (AB), orienté de B vers A

Ces forces d'interaction sont à l'origine des mouvements des planètes autour du Soleil et des mouvements des satellites autour des planètes (FIG. 4).

EXEMPLE La Terre de masse $m_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg et la Lune de masse $m_L = 7{,}35 \times 10^{22}$ kg sont à une distance $d = 3{,}84 \times 10^5$ km. Après conversion de d en mètre, on calcule l'intensité de la force d'interaction gravitationnelle F :

$$F_{Terre/Lune} = F_{Lune/Terre} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{5{,}97 \times 10^{24} \times 7{,}35 \times 10^{22}}{(3{,}84 \times 10^5 \times 10^3)^2} = 1{,}98 \times 10^{20}\ \text{N}$$

La représentation, sans souci d'échelle, des vecteurs forces est donnée ci-contre (FIG. 4).

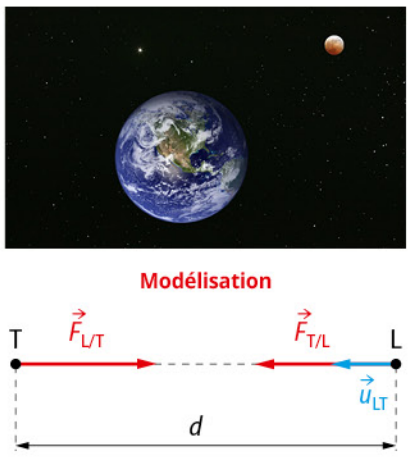


FIG. 4 Interaction gravitationnelle entre la Terre T et la Lune L.

Le poids

Un système étudié de masse m se trouvant à la surface (ou à proximité) d'un astre de masse m_A et de rayon R subit l'attraction de cet astre.

Le **poids** d'un système est la force qui modélise l'action à distance de l'astre attracteur à proximité (FIG. 5). L'expression vectorielle du poids $\vec{P}$ est :

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

- $\vec{P}$: expression vectorielle du poids d'un système (valeur de P en N)
- m : masse du système (en kg)
- $\vec{g}$: champ de pesanteur (valeur de l'intensité de pesanteur g en N · kg⁻¹)

Or : $$\vec{F}_{A/S} = G \cdot \frac{m_A \cdot m}{R^2} \cdot \vec{u}_{SA} = m \cdot \left(\frac{G \cdot m_A}{R^2}\right) \cdot \vec{u}_{SA}$$

Le poids $\vec{P}$ est dirigé suivant le vecteur unitaire $\vec{u}_{SA}$ porté par la droite (SA) et orienté de S vers A. Les caractéristiques du vecteur $\vec{P}$ du système S sont (FIG. 5) :

– la direction, qui est la droite reliant le système au centre de l'astre, donc la **verticale du lieu** ;

– le sens, qui est **vers le centre** de l'astre ;

– la longueur, qui est proportionnelle à la valeur du poids $P = m \cdot g$.



FIG. 5 Poids $\vec{P}$ d'un système S modélisant l'attraction à proximité de la Terre.

Attention

Il ne faut pas confondre **masse** m et **intensité du poids** P qui sont deux **grandeurs proportionnelles**, mais pas égales. Le coefficient de proportionnalité correspond à l'intensité de pesanteur g à la surface de l'astre.

L'**intensité de pesanteur** dépend de la masse de l'astre et de son rayon (FIG. 6) :

constante de gravitation universelle
($G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m² · kg⁻²)

intensité de pesanteur (en N · kg⁻¹) $g = \dfrac{G \cdot m_A}{R^2}$ ← masse de l'astre (en kg) ← rayon de l'astre (en m)

EXEMPLE À la surface de la Terre, $R_T = 6\,371$ km et $m_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.
L'intensité de pesanteur g_T vaut en moyenne :

$$g_T = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(6\,371 \times 10^3)^2} = 9{,}81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

À la surface de la Lune, $R_L = 1\,737$ km et $m_L = 7{,}35 \times 10^{22}$ kg.
L'intensité de pesanteur g_L vaut en moyenne :

$$g_L = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 7{,}35 \times 10^{22}}{(1\,737 \times 10^3)^2} = 1{,}62 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

L'intensité de pesanteur sur la Lune est donc six fois plus faible que sur la Terre, il en est alors de même pour l'intensité du poids.

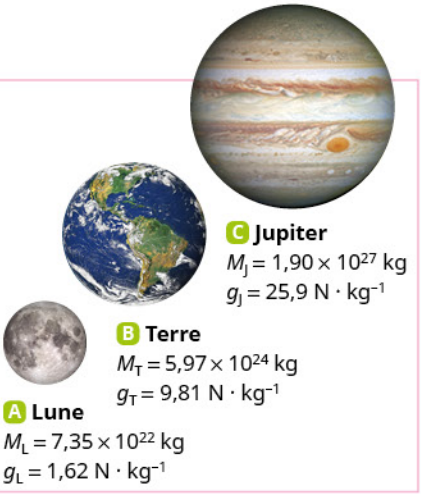


FIG. 6 Influence de la masse de l'astre attracteur sur la valeur de l'intensité de la pesanteur moyenne g.

Force exercée par un support

On appelle **réaction $\vec{R}$ du support** (FIG. 7) la force qui modélise l'action du support sur le système d'étude. Les caractéristiques de la réaction $\vec{R}$ sont :
– la **direction** qui est **perpendiculaire au support** ;
– le **sens** qui est **du support vers le système étudié** ;
– la **norme** qui est proportionnelle à la valeur de la réaction R.

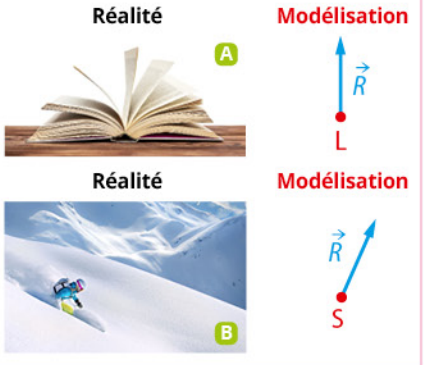


FIG. 7 Réactions $\vec{R}$ d'un support.
A La table exerce une action sur le livre L.
B Une pente enneigée exerce une action sur le skieur S.

Force exercée par un fil

On appelle **tension $\vec{T}$ du fil** (FIG. 8) la force qui modélise l'action du fil sur le système d'étude. Les caractéristiques de la tension $\vec{T}$ sont :
– la **direction** qui est **celle du fil** ;
– le **sens** qui est **du système étudié vers le fil** ;
– la **norme** qui est proportionnelle à la valeur de la tension T.

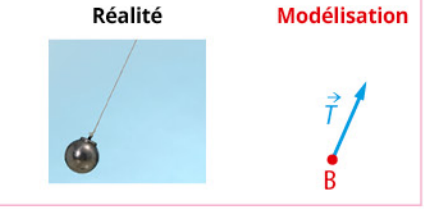


FIG. 8 Tension $\vec{T}$ du fil modélisant l'action du fil sur une boule B qui y est accrochée.

3 Principe des actions réciproques

Troisième loi de Newton

3e loi de Newton : lorsqu'un système A exerce une action mécanique sur un système B, alors le système B exerce une action mécanique réciproque sur le système A. Ces actions sont modélisées par des forces telles que :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

Ces forces ont **même direction**, **même valeur**, mais sont de **sens opposés**.

EXEMPLE Ce principe (3e loi de Newton) explique la propulsion des fusées. La fusée exerce une action mécanique sur les gaz en les expulsant vers le bas. Les gaz exercent alors une action mécanique sur la fusée vers le haut. Ces actions mécaniques sont modélisées par les forces $\vec{F}_{\text{fusée/gaz}}$ et $\vec{F}_{\text{gaz/fusée}}$ qui sont de sens opposés. Le système étudié étant la fusée, c'est la force $\vec{F}_{\text{gaz/fusée}}$ qui est à l'origine du décollage de la fusée (FIG. 9).

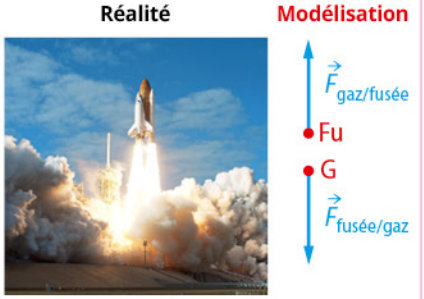


FIG. 9 Principe de la propulsion.

L'ESSENTIEL À RETENIR

Le vocabulaire à retenir
Les relations à connaître et savoir utiliser

1 De l'action mécanique à la force

- Une **action mécanique** correspond à l'action d'un **système extérieur** sur le **système étudié**, elle peut être **de contact** ou s'exercer **à distance**.
- On modélise une action mécanique par une **force** représentée par un **vecteur** $\vec{F}_{\text{Système extérieur/Système étudié}}$ qui a ces caractéristiques :

– l'origine, le point représentant le système ;
– la **direction**, celle de l'action mécanique ;
– le **sens**, celui de l'action mécanique ;
– la **norme** (ou longueur) est proportionnelle à la valeur (ou intensité) de la force, exprimée en newton (N).

2 Exemples de forces

La force d'interaction gravitationnelle $\vec{F}$

expressions vectorielles des forces modélisant l'interaction entre A et B (valeur de F en **N**)

masses de A et B (en **kg**)

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \cdot \vec{u}_{BA}$$

constante de gravitation universelle ($G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ **N · m² · kg⁻²**)

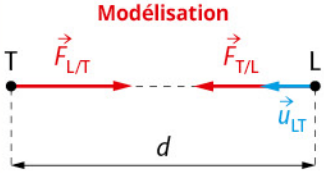
distance entre les centres de A et B (en **m**)

vecteur unitaire porté par la droite (AB), orienté de B vers A

Réalité



Modélisation



Le poids $\vec{P}$

expression vectorielle du poids d'un système (valeur de *P* en **N**)

masse du système (en **kg**)

champ de pesanteur $\vec{g}$ (valeur de l'intensité de pesanteur *g* en **N · kg⁻¹**)

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

$$\vec{F}_{A/S} = G \cdot \frac{m_A \cdot m}{R^2} \cdot \vec{u}_{SA} = m \cdot \left(\frac{G \cdot m_A}{R^2} \right) \cdot \vec{u}_{SA}$$

À la surface de la Terre, l'intensité de pesanteur g_T vaut en moyenne 9,81 N · kg⁻¹.

Réalité **Modélisation**





La force $\vec{R}$ exercée par un support

Réalité **Modélisation**





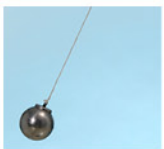
Réalité **Modélisation**





La force $\vec{T}$ exercée par un fil

Réalité **Modélisation**





Attention

Il ne faut pas confondre **masse** *m* et **intensité du poids** *P* qui sont deux **grandeurs proportionnelles**, mais pas égales. Le coefficient de proportionnalité correspond à l'intensité de pesanteur *g* à la surface de l'astre.

3 Principe des actions réciproques

Troisième loi de Newton

Deux systèmes A et B exercent l'un sur l'autre des actions mécaniques réciproques modélisées par des forces telles que :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

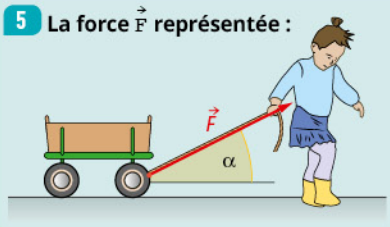
Ces forces ont **même direction**, **même valeur**, mais sont de **sens opposés**.

Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

1 De l'action mécanique à la force

	A	B	C
1 Une action mécanique peut être :	à distance.	de contact.	ni à distance, ni de contact.
2 Une action mécanique est modélisée par une force notée :	$\vec{F}_{\text{système extérieur/système étudié}}$	$\vec{F}_{\text{système extérieur/système étudié}}$	$\vec{F}_{\text{système étudié}}$
3 L'unité de la valeur de la force est :	le kilogramme.	le pascal.	le newton.
4 On représente une force par :	une droite.	un vecteur.	un segment.
5 La force $\vec{F}$ représentée : 	est la force qui modélise l'action exercée par le chariot sur la fille.	est la force qui modélise l'action exercée par la fille sur le chariot.	a une direction d'angle α avec l'horizontale et un sens de la droite vers la gauche.

2 Exemples de forces

	A	B	C
6 L'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle entre deux systèmes A et B est :	$\vec{F}_{A/B} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d} \cdot \vec{u}_{BA}$	$\vec{F}_{A/B} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \cdot \vec{u}_{BA}$	$\vec{F}_{B/A} = -G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \cdot \vec{u}_{BA}$
7 L'expression vectorielle du poids d'un système S à proximité d'un astre A est :	$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$	$\vec{P} = m \cdot \left(\frac{G \cdot m_A}{R^2}\right) \cdot \vec{u}_{SA}$	dirigée suivant la verticale du lieu.
8 La force modélisant l'action d'un support est :	horizontale.	verticale.	perpendiculaire au support.
9 La force modélisant l'action d'un fil sur un système a pour direction le fil. Le sens est :	toujours vertical.	du système vers le fil.	du fil vers le système.

3 Principe des actions réciproques

	A	B	C
10 Lorsque l'on enfonce un clou avec un marteau dans une planche :	le marteau exerce une action mécanique sur le clou.	le clou exerce une action mécanique sur le marteau.	le clou exerce une action mécanique sur la planche.
11 $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$ implique que les forces ont :	même direction.	même sens.	même valeur.
12 La loi qui énonce cette égalité des forces $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$ est :	le principe des actions réciproques.	la première loi de Newton.	la troisième loi de Newton.

Acquérir les notions

1 De l'action mécanique à la force

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Modélisation d'une action par une force ➥ EXERCICES 13 à 16	• Identifier différentes actions mécaniques. • Modéliser l'action d'un système extérieur sur le système étudié. • Représenter une force par un vecteur ayant une direction, un sens et une norme.
Caractéristiques d'une force ➥ EXERCICES 17 à 19	• Donner les caractéristiques d'une force. • Distinguer actions à distance et actions de contact.

13 Acrobate et tissu aérien

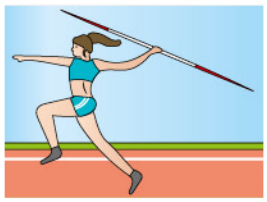


1. Dresser le diagramme objets-interactions en prenant l'acrobate comme système d'étude.
2. Indiquer les actions mécaniques qui s'exercent sur l'acrobate.
3. Quelles forces modélisent ces actions ?

14 Lancer de javelot

Voici un dessin d'une athlète lançant un javelot.

On modélise les deux actions mécaniques suivantes A et B.



A



B



Pour chaque modèle :

1. Indiquer le système d'étude et le système qui agit.
2. Donner les caractéristiques de la force qui modélise l'action mécanique.

15 Voiture à l'arrêt

On étudie une voiture à l'arrêt sur une route plane et horizontale. Cette voiture est représentée par un point V.

1. Indiquer les actions mécaniques que subit la voiture.
2. Représenter, sans souci d'échelle, les forces modélisant ces actions mécaniques.

16 Tir à l'arc

Un archer tire sur la corde de son arc afin de décocher une flèche horizontalement. La valeur de la force qui modélise l'action exercée par la main sur la corde est de 225 N.

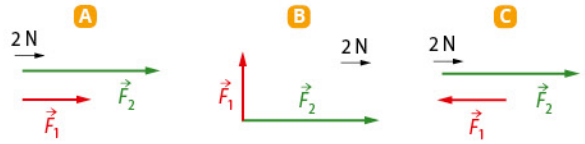
Donnée :

Échelle : 1,0 cm représente 100 N.

Représenter la force modélisant l'action de la main sur la corde en un point C.

17 Différentes forces

Les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ représentant diverses actions mécaniques sont tracées ci-dessous à la même échelle.



Donner les caractéristiques des forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ dans chaque cas.

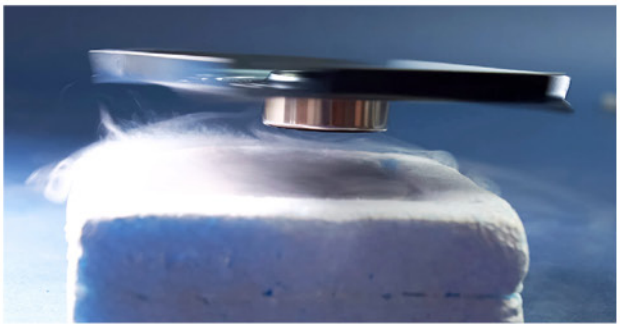
18 Action de contact ou action à distance ?

Indiquer si les actions suivantes sont des actions à distance ou des actions de contact.

1. L'action du pied sur un ballon.
2. L'action de la Terre sur un ballon.
3. L'action de la Terre sur la Lune.
4. L'action du vent sur une planche à voile.

19 Lévitation

Cet aimant est en lévitation immobile au-dessus d'un supraconducteur, matériau n'ayant aucune résistance électrique en dessous d'une certaine température critique.



1. L'action du supraconducteur sur l'aimant est-elle une action de contact ou une action à distance ?
2. Indiquer les caractéristiques de la force qui modélise cette action.

2 Exemples de forces

Notions du programme

Force d'interaction gravitationnelle

Poids

Force exercée par un support et par un fil

➥ EXERCICES 20 à 27

Ce qu'on attend de moi

- Identifier les actions modélisées par des forces dont les expressions mathématiques sont connues.
- Utiliser l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle.
- Utiliser l'expression vectorielle du poids d'un objet.
- Représenter qualitativement la force modélisant l'action d'un support et d'un fil.

DONNÉE

- Intensité de la pesanteur sur Terre : $g_T = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$.

20 Le bon modèle

Quatre élèves ont représenté l'interaction gravitationnelle entre la Terre et la Lune en justifiant leur construction.

Quel élève a représenté correctement les forces modélisant cette interaction ?

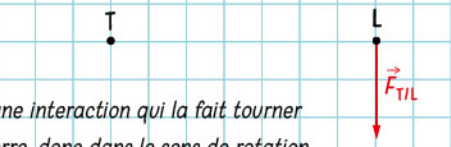
Corriger les copies avec erreurs.

Anne



La terre et la Lune se repoussent sinon elles se percuteraient.

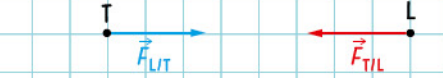
Brahim



La Lune subit une interaction qui la fait tourner autour de la Terre, donc dans le sens de rotation.

Sophia

La Terre et la Lune s'attirent mutuellement avec la même intensité mais en sens opposés.



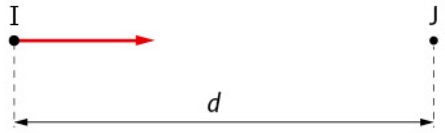
Thomas

La Terre attire plus la Lune que l'inverse parce qu'elle est plus lourde.



21 Io, satellite naturel de Jupiter

Jupiter est une planète du Système solaire qui possède plusieurs satellites naturels en rotation autour d'elle, dont Io. Ici, Jupiter est représenté par le point J et Io par le point I.



1. Identifier l'interaction modélisée par la force représentée sur le schéma.

2. Donner l'expression vectorielle de cette force d'interaction.

22 Encore Io et Jupiter !





Si la planète Jupiter attire sa lune Io, alors Io attire Jupiter.

Données :

Masse de Io : $M_I = 8{,}93 \times 10^{22}$ *kg.*

Masse de Jupiter : $M_J = 1{,}90 \times 10^{27}$ *kg.*

Distance Jupiter-Io : $d = 4{,}22 \times 10^{5}$ *km.*

Constante de gravitation universelle :

$$G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$$

Échelle des forces : 1,0 cm représente $3{,}00 \times 10^{22}$ *N.*

1. Donner l'expression vectorielle de la force d'interaction $\vec{F}_{I/J}$?

2. Calculer la valeur de cette force.

3. Tracer cette force à l'échelle donnée ci-dessus.

23 Le poids sur différentes planètes

On donne les masses de trois planètes et les intensités de pesanteur moyenne g à leur surface.

Planète	**Masse** (en kg)	g (en $N \cdot kg^{-1}$)
Mercure	$3{,}3 \times 10^{23}$	2,9
Terre	$6{,}0 \times 10^{24}$	9,8
Jupiter	$1{,}9 \times 10^{27}$	26

De plus, les valeurs de l'intensité de pesanteur sont différentes sur Terre. Par exemple à Paris, g vaut $9{,}811\ N \cdot kg^{-1}$, au sommet du mont Blanc $9{,}792\ N \cdot kg^{-1}$.

1. D'après les données de l'exercice, de quelles grandeurs dépend l'intensité de pesanteur ?

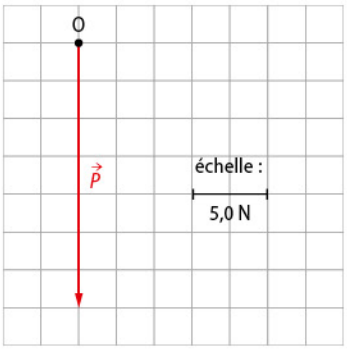
2. En utilisant le fait que l'intensité de la force qui modélise l'attraction subite par un objet à la surface d'un astre est égale à la valeur de son poids, rappeler la relation justifiant la réponse à la question 1.

24 Faire le poids

1. Peser le manuel de physique-chimie Seconde.
2. Donner l'expression vectorielle de son poids.
3. Déterminer l'intensité de son poids sur Terre.
4. Représenter cette force en modélisant le livre par un point L. Préciser l'échelle utilisée.

25 La masse inconnue

Le schéma ci-contre représente le poids d'un objet de masse inconnue.



1. Citer l'appareil de mesure qui a permis de déterminer la valeur du poids.
2. Déterminer cette valeur.
3. En déduire la masse de l'objet.

26 Le skatepark

Un skateur glisse sur une piste bien lisse constituée d'une cuvette comme le montre la photographie suivante.



1. Représenter sur un schéma les trois parties de la piste.
2. Sur chaque partie, représenter en un point S sans souci d'échelle, la force modélisant l'action de la piste sur le skateboard *S*.

27 Le pendule de Foucault

Le pendule de Foucault est un dispositif expérimental créé pour montrer la rotation de la Terre. On peut encore le voir au Panthéon à Paris.

Quand il est au repos, le pendule est dans la position de la photographie. Si on l'écarte, il se met à osciller.



1. Représenter, sans souci d'échelle, la boule au repos par un point B et les forces modélisant les actions mécaniques qui s'exercent sur la boule.
2. Reprendre la question 1 en considérant la boule écartée de la verticale d'un angle α.

3 Principe des actions réciproques

Notions du programme

Principe des actions réciproques (troisième loi de Newton)

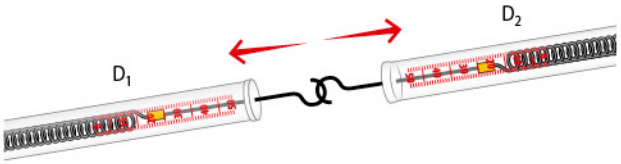
➥ EXERCICES 28 et 29

Ce qu'on attend de moi

- Exploiter le principe des actions réciproques.

28 Dynamomètres

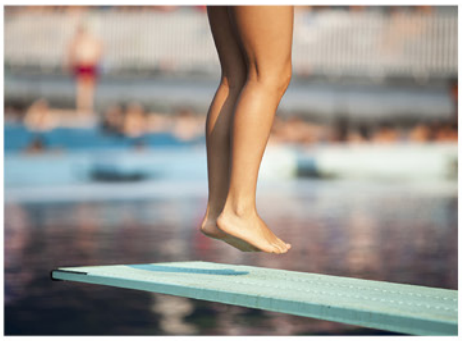
Un technicien de laboratoire accroche entre eux deux dynamomètres (D_1) et (D_2) et les écarte l'un de l'autre.



1. En justifiant les réponses, comparer :
   a. les directions des actions D_1/D_2 et D_2/D_1 ;
   b. le sens des actions D_1/D_2 et D_2/D_1 ;
   c. les valeurs mesurées par les dynamomètres.
2. Tracer, sans souci d'échelle, au point de contact des deux dynamomètres, les forces $\vec{F}_{D_1/D_2}$ et $\vec{F}_{D_2/D_1}$ modélisant les actions mécaniques.

29 Le plongeoir

Lorsqu'une plongeuse saute sur la planche du plongeoir, elle est propulsée vers le haut.



1. Quelle action la plongeuse exerce-t-elle sur le plongeoir ? Représenter la force modélisant cette action sans souci d'échelle.
2. Quelle action propulse la plongeuse ? Représenter la force modélisant cette action sans souci d'échelle.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

30 La Station spatiale internationale ISS



La Station spatiale internationale ISS est le plus grand des objets artificiels, placé en orbite autour de la Terre à une altitude h de 400 km.

Données :

Rayon de la Terre : $R_T = 6\,371$ km.

Masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.

Masse de la station : $m = 435$ t.

Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m² · kg⁻².

1. a. Représenter sur un schéma sans souci d'échelle :
– la Terre T et la station S (S supposée ponctuelle) ;
– un vecteur unitaire $\vec{u}$ orienté de la station vers la Terre ;
– la force modélisant l'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur la station.

b. Donner l'expression vectorielle de cette force en fonction du rayon R_T de la Terre, de l'altitude h de l'ISS, des masses de la Terre et de l'ISS, et du vecteur unitaire.

2. Déterminer la valeur de cette force.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- L'ISS est en orbite, donc tourne autour de la Terre grâce à l'interaction gravitationnelle : l'ISS ne subit qu'**une action mécanique**.
- L'altitude de l'ISS permet de calculer la **distance** séparant le centre de la Terre du centre du système étudié.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Représenter sur un schéma** : réaliser un schéma en appliquant un modèle.
- **Donner** : écrire sans démontrer une loi.
- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

EXEMPLE DE RÉDACTION

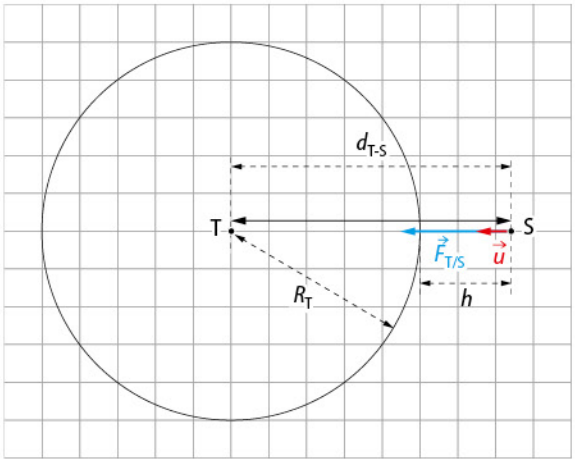
1. a. Schéma ci-contre :

b. L'expression de la force $\vec{F}_{T/S}$ est :

$$\vec{F}_{T/S} = G \cdot \frac{M_T \cdot m}{d^2} \cdot \vec{u}$$

Or la distance entre le centre de la Terre et l'ISS est $d = R_T + h$. Donc :

$$\vec{F}_{T/S} = G \cdot \frac{M_T \cdot m}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u}$$



2. On sait que $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg et $m = 435$ t $= 435 \times 10^3$ kg, alors :

$R_T = 6\,371$ km $= 6\,371 \times 10^3$ m et $h = 400$ km $= 400 \times 10^3$ m.

$$F_{T/S} = 6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{5{,}97 \times 10^{24} \times 435 \times 10^3}{(6\,371 \times 10^3 + 400 \times 10^3)^2}, \text{ donc } \boldsymbol{F_{T/S} = 3{,}78 \times 10^6 \text{ N}}.$$

QUELQUES CONSEILS

1. Il faut considérer la distance entre l'ISS (le point S) et le centre de la Terre (le point T), donc tenir compte à la fois du rayon de la Terre R_T et de l'altitude de l'ISS h.
2. Convertir les distances en mètre et les masses en kilogramme.

EXERCICE SIMILAIRE

31 Satellite GPS

À partir de 1978, le département de la défense américaine envoya dans l'espace une trentaine de satellites en orbite autour de la Terre à une altitude de $2{,}00 \times 10^4$ km. Ces satellites servent depuis à la navigation GPS (Global Positioning System).

Données :

Rayon de la Terre : $R_T = 6\,371$ km.

Masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.

Masse d'un satellite GPS : $m = 700$ kg.

Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m² · kg⁻².

1. Représenter, sans souci d'échelle, la force modélisant l'interaction exercée par la Terre sur un satellite.
2. Calculer la valeur de cette force.



Exercice résolu EN AUTONOMIE

32 Le poids sur Terre



Une orange pesant 300 g est accrochée à une branche grâce au pédoncule. On considère qu'elle se trouve à la surface de la Terre dont le rayon est de 6 371 km.

Données :

Masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.

Constante de gravitation universelle :
$G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m² · kg⁻².

Échelle : 1,0 cm correspond à 1,0 N.

1. Déterminer les actions mécaniques subies par l'orange quand elle est accrochée à l'arbre.

2. a. Déterminer l'expression du poids de cette orange, et calculer sa valeur.
b. Représenter à l'échelle donnée ci-dessous les forces qu'elle subit.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

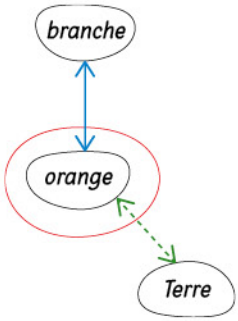
- La branche exerce une **action** sur l'orange par l'intermédiaire du pédoncule.
- La **masse** et le poids sont deux grandeurs différentes mais reliées.
- Le rayon de la Terre permet de déterminer la **distance** séparant deux systèmes.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **Représenter** : tracer en appliquant un modèle et un outil mathématique.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. À l'aide d'un diagramme objet-interactions DOI ou directement, on peut établir qu'il y a :
– action de la Terre T sur l'orange O (action à distance) ;
– action de la branche B (ou du pédoncule) sur l'orange O (action de contact).
Ces actions sont respectivement modélisées par la force $\vec{F}_{T/O} = \vec{P}$ et la force $\vec{F}_{B/O}$.



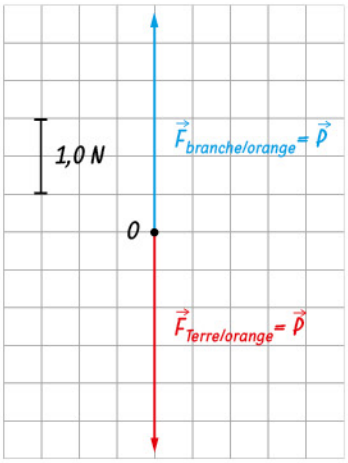
2. L'action mécanique qui correspond au poids de l'orange sur Terre est celle de l'attraction de la Terre.
L'expression de la force correspondante est :

$$\vec{F}_{T/O} = m_O \cdot \left(\frac{G \cdot M_T}{{R_T}^2} \right) \cdot \vec{u}_{OT} = \vec{P} = m_O \cdot \vec{g}$$

$P = 0{,}300 \times \dfrac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(6\,371 \times 10^3)^2}$, donc :

P = 2,94 N.

D'après l'échelle fournie, $\vec{P}$ est représenté par un vecteur de norme $\ell = 2{,}9$ cm.
D'où le tracé ci-contre :



QUELQUES CONSEILS

2. Pour déterminer le poids en newton (N), il faut exprimer la masse en kilogramme (kg) et le rayon de la Terre en mètre (m).
On veillera au nombre de chiffres significatifs (ici 3).
L'échelle est donnée avec 2 chiffres significatifs, donc la longueur du vecteur sera aussi donnée avec 2 chiffres significatifs.

EXERCICE SIMILAIRE

33 Le poids sur la Lune

Pour se poser sur la surface de la Lune, le module lunaire LEM utilisé lors des missions *Apollo* avait une masse de 15 t. La Lune a un rayon de 1 737 km et une masse de $7{,}35 \times 10^{22}$ kg.

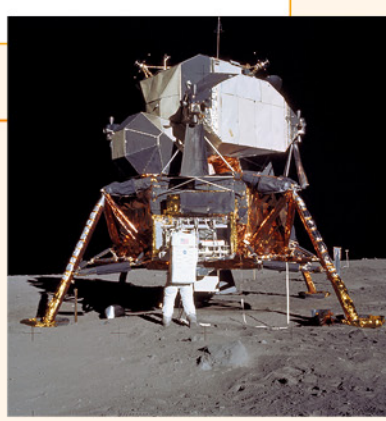
1. Déterminer les forces qui modélisent les actions subies par le LEM en équilibre à la surface de la Lune.

2. Calculer le poids du LEM à la surface de la Lune et représenter à l'échelle les forces qu'il subit.

Données :

Constante de gravitation universelle :
$G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m² · kg⁻².

Échelle : 1,0 cm correspond à 10 kN.



Croiser les notions

DONNÉES

- Rayon de la Terre : $R_T = 6\,371$ km.
- Masse de la Terre, supposée ponctuelle : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.
- Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m² · kg⁻².

34 Gravitational force

Two spherical balls, A and B, exert a gravitational interaction on each other. Their centers are separated by a distance of 20 meters. The A sphere has a mass of 40 kg and the B sphere has a mass of 80 kg. Which of the following statements about the force that each sphere exerts on the other one is correct?

a. The value of the force that models the action exerted on B is twice the value of the force that models the action exerted on A.

b. The value of the force that models the action exerted on B is the same as the value of the force that models the action exerted on A.

c. The value of the force that models the action exerted on B is one half of the value of the force that models the action exerted on A.

35 Coucher de Soleil



Installée sur sa terrasse de maison, Julie révise son cours de physique. Elle s'octroie une pause devant le magnifique coucher de Soleil, et se demande :

« Comment se fait-il que je sois plus attirée par la Terre que par le Soleil, alors que le Soleil est 334 000 fois plus lourd que la Terre ? La force d'interaction gravitationnelle étant proportionnelle à la masse des objets en interaction, je devrais être 334 000 fois plus attirée par le Soleil que par la Terre ! »

Données :

Masse de Julie : $m = 55$ kg.

Distance Terre-Soleil : $d_{Terre\text{-}Soleil} = 1{,}50 \times 10^8$ km.

1. Exprimer la relation vectorielle modélisant l'interaction gravitationnelle exercée par un corps céleste de masse M sur Julie de masse m, située à une distance d du centre de ce corps céleste.

2. Quel élément important Julie n'a-t-elle pas pris en compte lors de son raisonnement ?

3. a. Calculer la valeur de la force modélisant l'interaction gravitationnelle exercée :
– par la Terre sur Julie ;
– par le Soleil sur Julie.

b. Conclure.

JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- bien exprimé la force d'interaction gravitationnelle ;
- exprimé d en mètre avant de calculer F ;
- calculé la masse du Soleil.

36 Le Soleil nous attire

Le Soleil est situé au centre de notre galaxie et il exerce une interaction gravitationnelle sur toutes les planètes qui gravitent autour de lui. Parmi ces planètes, on s'intéresse à la Terre.

Données :

Distance Terre-Soleil : $d_{Terre\text{-}Soleil} = 1{,}50 \times 10^8$ km.

Masse du Soleil, supposé ponctuel : $M_S = 1{,}99 \times 10^{30}$ kg.

1. Donner l'expression vectorielle de la force $\vec{F}_{Soleil/Terre}$ en fonction des données de l'exercice.

2. a. Calculer la valeur de cette force.

b. En déduire la valeur de la force $\vec{F}_{Terre/Soleil}$.

c. Représenter sur un schéma ces forces en indiquant l'échelle utilisée.

3. a. Calculer la masse d'un objet se trouvant à la surface de la Terre qui subirait une action équivalente à celle exercée par la Terre sur le Soleil.

b. Comparer cette masse à la masse du Soleil.

37 Le mont Blanc



Un guide de haute montagne de masse 75,0 kg est en excursion sur une face du mont Blanc. Il se trouve à cet instant à une altitude h par rapport au niveau de la mer.

1. a. Exprimer en fonction de l'altitude h et du rayon de la terre R_T, la distance d entre le guide et le centre de la Terre.

b. Donner l'expression vectorielle de la force $\vec{F}_{Terre/guide}$.

2. Calculer la valeur de la force $F_{Terre/guide}$ lorsque le guide arrive au sommet du Mont Blanc à l'altitude 4 810 m.

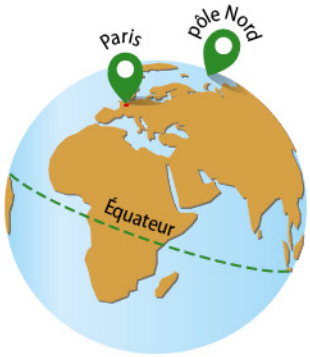
3. Calculer le poids du guide à Paris où l'intensité de pesanteur est $g = 9{,}81$ N · kg⁻¹.

4. Comment expliquer la différence entre la valeur du poids calculée et celle de la force modélisant l'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur le guide ?

38 La Terre, réellement sphérique ?

DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

L'intensité de pesanteur g vaut 9,83 N · kg^{-1} au pôle Nord, 9,78 N · kg^{-1} à l'Équateur et 9,81 N · kg^{-1} à Paris.



DÉMARCHE AVANCÉE

En assimilant la force de gravitation universelle au poids d'un objet à proximité de la surface de la Terre, montrer que la Terre n'est pas réellement sphérique.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. a. Rappeler l'expression vectorielle de la force de gravitation exercée par la Terre sur un objet à proximité de masse m.

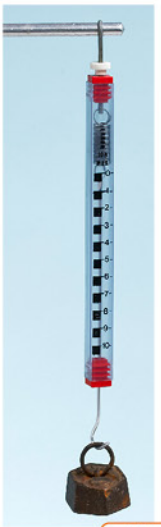
b. En déduire $\vec{g}$ l'expression vectorielle du champ de pesanteur terrestre.

2. a. Quelle est la seule grandeur de l'expression de l'intensité de pesanteur g qui permet d'expliquer les valeurs différentes de g en fonction du lieu ?

b. Que peut-on en conclure quant à la forme de la Terre ?

39 Le dynamomètre

La valeur d'une force, dans certains cas, peut être mesurée grâce à un dynamomètre. Il y a alors proportionnalité entre l'allongement du ressort et la valeur de la force mesurée.



Donnée : *Intensité de pesanteur sur Terre : $g = 9{,}81$ N · kg^{-1}.*

1. On suspend au dynamomètre un objet, l'allongement est de 8,0 cm et la valeur indiquée par le dynamomètre est 4,8 N.

a. Quelle est l'action mécanique subie par le ressort qui l'étire ?

b. Représenter en un point O (extrémité du ressort) la force qui modélise cette action en précisant l'échelle choisie.

2. On suspend un autre objet à ce même dynamomètre et on trouve un allongement de 6,5 cm. En déduire la masse de l'objet.

JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- repéré le système étudié ;
- exprimé la valeur du poids de l'objet.

40 La bonne mesure

MESURES ET INCERTITUDES

Lors d'une séance expérimentale, des élèves doivent déterminer la masse inconnue d'un objet sans utiliser une balance. Ils disposent pour cela de deux dynamomètres différents.

Données :

Le résultat de la mesure d'une grandeur X pour N valeurs mesurées est donnée par la valeur moyenne $\bar{x}$.

L'incertitude-type U_X sur une série de mesures de X est donnée par la relation : $U_x = \frac{S_x}{\sqrt{N}}$ où N est le nombre de mesures effectuées et S_X l'écart-type.

Intensité de la pesanteur sur Terre : $g = 9{,}81$ N · kg^{-1}.

1. Décrire le protocole expérimental qu'ils devront mettre en œuvre.

2. Différents groupes d'élèves effectuent des mesures :
– avec un dynamomètre à ressort A ;
– avec un dynamomètre circulaire bicalibre B.





a. Quelle est la valeur du poids de l'objet lue sur chaque dynamomètre ?

b. Quel dynamomètre semble le plus adapté à la mesure ?

3. On a rassemblé l'ensemble des valeurs du poids de l'objet, lues par les différents groupes de la classe :
0,79 N ; 0,75 N ; 0,76 N, 0,76 N ; 0,77 N ; 0,78 N ; 0,78 N ; 0,77 N ; 0,75 N ; 0,78 N ; 0,77 N ; 0,76 N, 0,78 N ; 0,77 N ; 0,75 N ; 0,78 N ; 0,79 N.

a. Exprimer le résultat de la mesure du poids et l'incertitude-type associée.

b. En déduire la masse inconnue de l'objet.

41 Le billard français

Le billard français est un jeu constitué de trois billes (deux blanches notées B_1 et B_2 et une rouge notée R), chacune de diamètre $d = 61{,}5$ mm et de masse $m = 209$ g.

Les deux billes blanches sont en contact.

1. Donner l'expression vectorielle de la force $\vec{F}_{B_1/B_2}$.

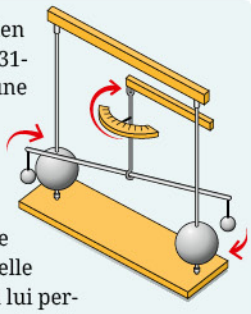
2. Calculer la valeur de la force F_{B_1/B_2} et représenter $\vec{F}_{B_1/B_2}$ en donnant l'échelle choisie.

3. a. Calculer le poids d'une bille avec $g = 9{,}81$ N · kg^{-1}.

b. Comparer cette valeur du poids à celle de la force F_{B_1/B_2}. Que peut-on en conclure ?

42 Expérience de Cavendish HISTOIRE DES SCIENCES

À la fin du XVIII[e] siècle, le physicien britannique Henry Cavendish (1731-1810) réalisa une expérience avec une balance de torsion qui lui permit de mesurer la force entre une sphère fixe et une autre portée par un pendule.



Il en déduit la première valeur de la constante de gravitation universelle $G = 6{,}754 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$, ce qui lui permit ensuite de déterminer la masse de la Terre.

1. Donner $\vec{g}$ l'expression vectorielle du champ de pesanteur à la surface de la Terre.

2. En déduire l'expression de la masse de la Terre M_T en fonction de la constante de gravitation universelle G, du rayon de la Terre R_T et de l'intensité de pesanteur g sur Terre.

3. Calculer la masse de la Terre pour une intensité de pesanteur moyenne de $9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$ et retrouver ainsi le résultat de Cavendish.

43 Jules Verne

Dans le roman *Autour de la Lune* de l'écrivain Jules Verne, les héros ont pris place à l'intérieur d'un projectile-boulet, qu'un canon a propulsé en direction de la Lune.



« On sait que l'attraction, autrement dit la pesanteur, est proportionnelle aux masses et en raison inverse du carré des distances. De là cette conséquence : si la Terre eût été seule dans l'espace, si les autres corps célestes, se fussent subitement annihilés, le projectile, d'après la loi de Newton, aurait d'autant moins pesé qu'il se serait éloigné de la Terre, mais sans jamais perdre entièrement son poids, car l'attraction terrestre se fût toujours fait sentir à n'importe quelle distance.

Mais dans le cas actuel, un moment devait arriver où le projectile ne serait plus aucunement soumis aux lois de la pesanteur, en faisant abstraction des autres corps célestes dont on pouvait considérer l'effet comme nul.

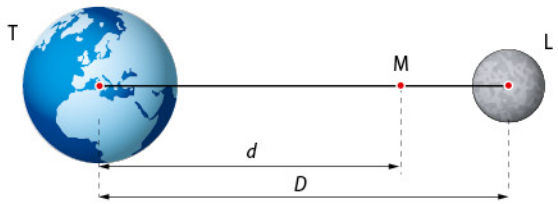
En effet, la trajectoire du projectile se traçait entre la Terre et la Lune. À mesure qu'il s'éloignait de la Terre, l'attraction terrestre diminuait en raison inverse du carré des distances, mais aussi l'attraction lunaire augmentait dans la même proportion. Il devait donc arriver un point où, ces deux attractions se neutralisant, le boulet ne pèserait plus. Si les masses de la Lune et de la Terre eussent été égales, ce point se fût rencontré à une égale distance des deux astres. 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. »

J. Verne, *Autour de la Lune*, 1869.

Données : *Distance Terre-Lune : $D = 3{,}84 \times 10^5$ km.*
Masse de la Lune, supposée ponctuelle : $M_L = 7{,}35 \times 10^{22}$ kg.
1 lieue = 4,83 km.

1. À quelle loi Jules Verne fait-il référence dans la première partie de son texte ?

2. a. Donner l'expression vectorielle de la force modélisant l'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur le projectile de masse m.
b. Représenter sur un schéma cette force.



3. Expliquer pourquoi le point M représente la position où le projectile est soumis à des actions qui se neutralisent. Faire un schéma explicatif.

4. Déterminer la distance d entre la Terre et le point M, et vérifier la dernière phrase du texte de Jules Verne.

À L'ORAL

44 L'impesanteur

Préparer un exposé permettant d'expliquer l'état d'impesanteur dans lequel s'est trouvé le célèbre spationaute français Thomas Pesquet à bord de la station orbitale internationale ISS.



Cet exposé de quelques minutes devra utiliser les mots clés suivants :
- attraction terrestre ;
- réaction du sol ;
- intensité de la pesanteur ;
- poids ;
- chute libre.

Ce court exposé devra pouvoir être réalisé sans note écrite.

45 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Le flyboard® est un sport où le pilote est debout sur une plateforme propulsée par de l'eau sous pression.

Préparer un exposé oral permettant d'expliquer l'immobilité du pilote en l'air.



Acquérir des compétences

46 Orbites et vitesse de libération

ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

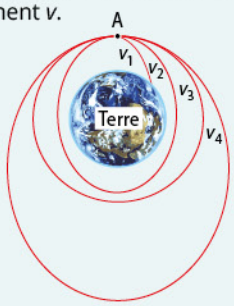
APP **Rechercher et organiser l'information**

Les satellites indispensables aux communications, systèmes GPS... nécessitent une vitesse particulière pour pouvoir faire le tour de la Terre.

DOC 1 Les satellites

Les satellites sont lancés à plusieurs centaines de kilomètres d'altitude de la surface de la Terre, avec une vitesse horizontale qui permet au satellite de ne pas retomber. Le satellite est alors en orbite autour de la Terre.

Le schéma ci-dessous représente la trajectoire d'un satellite que l'on souhaite mettre en orbite à partir du point A en fonction de la vitesse de lancement v.



DOC 2 Vitesse de libération

La vitesse de libération v_e est la vitesse que doit atteindre un objet pour échapper à l'attraction gravitationnelle d'un astre.

Localisation de l'objet	Astre attracteur	v_e (en km · s^{-1})
Terre	Soleil	42,1
Terre	Terre	11,2
Lune	Terre	1,4
Mercure	Mercure	4,3
Vénus	Vénus	10,3

Source : Georgia State University.

La masse de la Terre est :
$M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.

Pour une masse de la Terre considérée égale à 1 ($M_T = 1$), voici celles des planètes auxquelles on s'intéresse ici :
Lune : $M_L = 0{,}00123$.
Mercure : $M_M = 0{,}055$.
Vénus : $M_V = 0{,}815$.

DOC 3 L'expédition Apollo 11



Lors du voyage vers la Lune en 1969, trois astronautes (Armstrong, Collins et Adrin, de gauche à droite) montent à bord de la plus puissante fusée jamais construite. Un premier allumage de la fusée permet de déplacer la fusée et de la mettre en orbite autour de la Terre. Un deuxième allumage, créant une énorme accélération, lui fait acquérir une vitesse de l'ordre de 10×10^3 km · h^{-1} et permet une mise en orbite lunaire.

ANALYSE

1. **a.** Ranger dans l'ordre croissant les vitesses de lancement v_1 à v_4 (**doc. 1**).
b. Quelle vitesse de lancement permet d'avoir une trajectoire circulaire ?
c. Que risque un satellite si la vitesse de lancement est trop faible ?
2. **a.** Quelle vitesse en km · h^{-1} est nécessaire pour échapper à la gravitation de la Terre depuis la surface ?
b. Comparer cette vitesse à celle employée pour l'expédition Appollo 11.
c. Comment expliquer la différence entre ces deux vitesses ?

SYNTHÈSE

Expliquer la difficulté de la fusée à échapper à l'attraction terrestre. Décrire la stratégie du programme Apollo 11 pour échapper à cette attraction.

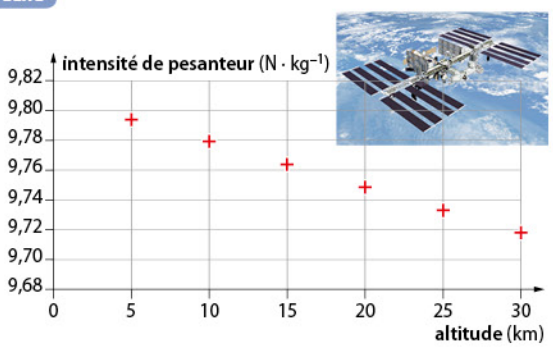
47 Intensité de la pesanteur terrestre

TÂCHE COMPLEXE

AN/RAI **Proposer une stratégie de résolution**

La Station spatiale internationale ISS est en orbite autour de la Terre à une altitude de 400 km au-dessus de la surface terrestre.

Données :
Masse de la Terre, supposée ponctuelle : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.
Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2}.



LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Montrer qu'à l'altitude de l'ISS, la valeur de l'intensité de pesanteur est de l'ordre de 90 % de sa valeur au sol.

Retrouvez des exercices de synthèse p. 196

48 L'interaction électrostatique DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

AN/RAI **Choisir un modèle ou des lois pertinentes**
APP **Représenter la situation par un schéma**

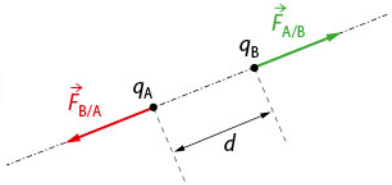
Comme deux corps massiques exercent l'un sur l'autre une action d'attraction gravitationnelle, deux charges électriques exercent l'une sur l'autre une action d'attraction ou de répulsion électrostatique. Si les charges sont de même signe, elles se repoussent A, si elles sont de signes contraires, elles s'attirent B.

Il y a une analogie entre la force qui modélise l'interaction gravitationnelle et la force modélisant l'interaction électrostatique.

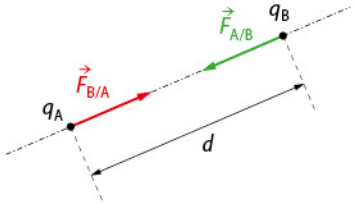
La force qui modélise l'interaction électrostatique est proportionnelle aux charges q_A et q_B et est inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

La constante de proportionnalité est $k = 9{,}0 \times 10^9$ USI (unité du système international).

A



B



Données :
Charge du proton : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C.
Distance entre les deux protons d'un noyau d'hélium : $d = 1{,}0 \times 10^{-15}$ m.
Échelle : 1,0 cm représente $1{,}0 \times 10^2$ N.

DÉMARCHE EXPERTE

Représenter, à l'échelle fournie, les forces modélisant les interactions électrostatiques réciproques entre deux protons du noyau d'hélium.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. a. Établir l'expression vectorielle de la force modélisant l'interaction électrostatique par analogie avec l'interaction gravitationnelle.
b. Calculer la valeur de cette force.
2. Représenter les forces de répulsion modélisant les interactions électrostatiques réciproques des deux protons.

VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

49 L'expérience de Galilée DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

AN/RAI **Choisir, élaborer, justifier un protocole**
VAL **Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance**



Galilée est un physicien et astronome italien (1564-1642) qui réalisa plusieurs expériences sur la chute des corps du haut de la tour de Pise, située dans sa ville d'origine. Il en établit une hypothèse surprenante : selon lui, deux objets de masses différentes lâchés simultanément de la même hauteur atteignent le sol au même instant.

1. Proposer un protocole expérimental utilisant la technologie actuelle, qui permet de confirmer ou infirmer l'hypothèse de Galilée.

2. Lors de la mission Apollo 15, l'astronaute américain David Scott a reproduit l'expérience de Galilée à la surface de la Lune. Il y lâche un marteau et une plume.
a. Quel objet est susceptible d'atteindre le sol lunaire en premier ? Et d'après l'hypothèse de Galilée ?
b. Visionner la vidéo « Expérience de Galilée lors de la mission Apollo 15 » et interpréter le résultat de l'expérience de David Scott.
c. Quelle est la seule action mécanique qui s'exerce sur chaque objet ?
d. De quoi semble dépendre la vitesse de chute d'un objet ?



Les sciences et nous

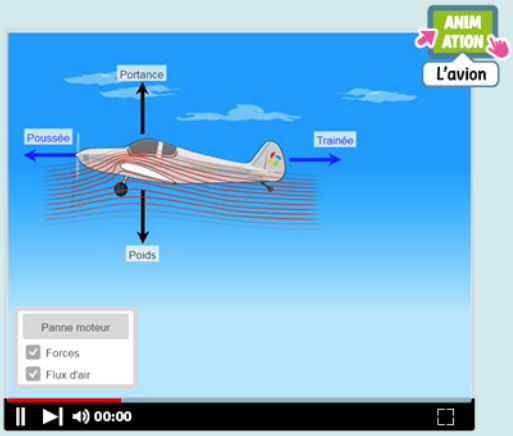
GROS PLAN SUR...

Le vol d'un avion

Le vol d'un avion est basé sur un équilibre subtil entre quatre actions mécaniques modélisées par quatre forces :

- la poussée (ou traction) modélisant l'action des moteurs ou turboréacteurs, qui s'exerce sur l'avion ;
- la portance et la trainée modélisant les actions de l'air sur l'avion ;
- le poids modélisant l'action de la Terre sur l'avion.

Pour pouvoir voler, la portance de l'avion doit donc être supérieure ou égale au poids.



LES MÉTIERS DU CHAPITRE

Ingénieur·e aéronautique

Les ingénieurs aéronautiques sont au centre de la conception d'avions, hélicoptères, fusées... De la création sur logiciel informatique, au premier vol en passant par la maintenance, ils sont au cœur même de toutes les activités qui y sont liées. Ils travaillent aussi bien dans les domaines de l'électronique, de l'optique... que de la mécanique de vol ou de la résistance des matériaux. En effet, les avions doivent subir des contraintes physiques énormes pour pouvoir voler.

Les fusées et satellites doivent pouvoir échapper à l'attraction terrestre et se mettre en orbite autour de la Terre grâce à la loi de gravitation universelle.

***Niveaux d'études** : bac+5 après un bac général avec spécialité physique-chimie.*





Technicien·ne matériaux

Les techniciens matériaux travaillent dans de nombreux domaines industriels : automobiles, métallurgie, géologie, nucléaire...
Leur rôle est d'étudier la résistance des matériaux aux différentes températures, mais aussi leur souplesse ou rigidité en leur appliquant des actions mécaniques plus ou moins importantes. L'analyse des études effectuées leur permet de valider tel ou tel matériau pour des pièces mécaniques ou des pièces plastiques utilisées aussi bien dans l'industrie, les transports que dans des objets divers de notre quotidien.

***Niveaux d'études** : bac à bac+3 après un bac général avec spécialité physique-chimie ou un bac technologique.*

Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

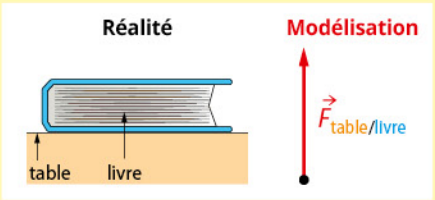
Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- Le **vecteur vitesse** $\vec{v}$ d'un point en mouvement peut varier en direction, sens et norme. Si ce vecteur vitesse reste **constant**, le mouvement est alors **rectiligne uniforme**.
- **Agir sur un objet** permet :
  – de le mettre en mouvement ;
  – de modifier son mouvement, sa trajectoire et/ou sa vitesse ;
  – de le déformer.
- Une **action** mécanique est modélisée par une **force** qui est représentée par un **vecteur** noté $\vec{F}_{\text{auteur/receveur}}$.

Une force est caractérisée par :
– une **direction** (ou droite d'action) ;
– un **sens** ;
– une **valeur** ***F*** (exprimée en newton, N).

Exemple : action exercée par une table sur un livre, modélisée par la force $\vec{F}_{\text{table/livre}}$ verticale et orientée vers le haut :

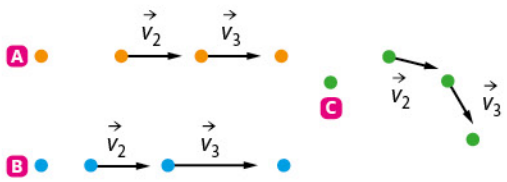


POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → **Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr**

SITUATION 1

Dans quels cas le vecteur vitesse du point en mouvement varie-t-il ? Justifier la réponse.



SITUATION 2

Lorsqu'un objet céleste arrive à proximité d'une planète massive, sa trajectoire est déviée.



Comment expliquer cette modification de son mouvement ?

SITUATION 3

Un snowboardeur abordant une descente est soumis à deux actions mécaniques, l'une exercée par la Terre et l'autre exercée par la piste. Ces actions sont modélisées respectivement par la force de pesanteur $\vec{P}$ et la force de réaction $\vec{R}$ de la piste.

Ces deux forces ont-elles la même direction ? Les représenter sur un schéma.

CHAPITRE 8 PHYSIQUE

Le principe d'inertie





Comment expliquer que lors de sa chute la vitesse de Felix Baumgartner est passée en quelques secondes de 200 km · h^{-1} à 20 km · h^{-1} ?

➥ EXERCICE 40

NOTIONS ET CONTENUS

- Principe d'inertie.
- Cas de situations d'immobilité et de mouvements rectilignes uniformes.
- Contraposée du principe d'inertie.
- Variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse d'un système et lien avec l'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme est non nulle.
- Cas de la chute libre à une dimension.

CAPACITÉ EXPÉRIMENTALE

- Réaliser et exploiter une vidéo d'un mouvement ➥ ACTIVITÉ 2

COMPÉTENCES :
AN/RAI Choisir un modèle ou des lois pertinentes
APP Rechercher et organiser l'information

Le principe d'inertie

L'inertie d'un objet est sa tendance à rester immobile ou à conserver sa vitesse.
Comment ce concept de l'inertie permet-il de comprendre la nature d'un mouvement ?

DOC 1 Une théorie pour le mouvement

« Un mouvement peut-il exister sans force ? »
La réponse à cette question a beaucoup évolué au cours des siècles. Le physicien anglais, Isaac Newton (1643-1727), reformule en 1686 un principe pressenti quelques années auparavant par Galilée (1564-1642). Voici ce que Newton a écrit :

« 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**. »

VOCABULAIRE
- **Actions mécaniques qui se compensent :** des actions mécaniques se compensent si la somme vectorielle des forces qui les modélisent est nulle.
- **Compenser :** action d'équilibrer, d'annuler.

DOC 2 Le curling, un sport d'équipe

Le curling consiste à faire glisser, sur la glace, des pierres de granite d'une masse de 20 kg. Le but est de les placer le plus près possible de la cible dessinée sur la glace, appelée « maison ».
Une première joueuse pousse la pierre devant elle, puis la lâche avant la ligne de jeu afin qu'elle poursuive sa course vers la cible. Elle donne alors des consignes aux balayeuses qui frottent la surface de la glace pour diminuer au maximum les frottements entre la glace et la pierre. Elles éliminent ainsi les débris et les imperfections.





DOC 3 Chronophotographie du mouvement d'une pierre de curling lors d'un lancer

Lors de ce lancer, les balayeuses ont uniquement frotté la glace sur la première moitié de la piste de jeu.
La pierre finit par s'arrêter avant la « maison ».



EXPLOITATION ET ANALYSE

1 **a.** Indiquer, en justifiant, la nature du mouvement du centre de la pierre de curling :
– à un instant *t* avant la ligne de jeu ;
– en l'absence de frottements.
b. La présence de frottements modifie-t-elle le mouvement de la pierre de curling ? Justifier la réponse.

2 **a.** Faire le bilan des actions mécaniques qui agissent sur la pierre de curling au cours de chaque phase de son mouvement.
b. Représenter ces actions par des forces sur un schéma sans souci d'échelle.

SYNTHÈSE

3 Le principe d'inertie permet-il d'expliquer le mouvement de la pierre de curling ? Justifier la réponse.

4 **a.** Comment le mouvement de la pierre évoluera-t-il si l'on ne supprime pas tous les frottements entre la piste et la pierre ? Pourquoi ?
b. En l'absence de frottements, le lanceur peut-il « donner » une trajectoire circulaire au centre de la pierre ?

Je réussis si...
- **Je sais identifier si des actions se compensent à partir de la somme vectorielle des forces qui les modélisent.**
- **J'identifie un objet soumis à des actions qui se compensent à partir de la nature de son mouvement.**
- **Je déduis la nature du mouvement d'un objet à partir du bilan des actions qui agissent sur lui.**

TP

COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental
VAL Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

Mouvement sur un plan incliné

La variation entre deux instants voisins de la vitesse d'un système en mouvement dépend des actions mécaniques qui agissent sur lui. Quelle relation lie cette variation aux actions mécaniques ?

DOC 1 Le saut à skis

En saut à skis, la prise d'élan s'effectue sur un tremplin incliné. Le skieur décrit un mouvement accéléré sur la partie rectiligne du tracé et atteint la vitesse d'environ 100 km · h^{-1} en sortie. Les frottements entre les skis et la piste sont minimisés par la fonte de la glace sous les skis et par un bon fartage, qui réduit l'adhérence.



DOC 2 Modélisation en laboratoire

Le mouvement du skieur sur la rampe d'un tremplin peut être modélisé par la chute d'un glaçon lâché sans vitesse initiale sur un plan lisse et incliné.
Une webcam et un logiciel de pointage permettent d'obtenir la chronophotographie du mouvement d'un point du glaçon.



EXPLOITATION ET ANALYSE

1 **a.** Quelle est la nature du mouvement décrit par le point M ?
b. Déterminer l'échelle du document imprimé (à partir des graduations) et la durée séparant deux positions successives du point M.
c. Tracer sur ce document le vecteur vitesse du point M à deux instants proches l'un de l'autre en choisissant une échelle adaptée.
d. En déduire la variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse du système modélisé par le point M.

2 **a.** Faire le bilan des actions mécaniques qui agissent sur le glaçon.
b. D'après la **contraposée du principe d'inertie**, que peut-on déduire de la nature du mouvement du glaçon ?
c. Sans se soucier de l'échelle, représenter les actions mécaniques par des forces sur un schéma.

CONCLUSION

3 La variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel est reliée à l'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme est non nulle.
Les résultats expérimentaux confirment-ils cette relation ? Justifier la réponse.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- Mettre en place le montage de modélisation.
- Positionner la webcam afin de cadrer la scène, pour filmer un glaçon en mouvement (FICHE PRATIQUE ➥ p. 312).
- Déposer, à l'aide du glaçon, une fine couche d'eau liquide sur le plan incliné pour minimiser au maximum les frottements.
- Veiller à placer une règle graduée ou une toise dans le plan du mouvement pour l'étalonnage des longueurs.
- Choisir un point (l'appeler M) qui modélise le glaçon et repérer sa position, image par image, à l'aide du logiciel de pointage.
- Imprimer le document qui recense l'ensemble des pointages effectués.

VOCABULAIRE

Contraposée du principe d'inertie : tout objet soumis à des actions mécaniques qui ne se compensent pas n'est ni immobile, ni en mouvement rectiligne uniforme.

Je réussis si...

- **Je sais réaliser une vidéo.**
- **Je sais réaliser une chronophotographie à l'aide d'un logiciel de pointage.**
- **Je fais le lien entre la variation du vecteur vitesse d'un point et la somme des forces qui modélisent les actions mécaniques qui agissent sur ce point.**

COMPÉTENCES :
AN/RAI Proposer une stratégie de résolution
RÉA Mettre en œuvre les étapes d'une démarche

Chute libre et variation de vitesse

Selon la légende, Galilée (1564-1642) étudia la chute des corps depuis le sommet de la tour de Pise. Quel lien existe-t-il entre la variation du vecteur vitesse d'un système en chute libre et le sens de son poids ?

DOC 1 Du matériel utile

- Un ordinateur.
- Du papier-calque ou une feuille blanche suffisamment translucide.
- Une règle graduée.

DOC 2 Mouvement d'un boulet

On visualise la chronophotographie de la chute libre d'un boulet lâché sans vitesse initiale du sommet de la tour de Pise.

À l'aide du curseur, il est possible de relever les coordonnées x et y du centre du boulet ainsi que les instants t correspondants.



DÉMARCHE EXPERTE

À l'aide de l'animation du document 2, élaborer et mettre en œuvre une stratégie permettant de relier la variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse du boulet, modélisé par un point matériel, à l'existence d'actions extérieures, qui agissent sur le boulet, modélisées par des forces dont la somme est non nulle.

DÉMARCHE AVANCÉE

Utiliser le document 2 pour répondre aux questions.

1. Sélectionner deux images successives, puis déterminer pour chacune la valeur de la vitesse du centre du boulet.

2. a. Reproduire sur une feuille translucide la chronophotographie du centre du boulet.
b. En choisissant une échelle adaptée, tracer les vecteurs vitesses du centre du boulet aux deux instants correspondant aux images sélectionnées. En déduire la variation entre ces deux instants du vecteur vitesse du centre du boulet.
c. Représenter sur la chronophotographie les forces qui modélisent les actions qui agissent sur le boulet.
On considère que l'action de l'air est négligeable.

3. Relier 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 est non nulle.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

Avant d'utiliser le document 2, régler la prise de vue à la valeur de 4 images/s, puis répondre aux questions.

1. a. Relever les coordonnées y_{10} et y_{11} du centre du boulet aux instants $t_{10} = 2{,}50$ s et $t_{11} = 2{,}75$ s.
En déduire par un calcul la valeur v_{10} de la vitesse du centre du boulet à l'instant t_{10} (FICHE MÉTHODE ➥ p. 326).
b. Renouveler l'étape précédente afin de déterminer la valeur de la vitesse v_{11} du centre du boulet à t_{11}.

2. a. Reproduire sur une feuille translucide la chronophotographie du centre du boulet.
b. Tracer les vecteurs vitesses $\vec{v}_{10}$ et $\vec{v}_{11}$ du centre du boulet aux instants t_{10} et t_{11} en choisissant une échelle adaptée.
Quelle est la variation du vecteur vitesse du centre du boulet ?
c. *On considère que l'action de l'air est négligeable.*
Quelle action mécanique agit sur le boulet ? Représenter cette action par une force sur la chronophotographie.

3. La variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse d'un système, modélisé par un point matériel, est reliée à l'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme est non nulle. Retrouve-t-on cette relation dans le cas de la chute libre d'un boulet ?

Je réussis si...

- **Je détermine la valeur d'une vitesse et représente le vecteur correspondant.**
- **Je fais le bilan des actions mécaniques qui agissent sur un système et les modélise par des forces.**
- **DÉMARCHE EXPERTE Je décris la stratégie avec du texte et des schémas.**
  Je prends des initiatives pour obtenir des résultats.

4. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
AN/RAI Choisir un modèle

Les phases d'un saut en parachute

Lors de la chute d'un parachutiste, on peut distinguer plusieurs phases du mouvement. Quelles informations peut-on alors en déduire sur les actions mécaniques ?

DOC 1 Les étapes d'un saut en parachute



Traditionnellement, un saut en parachute s'effectue, seul ou en tandem, depuis un avion à une altitude située entre trois et quatre kilomètres. Le parachutiste se laisse tomber sans vitesse initiale.

Au cours de la première phase de la chute, qui s'effectue en parachute fermé, la vitesse du parachutiste passe en une dizaine de secondes d'une valeur nulle à une valeur maximale proche de 250 km · h^{-1}.

Le parachutiste conserve ensuite cette vitesse maximale constante pendant une vingtaine de secondes avant d'ouvrir son parachute. La vitesse diminue alors progressivement jusqu'à une valeur d'environ 20 à 30 km · h^{-1}.





Une fois le parachute ouvert, la descente se termine à vitesse constante jusqu'au sol.

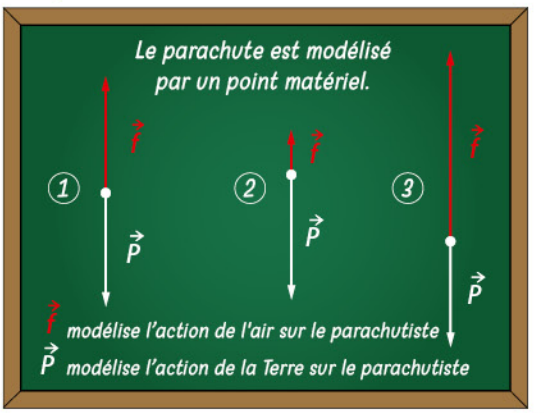
DOC 2 Force de frottements de l'air

L'action de l'air sur un parachutiste en mouvement peut être modélisée par une force nommée **force de frottements**, notée $\vec{f}$.

Le sens de cette force $\vec{f}$ est opposé à celui du mouvement (donné par la vitesse $\vec{v}$ du parachutiste).

Son intensité f augmente d'une part lorsque la valeur de la vitesse de chute augmente (et inversement) et d'autre part lorsque la surface de contact du parachutiste avec l'air augmente.

DOC 3 Modélisation des actions



EXPLOITATION ET ANALYSE

Les réponses aux questions 1 à 4 seront présentées sous forme d'un tableau.

Un parachutiste de masse $m = 80$ kg (équipement compris) chute verticalement.

Donnée : *intensité de pesanteur $g = 9{,}8$ N · kg^{-1}.*

1 a. Donner, à partir du **document 1**, la nature des différentes phases du mouvement décrit par le parachutiste au cours de sa chute.

b. Que peut-on en déduire sur les actions qui agissent sur le parachutiste ? Justifier la réponse.

2 a. Calculer la valeur P du poids du parachutiste.

b. Pour quelles phases du mouvement la valeur f de la force de frottements est-elle :
- égale à celle du poids P ?
- supérieure ou inférieure à celle du poids P ?

c. On modélise le parachutiste par un point matériel. Associer un des schémas du **document 3** à chaque phase du mouvement.

d. Pour chaque phase, donner la direction et le sens de la somme $\vec{f}$ des forces qui modélisent les actions agissant sur le parachutiste.

3 a. Pendant toute la chute, le vecteur vitesse $\vec{v}$ du centre d'inertie du parachutiste (point matériel qui modélise le parachutiste) est vertical et orienté vers le bas. Pour chaque phase, comparer le sens de $\Sigma\vec{F}$ à celui de $\vec{v}$.

b. Comment évolue la vitesse du parachutiste au cours de chaque phase ?

SYNTHÈSE

4 Quel lien peut-on établir entre la variation du vecteur vitesse d'un point matériel qui modélise un système et le sens de la somme $\Sigma\vec{F}$ des forces qui modélisent les actions agissant sur lui.

Je réussis si...

- **Je sais exploiter le principe d'inertie et sa contraposée.**
- **Je sais modéliser les actions qui agissent sur un système par des forces et en faire la somme $\Sigma\vec{F}$.**
- **J'ai compris que la variation du vecteur vitesse $\vec{v}$ s'effectue dans le même sens que la somme $\Sigma\vec{F}$ des forces.**

1 Le principe d'inertie

Un passager immobile dans un bus a la sensation d'être « projeté » vers l'extérieur en abordant un virage. Pourtant, aucune action supplémentaire ne s'exerce sur lui.

En réalité, alors que le bus change de trajectoire, le passager continue son mouvement rectiligne uniforme (FIG. 1).

Le principe d'inertie permet de rendre compte de cette sensation.

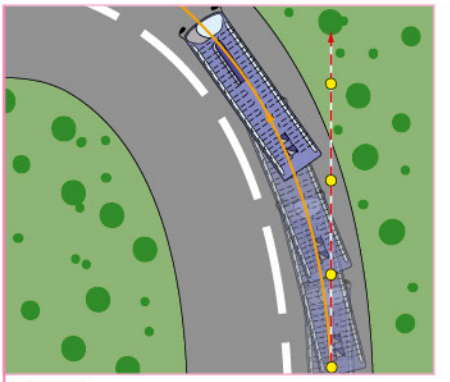


FIG. 1 Trajectoire d'un bus et mouvement de son passager sans ceinture de sécurité.

Énoncé

Tout système demeure dans son **état de repos** ou de **mouvement rectiligne uniforme** si les actions mécaniques qui s'exercent sur lui se compensent, ou en l'absence d'action mécanique.
La réciproque est vraie.

Somme des forces et vecteur vitesse

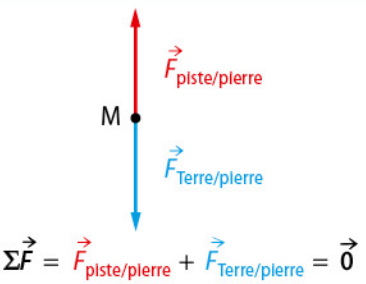
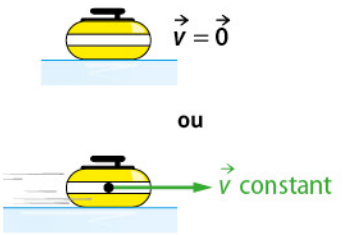
Des actions mécaniques se compensent si la somme vectorielle des forces les modélisant, notée $\Sigma\vec{F}$, est nulle : $\Sigma\vec{F} = \vec{0}$ (FICHE MÉTHODE ➥ p. 327). Ainsi, si la somme $\Sigma\vec{F}$ des forces qui modélisent les actions mécaniques appliquées sur un système est nulle, alors son vecteur vitesse $\vec{v}$ ne change pas au cours du temps, ni en direction, ni en sens, ni en valeur.

Si $\Sigma\vec{F} = \vec{0}$, alors $\vec{v}$ est constant ou $\vec{v} = \vec{0}$.
Réciproquement, si $\vec{v}$ est constant ou $\vec{v} = \vec{0}$, alors $\Sigma\vec{F} = \vec{0}$.

Dans ce cas, la variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse $\vec{v}$ du système est nulle.

EXEMPLE

En l'absence de frottements, une pierre de curling poursuit, après avoir été lancée, un mouvement rectiligne uniforme car l'action de la Terre et l'action de la piste se compensent.

Modélisation des actions	Nature du mouvement
	

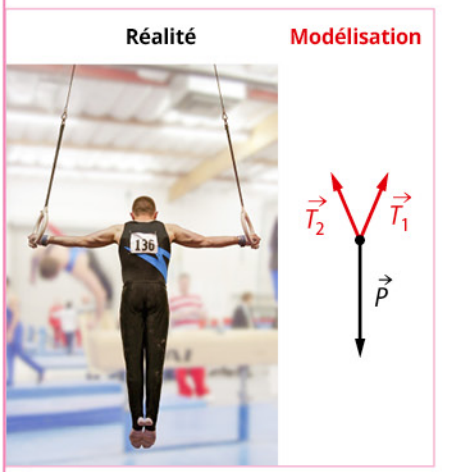


FIG. 2 Un gymnaste en « croix de fer » est parfaitement immobile. On peut donc en déduire que son poids $\vec{P}$ et les tensions des cordes $\vec{T}_1$ et $\vec{T}_2$ se compensent :

$$\vec{P} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = \vec{0}$$

Exploitation du principe d'inertie

Le principe d'inertie permet de déduire la nature du mouvement d'un système ou son état de repos à partir de la somme des forces qui modélisent les actions appliquées (et inversement) (FIG. 2).

Remarque :
Le principe d'inertie n'est valable que dans un type de référentiel, nommé **référentiel galiléen**.
Le référentiel terrestre est considéré comme galiléen.

POUR VISUALISER



Une animation modélisant des actions mécaniques qui se compensent.

2 Variation de vitesse et somme des forces

Si la Terre n'était soumise à aucune action, elle poursuivrait un mouvement rectiligne et uniforme. C'est l'action exercée par le Soleil modélisée par la force d'attraction gravitationnelle qui, à chaque instant, modifie la vitesse de la Terre et lui impose une trajectoire circulaire (FIG. 3).

Contraposée du principe d'inertie

Tout système soumis à des actions mécaniques qui ne se compensent pas n'est **ni immobile, ni en mouvement rectiligne uniforme**.
La réciproque est vraie (FIG. 4).

Ainsi, si la somme $\Sigma\vec{F}$ des forces qui modélisent les actions appliquées sur un système n'est pas nulle, alors son vecteur vitesse $\vec{v}$ change de direction et/ou de valeur : $\vec{v}$ n'est pas constant.

Lien entre somme des forces et variation de vitesse

Une **force** modélisant une action mécanique appliquée sur un système (ou une somme de forces non nulle modélisant des actions mécaniques) **modifie le vecteur vitesse** du point matériel qui modélise le système.

La variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel est reliée à l'existence d'actions mécaniques modélisées par des forces dont la somme est non nulle.

EXEMPLE

Lors du déplacement de la Terre T autour du Soleil S, le vecteur vitesse $\vec{v}$ de la Terre varie entre deux instants successifs. Sa variation est liée à l'existence de l'action du Soleil sur la Terre modélisée par la force $\vec{F}_{S/T}$ (FIG. 5).

Variation de vitesse et orientation de la force

Selon l'orientation de la force qui la modélise, une action mécanique modifie la valeur du vecteur vitesse ou sa direction ou les deux à la fois.

Le mouvement du système change tant en vitesse qu'en trajectoire.

EXEMPLE

Entre deux instants successifs, le vecteur vitesse d'un point matériel qui modélise un système subit une variation.
Le système est soumis à des actions mécaniques qui ne se compensent pas, modélisées par une somme de forces $\Sigma\vec{F}$ non nulle.

- Si $\Sigma\vec{F}$ est dans un sens opposé au vecteur vitesse, alors la valeur de la vitesse diminue.
- Si $\Sigma\vec{F}$ est perpendiculaire au vecteur vitesse, alors seule la direction du vecteur vitesse change (sa valeur reste constante) (FIG. 5).
- Si $\Sigma\vec{F}$ est dans le même sens que le vecteur vitesse, alors la valeur de la vitesse augmente (FIG. 6).

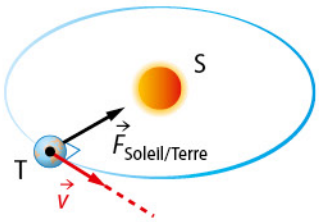


FIG. 3 L'action mécanique qu'exerce le Soleil sur la Terre modifie la trajectoire rectiligne que la Terre tendrait à suivre en l'absence d'actions.



FIG. 4 La trajectoire du skieur n'étant pas rectiligne, les forces modélisant les actions mécaniques qui lui sont appliquées ne se compensent pas.

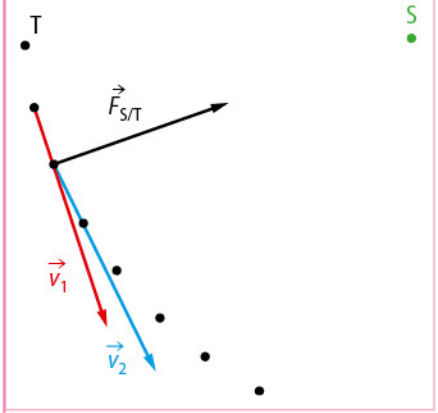


FIG. 5 Variation du vecteur vitesse $\vec{v}$ de la Terre entre deux instants successifs.



Pour augmenter sa vitesse, la véliplanchiste FIG. 6 oriente sa voile de sorte que la force du vent s'exerce dans le sens de son mouvement.

3 Application à des situations de chute verticale

Chute libre verticale

En l'absence de frottements, un **système en chute libre** est uniquement **soumis** à l'action de la Terre, modélisée par **son poids** $\vec{P}$. Il n'est donc **ni immobile ni en mouvement rectiligne uniforme** car la somme $\Sigma\vec{F}$ des forces n'est pas nulle (FIG. 7) :

$$\Sigma\vec{F} = \vec{P} \neq \vec{0}$$

Les modifications de son mouvement se font dans la direction et le sens de son poids $\vec{P}$.

Lors d'une **chute libre**, le mouvement est rectiligne et la valeur de la vitesse varie au cours du temps.

Le mouvement est accéléré si $\vec{v}$ est dans le même sens que $\vec{P}$.
Le mouvement est ralenti si $\vec{v}$ est dans le sens opposé à $\vec{P}$.

EXEMPLE

Une balle lancée verticalement vers le haut décrit un mouvement rectiligne ralenti lors de la montée car, à chaque instant, le poids est dans le sens opposé au vecteur vitesse (FIG. 8 A).
En revanche, lors de la descente, son mouvement devient rectiligne accéléré car le poids est dans le même sens que le vecteur vitesse (FIG. 8 B).

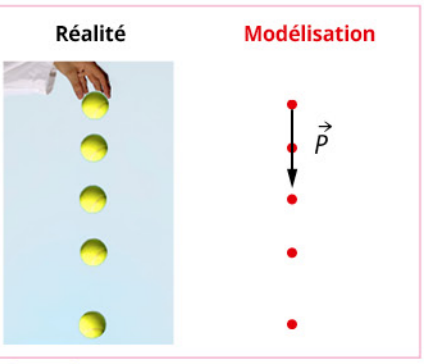


FIG. 7 Chute libre d'une balle.

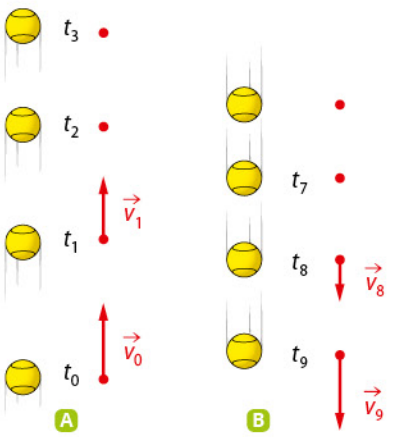


FIG. 8 Chute libre d'une balle.
A Phase de montée : diminution de la vitesse
B Phase de descente : augmentation de la vitesse

Chute verticale en présence de frottements

Lorsqu'un objet est en mouvement dans un fluide (l'air par exemple), il peut être soumis de la part du fluide à des frottements non négligeables. Les **forces de frottements** $\vec{f}$ qui en résultent sont opposées au mouvement (c'est-à-dire au vecteur vitesse $\vec{v}$) et leur valeur augmente lorsque la vitesse croît (FIG. 9).

Pour un système en chute verticale, dès lors que les forces de frottements $\vec{f}$ compensent le poids $\vec{P}$, la somme des forces devient nulle :

$$\Sigma\vec{F} = \vec{f} + \vec{P} = \vec{0}$$

Le mouvement est rectiligne uniforme.

De ce fait, la vitesse d'un système en chute verticale atteint une valeur limite constante ($\vec{v}$ est constant car $\Sigma\vec{F} = \vec{0}$ d'après le principe d'inertie) (FIG. 10).

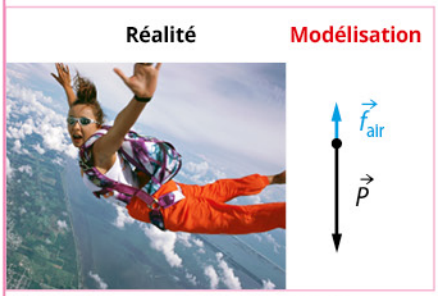
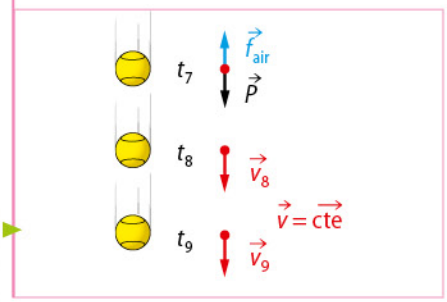


FIG. 9 Chute verticale dans l'air d'une parachutiste.

APPROFONDISSEMENT SCIENTIFIQUE

Cas d'une chute libre à deux dimensions

Lors d'un lob, une balle de golf décrit un mouvement curviligne ralenti, puis accéléré. Pourtant, avant de toucher le sol, son déplacement horizontal s'effectue à vitesse constante.
En effet, seule la composante verticale de sa vitesse est modifiée par l'action mécanique qu'elle subit : l'action de la Terre modélisée par son poids. Horizontalement, aucune force ne s'exerce sur elle et elle se déplace donc dans cette direction à vitesse constante.



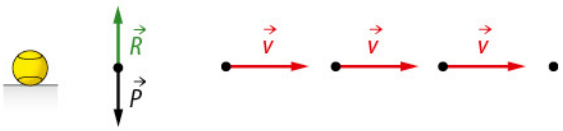
Chute verticale dans l'air d'une balle. FIG. 10
Lorsque la balle atteint sa vitesse maximale de chute, elle décrit un mouvement rectiligne uniforme : $\vec{f}_{air} + \vec{P} = \vec{0}$.

Le vocabulaire à retenir

1 Le principe d'inertie

- Tout système soumis à des actions mécaniques modélisées par des **forces qui se compensent** est soit **immobile**, soit en **mouvement rectiligne uniforme** (sa vitesse ne change pas, ni en direction, ni de sens, ni en valeur).

Actions qui se compensent **ou** aucune action ⇔ Mouvement rectiligne uniforme **ou** immobilité

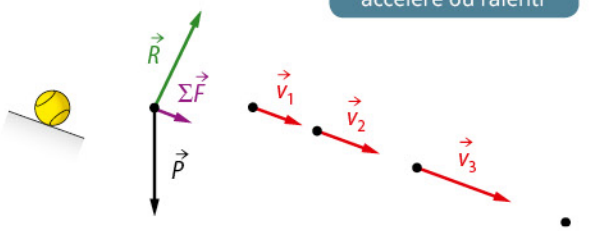


$\Sigma\vec{F} = \vec{0}$ ⇔ $\vec{v} = \vec{0}$ **ou** $\vec{v}$ est constant

2 Variation de vitesse et somme des forces

- Un système soumis à des actions mécaniques modélisées par des **forces qui ne se compensent pas** n'est **ni au repos**, **ni en mouvement rectiligne uniforme**.

Actions qui ne se compensent pas ⇔ Mouvement curviligne ou circulaire **et/ou** accéléré ou ralenti



$\Sigma\vec{F} \neq \vec{0}$ ⇔ $\vec{v}$ non constant : $\vec{v}$ change de direction **et/ou** de valeur

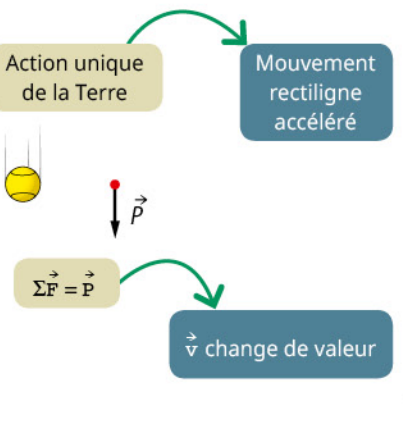
*Soit un système (une balle) modélisé par un **point matériel**.*
$\vec{P}$: poids du système
$\vec{R}$: réaction du support
$\vec{f}$: force de frottements de l'air
$\vec{v}$: vecteur vitesse du système
$\Sigma\vec{F}$: somme vectorielle des forces

3 Application à des situations de chute verticale

- En l'**absence de frottements** ou si les **frottements sont négligeables**, un système en **chute libre** est uniquement soumis à l'action de la Terre, qui est modélisée par son poids.

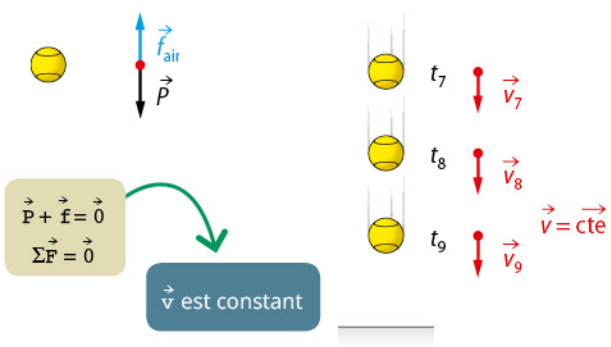
Ce système décrit un **mouvement rectiligne accéléré**.

Action unique de la Terre → Mouvement rectiligne accéléré



- Si le système est lancé avec une vitesse initiale non nulle verticalement **vers le haut**, alors son mouvement est **rectiligne ralenti** durant son ascension.
- Si les **frottements ne sont pas négligeables**, un système en chute verticale atteint, au bout d'une certaine durée, une **vitesse maximale constante**.

Le mouvement est alors **rectiligne uniforme**.



Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

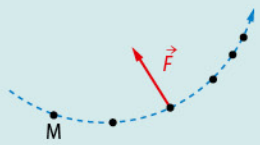
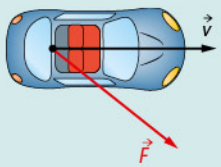
QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

1 Le principe d'inertie

	A	B	C
1 Un mobile soumis à des actions qui se compensent :	peut se déplacer en ligne droite et à vitesse constante.	peut décrire un mouvement curviligne uniforme.	finit par s'arrêter.
2 Un système au repos :	n'est soumis à aucune action mécanique.	est uniquement soumis à l'action de la Terre.	est soumis à des actions mécaniques modélisées par des forces qui se compensent.
3 En abordant un virage, le passager d'un bus est projeté vers l'extérieur car :	une action mécanique agit sur lui.	il poursuit son mouvement rectiligne uniforme.	il est soumis à des actions mécaniques modélisées par des forces qui se compensent.

2 Variation de vitesse et somme des forces

	A	B	C
4 Un satellite en mouvement circulaire uniforme autour de la Terre :	n'est soumis à aucune action mécanique.	est soumis à des actions mécaniques modélisées par des forces dont la somme est nulle.	est soumis à au moins une action mécanique.
5 Dans cette situation, entre deux instants voisins : 	le vecteur vitesse du point M ne change pas.	la vitesse du point M diminue.	la variation de vitesse est liée à l'action modélisée par la force $\vec{F}$.
6 Dans cette situation : 	Le vecteur vitesse reste constant.	Le vecteur vitesse change de valeur mais garde la même direction.	Le vecteur vitesse change de direction et de valeur.

3 Application à des situations de chute verticale

	A	B	C
7 La variation du vecteur vitesse d'un système en chute libre est :	nulle.	verticale et orientée vers le haut.	de même sens que le poids du système.
8 La vitesse d'une balle de golf lancée verticalement vers le haut diminue car :	son poids est opposé à son vecteur vitesse.	la variation de son vecteur vitesse est dirigée vers la Terre.	la variation de son vecteur vitesse est nulle.

Acquérir les notions

1 Le principe d'inertie

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Principe d'inertie ➥ EXERCICES 9 à 11	• Exploiter le principe d'inertie pour en déduire la nature d'un mouvement. • Identifier les situations pour lesquelles les forces se compensent.
Situations d'immobilité et de mouvements rectilignes uniformes ➥ EXERCICES 12 à 15	• Exploiter la réciproque du principe d'inertie pour en déduire des informations sur les forces appliquées.

9 Mouvement perpétuel

Un objet se déplaçant dans l'espace vide, loin de tout astre attracteur n'est soumis à aucune action mécanique.



1. a. Que peut-on en déduire de la nature de son mouvement ? Justifier la réponse à partir du principe d'inertie.
b. Une action mécanique est-elle nécessaire pour maintenir constante la vitesse de cet objet ?

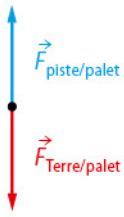
2. Toujours soumis à aucune action mécanique, cet objet pourrait-il se trouver dans un autre état que celui proposé dans l'énoncé ?

10 Air hockey ou jeu du palet

Lors d'une partie de air hockey, les actions appliquées sur un palet en mouvement sont modélisées par les forces ci-contre.







1. Parmi les chronophotographies suivantes, laquelle peut correspondre au mouvement du palet ?

A

B

C

2. Le palet est maintenant immobile. Faut-il modifier la représentation des forces ? Si oui, proposer un nouveau schéma.

11 Au départ du métro...

Debout immobile dans le métro, un passager est « projeté » vers l'arrière lors du départ de la rame.

1. Faire le bilan des actions qui agissent sur le passager avant puis après la mise en mouvement de la rame.

2. Justifier, à partir du principe d'inertie, la sensation ressentie lors du départ.

12 Un strike au bowling

Après avoir été lancée rectilignement, une boule de bowling atteint les quilles à vitesse constante.

1. Que peut-on en déduire pour les forces qui modélisent les actions mécaniques qui agissent sur le système ? Justifier la réponse.

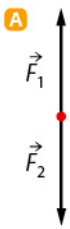
2. Représenter, sans souci d'échelle, les forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur la boule.

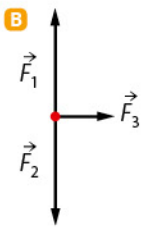
13 Le mouvement rectiligne uniforme

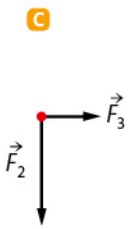
Un snowboardeur se déplace en ligne droite à vitesse constante sur une piste horizontale.

1. Dans cette situation, peut-il être soumis :
a. à une action mécanique ?
b. à des actions mécaniques modélisées par des forces dont la somme est nulle ?
c. à aucune action mécanique ?

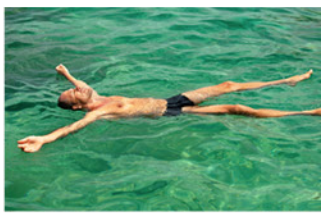
2. Quelle représentation A, B ou C modélise la situation ? Justifier la réponse en précisant les actions que les forces $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ modélisent.

A 

B 

C 

14 Faire la planche dans l'eau



La planche est une figure de natation qui consiste à rester immobile, allongée à la surface de l'eau.

1. Que dire des forces modélisant les actions appliquées sur le nageur ? Justifier la réponse.

2. a. La valeur du poids du nageur est $P = 500$ N. Représenter les forces qui modélisent les actions mécaniques s'appliquant sur le nageur en choisissant une échelle adaptée.
b. Qui est responsable de l'action exercée vers le haut ?

15 Remontée mécanique

Un tapis roulant remonte un jeune skieur en ligne droite et à vitesse constante jusqu'au sommet de la piste.

1. Les actions mécaniques qui s'appliquent sur le skieur se compensent-elles ? Justifier la réponse.

2. Faire le bilan de ces actions et les représenter par des forces sur un schéma.

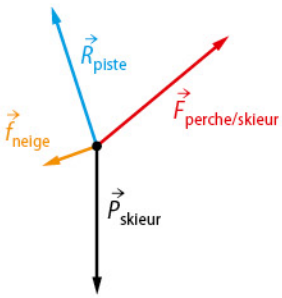
2 Variation de vitesse et somme des forces

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Contraposée du principe d'inertie ➥ EXERCICES 16 et 17	• Identifier des actions qui ne se compensent pas. • Exploiter la contraposée du principe d'inertie pour en déduire des informations soit sur la nature du mouvement d'un système, soit sur les forces.
Lien entre la variation du vecteur vitesse et la somme des forces appliquées ➥ EXERCICES 18 à 20	• Relier la variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse à l'existence de forces dont la somme est non nulle.

16 En mouvement grâce au téléski

On a représenté, ci-dessous, les forces qui modélisent les actions mécaniques qui agissent sur un skieur.





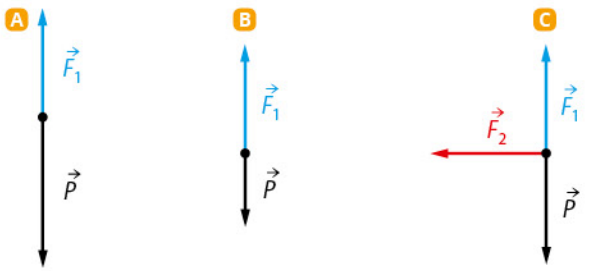
1. Montrer par un tracé que la somme des forces appliquées n'est pas nulle.

2. Dans cette situation, le skieur peut-il être animé d'un mouvement rectiligne uniforme ? Justifier la réponse.

17 Mouvement des sous-marins

Un sous-marin dispose de réservoirs, les ballasts, qui sont remplis d'air pour remonter en surface. De l'eau chasse l'air pour l'alourdir lorsqu'il plonge et c'est la rotation d'une hélice qui lui permet d'avancer.

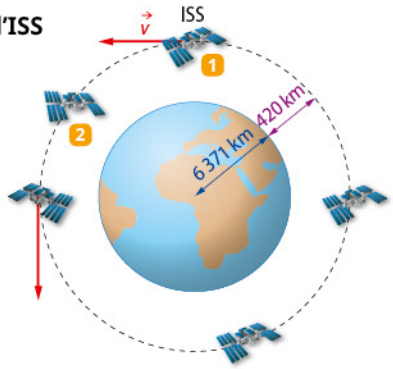
1. Déterminer, pour chaque situation ci-dessous, la somme $\Sigma\vec{F}$ des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur le sous-marin (modélisé ici par un point).



2. Le sous-marin est immobile à l'instant où ces actions mécaniques agissent sur lui. Indiquer la nature de son mouvement quelques instants plus tard.

18 Trajectoire de l'ISS

De novembre 2016 à juin 2017, le spationaute français Thomas Pesquet a passé 6 mois en orbite à bord de la Station spatiale internationale (ISS). Il effectua quelque 16 tours de la Terre par jour.



1. Quel mouvement décrirait l'ISS si elle n'était soumise à aucune action ?

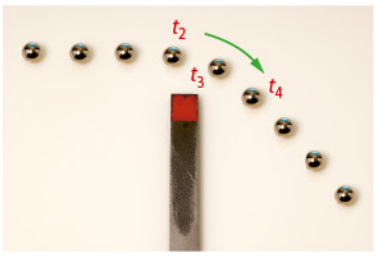
2. a. Comment expliquer la trajectoire circulaire de son centre ?
b. Représenter la force modélisant l'action appliquée sur l'ISS dans sa position 2.

3. a. Le vecteur vitesse $\vec{v}$ du centre de l'ISS reste-t-il constant au cours du temps ?
b. Que peut-on dire de la variation de son vecteur vitesse ?

19 Droite d'action d'une force magnétique

Le document ci-dessous est la chronophotographie du mouvement curviligne d'une bille au voisinage d'un aimant.

1. a. Comment peut-on expliquer la nature du mouvement décrit par la bille ?
b. Le vecteur vitesse $\vec{v}$ du centre de la bille change-t-il de direction entre l'instant t_2 et l'instant t_3 ?



2. À l'aide de papier-calque, recopier les positions de la bille, puis tracer (sans se soucier de l'échelle mais avec cohérence) le vecteur vitesse aux instants t_2 et t_3.

3. Tracer à l'instant t_3 (sans souci d'échelle) la force $\vec{F}_{aimant/bille}$ modélisant l'action de l'aimant. Conclure.

20 *Half-pipe* pour la pratique du skateboard

Au cours d'un run (une course), un skateboardeur descend une portion de rampe rectiligne. Les frottements de l'air sont négligeables.

1. a. Que peut-on dire de sa vitesse lors de la descente ?
b. Que peut-on en déduire quant aux actions qui lui sont appliquées ?

2. On modélise le skateboardeur par un point matériel.
a. Représenter par des forces, sur un schéma, les actions qui s'appliquent sur le skateboardeur.
b. En déduire la somme des forces modélisant les actions mécaniques qui agissent sur le système.
c. Est-ce cohérent avec la réponse donnée en 1. a ?

3. Le skateboardeur aborde maintenant une rampe rectiligne horizontale. Reprendre les questions 1 et 2 avec cette nouvelle situation.

3 Application à des situations de chute verticale

Notions du programme

Cas de chute libre à une dimension

➥ EXERCICES 21 à 25

Ce qu'on attend de moi

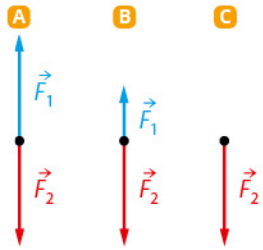
- Exploiter le principe d'inertie et sa contraposée dans le cas d'un système en chute libre.
- Relier la variation du vecteur vitesse d'un système en chute libre au poids du système.

21 Situation de chute libre

1. Pour la physicienne, un système en chute libre n'est soumis qu'à l'action de la Terre.

a. Quelle représentation des forces correspondrait à celle d'un parachutiste (modélisé par un point) en chute libre ? Justifier la réponse.

b. Comment varie son vecteur vitesse ?



c. En déduire la nature du mouvement décrit.

2. Un système en chute libre verticale peut-il tomber à vitesse constante ? Justifier la réponse.

22 Chute réelle dans l'atmosphère

1. Dans l'atmosphère, lorsque la vitesse de chute devient suffisamment importante, les frottements liés à l'action de l'air ne peuvent plus être négligeables.

a. Quelle force $\vec{F}_1$ ou $\vec{F}_2$ (voir exercice précédent) modélise l'action de l'air ?

b. Quelle représentation des forces est appropriée à un système animé d'un mouvement rectiligne accéléré ?

2. Un parachutiste en chute verticale atteint rapidement une vitesse maximale constante.

a. Que peut-on dire des forces modélisant les actions qui s'appliquent sur lui ?

b. Quelle représentation des forces (voir exercice précédent) convient pour la situation de l'énoncé ?

23 Lancer de balle vers le haut

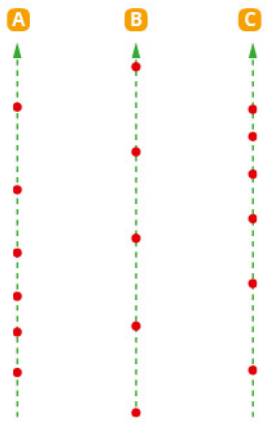
Une balle de golf (modélisée par son centre) est lancée verticalement vers le haut.

On s'intéresse à la phase de montée une fois la balle lâchée.

1. Quelle chronophotographie convient au mouvement de la balle ?

2. Représenter le poids $\vec{P}$ de la balle à un instant quelconque de sa chute.

3. Comment évolue le vecteur vitesse $\vec{v}$ entre deux instants voisins ?



24 Chute d'une bille dans de l'huile



Un objet se déplaçant dans un fluide est soumis à des frottements qui s'opposent à son mouvement. La chronophotographie de la chute d'une bille dans un liquide visqueux est donnée ci-contre.

1. a. Quelle action mécanique est responsable de la mise en mouvement de la bille ?

b. Repérer deux phases dans son mouvement.

2. a. Pourquoi peut-on considérer que les actions qui s'appliquent sur la bille se compensent lors de la seconde phase ?

b. Que peut-on en déduire pour la variation du vecteur vitesse entre deux instants voisins ?

3. a. Quelle action l'emporte lors de la première phase ?

b. En déduire une représentation de la somme des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur la bille $\Sigma\vec{F}$.

c. Comment, pour cette phase, varie le vecteur vitesse ?

25 Chute « libre » *indoor*

Les simulateurs de vol en chute libre permettent de reproduire les sensations ressenties en parachutisme.

Une puissante soufflerie maintient le voltigeur comme immobile et suspendu dans une colonne d'air.

Donnée : $g = 9{,}8\ N \cdot kg^{-1}$.



1. a. D'après le principe d'inertie, que peut-on déduire de l'immobilité du voltigeur ?

b. Faire l'inventaire des actions mécaniques qui agissent sur un voltigeur (de masse $m = 75$ kg) et les représenter sur un schéma (échelle de représentation : 1 cm pour 300 N).

En ajustant la position des bras, il est possible d'augmenter la valeur des frottements de l'air sur la surface du corps.

2. a. Quelle modification doit être apportée à la représentation faite en **1. b** afin de tenir compte de cette nouvelle situation ?

b. Représenter par un vecteur, sur le schéma, la somme des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur le voltigeur.

3. a. Quel est l'effet de cette action sur le mouvement ?

b. Comment varie le vecteur vitesse ?

4. Le système est-il en chute libre au sens physique ?

Exercice résolu EN AUTONOMIE

26 Crash test et rôle de la ceinture de sécurité



Pour étudier les effets d'un choc frontal, un véhicule est lancé en ligne droite à vitesse constante à près de 60 km · h^{-1} sur un obstacle. Lors de l'impact, un mannequin immobile dans le véhicule est « projeté » contre le pare-brise.

Données : *masse du mannequin m = 65 kg et g = 9,8 N · kg^{-1}.*

1. D'après la nature du mouvement du mannequin avant l'impact, que peut-on dire des actions qui lui sont appliquées ?

Les **représenter sur un schéma** par des forces en choisissant une échelle adaptée.

2. a. **Justifier** qu'au moment de l'impact le mannequin est « projeté » contre le pare-brise.

b. La ceinture est un équipement obligatoire de sécurité routière.
Tracer sur le schéma la force modélisant l'action de la ceinture sur le mannequin lors de l'impact.
En déduire la nature de son mouvement et conclure.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- La nature du mouvement du mannequin avant le choc donne une information sur les **forces** mises en jeu.
- La **masse *m*** et l'**intensité de pesanteur *g*** permettent de calculer le poids *P* du mannequin.

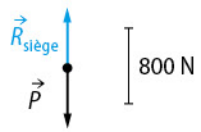
LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Représenter sur un schéma** : réaliser un schéma pour rendre compte de la situation décrite.
- **Justifier** : donner une explication au choix effectué à l'aide de données de l'énoncé.
- **En déduire** : utiliser le résultat précédent pour répondre à la question.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. D'après le principe d'inertie, un système immobile ou en mouvement rectiligne uniforme est soumis à des actions qui se compensent.
L'action de la Terre est modélisée par le poids $\vec{P}$ et l'action du siège modélisée par la réaction $\vec{R}$ du support :

$$\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$$



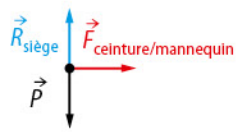
$P = m \cdot g$, donc $P = 65 \times 9{,}8 = 637$ N, soit $P \approx 6{,}4 \times 10^2$ N.

Échelle de représentation choisie : 1 cm pour 800 N.

2. a. Étant toujours soumis à des actions qui se compensent, le mannequin demeure dans son mouvement rectiligne uniforme alors que le véhicule s'arrête progressivement.

b. À partir du tracé de la somme vectorielle des forces, on constate que : $\Sigma\vec{F} = \vec{P} + \vec{F} + \vec{R} = \vec{F} \neq \vec{0}$

La somme $\Sigma\vec{F}$ des forces est opposée au sens du mouvement.
Le mouvement du mannequin est ralenti : il ne heurte pas le pare-brise.



QUELQUES CONSEILS

1. Écrire la relation permettant de calculer la valeur du poids *P* d'un objet. La réaction est une force perpendiculaire au support qui modélise l'action du support sur l'objet.

2. a. On pensera à utiliser le principe d'inertie.

b. On pourra constater que la somme $\Sigma\vec{F}$ des forces est opposée au sens du mouvement.

EXERCICE SIMILAIRE

27 Transport de marchandise

Un bloc de marbre est immobile sur le plateau à roulettes du camion d'un artiste sculpteur. Ce camion est à l'arrêt et le bloc est attaché à l'aide de cordes.
Lorsque l'artiste démarre brusquement, les cordes se rompent et le bloc est « projeté » vers l'arrière du véhicule, quittant ainsi le plateau.



Données : *masse du bloc m = 125 kg et g = 9,8 N · kg^{-1}.*

1. Avant le démarrage, les actions mécaniques qui s'appliquent sur le bloc de marbre se compensent-elles ? Les représenter sur un schéma par des forces en choisissant une échelle adaptée.

2. a. Au moment du démarrage, justifier que le bloc de marbre est « projeté » vers l'arrière du véhicule.

b. Le bloc de marbre quitte le plateau. Représenter, sur un schéma, la force qui modélise l'action mécanique qui agit sur le bloc de marbre. En déduire la nature de son mouvement.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

28 Interpréter le mouvement d'une skieuse

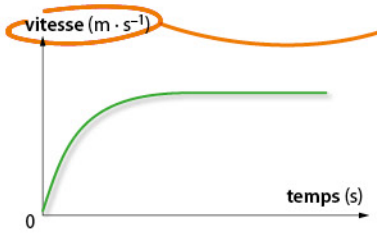
Lors d'une remontée mécanique rectiligne, la skieuse est mise en mouvement par l'action de la perche. La skieuse atteint rapidement une vitesse de montée constante.

1. Les actions appliquées sur la skieuse se compensent-elles pendant les premières secondes de son mouvement ?
Justifier la réponse.

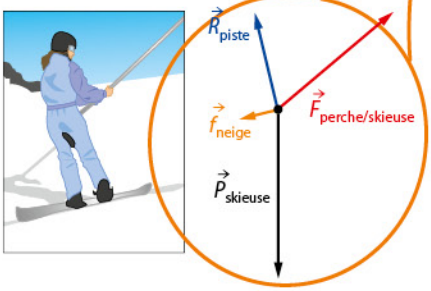
2. a. Déterminer la somme $\Sigma\vec{F}$ des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur la skieuse.

b. En déduire comment le vecteur vitesse de la skieuse varie lors de cette phase. Est-ce en accord avec la nature du mouvement ?

A Évolution de la vitesse de la skieuse en fonction du temps



B Modélisation des actions s'appliquant sur la skieuse à son départ



LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- La courbe décrit l'évolution de la **vitesse** de la skieuse au cours du temps.
  L'énoncé donne des informations sur les phases du mouvement.
- Le schéma **B** renseigne sur le nombre de **forces** s'appliquant sur la skieuse, leur direction et leur valeur.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Déterminer :** mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **En déduire :** utiliser le résultat précédent pour répondre.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Le mouvement est accéléré si la vitesse augmente au cours du temps.
D'après la contraposée du principe d'inertie, un système qui n'est pas en mouvement rectiligne uniforme est soumis à des actions qui ne se compensent pas.

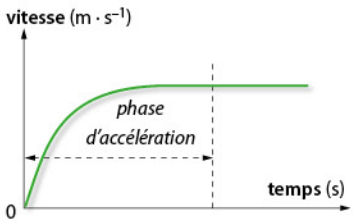
2. a. À partir du tracé de la somme vectorielle des forces, on constate que :

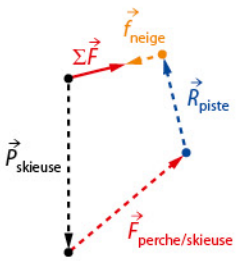
$$\Sigma\vec{F} = \vec{P} + \vec{F} + \vec{R} + \vec{f} \neq \vec{0}$$

b. La variation du vecteur vitesse est liée au vecteur $\Sigma\vec{F}$.

D'après le schéma **B**, $\Sigma\vec{F}$ est dans le même sens que le mouvement ou que le vecteur vitesse.

La valeur de la vitesse augmente :
le mouvement est accéléré.





QUELQUES CONSEILS

1. Sur une courbe, un palier signifie que la grandeur portée sur l'axe des ordonnées est constante.

2. a. On veillera à modéliser la skieuse par un point.
Effectuer la somme vectorielle des forces.

b. Le mouvement de la skieuse lui permet de remonter la pente.

EXERCICE SIMILAIRE

29 Parachutiste en chute verticale

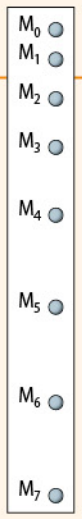
Lors d'un saut, une parachutiste tombe verticalement et atteint en quelques secondes une vitesse maximale de chute d'environ 200 km · h^{-1}.

1. Sur la chronophotographie **A**, repérer la phase pendant laquelle les actions appliquées sur la parachutiste ne se compensent pas.

2. a. Représenter, sur un schéma, la ou les forces modélisant les actions qui lui sont appliquées, puis donner la somme $\Sigma\vec{F}$ de ces forces.

b. En déduire comment varie le vecteur vitesse de la parachutiste lors de cette phase.
Est-ce en accord avec la nature du mouvement ?

◀ **A** Chronophotographie de la chute du centre M de la parachutiste



▼ **B** Parachutiste en chute verticale



Croiser les notions

30 Le mouvement éternel HISTOIRE DES SCIENCES

Aristote ▶ *Philosophe grec antique (384-322 av. J.-C.) qui s'est intéressé entre autres à la physique.*

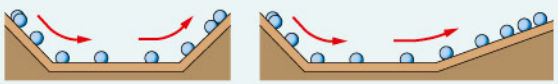
Pour Aristote, une force motrice est indispensable au mouvement et il n'y a pas de mouvement sans force. Pour que le mouvement d'un corps soit continu, il faut maintenir une force permanente sur celui-ci.



Galilée ▶ *Astronome et physicien italien (1564-1642).*

Fresque du peintre italien Giuseppe Bezzuoli (1784-1855), *Galilée démontrant la loi de la chute des corps à Don Giovanni de Medici*, 1843, musée Galileo, Florence.

Galilée expérimente le mouvement de billes sur des plans inclinés. Il constate qu'en réduisant les frottements, une bille abandonnée sans vitesse initiale en haut de la rampe remonte sur l'autre rampe à la même hauteur que celle d'où elle est partie. Plus la pente de la seconde rampe est faible, plus la bille parcourt une distance importante.



Et si les frottements pouvaient être réduits à zéro ?

Et si le plan incliné devenait horizontal ?

Alors la bille pourrait poursuivre son chemin à l'infini. C'est ce que Galilée a essayé de démontrer en 1632 dans un extrait de son ouvrage *Dialogue sur les deux principaux systèmes du monde* :
« 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. »

1. Associer une des deux théories, celle d'Aristote ou de Galilée, à chacune des propositions suivantes.
a. Sans action mécanique, il n'est pas imaginable qu'un objet continue son mouvement indéfiniment : il finit par forcement s'arrêter.
b. L'action mécanique ne crée pas le mouvement, elle le modifie.
c. Aucune action mécanique, alors aucun mouvement.
d. Sans action mécanique extérieure, un objet se déplace à vitesse constante.

2. Quelle théorie constitue une première formulation du principe d'inertie ? Justifier la réponse.

3. a. Quelles hypothèses Galilée émet-il pour proposer sa théorie ?
b. Donner un exemple d'action qui rend difficile l'observation réelle du phénomène proposé par Galilée.

31 Spiderman tisse sa toile ! CALCUL MENTAL



Spiderman, suspendu au fil qu'il tisse, descend lentement à vitesse constante depuis le haut du gratte-ciel de l'*Empire State Building*.

Donnée : $g = 9{,}8\ N \cdot kg^{-1} \approx 10\ N \cdot kg^{-1}$.

1. a. Lister les actions qui s'appliquent sur Spiderman.
b. Ces actions se compensent-elles ? Justifier la réponse.
c. Spiderman a une masse $m = 70$ kg. Calculer la valeur P de son poids.
d. Représenter les forces qui modélisent les actions s'appliquant sur Spiderman (échelle de représentation : 1 cm pour 350 N). L'action de l'air est négligeable.

Le fil cède et Spiderman se retrouve en chute libre.

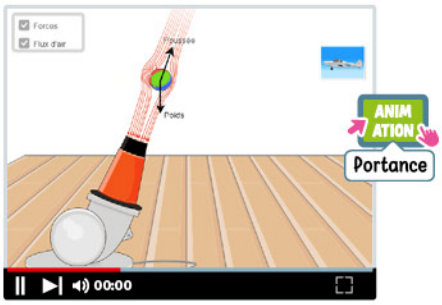
2. a. Les actions qui s'appliquent sur Spiderman se compensent-elles ? Justifier la réponse.
b. Quelle est la nature de son mouvement ?
c. Indiquer le sens de la variation de son vecteur vitesse au cours de cette chute. Justifier la réponse.

JE VÉRIFIE QUE J'AI...
- utilisé le principe d'inertie ;
- modélisé le système par un point matériel.

32 La portance en aérodynamique

La portance est l'action d'un flux d'air qui permet à un objet de s'élever et de se maintenir en altitude.

L'animation modélise les actions qui agissent sur une balle dans un flux d'air.



1. Pourquoi, à elles seules, les forces représentées ci-dessus ne permettent-elles pas d'interpréter l'immobilité de la balle dans le flux d'air ? Justifier la réponse.

2. Dans la situation proposée ci-dessus, quel devrait être le mouvement de la balle ? Justifier en indiquant le sens des forces appliquées et la variation du vecteur vitesse.

3. On modélise la balle par son centre. Schématiser la situation faisant intervenir une autre force, la portance, afin d'être en accord avec le principe d'inertie.

JE VÉRIFIE QUE J'AI...
- effectué la somme vectorielle des forces ;
- utilisé le lien entre la variation du vecteur vitesse et la somme des forces.

33 Le slopestyle olympique DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

Le slopestyle est une des disciplines du ski freestyle. Elle consiste à effectuer un parcours constitué de tremplins et de rails tout en enchaînant des sauts.



On considère un skieur abordant avec une vitesse suffisamment importante la portion de parcours suivante : un rail horizontal suivi d'un tremplin et d'un saut.
Son mouvement est formé de trois phases pour lesquelles les frottements de l'air et de la piste sont négligeables.



DÉMARCHE AVANCÉE

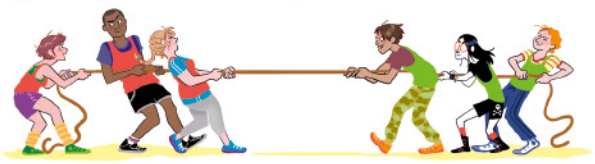
À partir d'un bilan des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur le skieur, déterminer la nature de son mouvement pour chacune des phases.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Pour chaque phase, déterminer les forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur le skieur. Représenter ces forces sur un schéma sans souci d'échelle.
2. En déduire, pour chaque phase, la somme $\Sigma\vec{F}$ des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur le skieur.
3. Que peut-on en conclure pour la variation du vecteur vitesse du skieur au cours de chaque phase ?
4. En déduire, pour chaque phase, la nature du mouvement du skieur.

34 Tug-of-war

The purpose of tug-of-war is to make the opposing team cross a line drawn on the ground. At the beginning, the rope is immobile. After a few moments, the right team manages to set the rope in motion. Then the right team moves the rope slowly with a constant speed and wins the match.



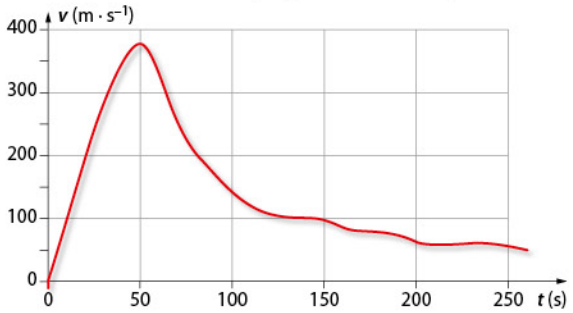
We model the rope by a materiel point. For each step, represent on a diagram the actions of each team by a force. Justify the answers.

35 Le saut de Felix Baumgartner

Le 14 octobre 2012, Félix Baumgartner a réalisé un saut historique en battant trois records : celui de la plus haute altitude atteinte par un homme en ballon (39 045 m), celui du plus haut saut en chute libre et le record de vitesse en chute libre (1 357,6 km · h^{-1}). Le parachutiste autrichien a sauté vers la Terre, vêtu d'une combinaison spécifique en ouvrant son parachute au bout de 260 s. Le saut a duré en totalité 9 min et 3 s.

Donnée : *la date $t = 0$ s correspond au début du saut.*

Variation de la vitesse v de Félix Baumgartner dans le référentiel terrestre jusqu'à l'ouverture du parachute

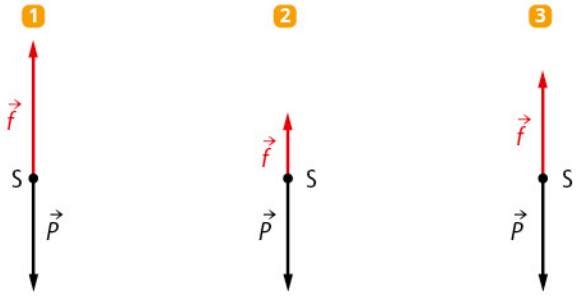


1. a. Utiliser la courbe afin de déterminer à quel instant Félix Baumgartner atteint sa vitesse maximale. Quelle est la valeur de cette vitesse ?
b. Déterminer, par lecture graphique, la valeur de sa vitesse à $t = 20$ s.
c. En déduire la valeur de la variation entre deux instants voisins d'une seconde de sa vitesse.

2. Félix Baumgartner a décrit trois mouvements à trois instants différents : $t_1 = 20$ s, $t_2 = 50$ s et $t_3 = 70$ s. Faire correspondre chaque mouvement à un de ces trois instants.

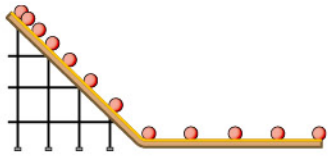
A Mouvement rectiligne ralenti
B Mouvement rectiligne accéléré
C Mouvement rectiligne uniforme

3. Les schémas ci-dessous représentent (dans le désordre) aux mêmes instants ($t_1 = 20$ s, $t_2 = 50$ s et $t_3 = 70$ s) les forces appliquées au point S (qui modélise le parachutiste lors du saut) : le poids $\vec{P}$ et la force $\vec{f}$ qui modélise les frottements.
a. Faire correspondre chaque schéma à un de ces trois instants en justifiant le choix effectué.



b. Déterminer, pour chaque schéma, le sens de la somme des forces appliquées au point S.
c. En déduire comment son vecteur vitesse varie. Est-ce en accord avec la réponse donnée en 2. ?

36 Expérience des plans inclinés de Galilée



Au XVII^e siècle, Galilée mène une expérimentation sur le mouvement des corps qui l'amènera à une première formulation du principe d'inertie.
On se propose de laisser tomber une bille sur un plan incliné en bois lisse et recouvert d'une fine couche d'huile.
Les positions successives de la bille sont repérées à intervalles de temps réguliers.

1. Quel est le rôle de la couche d'huile ?
2. Identifier les deux phases du mouvement sur la figure de pointage ci-dessus.
3. *Lors de la première phase du mouvement*
a. Représenter les forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur la bille.
b. En déduire le tracé de la somme $\Sigma\vec{F}$ des forces appliquées à la bille.
c. Dans quel sens et dans quelle direction le mouvement de la bille est-il modifié ?
4. *Lors de la seconde phase du mouvement*
a. Représenter les forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur la bille.
b Que dire de la somme des forces ?
5. Et pourtant la bille avance !!
Que peut-on conclure de ces observations ?

37 Le retour à bord de la capsule Soyouz



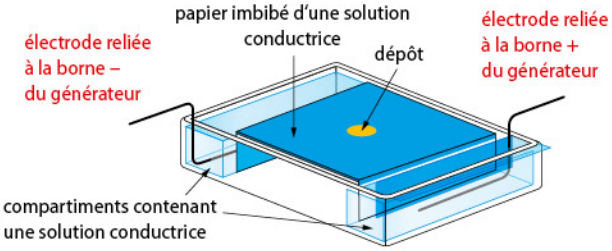
Après six mois de mission dans la Station internationale, les spationautes français T. Pesquet et russe O. Novitski ont mis 3 h 30 pour rejoindre la Terre à bord de la capsule Soyouz.
À 8,5 km d'altitude, le module de descente se déplace à près de 800 km · h^{-1} lorsque ses parachutes se déploient.
Le parachute principal (de 1 000 m^2) freine le module et le soutient dans les airs pour une dernière descente à une vitesse constante proche de 20 km · h^{-1}. Une minute avant l'atterrissage, six propulseurs ont permis de ralentir le module à la vitesse de 8 km · h^{-1} jusqu'au sol.

Données : *on considère que l'ensemble de la chute est verticale, la masse du module est m = 2,7 t et l'intensité de la pesanteur g est constante (g = 9,8 N · kg^{-1}).*

1. Identifier la nature des trois phases du mouvement du module, évoquées dans le texte.
2. Préciser, pour chacune des phases, si les actions mécaniques qui agissent sur le système « module et parachute » se compensent.
3. a. Représenter sur un schéma en choisissant une échelle adaptée les actions mécaniques agissant sur le module.
Le module sera modélisé par un point.
b. Pour les phases ralenties du mouvement, déterminer le sens de la somme des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur le module.

38 Séparation par électrophorèse SVT

Cette technique consiste à séparer les constituants d'un mélange. Des ions, placés entre deux électrodes reliées aux bornes d'un générateur, sont attirés par la borne de signe opposé à leur charge.



Un mélange d'ions Cu^{2+} et MnO_4^- est déposé au centre du papier imbibé d'une solution conductrice (schéma). Avant la mise en route du générateur, les ions sont immobiles. Quelques fractions de seconde plus tard, pour chaque ion, les frottements dus à la solution conductrice compensent l'action attractive des électrodes.

1. a. Représenter sur un schéma, sans souci d'échelle, les forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur chaque type d'ions à la mise en route du générateur.
b. En déduire comment varie leur vecteur vitesse à cet instant.
2. a. Représenter sur le schéma le vecteur vitesse de chaque ion quelques fractions de seconde après cette mise en route.
b. Justifier que le vecteur vitesse de chaque ion reste constant par la suite.
3. Expliquer la séparation d'ions de charges différentes par électrophorèse.

À L'ORAL

39 Comment un avion peut-il planer ?

Préparer un exposé oral permettant d'expliquer l'animation suivante.
Cet exposé de quelques minutes devra utiliser les expressions suivantes :
– somme des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur un système ;
– principe d'inertie ;
– variation du vecteur vitesse ;
– mouvement.
Ce court exposé devra pouvoir être réalisé sans note écrite.



40 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

En 2012, Felix Baumgartner effectue une chute d'une altitude jamais atteinte alors, soit de 40 km de hauteur.

Préparer un exposé oral permettant d'expliquer que lors de sa chute la vitesse de Felix Baumgartner est passée en quelques secondes de 200 km · h^{-1} à 20 km · h^{-1}.



Acquérir des compétences

41 Encore le saut de Felix Baumgartner ! ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

APP Rechercher et organiser l'information
COM Utiliser un vocabulaire adapté

Ce sauteur de l'extrême a effectué en 2012 un saut en chute « libre » depuis une altitude de 40 km.

DOC 1 Visualisation de la vidéo de la chute de F. Baumgartner

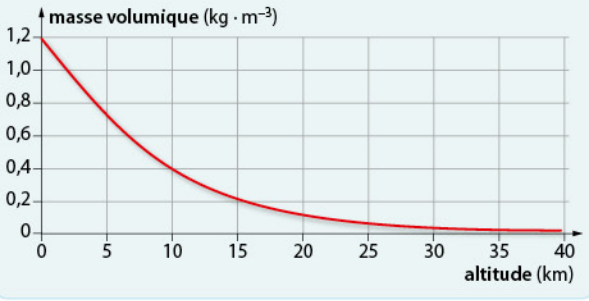


Regarder sur Internet la vidéo en saisissant ces mots-clés : dailymotion, full Baumgartner mission.

DOC 2 Frottements de l'air et masse volumique

L'action qu'exerce l'air sur un système en mouvement est modélisée par une force de frottements $\vec{f}$ dont la valeur f est donnée par la relation : $f = k \cdot \rho \cdot v^2$.
ρ est la masse volumique (en $kg \cdot m^{-3}$) de l'air, v est la vitesse (en $m \cdot s^{-1}$) du système et k est une constante (en m^2).

DOC 3 Évolution de la masse volumique de l'air en fonction de l'altitude



ANALYSE

1. a. À quelle altitude Felix Baumgartner atteint-il sa vitesse maximale ?
b. Quel est l'effet d'une diminution de la masse volumique ρ de l'air sur la valeur f des frottements ?
c. Justifier que seule la Terre agit sur le sauteur pendant les premiers instants du saut.

2. Comment expliquer que la vitesse de Felix Baumgartner diminue avant l'ouverture du parachute ?

3. À quels instants les actions qui agissent sur Felix Baumgartner se compensent-elles ?

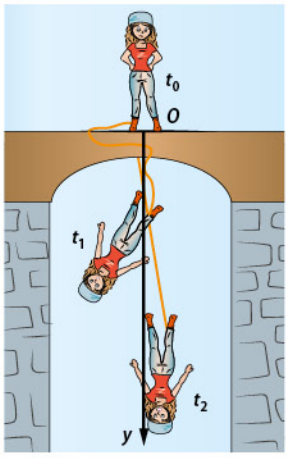
SYNTHÈSE

On considère que la chute de Felix Baumgartner est verticale. Décrire les différentes phases de son mouvement avec un vocabulaire adapté s'appuyant sur le principe d'inertie.

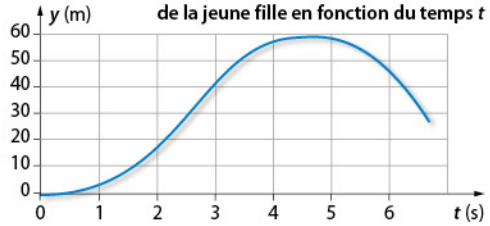
42 Le saut à l'élastique TÂCHE COMPLEXE

AN/RAI Proposer une stratégie de résolution

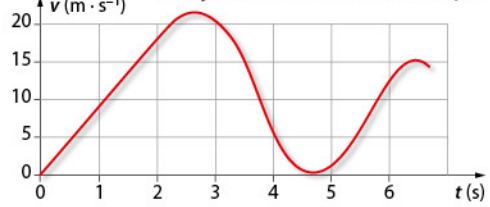
À un instant t_0, la jeune fille ci-contre saute à l'élastique : elle se laisse tomber verticalement sans vitesse initiale du haut d'un pont. À l'instant t_1, elle atteint sa vitesse maximale et l'élastique commence à se tendre. À l'instant t_2, elle est immobile dans sa position la plus basse avant de remonter. L'étude du saut a permis d'obtenir les deux graphiques ci-contre.



Évolution de la position y du centre de la jeune fille en fonction du temps t



Évolution de la vitesse v du centre de la jeune fille en fonction du temps t



LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

L'action mécanique exercée par l'élastique sur la jeune fille l'emporte-t-elle sur celle de la Terre lors des différentes phases de son mouvement ?

Retrouvez des exercices de synthèse p. 196

43 Les limites du principe d'inertie — DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

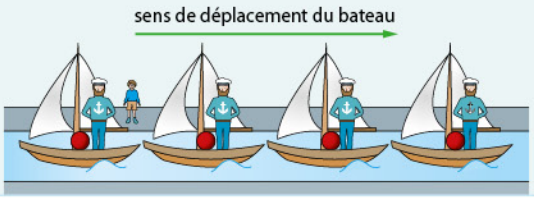
VAL **Faire preuve d'esprit critique**
RÉA **Utiliser un modèle**

Le principe d'inertie n'est applicable que dans certains référentiels dits galiléens. Le référentiel terrestre est considéré galiléen comme tout autre référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport à lui.

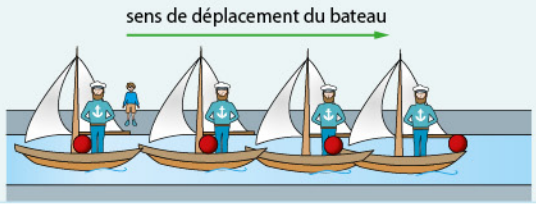
On s'intéresse au mouvement d'un boulet initialement immobile sur le pont d'un bateau dans le référentiel terrestre (cas d'un observateur placé sur le quai) puis dans le référentiel du bateau (cas d'un matelot situé à bord).

On considère les deux situations suivantes.
Situation 1 : le bateau se déplace en ligne droite et à vitesse constante en entrant dans le port (**doc. 1**).
Situation 2 : le bateau freine pour ralentir son mouvement à l'approche du quai (**doc. 2**).

DOC 1 Positions du boulet lorsque le bateau se déplace à vitesse constante



DOC 2 Positions du boulet lorsque le bateau ralentit



DÉMARCHE EXPERTE

Montrer que le principe d'inertie ne permet pas d'interpréter le mouvement du boulet uniquement si on se place dans le référentiel du bateau qui freine.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Sur un schéma, représenter les forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur le boulet.
2. Indiquer, pour chaque situation, la nature du mouvement du boulet :
a. dans le référentiel terrestre ; b. dans le référentiel du bateau.
3. En déduire que le principe d'inertie ne permet pas d'interpréter toutes les situations.

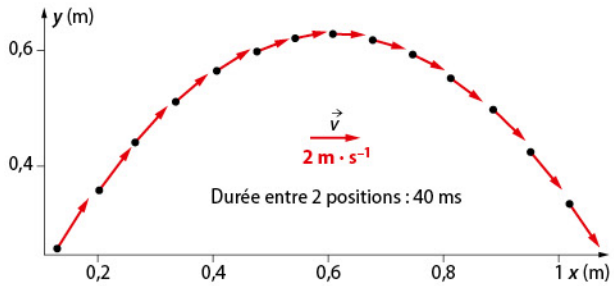
VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

44 Estimation de la variation de vitesse — DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

AN/RAI **Concevoir un protocole**
RÉA **Effectuer des procédures courantes**

1. Lors d'un saut acrobatique, un skieur décrit un mouvement parabolique, il est en chute « libre » non verticale.
Proposer un protocole expérimental, réalisable en laboratoire, pour montrer que la variation du vecteur vitesse d'un tel système est liée au poids qui modélise l'action de la Terre.

2. L'analyse informatique du mouvement parabolique du centre d'une balle a permis d'obtenir le tracé ci-dessous de son vecteur vitesse à différents instants.





a. Sur une feuille en papier, tracer, pour deux positions différentes de la balle, le vecteur $\Delta\vec{v}$ représentant la variation du vecteur vitesse entre deux instants voisins.
b. La direction et le sens du vecteur $\Delta\vec{v}$ semblent-ils cohérents avec ceux de la somme des forces qui modélisent les actions agissant sur la balle ? Justifier la réponse.
c. Quelle est la valeur de la variation Δv de la vitesse entre deux instants séparés d'une seconde ?
L'intensité de pesanteur g (sur Terre, $g = 9{,}8\ N \cdot kg^{-1}$) est aussi appelée *accélération de pesanteur*, grandeur exprimée en $m \cdot s^{-2}$ ($g = 9{,}8\ m \cdot s^{-2}$). Proposer une explication à cette appellation.

Les sciences et nous

GROS PLAN SUR...

La chute « libre » *indoor*

La chute « libre » en soufflerie consiste à réaliser des figures dans un flux d'air circulant dans un tube à près de 250 km · h^{-1}. Dans ce simulateur, les sensations d'un saut en parachute sont reproduites pendant une durée bien supérieure à celle des chutes réelles. Le sportif doit ajuster constamment l'intensité des frottements de l'air sur son corps afin de modifier sa vitesse et contrôler ses accélérations ou ses ralentissements. Il parvient, par exemple, à rester immobile, comme flottant dans l'air, lorsque l'action de l'air compense exactement celle de la Terre. Par contre, si ces actions ne se compensent pas, alors selon le sens de son mouvement dans le tube, sa vitesse augmente ou diminue.



LES MÉTIERS DU CHAPITRE

Technicien·ne d'essai

Le technicien d'essais en sécurité automobile travaille dans les laboratoires des grands constructeurs. Il est chargé de tester les prototypes d'automobiles et les nouveaux équipements élaborés par les ingénieurs. Pour cela, il effectue des crash tests sur piste et des simulations sur ordinateur. Spécialiste de la mesure, le technicien analyse les résultats obtenus pour les comparer aux performances attendues et aux normes en vigueur. Il mesure, par exemple, les variations de vitesse du véhicule lors d'un impact ou d'un freinage.

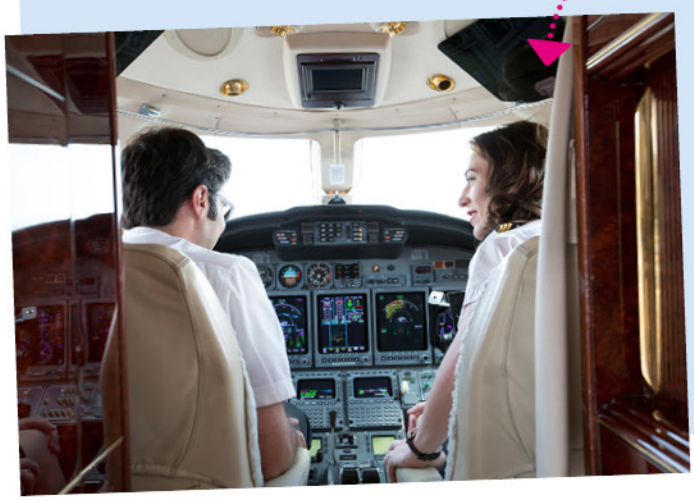
***Niveaux d'études** : bac+2 à bac+3 après un bac technologique ou général avec spécialité physique-chimie.*



Pilote de ligne

La pilote de ligne assure en avion le transport de marchandises ou de passagers sur des trajets nationaux ou internationaux.
D'abord copilote pendant plusieurs années sur des vols courts et moyens courriers, elle devient par la suite commandante de bord. À ce titre, elle supervise et coordonne l'équipage à bord de l'appareil.
En vol, la pilote de ligne doit tenir compte de nombreux paramètres météorologiques (brouillard, turbulences, dépressions...) qui modifient les actions de l'air sur l'appareil et sa vitesse.

***Niveaux d'études** : bac+5 à bac+8 après un bac général avec spécialité physique-chimie.*



Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

EXERCICES DE SYNTHÈSE



1 Décollage d'un drone

Les drones de loisirs à quatre hélices sont des véhicules aériens de faibles dimensions. Ils sont vendus au grand public comme un jeu pour l'intérieur ou pour l'extérieur.

On étudie le mouvement du drone dépourvu de webcam lors de son décollage. Le drone étudié ici, de masse 110 g, est assimilé à un point matériel noté M.

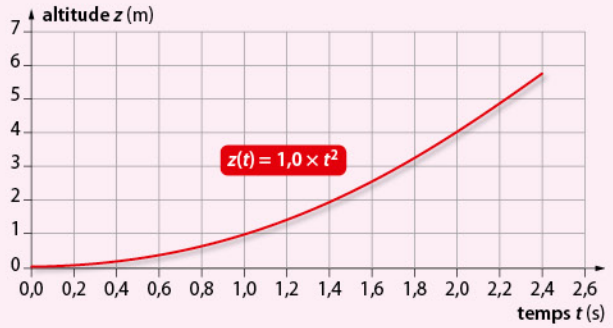
Données : *le champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$ est considéré uniforme, la valeur de son intensité g est 9,8 N · kg⁻¹.*

DOC 1 Modélisation

Un film du décollage vertical du drone a été réalisé afin de déterminer la force *F* qui modélise l'action de poussée exercée sur ce drone par l'air.

L'exploitation du film a permis de tracer le graphique représentant l'évolution dans le temps de la grandeur $z(t)$.

$z(t)$ permet de connaître les coordonnées de la position du drone suivant l'axe vertical. La courbe ci-dessous modélise l'évolution de cette grandeur.

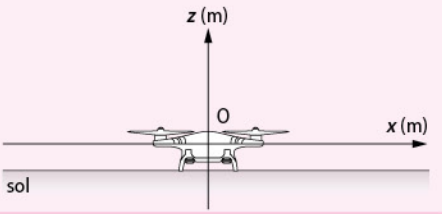


1. Identifier le système et le référentiel d'étude.
2. **a.** Quels sont la direction et le sens du vecteur déplacement du drone ?
   b. Comment évolue le vecteur vitesse du drone ?
   c. Décrire le mouvement du drone.

DOC 2 Position du drone

Le schéma ci-dessous, tracé sans souci d'échelle, représente la position du drone à l'instant initial.

Le point O est l'origine du repère.



3. **a.** En absence de vent, établir le bilan des deux actions mécaniques qui agissent sur le drone.
   b. Représenter sur un schéma, sans souci d'échelle, les forces qui modélisent ces actions mécaniques.
   c. Comparer qualitativement les valeurs des forces lors du décollage. Justifier la réponse.
4. On souhaite fixer une webcam de masse m_C sur ce drone.
   a. Quelle est la masse maximale $m_{C\,max}$ de cette webcam au-delà de laquelle le décollage n'est plus possible ?
   b. Quel est le mouvement du drone pour une telle webcam ?

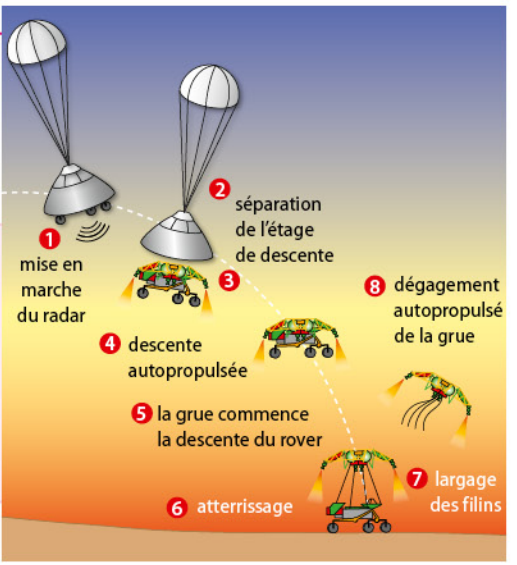
2 Atterrissage de Curiosity sur Mars

Faire atterrir une sonde sur Mars est un exercice périlleux. En août 2012, la NASA a réussi à faire atterrir sans encombre Curiosity, le plus gros rover de l'histoire de l'exploration martienne : 3 m de longueur, 2,7 m de largeur et une masse de 900 kg.

DOC 1 La phase de descente de Curiosity

À 20 mètres du sol, l'étage de descente a une vitesse de 75 centimètres par seconde seulement, la grue commence alors à descendre le robot Curiosity au bout de trois filins (des câbles fins) de 7,50 mètres de longueur. L'engin dépose ensuite Curiosity en douceur. Les filins sont coupés. L'étage de descente augmente alors la poussée de ses moteurs pour aller s'écraser un peu plus loin.

Donnée :
Intensité de pesanteur au voisinage de la surface de Mars : g = 3,7 N · kg⁻¹.



2 Suite

1. *Au court de la phase de descente :*
a. Quelle est la valeur du vecteur vitesse de Curiosity ?
b. Comment varie le vecteur vitesse de Curiosity ?
c. Comment qualifier le mouvement de Curiosity ?
d. Que peut-on dire des forces qui modélisent les actions mécaniques qui agissent sur Curiosity ? Représenter ces forces sur un schéma.
e. Déterminer la valeur de ces forces.
2. À partir des informations données dans l'énoncé et en émettant différentes hypothèses, estimer par un calcul la durée Δt de la phase de descente du robot entre le moment où la grue commence à le descendre et son atterrissage sur le sol martien.

3 Expérience de physique sur la Lune

Le 21 juillet 1969, Neil Armstrong fut le premier Homme à poser le pied sur la Lune.

Lors de l'une des cinq expéditions lunaires qui suivirent celle d'Armstrong, l'astronaute de la mission Apollo 15, Dave Scott, réalisa une expérience de physique.



DOC 1 Expérience de Dave Scott

L'astronaute prit dans ses mains levées à hauteur des épaules un marteau dans l'une et une plume dans l'autre. Puis, il les lâcha en même temps. Contrairement à ce qui se serait passé sur Terre, la plume ne se mit pas à voleter doucement mais tomba exactement comme le marteau. Sans résistance de l'air pour freiner la plume, les deux objets s'enfoncèrent dans la poussière lunaire exactement au même instant.

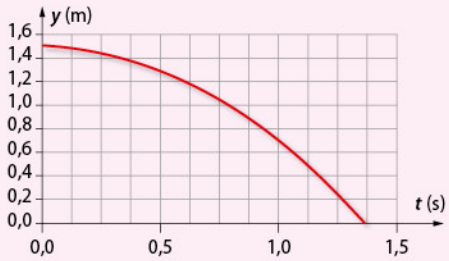
DOC 2 Mouvements du marteau et de la plume

On peut, à partir du document vidéo de la NASA, construire des graphiques A et B relatifs au mouvement des deux objets.

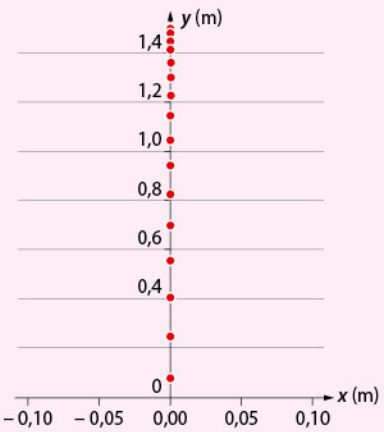
À l'instant du lâcher, pris comme origine des temps, le marteau est à une hauteur $h = 1{,}50$ m du sol.

Le mouvement est étudié dans le référentiel lunaire, muni d'un repère dont l'axe Ox correspond au sol et l'axe Oy est dirigé vers le haut, perpendiculairement au sol.

Le marteau est assimilé à un point matériel M et la plume à un point matériel P.



Graphique A

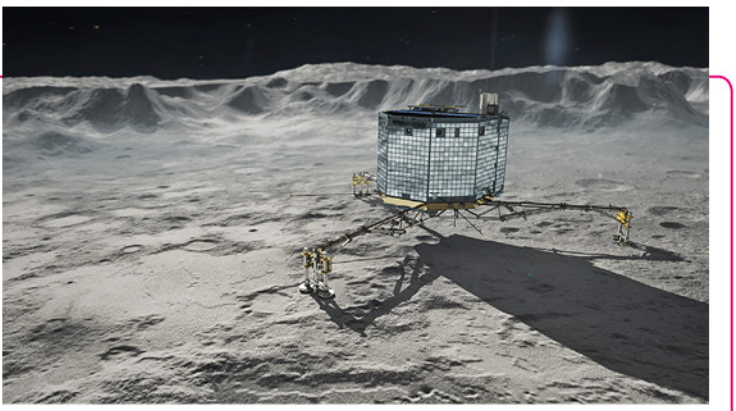


Graphique B

1. a. Établir le bilan des actions mécaniques qui s'exercent, à l'instant où l'objet est lâché, sur :
– la plume de masse m_P ;
– le marteau de masse m_M.
b. Donner l'expression des valeurs des forces qui modélisent ces actions mécaniques en fonction de l'intensité de pesanteur lunaire g_L et représenter ces forces sur un schéma sans souci d'échelle.
2. a. Des deux graphiques A et B, lequel correspond à la trajectoire du point M ?
b. À quoi correspond l'autre graphique ?
3. a. Quelle est la valeur du vecteur vitesse entre les instants :
– $t = 0$ s et $t = 0{,}25$ s ?
– $t = 0{,}5$ s et $t = 0{,}75$ s ?
b. Comment évolue le vecteur vitesse du point M lors de la chute ?
c. Cette variation du vecteur vitesse est-elle cohérente avec le principe d'inertie (ou avec sa contraposée) ?
4. Décrire le mouvement du point M.
5. a. Quelle est la durée de chute du point M ?
b. Quelle est la vitesse moyenne de chute ?

EXERCICES DE SYNTHÈSE

4 La mission Philae



En 2004, la sonde européenne Rosetta a quitté la Terre pour un voyage long de 10 ans. Sa destination ? la comète Tchouri.

En novembre 2014, la sonde a largué Philae, un atterrisseur qui est venu se poser à la surface de la comète.

Données :

Constante de gravitation :
$G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.

Intensité de pesanteur sur Terre :
$g_T = 10\ N \cdot kg^{-1}$.

DOC 1 Objectif de la mission

La mission de Philae consista à analyser la comète sous tous ses aspects. En effet, les comètes se sont formées en même temps que le Système solaire il y a 4,5 milliards d'années, bien avant les planètes. Leur étude est donc l'occasion de mieux comprendre la situation qui prévalait lorsque notre Système solaire est né.

DOC 2 Les chiffres-clés



On s'intéresse à l'atterrisseur Philae qui s'est posé sur la comète.

La comète est assimilée à une sphère de rayon 2,5 km.

1. Donner l'expression de la force gravitationnelle exercée par la comète sur Philae, quand l'atterrisseur est à la surface de la comète.
2. En supposant que cette force est égale au poids de Philae sur la comète, déterminer la valeur de l'intensité de pesanteur g_C sur la comète.
3. Expliquer et apporter une correction scientifique à l'information du **document 2** :
« Philae pèse 100 kg sur Terre et 1 g sur la comète. »
4. On émet l'hypothèse que la vitesse de Philae reste constante lors de sa descente sur la comète.

a. Estimer la valeur de la durée de la phase d'atterrissage de Philae.

b. Donner les caractéristiques des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur Philae.

5 Au-dessus du canal de Corinthe

Le canal de Corinthe est situé en Grèce. Il a été creusé pour relier la mer Égée et la mer Ionienne. Ses parois rocheuses sont très hautes et l'eau s'écoule à 79 m au-dessous du niveau du sol.



DOC 1 L'exploit de Robbie Maddison

Plusieurs pilotes de moto ont tenté de franchir le canal de Corinthe, mais seul l'Australien Robbie Maddison a réalisé l'exploit en avril 2010.

Il a pris son élan pour accélérer sa moto et atteindre la vitesse de 125 km · h^{-1}. Ensuite, il a emprunté une rampe qui lui a permis de franchir le canal, avant d'atterrir de l'autre côté.

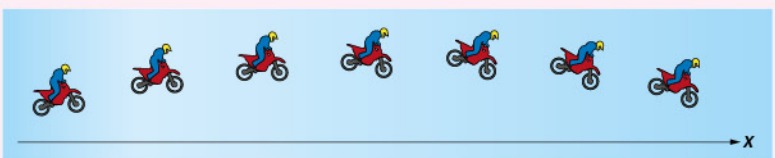
Le point le plus haut de son vol a dépassé les 95 mètres au-dessus du niveau de l'eau.

Un tel saut peut être étudié à l'aide d'une chronophotographie, des photos prises à intervalles de temps identiques.



DOC 2 Étude du saut

On utilise l'extrait ci-dessous de la chronophotographie.



Robbie Maddison et sa moto sont assimilés à un point matériel de masse supposée constante.

En tenant compte de l'échelle des distances, on mesure quelques abscisses des positions occupées par Maddison et sa moto. On calcule ensuite pour ces positions la vitesse v_x suivant l'axe horizontal x.

On obtient ces valeurs en m · s^{-1} : 28,3 ; 29,1 ; 28,7 ; 29,0 ; 27,7 ; 29,0.

DOC 3 Donnée

La théorie statistique montre que la meilleure estimation de l'incertitude-type dans le cas d'une répétition de la mesure d'une grandeur X est :

$$u(X) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

où n est le nombre de mesures effectuées et σ l'écart-type.

1. Identifier le système et le référentiel d'étude.
2. a. Si on néglige les frottements de l'air, quelle est la seule action mécanique qui agit sur Maddison et sa moto ?
   b. Représenter la force correspondante sans souci d'échelle.
3. a. Reproduire l'allure de l'extrait de la chronophotographie (Doc. 2) et représenter, sans souci d'échelle, à deux instants, le vecteur vitesse du système.
   b. Comment évolue ce vecteur vitesse au cours du temps ?
   c. Est-ce cohérent avec le principe d'inertie ou avec sa contraposée ?
4. Est-il exact de dire que le mouvement du système est uniforme selon l'axe Ox ?
5. Donner la meilleure estimation du résultat des mesures de la vitesse v_x ainsi que la valeur de l'incertitude-type associée.
6. La vitesse v_0 = 125 km · h^{-1}, valeur en sortie de tremplin annoncée sur les sites internet, est-elle vérifiée sachant que l'inclinaison α en sortie du tremplin vaut 33° ?

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

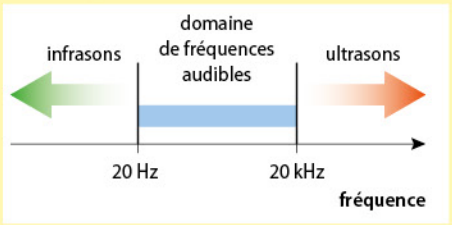
LES ACQUIS INDISPENSABLES

- Le son a besoin d'un **milieu matériel** pour se propager, il ne peut pas se propager dans le vide.
- Un son ne se propage pas instantanément mais a une **vitesse de propagation**.

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

v : vitesse de propagation du son (en **m/s**)
d : distance parcourue par le son (en **m**)
Δt : durée de propagation du son (en **s**)

- Un son peut se caractériser par sa **fréquence** qui s'exprime en hertz (Hz).
- Le **domaine d'audibilité** d'une oreille humaine normale est compris entre 20 Hz et 20 kHz. En dessous de 20 Hz, on parle d'**infrason** et au-dessus de 20 kHz, d'**ultrason**.



POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

Dans les films de science-fiction ou les jeux vidéo, les scènes de combat dans l'espace sont accompagnées de nombreux bruitages.



Ces scènes sonores traduisent-elles une réalité possible ?

SITUATION 2

Lors d'un orage, un observateur entend le tonnerre 3 s après avoir vu un éclair.

À quelle distance l'observateur se trouve-t-il de l'impact de l'éclair ?

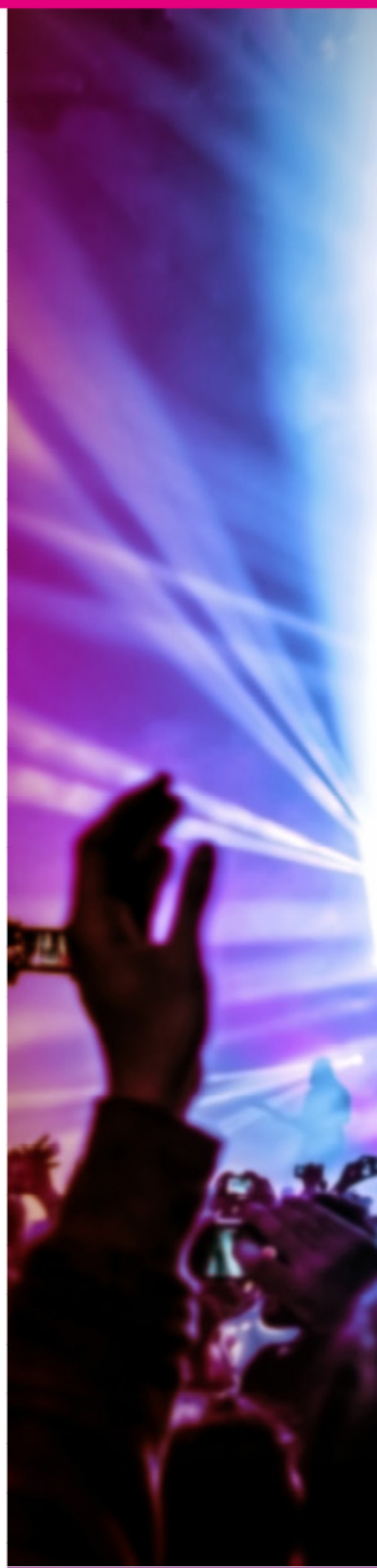
On donne la vitesse du son dans l'air à 20 °C : $v_{son} = 340$ m/s.

SITUATION 3

Une chauve-souris produit des ultrasons.

Pourquoi sont-ils inaudibles pour l'oreille humaine ?





CHAPITRE

9

PHYSIQUE

et perception d'un son



Comment expliquer que les sons des différents instruments de musique ne sont pas perçus de la même manière par les spectateurs ?

➥ EXERCICE 39

NOTIONS ET CONTENUS

- Émission et propagation d'un signal sonore. Vitesse de propagation d'un signal sonore.
- Signaux sonores périodiques : période, fréquence.
- Perception du son : hauteur, timbre, amplitude, intensité sonore, niveau d'intensité sonore. Échelle de niveau d'intensité sonore.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- Utiliser un microcontrôleur pour produire un signal sonore ➥ ACTIVITÉ 1
- Mesurer la vitesse d'un signal sonore ➥ ACTIVITÉ 2
- Utiliser une chaîne de mesure pour mesurer la période d'un signal sonore ➥ ACTIVITÉ 3
- Enregistrer et caractériser un son ➥ ACTIVITÉ 4

1. ACTIVITÉ DE DÉCOUVERTE

CLASSE INVERSÉE

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
COM Utiliser un vocabulaire adapté

Émission et propagation du son

Nous baignons au quotidien dans un univers de sons.
Comment les sons sont-ils produits et comment se propagent-ils ?



DOC 1 Constitution d'un instrument de musique

La plupart des instruments de musique sont à la fois constitués d'une partie qui émet de la musique (par exemple la corde d'une guitare) et d'une partie qui l'amplifie appelée caisse de résonance (caisson sous les cordes de la guitare).

DOC 2 Quand on fait le vide

On place une source sonore sous une « cloche » dans laquelle on fait le **vide** à l'aide d'une pompe.

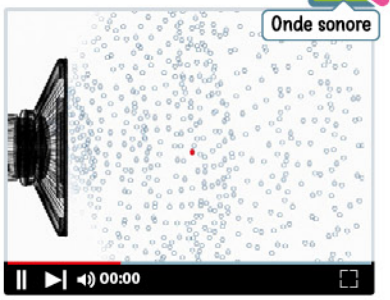
VIDÉO



DOC 3 Modélisation

Pour comprendre l'émission et la propagation du son dans l'air, le recours à une **modélisation**, sous forme d'une animation, peut être utile.

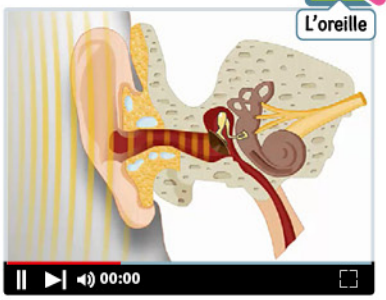
VIDÉO



DOC 4 L'oreille

Notre oreille est notre récepteur sonore. C'est elle qui est sensible au son qui nous parvient.

VIDÉO



VOCABULAIRE

- **Modélisation :** représentation simplifiée.
- **Onde :** perturbation qui se propage.
- **Pression :** action de presser/compression.
- **Vide :** absence d'air.

DOC 5 Production d'un son

ARDUINO

Avec un petit haut-parleur branché à un micro-contrôleur Arduino et le programme ci-dessous, on peut générer un son.

```
void setup() {
pinMode(3,OUTPUT); //on prépare le pin 3 en
mode sortie
}
void loop() {
    digitalWrite(3,0); //état bas
    delayMicroseconds(1136); //on attend 1136
    microsecondes
    digitalWrite(3,1); //état haut
    delayMicroseconds(1136); //on attend 1136
    microsecondes
}
```

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Que se passe-t-il quand on fait le vide dans une enceinte contenant un émetteur sonore ?

2 **a.** Comment un son est-il produit ? Comment peut-il être amplifié ?
b. Montrer que la fréquence du son produit à l'aide du programme (doc. 5) est bien dans le domaine audible.

3 Lors de la propagation du son, qu'est-ce qui se propage ?

4 **a.** À quelle(s) condition(s) un son est-il perçu par notre oreille ?
b. Quels peuvent être les dangers d'une exposition sonore trop importante ?

SYNTHÈSE

5 Expliquer l'émission et la propagation d'un son.

Je réussis si...

- **J'identifie dans quel milieu un son peut se propager.**
- **Je sais expliquer comment un son est émis et/ou amplifié.**
- **Je sais expliquer la propagation d'un son au niveau de la matière.**

TP

COMPÉTENCES :
AN/RAI Élaborer un protocole
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental

Vitesse de propagation du son

Le son est une vibration qui se propage de proche en proche dans un milieu matériel. Il ne se propage donc pas instantanément. Quelle est sa vitesse dans l'air à température ambiante ?

DOC 1 Du matériel utile

- Un ordinateur muni d'une carte son et d'une sortie micro avec un logiciel de traitement du son.
- Des écouteurs.
- Une règle ou un mètre-ruban.

DÉMARCHE EXPERTE

À l'aide du matériel décrit (doc. 1), élaborer un protocole expérimental permettant de déterminer la vitesse du son dans l'air.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. a. Reproduire le dispositif expérimental proposé (doc. 2).
b. Enregistrer un son bref.

2. a. Montrer que le son a une vitesse de propagation.
b. Déterminer la distance parcourue par le son et la durée de propagation dans le cas de l'enregistrement effectué.
c. En déduire la vitesse de propagation du son dans l'air.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. a. Brancher les écouteurs à l'ordinateur (doc. 1) en les éloignant l'un de l'autre de la distance maximum. Mesurer cette distance d.
b. Lancer l'enregistrement au niveau du logiciel de traitement du son (FICHE PRATIQUE ➥ p. 315), puis produire un son bref.

2. À l'aide du logiciel de traitement du son :
a. observer le décalage temporel (doc. 3) entre les deux signaux reçus, en effectuant éventuellement un grossissement ;
b. mesurer la durée Δt de propagation du son entre les deux écouteurs.

3. a. Donner la relation qui relie la distance d parcourue par le son et sa durée Δt de propagation.
b. En déduire la valeur de la vitesse de propagation du son dans l'air.

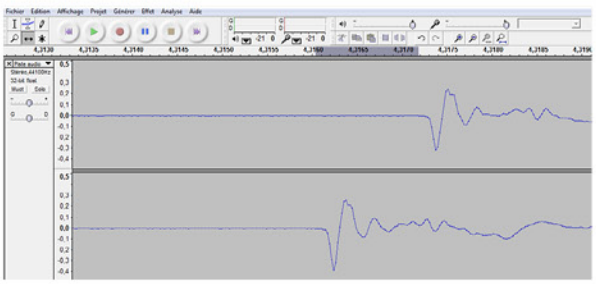
DOC 2 Dispositif

Un dispositif d'enregistrement des signaux sonores est représenté ci-dessous :



DOC 3 Enregistrement

Avec le dispositif du doc. 2, on a produit et enregistré un son avec un décalage temporel entre les deux écouteurs :



Je réussis si...

- **Je sais réaliser le montage expérimental.**
- **Je détermine la distance parcourue par le son et sa durée de parcours.**
- **Je détermine la vitesse de propagation du son.**
- **DÉMARCHE EXPERTE Je décris le protocole expérimental avec du texte et des schémas.**

TP

COMPÉTENCE :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental

Signal sonore périodique

Notre capacité à percevoir un son dépend de sa hauteur (aigu ou grave) et de son volume. Scientifiquement, à quoi correspondent ces deux caractéristiques ?

DOC 1 L'audiométrie

L'audiométrie est un examen médical qui consiste à faire écouter des signaux sonores périodiques de fréquences choisies. Pour chaque fréquence, on augmente le « volume » jusqu'à ce que le patient entende le son. En cas de trouble de l'audition, certaines fréquences peuvent être moins bien perçues.

Réalisation d'une audiométrie.



VOCABULAIRE

- Un signal est **périodique** s'il est constitué d'un **motif** qui se reproduit régulièrement. La durée de ce motif est appelée la **période *T* du signal**.
- Le **niveau d'intensité sonore *L***, exprimé en décibel (dB), traduit le niveau sonore perçu par une oreille humaine normale.

DOC 2 Un sonomètre

Un sonomètre mesure un niveau d'intensité sonore.



DOC 3 Oscilloscope et GBF

Un oscilloscope permet de visualiser, sur un écran gradué, la variation d'une tension au cours du temps. Il se branche dans un circuit électrique comme un voltmètre.



Une animation pour s'entraîner à utiliser l'oscilloscope et le GBF.

MESURES ET ANALYSES

Alimenter un haut-parleur à l'aide du GBF (en mode sinusoïdal) pour percevoir un son faible. Réaliser les branchements permettant de visualiser la tension du GBF sur l'oscilloscope (FICHE PRATIQUE ➥ p. 314).

1 **a.** Pourquoi peut-on dire que le signal étudié est périodique ?
b. Déterminer la période *T* du signal et noter la fréquence donnée par le GBF.

2 Augmenter progressivement la fréquence du GBF pour une valeur du « volume » fixée.
a. Caractériser en terme de fréquence un son grave et un son aigu.
b. Relever différents couples de valeurs (*f*, *T*) dans un tableur-grapheur. Est-il exact de dire que la fréquence est l'inverse de la période ?

3 Faire varier l'intensité sonore (le « volume »). Quelle(s) caractéristique(s) du signal visualisé à l'oscilloscope est (sont) alors modifiée(s) ?

4 En plaçant le sonomètre près de l'oreille, vérifier votre audition à différentes fréquences.

CONCLUSION

5 **a.** Quelle relation existe-t-il entre la fréquence et la période d'un signal périodique ?
b. Quelle est la différence entre l'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore ?

Je réussis si...

- **Je sais mesurer une période.**
- **Je sais relever la valeur d'une fréquence.**
- **J'ai identifié la relation mathématique qui relie la fréquence à la période.**
- **Je sais faire la différence entre une intensité sonore et le niveau d'intensité sonore.**

TP

COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental
RÉA Effectuer des procédures courantes

Perception du son



SITUATION-PROBLÈME

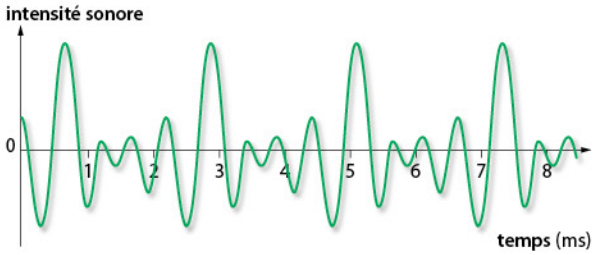
Dans un groupe de musiciens, plusieurs instruments peuvent jouer la même note et pourtant on ne perçoit pas exactement le même son.

Comment expliquer qu'une même note soit perçue différemment d'un instrument à l'autre ?

HYPOTHÈSE Proposer une hypothèse en la justifiant.

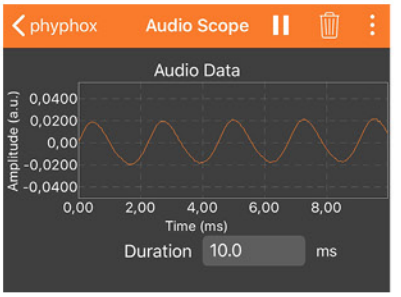
DOC 1 Enregistrement d'une note

Cet enregistrement est celui d'une note de musique émise par une trompette. Il a été effectué sur une durée assez courte à l'aide d'un microphone branché à un ordinateur qui dispose d'une carte son et d'un logiciel de traitement du son.

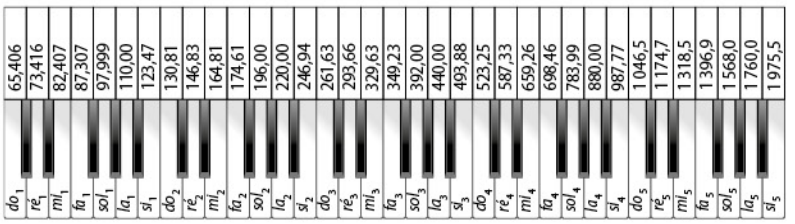


DOC 2 Utilisation du smartphone

Votre smartphone dispose d'un micro.
Avec une application adaptée, vous pouvez visualiser un signal sonore :



DOC 3 Fréquences de notes (en Hz)



POUR VISUALISER



Une animation pour visualiser les enregistrements de sons de deux instruments différents.

PISTES DE RÉSOLUTION

Enregistrer une même note produite par des instruments différents.

1 Montrer que la note jouée par chaque instrument est la même et qu'elle est identifiable.

2 Les enregistrements obtenus présentent-ils les mêmes « régularités » ?

CONCLUSION

3 Comparer les signaux sonores émis par deux instruments de musique différents jouant la même note.

VOCABULAIRE

- La **hauteur** d'un son correspond à la fréquence du signal.
- Le **timbre** d'un son est l'identité sonore d'un instrument de musique ou d'une voix.

Je réussis si...

- **Je sais réaliser des enregistrements de son.**
- **Je sais comparer deux signaux sonores en utilisant le vocabulaire adapté.**

PAGE Flashable

1 Émission et propagation d'un signal sonore

Émission d'un signal sonore

Un signal sonore est produit par la **vibration d'un objet**. La présence d'une **caisse de résonance** amplifie le signal (FIG. 1).



FIG. 1 La mise en vibration d'une corde de guitare classique produit un son, amplifié par la caisse de la guitare.

Propagation d'un signal sonore

Un signal sonore a besoin d'un **milieu matériel** pour se propager. Il ne se propage pas dans le vide.

L'air, l'eau, un métal... sont des milieux matériels, dans lesquels un signal sonore peut se propager. La propagation d'un signal sonore dans un milieu matériel est analogue à la propagation d'une déformation dans un ressort (FIG 2).

Un signal sonore est une **vibration qui se propage** de proche en proche dans le milieu de propagation.
Pour se propager, le signal sonore a besoin d'un milieu de propagation **élastique**. On dit aussi « **compressible** ».

La membrane d'un haut-parleur fait vibrer l'air environnant. La vibration se propage de proche en proche jusqu'à nos oreilles.

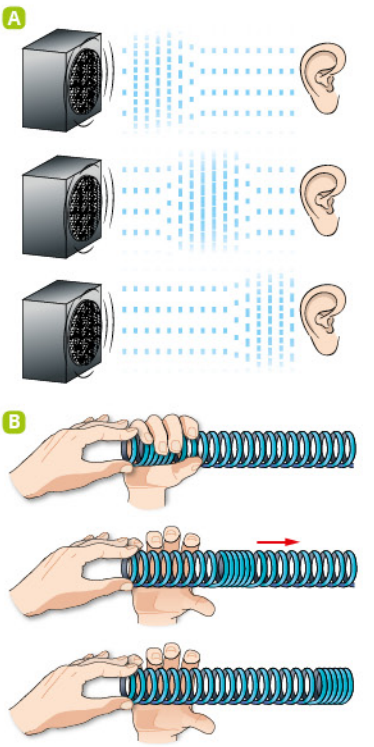


FIG. 2 La propagation d'un signal sonore dans l'air A est analogue à la propagation d'une déformation dans un ressort B.

Vitesse de propagation

Un signal sonore ne se propage pas instantanément mais il a une vitesse de propagation.

La relation entre la vitesse v de propagation de l'onde sonore, la distance d parcourue par l'onde sonore et la durée Δt de propagation est la suivante :

vitesse de propagation du signal sonore (en m · s⁻¹) ← $v = \frac{d}{\Delta t}$ → distance parcourue par le signal sonore (en m) ; durée de propagation du signal sonore (en s)

La vitesse de propagation d'un signal sonore **dépend du milieu** de propagation (FIG. 3) et de sa température. Plus le milieu de propagation est dense, plus la vitesse de propagation est importante. Ainsi, elle est plus importante dans un solide que dans l'air.

Milieu de propagation à 20 °C	Vitesse du son (en m · s⁻¹)
air	340
eau	1 500
cuivre	3 560
fer	5 130

FIG. 3 Exemples de vitesses de propagation suivant les milieux.

2 Signaux sonores périodiques

Visualisation d'un signal périodique

On peut faire l'acquisition d'un signal sonore par l'intermédiaire d'un capteur adapté comme un microphone. On obtient alors un signal électrique qu'il est possible de visualiser à l'aide d'un dispositif d'acquisition.

Un signal sonore est **périodique** si son enregistrement présente la répétition régulière d'un même **motif** (FIG. 4).

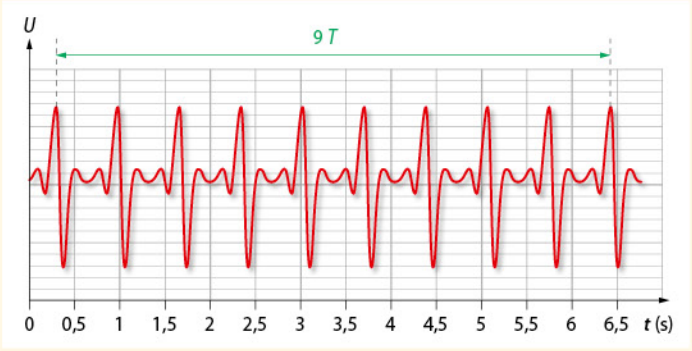
Période d'un signal périodique

La **période** T d'un signal sonore périodique (FIG. 4) correspond à la **durée du motif**. Elle s'exprime en **seconde** (s).

MESURES ET INCERTITUDES FICHE ➥ p. 318

Pour augmenter la précision de la mesure d'une période, il faut faire la moyenne sur le plus grand nombre possible de motifs représentés. La valeur de la période est alors obtenue en divisant la durée totale des « n » périodes mesurées par le nombre « n ».

EXEMPLE



Sur le document, 1 graduation correspond à 0,5 s.
$9T = 12{,}2 \times 0{,}5 = 6{,}1$ s.
Donc $T = 0{,}68$ s.

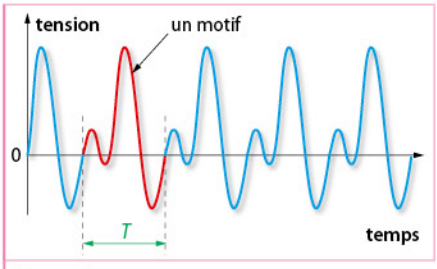


FIG. 4 Répétition régulière d'un motif et période T pour un signal sonore enregistré à l'aide d'un dispositif d'acquisition.

Fréquence d'un signal périodique

La **fréquence** f d'un signal sonore périodique correspond au nombre de motifs enregistrés en une seconde (FIG. 5). Elle s'exprime en **hertz** (Hz).
La fréquence est l'inverse de la période. On a la relation suivante :

fréquence (en Hz) → $f = \frac{1}{T}$ ← période (en s)

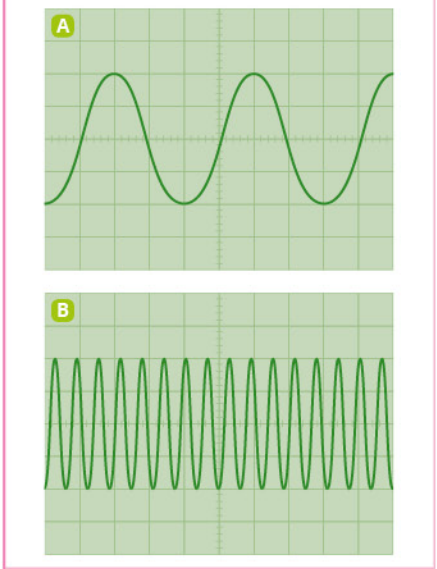


FIG. 5 Plus il y a de motifs en une seconde, plus la fréquence est élevée. Base de temps en s · div^{-1} ; sensibilité verticale en V · div^{-1} ; réglage identique.

3 Perception d'un son

Domaines de fréquence

Le **domaine d'audibilité** d'une oreille humaine normale est compris entre 20 Hz et 20 kHz. En dessous de 20 Hz, on parle d'**infrason** et au-dessus de 20 kHz d'**ultrason** (FIG 6).

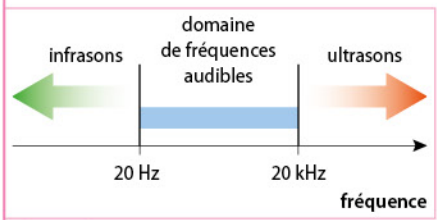


FIG. 6 Domaines de fréquences des sons chez l'humain.

Hauteur d'un son

Pour produire la note *la* de fréquence 440 Hz, la corde de guitare va réaliser 440 vibrations par seconde qui vont se propager dans l'air.

La **hauteur** d'un son correspond à la **fréquence** du signal sonore.

POUR VISUALISER



Une vidéo sur la fréquence, la hauteur et le timbre d'un son.

La hauteur du son a une conséquence sur sa perception.

Plus la fréquence d'un signal sonore est élevée, plus le son produit est **aigu**.
Plus la fréquence d'un signal sonore est faible, plus le son produit est **grave**.

Timbre d'un son

Les enregistrements d'une même note jouée par des instruments de musique différents ont la même période, donc la même fréquence, mais des motifs différents par leur allure (FIG. 7). Le son est alors perçu différemment. Le **timbre** est l'identité sonore d'un instrument de musique ou d'une voix.

Le **timbre** d'un son dépend de la forme du signal sonore.

APPROFONDISSEMENT SCIENTIFIQUE

Un son peut être qualifié de **son pur** (c'est le cas pour un diapason par exemple), ou de **son complexe**, comme celui d'une flûte ou d'une guitare.
À l'aide d'un logiciel adapté, on peut obtenir la décomposition en fréquences d'un son. Un son pur se traduit par une fréquence unique (appelée fréquence fondamentale) et un signal de son complexe peut être décomposé en signaux de différentes fréquences (la fréquence fondamentale, mais aussi d'autres fréquences appelées des harmoniques).

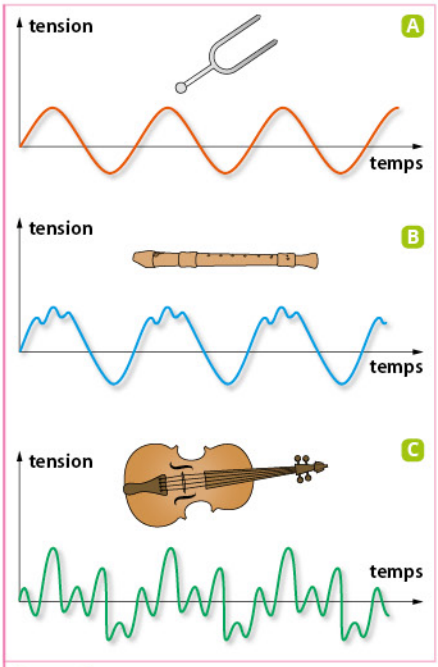


FIG. 7 Une même note jouée par trois instruments de musique différents.

Intensité d'un son

Les logiciels de traitement du son permettent d'analyser les signaux électriques transmis par un microphone branché à un ordinateur. La courbe obtenue traduit les vibrations sonores.

L'**intensité sonore** est reliée à l'**amplitude** du signal sonore (FIG 8).

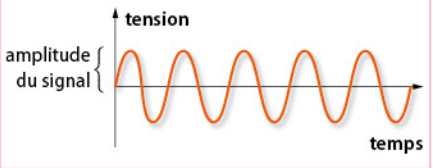


FIG. 8 Amplitude d'un signal.

Niveau d'intensité sonore

Quand on double l'intensité sonore, l'oreille perçoit un son plus fort, mais il n'est pas perçu pour autant deux fois plus fort. Pour traduire cette perception par l'oreille d'un son, on utilise le **niveau d'intensité sonore**, qui est lié à l'intensité sonore.

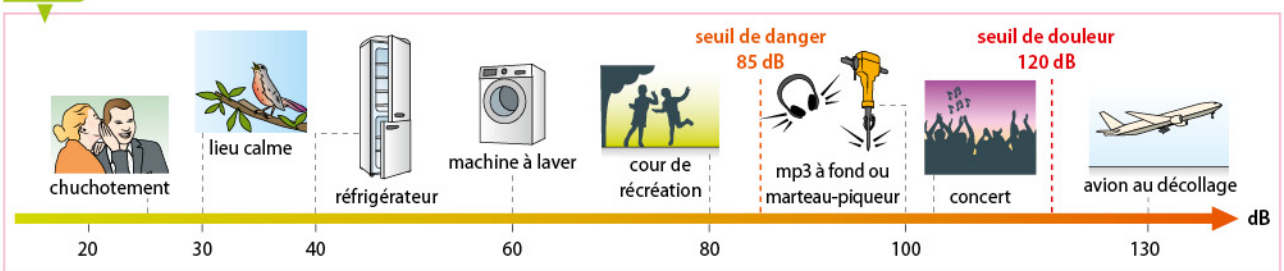
Le **niveau d'intensité sonore**, exprimée en **décibel** (**dB**), traduit le niveau sonore perçu par une oreille normale humaine.

Le niveau d'intensité sonore se mesure à l'aide d'un sonomètre (FIG. 9).
Un son dont le niveau sonore est trop important peut engendrer une perte d'audition, partielle ou totale, irréversible. Dès que l'on se trouve exposé à plus de 85 dB sur une durée importante, il est nécessaire de se protéger (FIG. 10).



FIG. 9 Un sonomètre.

FIG. 10 Échelle de niveaux d'intensité sonore.

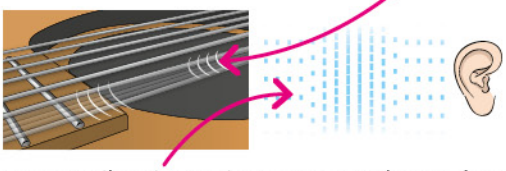


L'ESSENTIEL À RETENIR

Le vocabulaire à retenir
Les relations à connaître et savoir utiliser

1 Émission et propagation d'un signal sonore

- Un **signal sonore** est produit par la **vibration** d'un objet.



C'est une vibration qui se propage de proche en proche dans un **milieu matériel**, qui doit être « **compressible** ».

Le son ne se propage pas dans le vide.

- $v = \frac{d}{\Delta t}$

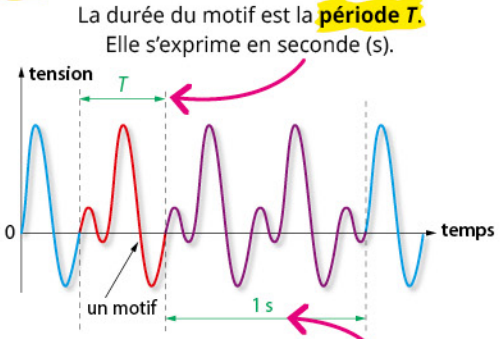
vitesse de propagation du son (en **m · s⁻¹**) ← v ; d → distance parcourue par le son (en **m**) ; Δt → durée de propagation du son (en **s**)

La valeur de la vitesse de propagation d'un signal sonore dépend notamment du milieu de propagation et de la température.

Dans l'air, à 20 °C, $v_{son} = 340$ m · s^{-1}.

2 Signaux sonores périodiques

- Un signal sonore est **périodique** si son enregistrement présente la répétition régulière d'un même **motif**.



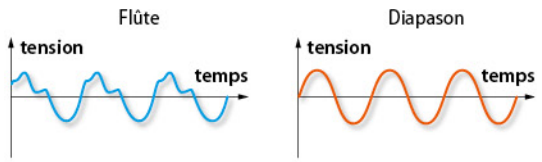
Le nombre de motifs enregistrés en une seconde est la **fréquence *f*** du signal périodique qui s'exprime en **hertz (Hz)**.

- La fréquence et la période d'un signal périodique sont liées par la relation :

fréquence (en **Hz**) ← $f = \frac{1}{T}$ → période (en **s**)

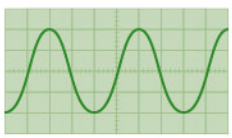
3 Perception du son

- Pour une même note jouée par deux instruments de musique différents, les signaux ont même période, donc même fréquence :

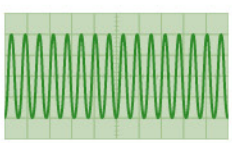


Mais les motifs sont différents par leur allure. Le signal sonore est alors perçu différemment. Les deux sons n'ont pas le même **timbre**.

- La **hauteur** d'un son correspond à la fréquence du signal sonore correspondant.

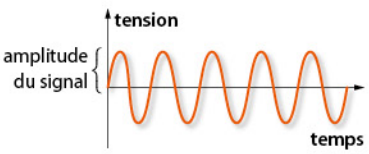


Fréquence faible : son grave.

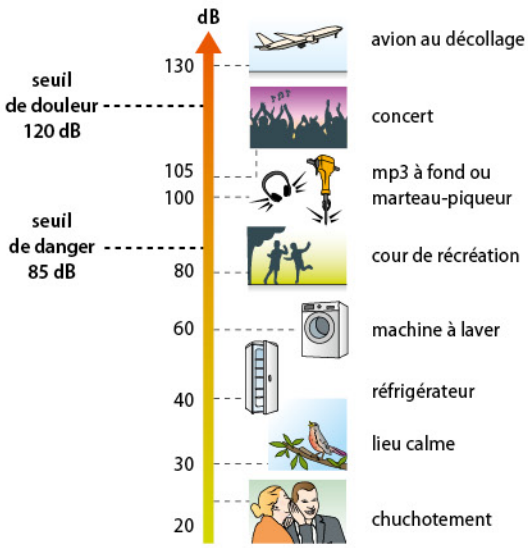


Fréquence élevée : son aigu.

- L'**intensité sonore** est proportionnelle à l'amplitude du signal sonore.



- Le **niveau d'intensité sonore**, exprimé en **décibel (dB)**, traduit la perception d'un son par l'oreille humaine.



Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

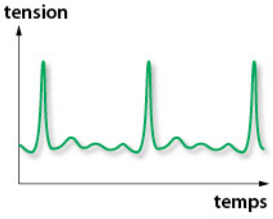
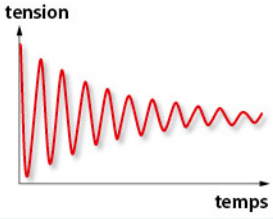
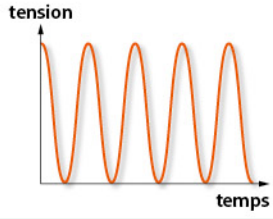
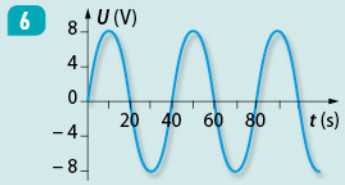
DONNÉE

- Vitesse du son dans l'air à 20 °C : $v_{son} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

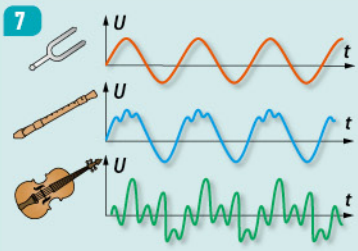
1 Émission et propagation d'un signal sonore

	A	B	C
1 L'émission d'un signal sonore :	ne peut se faire qu'avec un objet.	peut s'expliquer par la vibration d'un objet.	se traduit par la propagation d'une vibration.
2 Un signal sonore est une vibration qui peut se propager :	dans le vide.	dans un milieu matériel.	dans un milieu « compressible ».
3 La vitesse de propagation d'un signal sonore dépend :	du milieu.	de la température.	du son émis.
4 En 3 secondes, un signal sonore dans l'air s'est propagé sur une distance :	d'environ 100 m.	d'environ 1 km.	d'environ 3 m.

2 Signaux sonores périodiques

	A	B	C
5 Un signal périodique peut avoir l'allure suivante :			
6 	Le signal est périodique.	Sa période T est égale à 20 s.	Sa fréquence est égale à 0,025 Hz.

3 Perception du son

	A	B	C
7 	Les sons émis ont la même fréquence.	Les sons émis ont la même hauteur.	Les sons émis ont le même timbre.
8 Le niveau d'intensité sonore :	s'exprime en décibel.	traduit l'amplitude du signal sonore.	est nul quand l'oreille normale ne perçoit rien.

Acquérir les notions

1 Émission et propagation d'un signal sonore

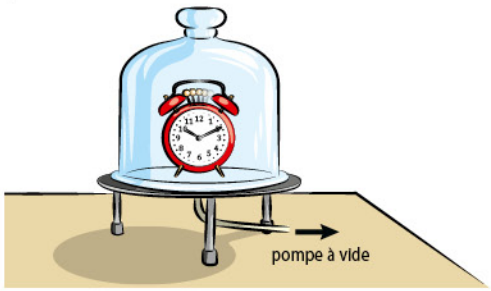
Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Émission et propagation d'un signal sonore ➥ EXERCICES 9 à 11	• Savoir comment est produit un signal sonore. • Identifier une caisse de résonance. • Identifier le milieu de propagation. • Expliquer la propagation d'un signal sonore.
Vitesse de propagation d'un signal sonore ➥ EXERCICES 12 à 15	• Connaître l'expression $v = d/\Delta t$. • Exprimer chaque grandeur en fonction des deux autres. • Associer à chaque grandeur son nom et son unité. • Connaître les grandeurs qui influent sur la vitesse de propagation du son.

9 Émission ou non d'un signal sonore

1. Indiquer dans quelle(s) situation(s) un signal sonore sera émis, en justifiant la réponse.
a. Un stylo immobile sur une table.
b. Une règle métallique qui tombe sur le sol.
c. Une corde de violon frottée par un archet.
2. Dans quel cas le son est-il amplifié ? Comment l'expliquer ?

10 La cloche à vide

En cours de physique, on réalise un dispositif expérimental pour faire le vide sous une cloche en verre contenant un réveil qui sonne.



1. Que constate-t-on quand l'air se raréfie sous la cloche ?
2. Comment expliquer cette observation ?

11 Une flamme qui vibre

Une flamme de bougie vibre lorsqu'elle est placée devant le haut-parleur d'une enceinte qui émet de la musique.

Comment peut-on expliquer ce phénomène ?



12 Éruption d'un volcan

Lors de l'éruption d'un volcan, un observateur entend le bruit généré par l'éruption de laves avec un décalage de plusieurs secondes par rapport ce qu'il observe. Il estime ce décalage à 5 s.

Donnée : *la vitesse du son dans l'air à 20 °C est* $v_{son} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Comment expliquer ce décalage ?
2. À quelle distance du volcan se trouve l'observateur ?

13 Ambiance western

Dans les westerns, il n'est pas rare de voir des bandits qui essaient de repérer l'arrivée d'un train en collant leur oreille sur les rails.



Quel est l'intérêt pour les bandits d'adopter ce comportement ?

14 Vitesses du son

Le tableau ci-dessous renseigne sur les valeurs que peut prendre la vitesse d'un signal sonore suivant le milieu de propagation.

Milieu	Vitesse du son (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
air à 0 °C	330
air à 20 °C	340
eau à 20 °C	1 500
fer à 20 °C	5 130

1. Quels semblent être les deux paramètres qui influencent la valeur de la vitesse de propagation d'un signal sonore ?
2. Pour chacun des trois milieux de propagation (à 20 °C), calculer :
a. la distance parcourue par le signal sonore pendant 10 s ;
b. la durée de propagation du signal sonore pour parcourir 1 km.

15 Écho sur une paroi

Une paroi rocheuse peut faire écho.

Donnée :
La vitesse du son dans l'air à 20 °C est $v_{son} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Un randonneur lance un appel et l'entend revenir 5 secondes après. À quelle distance de la paroi est-il ?
2. L'oreille ne peut distinguer deux sons identiques s'ils sont produits dans un intervalle de temps inférieur à 0,1 s. Quelle est la distance minimale à laquelle le randonneur doit se situer pour percevoir un écho ?

2 Signaux sonores périodiques

Notions du programme

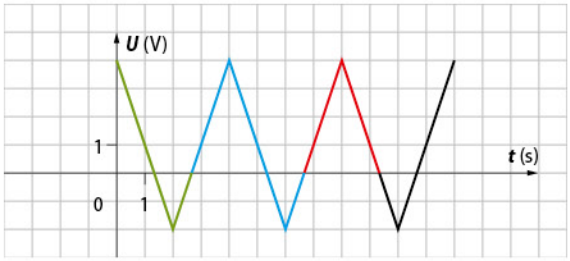
Signaux sonores périodiques : période, fréquence
➥ EXERCICES 16 à 20

Ce qu'on attend de moi

- Définir un signal périodique et déterminer sa période.
- Définir une fréquence et connaître la relation $f = 1/T$.

16 Enregistrement d'un signal

On considère l'enregistrement d'un signal suivant :



1. a. S'agit-il d'un signal périodique ?
b. Parmi les motifs vert, bleu et rouge, lequel se répète ?

2. La période de ce signal est :
a. 12 s **b.** 4 s **c.** 2 s

3. La fréquence de ce signal est :
a. 0,25 Hz **b.** 0,5 Hz **c.** 2 Hz

17 Période et fréquence

On considère les enregistrements suivants effectués dans les mêmes conditions :

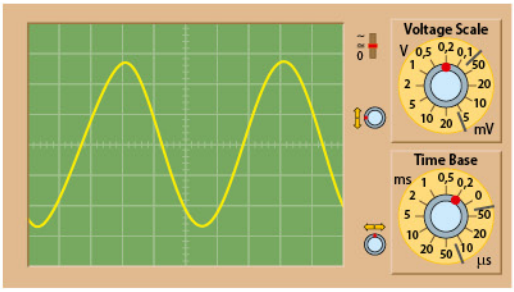


1. Correspondent-ils à des signaux périodiques ?

2. Dans quel cas la fréquence du signal est-elle la plus élevée ? Justifier la réponse.

18 Oscillogramme

Voici un signal électrique enregistré à l'aide d'un oscilloscope, appareil qui permet de « visualiser » l'évolution d'une tension au cours du temps.



La base de temps de l'oscilloscope donne l'échelle horizontale (ici en ms · div^{-1}).

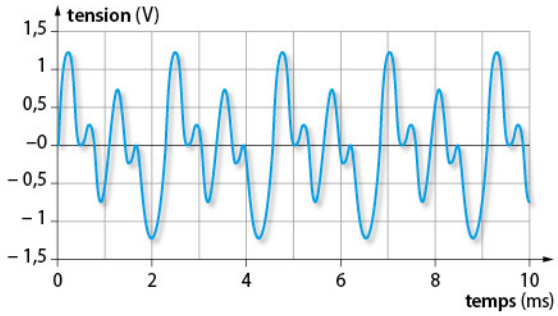
1. Pourquoi peut-on dire que ce signal est périodique ?

2. a. Déterminer la période du signal.
b. En déduire sa fréquence.

19 Enregistrement d'un signal sonore



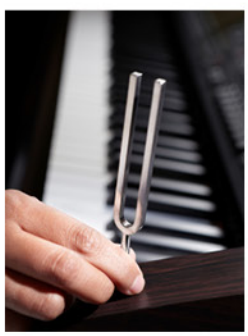
À l'aide d'un microphone branché à un ordinateur et d'un logiciel de traitement, on peut « visualiser » l'enregistrement d'un signal sonore perçu au niveau du microphone. On observe la courbe suivante :



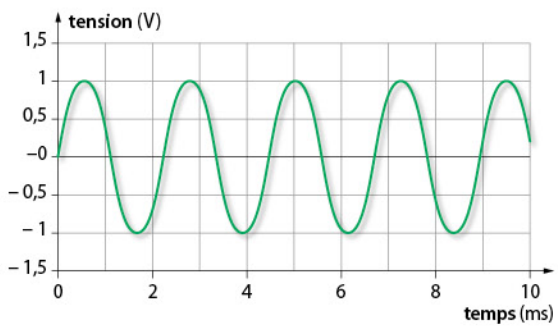
1. Pourquoi peut-on affirmer qu'il s'agit d'un signal sonore périodique ?

2. a. Déterminer la période du signal en utilisant la méthode la plus précise possible.
b. En déduire la fréquence du signal.

20 Son émis par un diapason



En musique, le diapason est un dispositif qui produit un son dont la fréquence est fixe et qui correspond à une note de référence. Cette note permet à un musicien d'accorder son instrument de musique.
On enregistre le son émis par un diapason qui donne le *la* à 440 Hz. À l'aide d'un logiciel de traitement, on observe la courbe suivante.



1. Que représente la valeur 440 Hz associée à la note du diapason ?

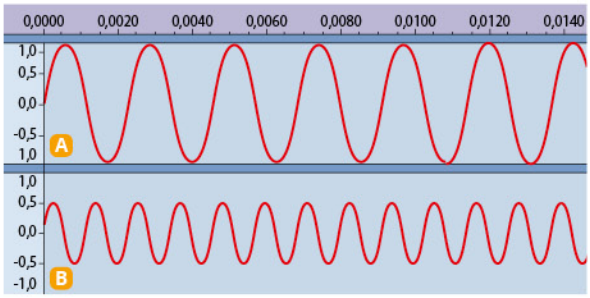
2. a. Déterminer la période du signal enregistré.
b. En déduire sa fréquence et dire si elle caractérise bien la note du diapason.

3 Perception du son

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Perception du son : hauteur, timbre, amplitude, intensité sonore ➥ EXERCICES 21 22 et 24	• Connaître les domaines de fréquences (audibles, infrasons et ultrasons). • Définir la hauteur d'un son. • Définir le timbre d'un son. • Définir l'intensité sonore.
Niveau d'intensité sonore Échelle de niveau d'intensité sonore ➥ EXERCICES 23 et 25	• Connaître le lien entre intensité sonore et niveau d'intensité sonore. • Définir le niveau d'intensité sonore et connaître quelques ordres de grandeurs de niveaux d'intensité sonore. • Citer les dangers d'un niveau sonore trop élevé.

21 Enregistrements de sons

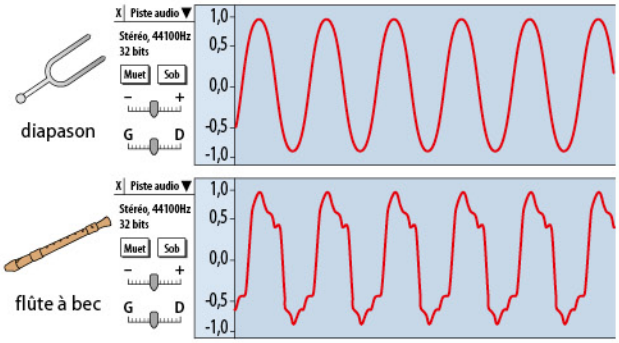
On enregistre deux sons. Un logiciel d'acquisition nous permet de les comparer :



1. Lequel des deux sons est le plus aigu ? Justifier la réponse.
2. Lequel a une intensité sonore plus élevée ? Justifier la réponse.
3. Sachant que ce sont des sons audibles, dans quel domaine de fréquences se situent-ils ?

22 Et pourtant c'est la même note

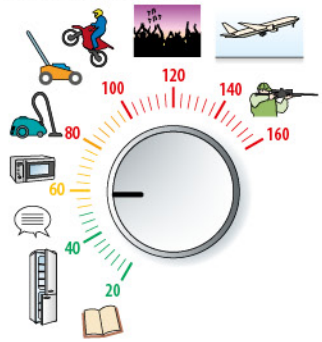
On enregistre la même note mais jouée par deux instruments de musique différents. Un logiciel d'acquisition nous permet de les comparer.



1. Pourquoi dit-on que ces deux sons ont la même hauteur mais qu'ils ont un timbre différent ?
2. Ont-ils la même intensité sonore ?

23 Échelle de niveaux d'intensité sonore

Le schéma ci-contre représente une échelle de niveaux d'intensité sonore.

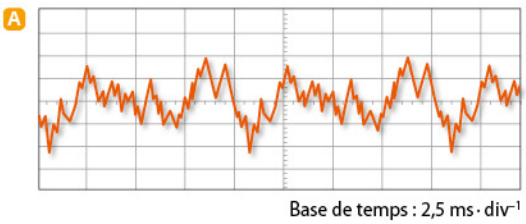


1. Quelle est l'unité de cette grandeur ?
2. Y a-t-il un lien avec l'intensité sonore ?
3. À quel objet correspond le son au seuil de danger ?

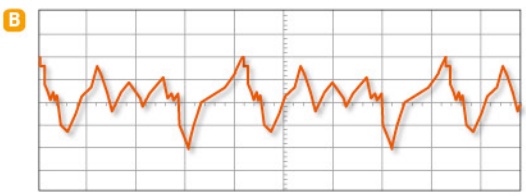
24 Corde de violoncelle

Un violoncelliste frotte avec son archet l'une des cordes de son instrument de musique appelée « corde de sol ». Le son produit par la corde est enregistré à l'aide d'un microphone branché à un ordinateur. À l'aide d'un logiciel de traitement du son, on visualise le signal sonore enregistré A.

Par une autre technique appelé « pizzicato », le violoncelliste pince maintenant la corde de sol pour la mettre en vibration. On visualise alors un signal différent B.



Base de temps : 2,5 ms · div^{-1}



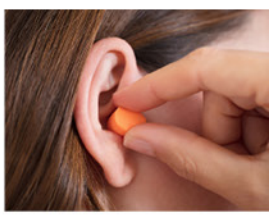
Base de temps : 2,5 ms · div^{-1}

L'échelle verticale est la même pour les deux enregistrements.

1. L'intensité sonore est-elle différente entre ces deux enregistrements ? Justifier la réponse.
2. Indiquer si la hauteur du son est modifiée.
3. Quelle caractéristique du son a été modifiée ?

25 Les boules « Quies »

Les protections Quies® en mousse permettent de protéger les oreilles du bruit en diminuant les nuisances sonores de 35 dB en moyenne.



1. De quelle grandeur physique le décibel (dB) est-il l'unité ?
2. Quelle différence fait-on entre cette grandeur et l'intensité sonore ?
3. Rappeler les risques lorsque cette grandeur est trop importante.

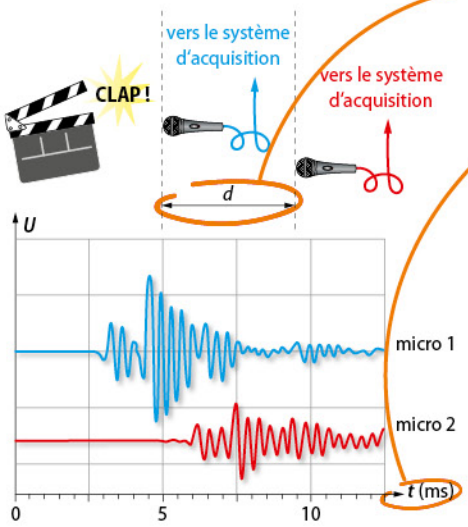
Exercice résolu EN AUTONOMIE

26 Détermination de la vitesse du son dans l'air

Afin de déterminer la vitesse du son dans l'air, on réalise le dispositif expérimental ci-contre.
Les deux microphones sont séparés d'une distance *d*.
On enregistre le signal sonore perçu à l'aide des microphones et d'un logiciel de traitement.

Donnée : *d* = 1,00 m.

1. **Expliquer** ce qui est observé au niveau de l'enregistrement.
2. **Déterminer** la vitesse du son dans l'air et la **comparer** à la valeur donnée comme référence qui est de 340 m · s^{-1} à 20 °C.



LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- La **distance** parcourue par le signal sonore entre les deux microphones est connue.
- L'enregistrement est donné avec une échelle de temps qui peut renseigner sur la **durée** de propagation du signal sonore.

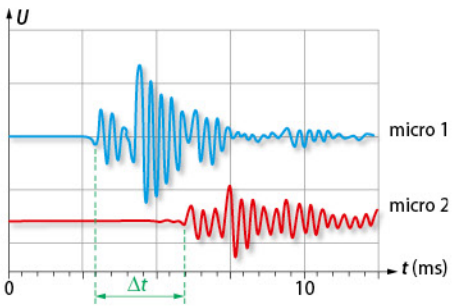
LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Expliquer** : donner une justification à une observation ou une affirmation.
- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **Comparer** : mettre en regard deux résultats pour en identifier les différences ou les similitudes.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. On observe un décalage dans le temps entre les deux signaux sonores enregistrés. Ce décalage correspond à la durée de propagation du son dans l'air.

2. On mesure cette durée Δt sur l'enregistrement. $\Delta t = 5{,}60 - 2{,}70$.
Donc $\Delta t = \mathbf{2{,}90\ ms}$.
On en déduit la vitesse de propagation du son.
On prendra $\Delta t = 0{,}0029$ s :
$v = \frac{d}{\Delta t}$ soit $\boldsymbol{v = 340\ m \cdot s^{-1}}$.
On retrouve bien la valeur de référence.



QUELQUES CONSEILS

2. Pour déterminer la vitesse en m · s^{-1}, il faut exprimer la durée en s.
On veillera au nombre de chiffres significatifs (ici 3).

EXERCICE SIMILAIRE

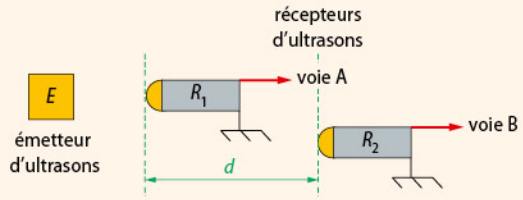
27 Détermination d'une vitesse du son

On réalise un dispositif expérimental A en utilisant un émetteur d'ultrasons qui peut émettre des signaux sonores de très hautes fréquences non audibles par l'Homme et deux récepteurs ultrasonores, distants de *d*, reliés à un dispositif d'acquisition.

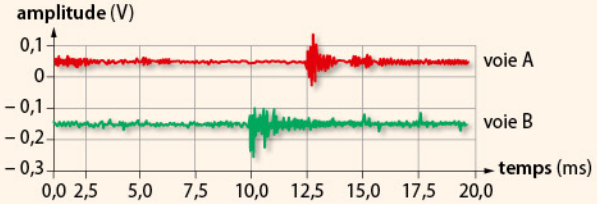
Données : *d* = 3,75 m et tableau ci-dessous.

Milieu à 20 °C	*Vitesse du son (en m · s^{-1})*
air	*340*
eau	*1 500*

1. Déterminer la vitesse du signal sonore.
2. En déduire la nature du milieu de propagation.



A Dispositif expérimental



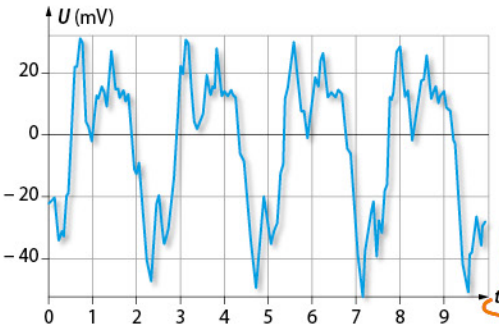
B Signaux reçus au niveau des récepteurs

Exercice résolu EN AUTONOMIE

MESURES ET INCERTITUDES

28 Enregistrement d'un son de violon

Avant un concert, un ingénieur du son réalise l'enregistrement d'une note jouée par un violoniste (A) à l'aide d'un microphone relié à un système informatique.



A Enregistrement numérique du son d'un violon

Note/octave	1	2	3	4
fa	87	175	349	698
fa# ou *sol*♭	92	185	370	740
sol	98	196	392	784
sol# ou *la*♭	104	208	415	831
la	110	220	440	880
la# ou *si*♭	117	233	466	932
si ou *do*♭	123	247	494	988

B Fréquence des notes (en Hz)

1. **Déterminer** la période de la note jouée par le violon en portant une attention particulière à la précision de la mesure.

2. **En déduire** la note jouée.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

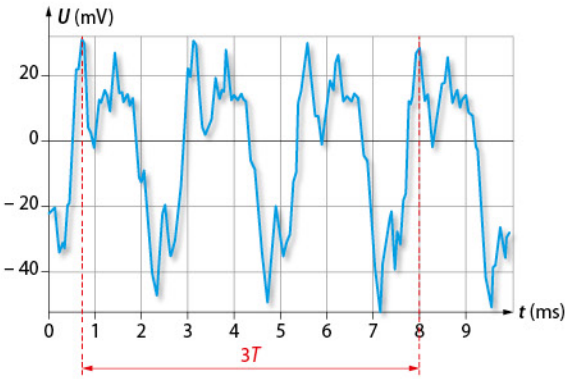
- L'enregistrement est donné avec une échelle de temps qui peut renseigner sur les caractéristiques des sons émis : **période** du signal sonore et **fréquence** associée.
- Le tableau permet d'associer une **fréquence** à une note de musique.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.
- **En déduire** : utiliser le résultat précédent pour répondre.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Pour augmenter la précision de la mesure d'une période, on mesure $3T$:
$3T = 8{,}0 - 0{,}8$
$3T = 7{,}2$ ms
donc $\boldsymbol{T = 2{,}4}$ **ms**.



2. On sait que la fréquence est l'inverse de la période, donc $f = 1/T$.
On prendra $T = 0{,}0024$ s.
Donc $\boldsymbol{f = 420}$ **Hz**.
La fréquence la plus proche de cette fréquence mesurée est celle du ***sol*# 3** (ou *la*♭ *3*).
On en déduit qu'il s'agit de la note jouée.

QUELQUES CONSEILS

1. Le plus grand nombre possible de motifs visibles ici est 3, donc on mesure $3T$. Se placer entre deux maxima du signal facilite la mesure.

2. Pour déterminer la fréquence en Hz, il faut exprimer la période en s. On veillera au nombre de chiffres significatifs (ici 2).

EXERCICE SIMILAIRE

29 Enregistrement d'un son d'une guitare

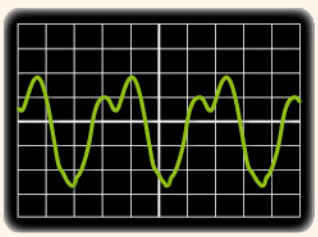
Le son d'une corde de guitare est enregistré (A) à l'aide d'un microphone relié à un ordinateur.

1. Déterminer la période de la note jouée par la guitare en portant une attention particulière à la précision de la mesure.

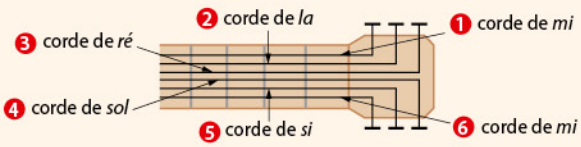
2. En déduire quelle est la corde qui a vibré.

Corde	1	2	3	4	5	6
f (en Hz)	82,4	110,0	146,8	196,0	246,9	329,5
Note	*mi*	*la*	*ré*	*sol*	*si*	*mi*

B Fréquence de la note pour chaque corde de la guitare (en Hz)



A Enregistrement du son de la guitare
base de temps : 2 ms · div^{-1}
sensibilité verticale : 200 mV · div^{-1}

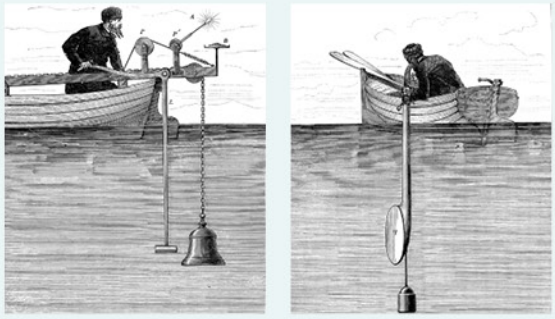


Croiser les notions

30 Une première mesure HISTOIRE DES SCIENCES

Daniel Colladon est un ingénieur suisse du XIXe siècle qui mit au point le premier dispositif capable de réceptionner des sons sous l'eau et donc de mesurer la vitesse de propagation d'un signal sonore dans l'eau.

Le dispositif est représenté ci-dessous :



« En frappant la cloche, la lance s'abaisse sur la poudre disposée sur la plaque et l'enflamme, formant ainsi un signal lumineux à l'attention du bateau récepteur.
Le bruit de la cloche s'écoute sous l'eau grâce à un long tube cylindrique en fer-blanc recourbé à la partie supérieure et terminé par un petit orifice que l'on applique à l'oreille. [...]
Le tube est maintenu dans sa position verticale grâce à un poids accroché à sa partie inférieure. »

Daniel Colladon, *Souvenirs et Mémoires*, Genève, 1893
Bibliothèque du musée d'Histoire des sciences

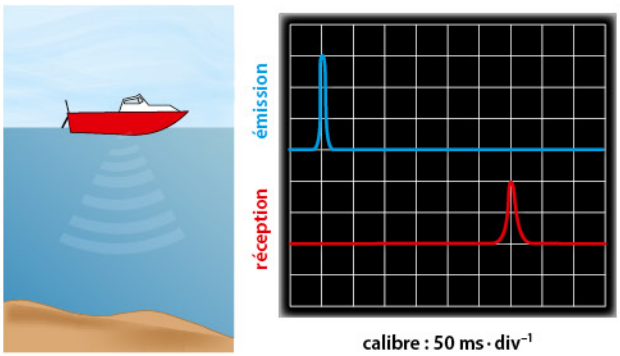
1. Expliquer comment le signal sonore est émis, notamment en identifiant ce qui fait office de caisse de résonance, comment il se propage et comment il est capté.

2. Quelles opérations doit réaliser la personne sur le bateau récepteur ?

3. a. Comment de cette expérience a-t-on pu faire la première mesure de la vitesse de propagation du son dans l'eau ?
b. Être critique par rapport au dispositif mis en œuvre.

31 Principe du sonar

Le sonar est constitué d'un émetteur (E) et d'un récepteur (R) sonores qui sont placés l'un à côté de l'autre. On détermine la distance qui sépare le couple émetteur-récepteur d'un objet en mesurant la durée de propagation du signal, très bref, entre son émission et sa réception.



Donnée :
La vitesse du son dans l'eau à 20 °C est $v_{son} = 1\,500\ m \cdot s^{-1}$.

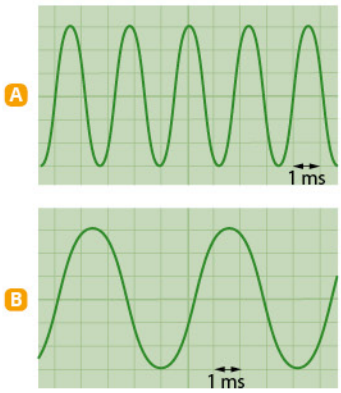
1. a. Schématiser le dessin de principe et repérer sur le schéma la distance *D* parcourue par le signal et la distance *d* qui sépare le fond marin du couple émetteur-récepteur.
b. Quelle relation lie *D* et *d* ?

2. À l'aide de l'enregistrement des signaux par le sonar, déterminer la profondeur d'eau présente sous la coque du bateau (où se trouve le couple émetteur-récepteur du sonar).

JE VÉRIFIE QUE J'AI...
- bien repéré l'échelle de temps ;
- exprimé la durée Δt en s.

32 En avant la musique !

Un musicien possède deux diapasons dont il ne connaît pas la note. À l'aide d'un microphone, il réalise l'acquisition du son de chacun d'eux. Voici les tracés obtenus :





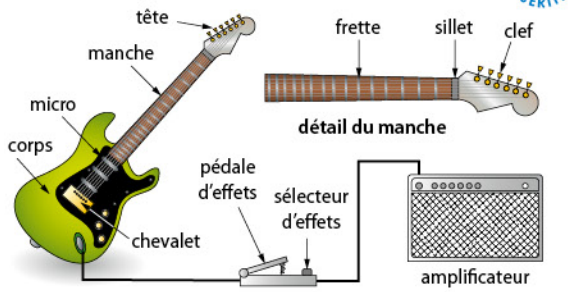
1. a. Expliquer l'existence d'un caisson présent parfois sous un diapason. ►
b. Pourquoi peut-on dire que l'onde sonore issue du diapason est une onde périodique ?

2. a. Pour chaque signal enregistré, déterminer la période et la fréquence, sachant que l'échelle horizontale est de $1\ ms \cdot div^{-1}$.
b. Associer alors à chaque diapason la note correspondante à l'aide du tableau ci-après.

	Fréquence (en Hz)			
Note	**Octave 1**	**Octave 2**	**Octave 3**	**Octave 4**
do	65	131	262	523
ré	73	147	294	587
mi	82	165	330	659
fa	87	175	349	698
sol	98	196	392	784
la	110	220	440	880
si	123	247	494	988

33 Analyse du son d'une guitare électrique

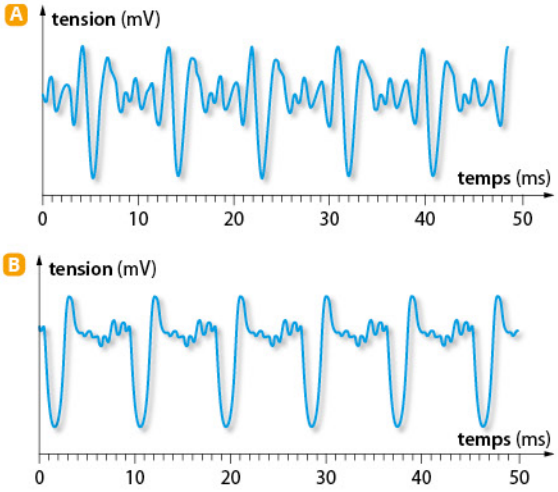
MESURES ET INCERTITUDES



Une guitare électrique est pourvue d'un corps, le plus souvent plein, autorisant des formes originales. Elle produit des sons grâce à des micros captant et transformant les vibrations des cordes en signal électrique. Ce signal peut ensuite être modifié électriquement, par divers accessoires comme des pédales à effets, puis amplifié.

Une guitare basse électrique fonctionne sur le même principe, avec des notes plus graves. La diversité des effets possibles avec une guitare électrique en fait un instrument polyvalent et musicalement riche.

Les figures qui suivent présentent les signaux enregistrés par une note de musique jouée respectivement par une guitare électrique **A** et par une guitare basse **B**.



1. Comment peut-on expliquer qu'une guitare électrique n'a pas besoin d'une cavité résonante ?

2. On considère le signal électrique **A**.
a. Déterminer la période T du signal en précisant la méthode utilisée.
b. En déduire sa fréquence f.

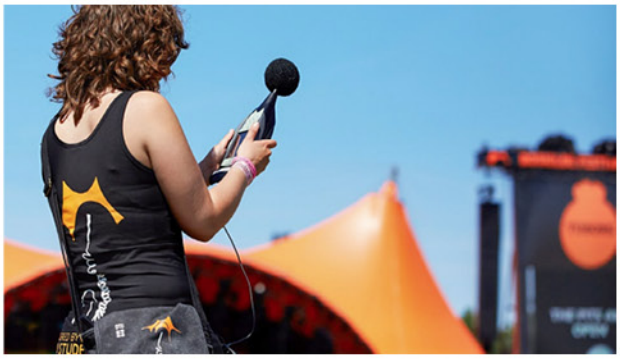
JE VÉRIFIE QUE J'AI...
- bien compté le nombre de motifs ;
- exprimé T en seconde avant de calculer f.

3. a. Qu'appelle-t-on hauteur d'un son ? À partir des enregistrements, comparer la hauteur des deux sons.
b. Les sons émis par les deux instruments ont-ils le même timbre ? Justifier la réponse.

34 Niveau sonore dans un concert

DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

Lors d'un concert, le niveau d'intensité sonore mesuré à l'aide d'un sonomètre à 3 m d'une enceinte est de 109 dB.



DÉMARCHE AVANCÉE

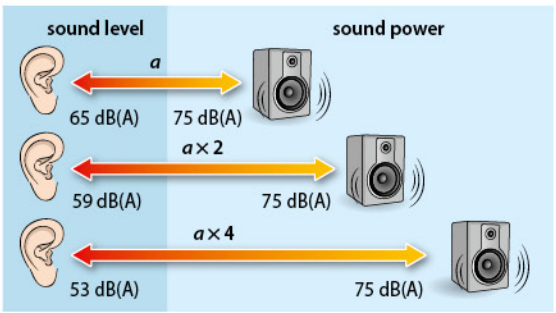
Sachant que lorsqu'on double la distance à la source le niveau sonore diminue de 6 dB, à quelle distance faut-il au final être de l'enceinte précédente pour ne pas atteindre le seuil de danger pour l'oreille humaine ?

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. a. Rappeler le seuil de danger pour l'oreille humaine et les risques à le dépasser.
b. De combien le niveau sonore précédent est-il au-dessus de cette valeur ?

2. Quand on double la distance à la source le niveau sonore diminue de 6 dB.
a. Combien de fois dont-on doubler la distance à l'enceinte pour abaisser le niveau sonore à la valeur souhaitée ?
b. En déduire à quelle distance de l'enceinte on doit se placer.

35 Sound level or sound power?



According to the picture:

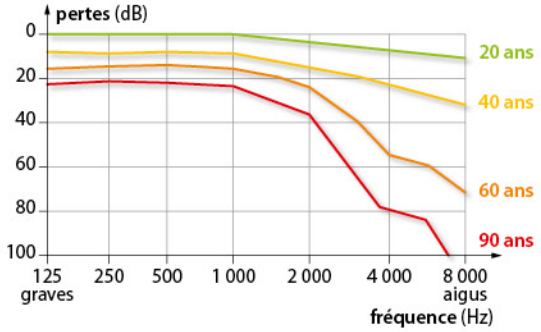
1. a. With which quantity is the sound emitter associated?
b. With which quantity is the sound detector associated?

2. a. On what does the sound level depend?
b. How does the sound level change when the distance between the emitter and the detector is doubled?

36 Audiométrie

Un audiogramme est un graphique qui donne une description de la capacité auditive d'une personne.

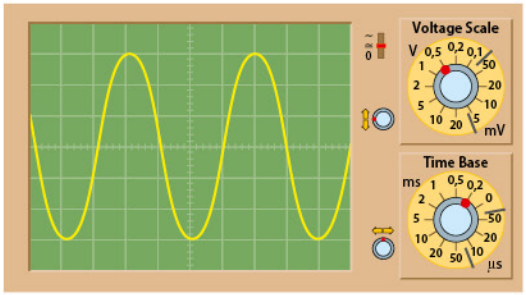
Le graphique suivant présente des seuils auditifs types pour différents âges.



Pour une conversation normale, les fréquences de la voix sont comprises entre 500 Hz et 3 000 Hz.

Lors d'un test d'audition, le patient écoute des sons de fréquences différentes à l'aide d'un casque audio dans lequel se trouvent des membranes similaires à ceux d'un haut-parleur.

1. Expliquer comment les sons sont émis et comment ils se propagent jusqu'aux tympans.
2. L'onde sonore générée est-elle périodique ? Justifier.
3. Quelle est la grandeur physique qui est mesurée lors d'un examen d'audiométrie ?
4. Le signal électrique suivant fait vibrer les membranes du casque à une fréquence équivalente à la sienne :



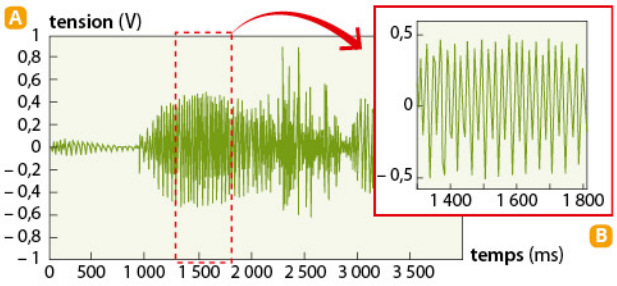
La fréquence du signal sonore est-elle incluse dans la plage conversationnelle ?

5. Le patient, qui a 18 ans, a été exposé à des sons de forte intensité. Il ne perçoit pas pleinement le son émis à cette fréquence. L'audiométrie relève une perte de 30 dB.
À quel âge correspond théoriquement une telle perte d'audition à cette fréquence ?

37 Signal de parole

On parle de sons graves pour une fréquence inférieure à 100 Hz, de sons mediums pour des fréquences comprises entre 500 et 3 000 Hz et de sons aigus pour des fréquences supérieures à 3 000 Hz.

Le document ci-après présente :
– l'enregistrement d'un début de phrase formulée par une voix (A) ;
– un zoom sur une partie du signal (B).

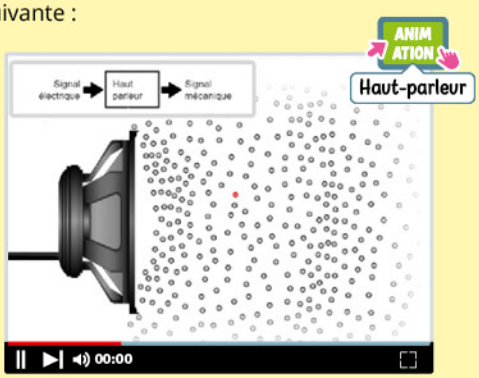


1. a. Comment réaliser expérimentalement un tel enregistrement ?
b. Quelle a été la durée de l'enregistrement ?
2. a. Sans faire le calcul, présenter la méthode pour mesurer la fréquence du signal « zoomé ».
b. La voix enregistrée est-elle grave, aigüe ou médium ?

À L'ORAL

38 Son émis par un haut-parleur

Préparer un exposé oral permettant d'expliquer l'animation suivante :



Cet exposé de quelques minutes devra utiliser les mots clés suivants :
– propagation d'une onde sonore dans l'air ;
– propagation d'une vibration de proche en proche ;
– signal électrique périodique ;
– signal sonore périodique ;
– vibration de la membrane du haut-parleur ;
– hauteur du son.

L'exposé devra pouvoir être réalisé sans note écrite.

39 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Lors d'un concert, les enceintes acoustiques permettent d'écouter le morceau joué par plusieurs musiciens.

Préparer un exposé oral permettant d'expliquer pourquoi tous les sons ne sont pas perçus de la même manière par les spectateurs.



Acquérir des compétences

40 La formation de la voix ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

APP **Rechercher et organiser l'information**

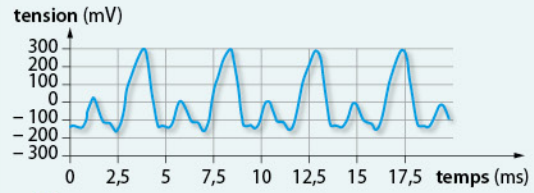
Le système de phonation humain est un dispositif astucieux produisant une voix unique pour chaque individu.

DOC 1 Se dégonfler !

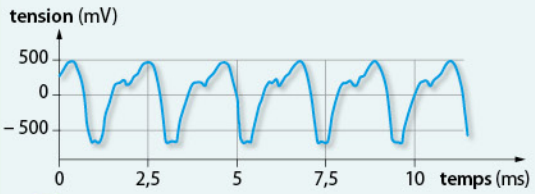
Quand on laisse échapper lentement de l'air d'un ballon de baudruche gonflé, en tirant sur les bords de l'orifice, on crée un son. En tirant plus ou moins dessus, on modifie la longueur et la finesse de l'ouverture : plus elle est courte et fine, plus le son produit est aigu.



DOC 2 Le son « o »



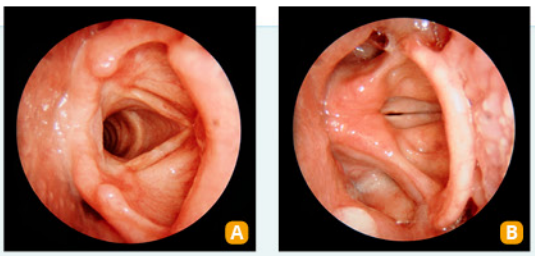
A Enregistrement du son « o » d'une voix masculine



B Enregistrement du son « o » d'une voix féminine

DOC 3 Anatomie des cordes vocales

Les dimensions des cordes vocales varient d'un individu à l'autre (de 17 à 25 mm de long chez un homme, contre 12,5 à 17,5 mm chez la femme). Elles sont contrôlées par des muscles qui permettent notamment de les écarter plus ou moins entre elles. Cela a pour conséquence de faire varier le passage de l'air qui provient des poumons. D'ailleurs, c'est en faisant sortir cet air avec plus ou moins de pression que la voix est plus ou moins forte.



Cordes vocales écartées A ou accolées B.

ANALYSE

1. a. Quel organe détermine en partie la hauteur et le timbre de la voix ?
b. Comment cet organe modifie-t-il la hauteur de la voix ?
2. Comment faire varier l'intensité sonore de la voix ?
3. a. Comparer les enregistrements d'une voix masculine et d'une voix féminine.
b. Comment expliquer en partie cette différence ?

SYNTHÈSE

Résumer le principe de formation de la voix et justifier le fait que chaque individu a une voix différente.

41 L'éruption d'un volcan TÂCHE COMPLEXE

AN/RAI **Proposer une stratégie de résolution**

L'éruption d'un volcan a été filmée, à distance, sur un bateau.

Donnée : *la vitesse du son dans l'air à 20 °C est* $v_{son} = 340\ m \cdot s^{-1}$.



LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Déterminer à quelle distance du volcan se trouve le bateau.

Retrouvez des exercices de synthèse p. 288

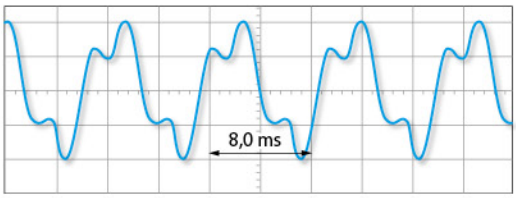
42 Analyse de l'enregistrement d'un son

DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

MESURES ET INCERTITUDES

COM **Présenter une démarche de manière argumentée**

On dispose de l'enregistrement du son émis par une corde de guitare et d'un tableau qui indique la fréquence de vibration et la note émise par chaque corde d'une guitare.



Corde	❶	❷	❸	❹	❺	❻
f (en Hz)	329,5	246,9	196,0	146,8	110,0	82,4
Note	mi_3	si_2	sol_2	$ré_2$	la_1	mi_1

DÉMARCHE EXPERTE

Proposer une méthode qui permette de dire si la corde utilisée est bien accordée ou non.



DÉMARCHE AVANCÉE

1. a. Proposer une méthode pour déterminer la fréquence du signal.
b. Déterminer cette fréquence.
2. En déduire la corde utilisée pour l'enregistrement.

VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

43 Distance et niveau d'intensité sonore

DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

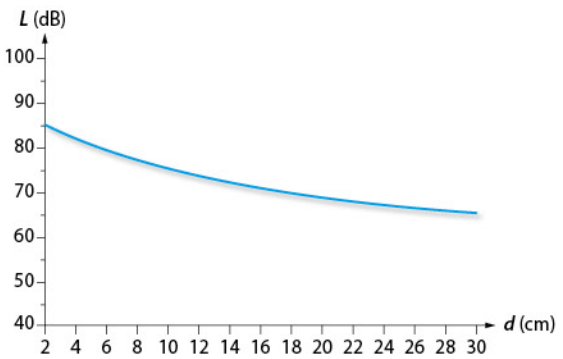
AN/RAI **Élaborer un protocole**
APP **Rechercher et organiser l'information**

L'appareil de mesure qui permet de mesurer le niveau d'intensité sonore est le sonomètre.



1. Proposer un protocole expérimental pour montrer que le niveau d'intensité sonore dépend de la distance entre une source sonore et un récepteur.

2. Des mesures de niveaux d'intensité sonore L en fonction de la distance d ont été répertoriées dans un tableur-grapheur. À partir de ces données, le graphique suivant a été tracé :



a. L'évolution du niveau d'intensité sonore en fonction de la distance est-elle linéaire ?
b. Comment évolue le niveau d'intensité sonore en fonction de la distance ?
c. Comment évolue le niveau d'intensité sonore lorsque la distance est doublée ?

Les sciences et nous

GROS PLAN SUR...

L'échographie

L'échographie est une technique, utilisée en imagerie médicale, qui est fondée sur l'émission d'un signal ultrasonore et la réception de son écho renvoyé. Les ultrasons sont des vibrations sonores de fréquence très élevée, non perceptible par l'oreille humaine.

Les signaux renvoyés par écho sont convertis en signal vidéo. La propagation du signal ultrasonore dépend du tissu de l'organisme traversé. Ainsi dans les liquides tel l'eau, il n'y a pas d'écho : du noir apparaît sur l'image obtenue. Les os, eux, renvoient le signal par écho : il y a alors apparition de blanc sur l'écran.



LES MÉTIERS DU CHAPITRE

Designer sonore

Le designer sonore crée des sons et des bandes sonores qu'il intègre à des jeux vidéo et des animations. Il s'assure de la cohérence de l'ensemble.

Pour créer des sons, il utilise des synthétiseurs de son et des logiciels adaptés qui lui permettent de jouer sur la hauteur et le timbre du son comme sur son intensité sonore. Il enregistre aussi des sons du quotidien pour les utiliser au besoin.

***Niveaux d'études** : bac+2 à bac+5 après un bac général avec spécialité physique-chimie ou un bac technologique.*





Ingénieur·e du son

L'ingénieur du son capture, modifie et mixe les sons pour mieux les retransmettre.

Au cinéma, il crée un équilibre entre « ce que l'on voit » et « ce que l'on entend ». Pendant un spectacle, son métier consiste à accompagner l'identité sonore d'un musicien et à s'assurer de la meilleure diffusion du son en concert.

C'est un métier technique et créatif qui implique de travailler autant sur le terrain qu'en studio, au service de l'art et des artistes.

***Niveaux d'études** : bac+2 à bac+5 après un bac général avec spécialité physique-chimie.*

Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

PAGE Flashable

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- Une source qui produit sa propre lumière est appelée **source primaire**. Un objet qui ne produit pas sa propre lumière est qualifié d'**objet diffusant**.
- La propagation de la lumière peut se représenter par le modèle du rayon lumineux : un **segment de droite fléché** indique la direction et le sens de propagation.
- La vitesse de propagation de la lumière vaut **300 000 km/s** dans le vide et dans l'air.
- La distance d parcourue par la lumière pendant une durée Δt vaut :

$$d = c \times \Delta t$$

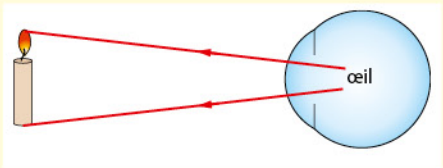
d : distance parcourue par la lumière (en **m**)
c : vitesse de propagation de la lumière (en **m/s**)
Δt : durée de propagation de la lumière (en **s**)

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → **Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr**

SITUATION 1

Selon Aristote (384-322 avant notre ère), la vision de notre environnement s'effectuait grâce à des rayons émanant de l'œil. Ces « rayons visuels » se représentaient ainsi :



Cette représentation vous paraît-elle réaliste ?

SITUATION 2

La lumière du Soleil met 500 secondes pour parvenir sur Terre.



À quelle distance se trouve la Terre du Soleil ?

SITUATION 3

Dans toute salle de cinéma, le spectateur, assis devant l'écran, tourne le dos au projecteur.

Comment expliquer que le spectateur puisse voir le film ?





CHAPITRE

10

PHYSIQUE

Vision et image



De nombreux objets du quotidien contiennent des lentilles sphériques qui focalisent la lumière. Pourquoi aperçoit-on ici une image réduite et renversée du paysage ?

➥ EXERCICE 47

NOTIONS ET CONTENUS

- Propagation rectiligne de la lumière. Vitesse de propagation de la lumière dans le vide ou dans l'air.
- Lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction. Indice optique d'un milieu matériel.
- Lentilles, modèle de la lentille mince convergente : foyers, distance focale. Image réelle d'un objet réel à travers une lentille mince convergente. Grandissement. L'œil, modèle de l'œil réduit.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- Tester les lois de Snell-Descartes ➥ ACTIVITÉ 2
- Déterminer l'indice optique d'un milieu ➥ ACTIVITÉ 3
- Produire et caractériser l'image réelle formée par une lentille mince convergente ➥ ACTIVITÉ 4

COMPÉTENCES :
APP Rechercher et organiser l'information
RÉA Effectuer des procédures courantes

Histoire d'une difficile mesure

HISTOIRE DES SCIENCES

Dès le XIe siècle, le savant arabe Alhazen a eu l'intuition que la lumière avait une vitesse limitée. Mais comment mesurer cette vitesse ?

DOC 1 Observations astronomiques de Roemer

En 1676, l'astronome danois Roemer étudie pourquoi les éclipses de Io, un satellite de Jupiter, présentent parfois des décalages de 10 minutes par rapport aux prévisions. Pour lui, c'est la preuve que la propagation de la lumière n'est pas instantanée : elle prend ce retard à cause de la distance supplémentaire qu'elle doit parcourir quand la Terre est à l'opposé du Soleil. À partir de ces observations, il estime la vitesse de la lumière à 212 000 km · s^{-1}.

DOC 2 Expérience de Galilée

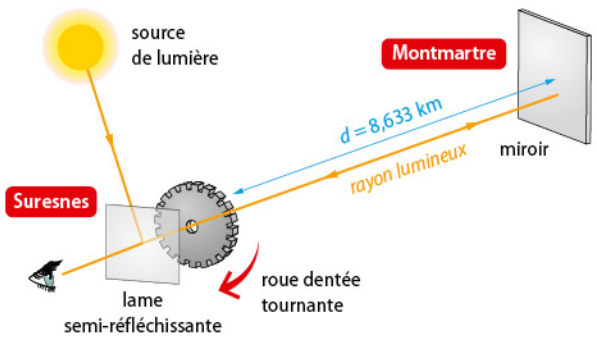
Galilée est le premier à imaginer une expérience pour estimer la vitesse de la lumière : il a l'idée de mesurer un temps de trajet aller-retour entre lui et un de ses élèves, placé sur une colline à 1 800 m de distance, en déclenchant manuellement un sablier.

Galilée répéta en vain l'expérience, sans pouvoir mesurer une durée significative.

DOC 3 Roue dentée de Fizeau

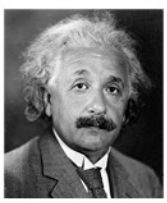
En 1849, Hippolyte Fizeau installa un dispositif ingénieux au mont Valérien à Suresnes, non loin de Paris. Celui-ci envoyait un rayon lumineux à Montmartre, à 8 633 m de distance, où se trouvait un miroir. Depuis Suresnes, Fizeau observait ainsi le rayon réfléchi provenant de Montmartre.

Pour estimer la durée du trajet aller-retour de la lumière, il ajouta, devant le faisceau lumineux, une roue dentée (avec 720 dents et 720 creux de tailles identiques), et la fit tourner de plus en plus vite. De temps à autre, une dent venait alors occulter le rayon réfléchi. Pour une certaine valeur de rotation de la roue, soit 12,6 tour · s^{-1}, le rayon réfléchi « disparaît » complètement : le temps mis par une dent pour remplacer un creux est alors égal au temps de trajet aller-retour de la lumière.



DOC 4 Fin de la course à la précision !

- En 1920, Albert Michelson améliore l'expérience dite du miroir tournant, qui consiste à déterminer le temps de trajet de la lumière entre un miroir fixe et un miroir qui tourne à grande vitesse. Pour cela, il installe un jeu de miroirs réfléchissants à 35,4 km de distance, entre le mont Wilson et le mont San Antonio. Il obtient la valeur remarquable de 299 796 km · s^{-1} ± 4 km · s^{-1}.



- En 1905, Albert Einstein postule que la lumière se propage à vitesse constante dans le vide, et ce, quel que soit le référentiel. Dans les décennies qui suivent, alors que les techniques de mesure de cette vitesse se perfectionnent, la précision du mètre-étalon devient peu à peu insuffisante...
- En 1983, on décide donc de ne plus définir la vitesse de la lumière par rapport au mètre, mais de faire l'inverse ! La vitesse de la lumière est alors fixée à c = 299 792 458 m · s^{-1}.

Je réussis si...

- **Je sais donner la valeur de la vitesse de la lumière.**
- **Je sais la comparer à d'autres vitesses.**

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 a. Quelle est la difficulté à laquelle ont été confrontés les différents scientifiques lors de la mesure de la vitesse de la lumière ?
b. Sur quel paramètre ont-ils joué pour améliorer la précision de la mesure ?

2 Déterminer la vitesse de la lumière à partir de l'expérience de Fizeau.

3 Comparer qualitativement la valeur mesurée par Michelson à la valeur de référence fixée de nos jours.

SYNTHÈSE

En faisant une recherche sur Internet en complément :

4 Comparer la valeur de la vitesse de la lumière à d'autres valeurs de vitesses.

5 Placer sur un axe chronologique les différentes étapes historiques de la mesure de la vitesse de la lumière.

TP

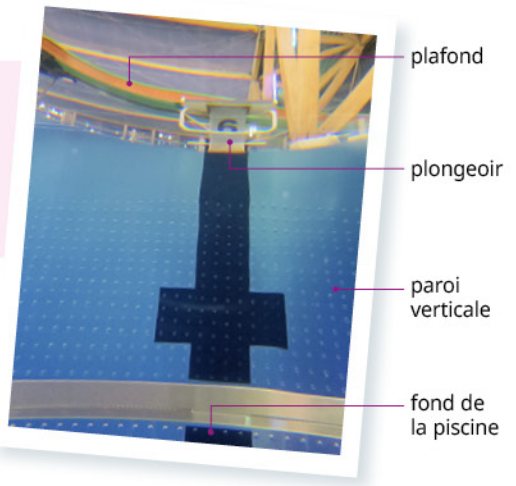
COMPÉTENCES :
APP Schématiser une situation
AN/RAI Proposer une stratégie de résolution

Les lois de Snell-Descartes

SITUATION-PROBLÈME

Cette photographie a été prise sous l'eau par un plongeur en entraînement dans une piscine. L'appareil photo était dirigé vers le haut, en direction de la surface. Or la photo montre à la fois le toit du bâtiment, comme attendu, mais aussi le fond de la piscine (visible sur la partie basse de la photo).

Comment expliquer cette observation ?



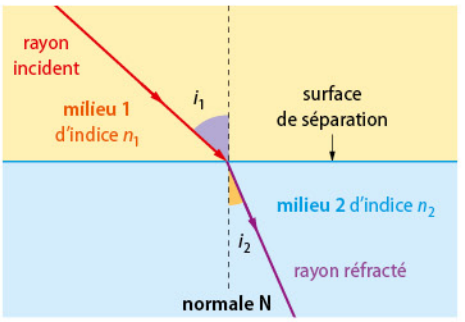
HYPOTHÈSE Proposer une hypothèse en la justifiant.

DOC 1 Lois de Snell-Descartes de la réfraction

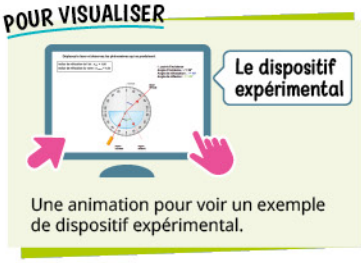
Au passage d'un milieu transparent à un autre, la lumière subit une réfraction : sa direction de propagation est modifiée.

- L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 sont dans un même plan.
- Les deux angles sont reliés par la relation mathématique :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$



POUR VISUALISER



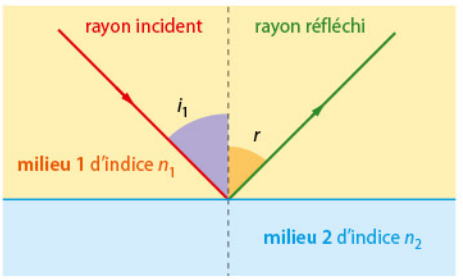
Une animation pour voir un exemple de dispositif expérimental.

DOC 2 Lois de Snell-Descartes de la réflexion

À l'interface entre deux milieux, la lumière subit une réflexion : la lumière réfléchie reste dans le même milieu, mais sa direction de propagation est modifiée.

- Le rayon réfléchi et le rayon incident sont dans un même plan.
- L'angle d'incidence i_1 est égal à l'angle de réflexion r :

$$i_1 = r$$



VOCABULAIRE

- L'**indice optique** ***n*** (ou indice de réfraction) est un nombre sans unité qui caractérise le milieu de propagation (exemple : n_{eau} = 1,33).

PISTES DE RÉSOLUTION

Mesurer l'angle de réflexion r et l'angle de réfraction i_2 pour une dizaine de valeurs d'angle d'incidence i_1, le milieu 1 étant l'eau, et le milieu 2, l'air.

1 À l'aide d'un tableur-grapheur, montrer que les lois de Snell-Descartes sont bien vérifiées.

2 Quelle particularité peut-on noter à partir d'un certain angle d'incidence ?

CONCLUSION

3 Présenter, sous forme d'un schéma, la réponse à la problématique.

Je réussis si...

- **Je sais exploiter les lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction.**

PAGE Flashable

TP

COMPÉTENCES :
AN/RAI Proposer une stratégie de résolution
VAL Estimer une incertitude

Identification d'un milieu transparent

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Quand la lumière change de milieu, sa direction de propagation est modifiée.
La déviation est liée à l'**indice optique** du milieu concerné.

Comment identifier un liquide transparent inconnu mis à disposition ?

COUP DE POUCE ➥ p. 330

DOC 1 Du matériel utile

- Un ordinateur muni d'un logiciel tableur-grapheur.
- Un dispositif de réfraction : source de lumière, fente, demi-cylindre creux, rapporteur, liquide incolore.

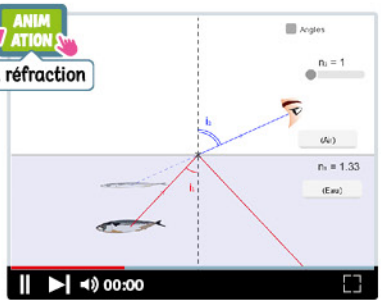
DOC 3 Indices optiques de différents milieux

Milieu transparent	Indice optique
air	1,00
eau	1,33
éthanol	1,36
glycérine	1,47

DOC 4 Comment ne pas rater le poisson ?

Le comportement d'un rayon lumineux à l'interface entre deux milieux dépend des indices optiques de ces milieux.
Dans l'animation ci-dessous, cocher la case « Angles ». En faisant varier le curseur, on observe l'influence d'un changement d'indice optique sur l'angle de réfraction.

ANIMATION
Loi de la réfraction



DOC 2 Dispositif expérimental



DOC 5 Incertitude-type par méthode statistique

MESURES ET INCERTITUDES

On réalise N mesures de la grandeur X, avec les résultats X_1, X_2, ..., X_N. La théorie statistique montre que la meilleure estimation de l'incertitude-type dans le cas d'une répétition de la mesure de la grandeur X est :

$$u_X = \frac{s_X}{\sqrt{N}}$$

où N est le nombre de mesures effectuées et s_X l'écart-type (FICHE MÉTHODE ➥ p. 318).

VOCABULAIRE

- L'**indice optique**, ou indice de réfraction, est un nombre sans unité qui caractérise le comportement de la lumière dans un milieu transparent.
Un indice optique est toujours un nombre supérieur ou égal à 1. Plus sa valeur est élevée, plus le phénomène de réfraction est important dans le milieu.

Je réussis si...

- **Je décris le protocole expérimental avec du texte et des schémas.**
- **Je sais réaliser le montage expérimental.**
- **Je détermine l'indice optique d'un milieu.**

TP

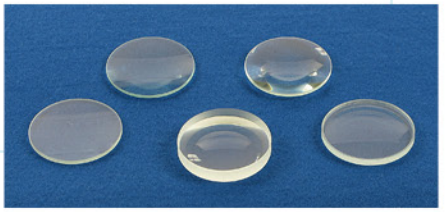
COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental
COM Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente

Le modèle réduit de l'œil

L'œil est l'organe de la vue. Comment forme-t-il une image du monde qui nous entoure ?

DOC 1 Lot de lentilles

Les lentilles sont des objets transparents, capables de réfracter la lumière. Différentes formes leur confèrent des propriétés optiques propres.

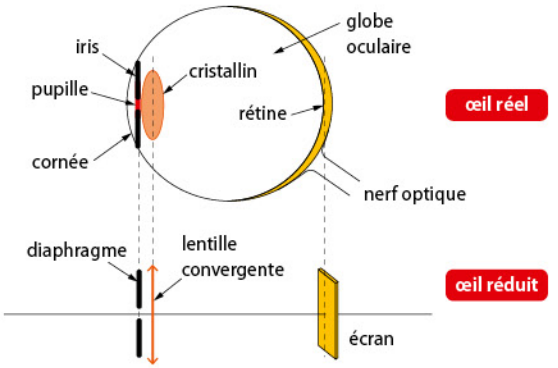


DOC 2 Modèle réduit de l'œil

L'œil est un système optique perfectionné.

Au fond du globe oculaire, la rétine est tapissée de récepteurs sensibles à la lumière, qui recueillent les rayons après leur traversée de la pupille et du cristallin.

La taille de la pupille, qui laisse pénétrer la lumière dans l'œil, est limitée par l'iris, tandis que la cornée et le cristallin réfractent la lumière. Des muscles dédiés, appelés muscles ciliaires, déforment le cristallin (qui est ainsi plus ou moins bombé) pour accommoder.



PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- Sur le banc optique, reproduire le modèle d'un œil réduit en prenant une lentille de distance focale 150 mm, distante de 20 cm de l'écran.
- Placer un objet devant la lentille de façon à obtenir une image nette sur l'écran.
- Mesurer les tailles de l'objet et de l'image sur l'écran.



Le dispositif expérimental : un banc optique.

VOCABULAIRE

- **Lentille convergente :** composant en verre ou en plastique transparent ayant une forme particulière (bord extérieur plus fin que le centre) destinée à faire converger la lumière.
- **Grandissement** : rapport de la taille de l'image d'un objet sur la taille de l'objet.

POUR VISUALISER



Une animation présentant comment l'image d'un objet se forme sur la rétine.

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Décrire le modèle de l'œil réduit puis identifier, parmi le lot de lentilles mis à disposition, celle(s) qui peu(ven)t modéliser le cristallin de l'œil.

2 a. Réaliser l'expérience et déterminer les caractéristiques de l'image formée sur l'écran.
b. Calculer le **grandissement**.
c. Utiliser le modèle du rayon lumineux et un schéma à l'échelle pour expliquer les caractéristiques de l'image formée.

SYNTHÈSE

3 Expliquer, à l'oral, les caractéristiques de l'image d'un objet formée sur la rétine de l'œil.

Je réussis si...

- **Je sais produire une image d'un objet à travers une lentille.**
- **Je sais caractériser l'image réelle d'un objet-plan réel formée par une lentille mince convergente.**

PAGE Flashable

1 La propagation de la lumière

Modèle du rayon lumineux

La lumière se propage dans le vide, mais aussi dans tous les milieux transparents comme l'air, le verre, certaines matières plastiques, le diamant...

Dans un milieu homogène et transparent comme le verre, la lumière se déplace en ligne droite. Généralement, le trajet suivi par la lumière n'est pas visible à l'œil. On le modélise par un **rayon lumineux**.

Un **rayon lumineux** est représenté par une **droite orientée par une flèche**. Il indique le sens et la direction de propagation de la lumière (FIG. 1).

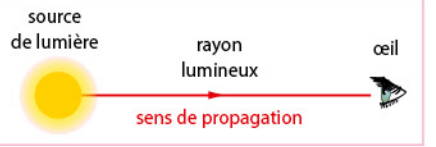


FIG. 1 Trajet d'un rayon lumineux jusqu'à un observateur.

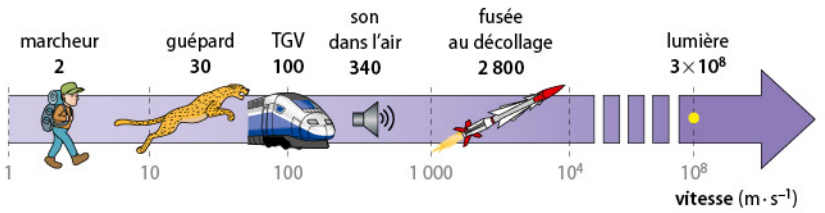
Vitesse de la lumière

La lumière semble se propager instantanément. Pourtant, elle possède une vitesse finie (FIG. 2), de valeur très grande, qui dépend du milieu de propagation.

Dans le vide, comme dans l'air, la **vitesse de la lumière c** est égale à :

$$c = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

La valeur exacte de la vitesse de la lumière dans le vide est : $\mathbf{c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$.
Cette vitesse est très élevée par rapport aux vitesses de la vie courante :



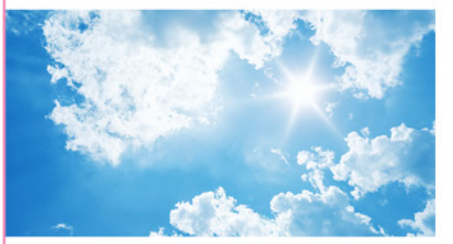


FIG. 2 La lumière du Soleil, qui est situé à 150 millions de kilomètres de la Terre, ne met que 8 min 20 s pour nous parvenir.

Milieu transparent	Indice optique
air	1,00
eau	1,33
éthanol	1,36
glycérine	1,47

FIG. 3 Indices optiques de différents milieux. Ce nombre sans unité est toujours supérieur ou égal à 1. L'indice du vide est égal à 1 par définition.

2 Réflexion et réfraction

Indice optique d'un milieu

Sur son trajet, la lumière peut traverser différents milieux transparents. La vitesse et le comportement qu'elle y adopte dépendent de l'**indice optique *n*** de ces milieux (FIG. 3). À l'interface entre les milieux, un changement d'indice se traduit par des phénomènes de **réflexion** et de **réfraction** de la lumière.

Lois de Snell-Descartes pour la réflexion

La lumière qui parvient sur la surface de séparation entre deux milieux est modélisée par un rayon lumineux appelé « rayon incident » (rayon ❶, FIG. 4).

Lorsque la lumière se reflète sur cette surface, le rayon incident donne naissance à un rayon lumineux appelé « rayon réfléchi » (rayon ❷, FIG. 4).

Les angles formés par le rayon incident et le rayon réfléchi se mesurent par rapport à une droite imaginaire, perpendiculaire à l'interface des deux milieux, qu'on appelle la normale N.

- Le rayon réfléchi et le rayon incident sont dans un même plan.
- L'angle d'incidence i_1 est égal à l'angle de réflexion r : $i_1 = r$.
- Le rayon réfléchi est le symétrique du rayon incident par rapport à la normale (FIG. 4).

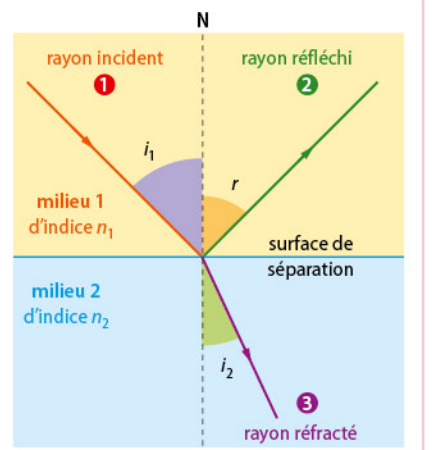


FIG. 4 Réflexion et réfraction d'un rayon à la surface de séparation entre deux milieux.

Lois de Snell-Descartes pour la réfraction

Lorsque la lumière change de milieu, sa direction de propagation est modifiée (FIG. 5). Dans le second milieu, le rayon incident donne naissance à un rayon dévié qui s'appelle « rayon réfracté » (rayon ❸, FIG. 4). L'angle que fait ce rayon avec la normale est appelé angle de réfraction.

- Le rayon réfracté et le rayon incident sont dans un même plan.
- L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 sont reliés par la formule :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

MESURES ET INCERTITUDES FICHE ➥ p. 318

Quand la lumière passe de l'air ($n_1 = 1{,}00$) à un deuxième milieu, on peut évaluer son indice en mesurant avec un rapporteur les angles i_1 et i_2.

On isole alors n_2 dans la relation précédente : $n_2 = \dfrac{\sin i_1}{\sin i_2} \times 1{,}00$.

Afin d'assurer une meilleure précision du résultat, on effectue plusieurs fois cette mesure. On peut tracer l'histogramme pour évaluer la dispersion des mesures, calculer la moyenne et l'incertitude-type.

Cas de la réflexion totale

Lorsque la lumière passe d'un milieu à un autre d'indice optique plus faible, on observe qu'au-delà d'un angle d'incidence limite, il n'y a plus réfraction, mais uniquement réflexion. C'est le phénomène de **réflexion totale** (FIG. 6).

Il est notamment exploité pour la transmission par fibre optique.

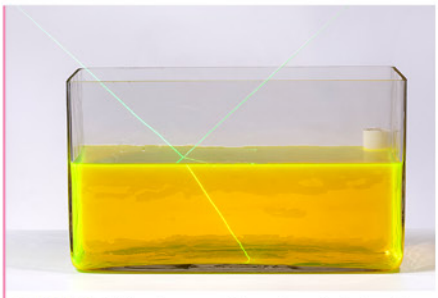


FIG. 5 Réflexion et réfraction de la lumière au passage de l'air à l'eau.



FIG. 6 Réflexion totale de la lumière dans un demi-cylindre en verre.

3 Lentilles convergentes

Une **lentille** est un objet transparent, généralement fabriqué en verre, capable de réfracter la lumière. On parle de lentille « mince » quand son diamètre est très grand par rapport à son épaisseur.

Une **lentille mince convergente** a les bords plus fins que son centre.
On la schématise par une **double flèche** (FIG. 7).

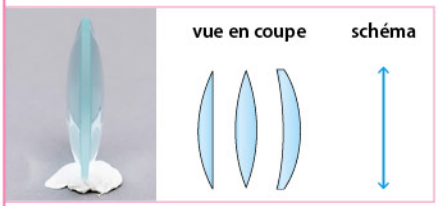


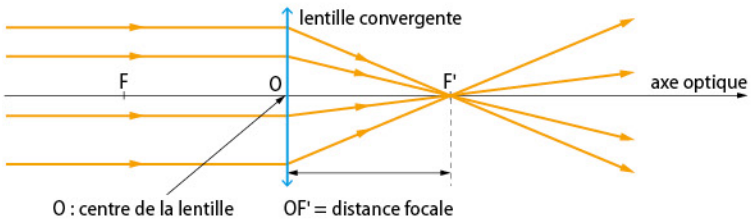
FIG. 7 Lentille mince convergente. Sa forme particulière lui confère des propriétés optiques propres.

Caractéristiques

Une lentille mince convergente présente un axe de symétrie, appelé **axe optique**, qui passe par son **centre O**.

Une lentille mince convergente focalise tous les rayons parallèles à l'axe optique en un point appelé **foyer image F'** (FIG. 8).

La distance OF' est appelée **distance focale image**. Par symétrie par rapport au centre O, on trouve un autre point particulier : le **foyer objet F**.



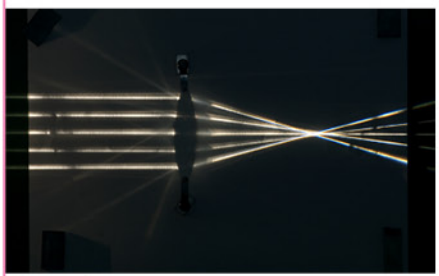


FIG. 8 Faisceau de rayons parallèles qui convergent. La lumière traversant une lentille subit une ou deux réfractions.

Construction graphique de l'image d'un objet

Pour modéliser le trajet de la lumière à travers une lentille, on peut construire **trois rayons spécifiques** passant par un même point :
- le rayon passant par le centre O de la lentille, qui n'est pas dévié ;
- le rayon arrivant parallèlement à l'axe optique, qui émerge en passant par le foyer image F' ;
- le rayon passant par le foyer objet F, qui sort de la lentille parallèlement à l'axe optique.

On construit ainsi l'image A'B' d'un objet AB :

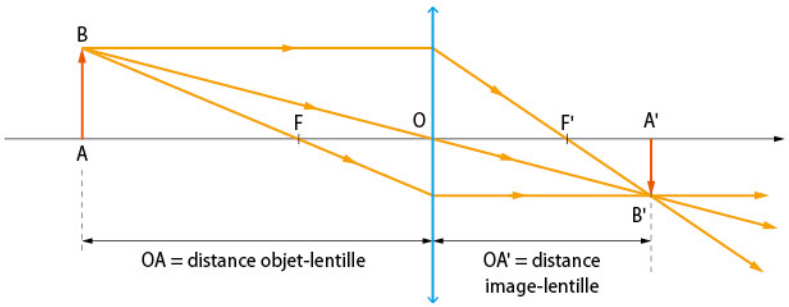


FIG. 9 Construction de l'image A'B' d'un objet AB à travers une lentille.

L'image A'B' étant dans le sens contraire de l'objet AB, on parle d'**image renversée**. On dit qu'elle est **réelle** car elle peut être observée sur un écran (FIG. 10).



FIG. 10 Image d'un objet par une lentille sur un écran placé de l'autre côté de la lentille.

Grandissement

Pour caractériser la **taille de l'image** d'un objet par une lentille connaissant la taille de l'objet, on définit le grandissement :

grandissement (sans unité) → $\gamma = \frac{A'B'}{AB}$ ← taille de l'image (en **m**) / taille de l'objet (en **m**)

Si $\gamma < 1$: l'image est plus petite que l'objet.
Si $\gamma > 1$: l'image est plus grande que l'objet.

Le grandissement dépend de la lentille et de la position de l'objet par rapport à la lentille.

Considérons le triangle OAB (FIG. 9). Les points O, A, A' sont alignés. Les droites (AB) et (A'B') sont parallèles. En appliquant le théorème de Thalès, on peut aussi écrire le grandissement :

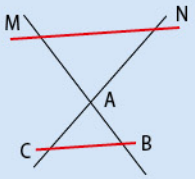
$$\gamma = \frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{AB}$$

UN PONT VERS LES MATHS

Le théorème de Thalès

ABC est un triangle. Les points A, M, B sont alignés, ainsi que les points A, N, C. Les droites (MN) et (BC) sont parallèles. On a alors l'égalité :

$$\frac{AM}{AB} = \frac{AN}{AC} = \frac{MN}{BC}$$



Modèle réduit de l'œil

La lumière entre dans l'œil par la pupille, qui se dilate en fonction de la luminosité ambiante. Elle traverse ensuite le cristallin, et forme une image nette sur la rétine quand l'œil accommode (FIG. 11) :

Le cristallin de l'œil peut se modéliser par une **lentille convergente**, la pupille par un **diaphragme**, et la rétine par un **écran** :





FIG. 11 L'œil est l'organe de la vision. L'iris, qui délimite la pupille, en est la partie colorée.

L'ESSENTIEL À RETENIR

Le vocabulaire à retenir
Les relations à connaître et savoir utiliser

1 La propagation de la lumière

- On représente le trajet de la lumière par le modèle du **rayon lumineux** : une droite orientée par une flèche.

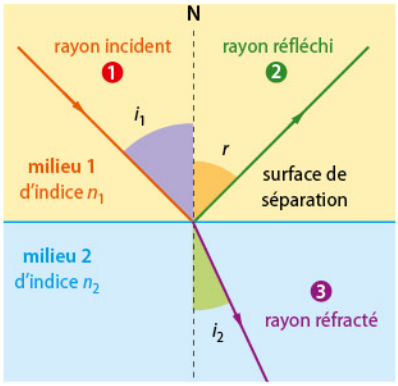


- Dans le vide, comme dans l'air, la vitesse de la lumière est égale à **300 000 km · s⁻¹**, soit **$3{,}00 \times 10^8$ m · s⁻¹**.

Cette vitesse est très élevée par rapport aux vitesses courantes.

2 Réflexion et réfraction

Lorsqu'un rayon lumineux atteint l'interface entre deux milieux d'**indices optiques** différents, sa propagation est modifiée par les phénomènes de **réflexion** et de **réfraction**.

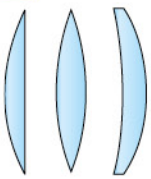


- **Lois de la réflexion de Snell-Descartes :**
  - le rayon réfléchi et le rayon incident sont dans un même plan ;
  - l'angle d'incidence i_1 est égal à l'**angle de réflexion** r : $i_1 = r$
- **Lois de la réfraction de Snell-Descartes :**
  - le rayon réfracté et le rayon incident sont dans un même plan ;
  - l'angle d'incidence i_1 et l'**angle de réfraction** i_2 vérifient :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

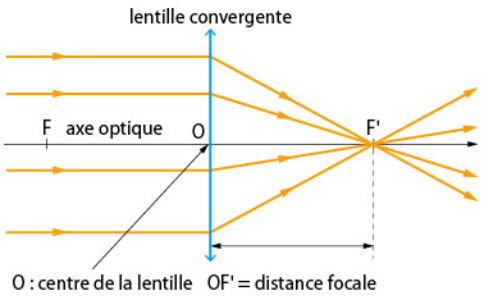
3 Lentilles convergentes

- Une **lentille mince convergente** est un objet transparent capable de réfracter la lumière. Ses bords sont plus fins que son centre.



lentilles convergentes ▶

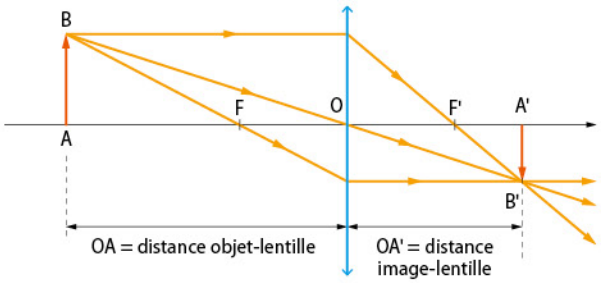
- Le **foyer objet F** est le symétrique du **foyer image F'** par rapport à la lentille.



- Tout rayon qui passe par le centre O de la lentille n'est pas dévié.

Tout rayon incident parallèle à l'axe optique en émerge en passant par le foyer image F'.

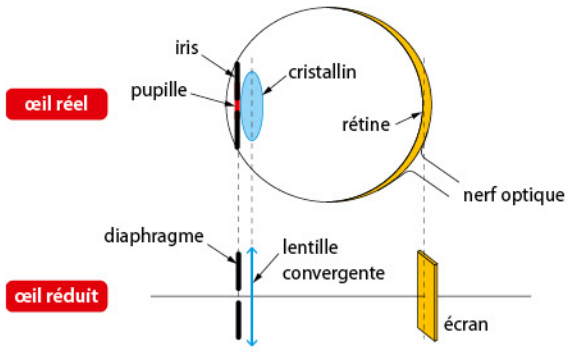
Tout rayon qui passe par le foyer objet F sort de la lentille parallèlement à l'axe optique.



- Le **grandissement** se définit par le rapport :

grandissement (sans unité) → $\gamma = \dfrac{A'B'}{AB}$ ← $A'B'$: taille de l'image (en **m**) ; AB : taille de l'objet (en **m**)

- L'œil peut être modélisé par trois objets physiques : un **diaphragme** accolé à une **lentille convergente**, et un **écran** sur lequel se forment les images projetées par la lentille.

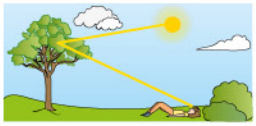
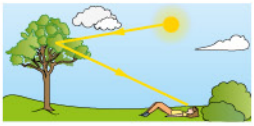


Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

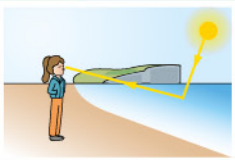
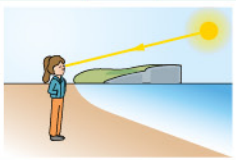
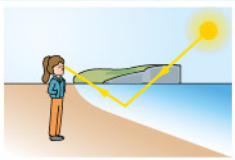
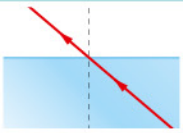
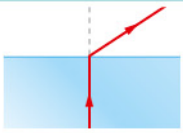
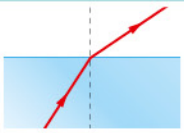
QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

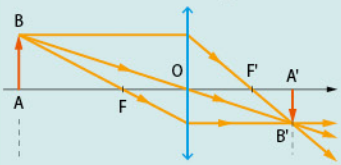
1 La propagation de la lumière

	A	B	C
1 La vitesse de la lumière :	est inférieure à la vitesse du son.	est différente dans le vide et dans l'air.	est très élevée par rapport aux vitesses couramment rencontrées.
2 Un amoureux de la nature admire un arbre. Quel schéma illustre correctement la situation ?			
3 La vitesse de la lumière dans l'air vaut :	300 000 m · s^{-1}	3,00 × 10^8 km · s^{-1}	3,00 × 10^8 m · s^{-1}

2 Réflexion et réfraction

	A	B	C
4 Quel schéma traduit correctement l'éblouissement de la promeneuse par le reflet du Soleil sur la mer ?			
5 La lumière passe de l'eau à l'air. Quels sont les schémas erronés ?			
6 L'angle *i* et l'angle *r* sont liés par la formule : 	$\sin i = n_{eau} \cdot \sin r$	$i = r$	$\sin r = n_{eau} \cdot \sin i$

3 Lentilles convergentes

	A	B	C
7 Dans quel(s) cas s'agit-il d'une lentille convergente ?			
8 Un rayon qui n'est pas dévié lorsqu'il passe au travers de la lentille est :	un rayon parallèle à l'axe optique.	un rayon qui passe par le centre de la lentille.	un rayon qui passe par le foyer image de la lentille.
9 Quelles sont les bonnes relations mathématiques ? 	$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$	$\gamma < 1$	$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$
10 L'équivalent de la pupille de l'œil est :	une lentille convergente.	une lentille divergente.	un diaphragme.

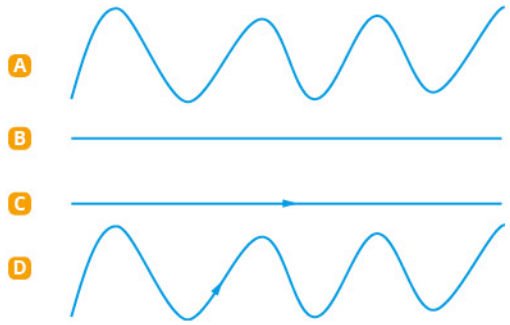
Acquérir les notions

1 La propagation de la lumière

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Propagation rectiligne de la lumière ➥ EXERCICES 11 à 14	• Savoir comment est représenté un rayon lumineux. • Savoir que la lumière se propage dans un milieu transparent. • Expliquer la propagation de la lumière dans différentes situations.
Vitesse de propagation de la lumière dans le vide ou dans l'air ➥ EXERCICES 15 et 16	• Connaître l'expression $v = d/\Delta t$. • Exprimer chaque grandeur en fonction des deux autres. • Associer à chaque grandeur son nom et son unité. • Connaître la valeur de la vitesse de la lumière. • La comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées.

11 Drôle de rayon

Quel rayon lumineux est correctement représenté ?

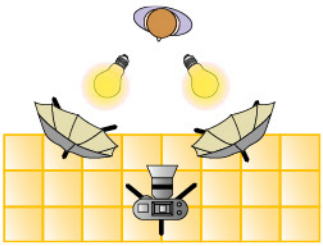


12 Sous son meilleur jour

Lors d'une séance de pose en studio, le photographe dispose de nombreuses techniques d'éclairage.

Pour sublimer un portrait, il place par exemple des lampes flash devant des « parapluies » blancs qui diffuseront une lumière douce vers le sujet.

Schématiser le dessin ci-contre et représenter le trajet de plusieurs rayons lumineux depuis les lampes flash jusqu'à l'appareil photo.



13 Éclipse de Soleil

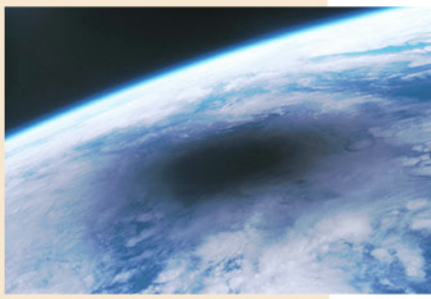
Une éclipse de Soleil se produit lorsque la Lune occulte tout ou partie de ce dernier pour un observateur terrestre. L'éclipse n'est totale que sur une étroite zone qui correspond à l'ombre portée de la Lune sur le sol terrestre.



Recopier le schéma ci-dessus et représenter la zone d'ombre portée de la Lune sur la Terre à l'aide du modèle du rayon lumineux.

VOCABULAIRE

• L'**ombre portée** est la représentation de l'ombre projetée par un objet sur une surface (ci-contre, l'ombre portée de la Lune, photographiée en 1999 depuis la station *Mir*).



14 Milieux de propagation

Parmi les milieux de propagation suivants, repérer ceux où la lumière peut se propager :

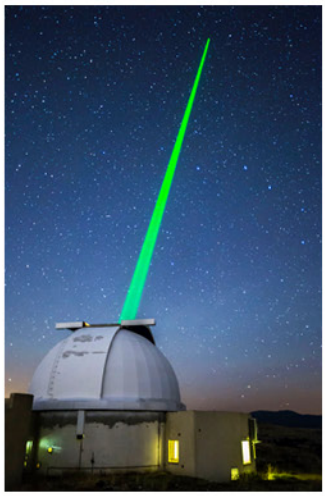
un diamant, une canette en aluminium, une bouteille de verre vide, une goutte de pluie, une cloison en plâtre, la visière d'un masque de soudeur, un verre d'eau, l'intérieur d'une cloche à vide.

15 Télémétrie laser

Lors des missions *Apollo*, les astronautes ont déposé à la surface de la Lune des petits miroirs réflecteurs orientés vers la Terre. L'Observatoire de la Côte d'Azur mesure régulièrement la distance qui nous en sépare en envoyant une impulsion laser dans leur direction, puis en détectant l'arrivée du rayon réfléchi.

Une mesure donne une durée d'aller-retour de 2,562 s.

Quelle est la distance, en km, qui sépare la Terre de la Lune ?



16 Vitesses comparées

En vous aidant éventuellement d'une recherche sur Internet, classer les vitesses suivantes par ordre croissant :

vitesse de la Terre autour du Soleil, vitesse de pointe du guépard, record de vitesse d'un dragster, vitesse de la lumière dans l'eau, vitesse de la Station spatiale internationale sur son orbite, vitesse de la lumière dans le vide.

2 Réflexion et réfraction

Notions du programme

Lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction

Indice optique d'un milieu matériel

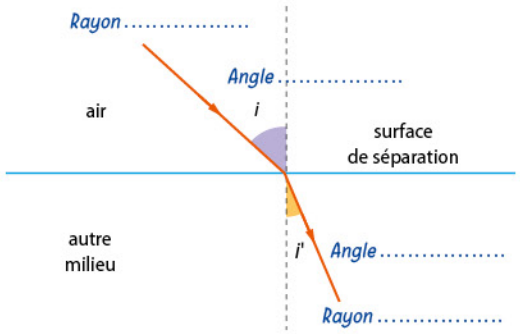
➥ EXERCICES 17 à 22

Ce qu'on attend de moi

- Exploiter les lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction pour déterminer :
  - un angle réfléchi ;
  - un angle réfracté ;
  - un indice optique.

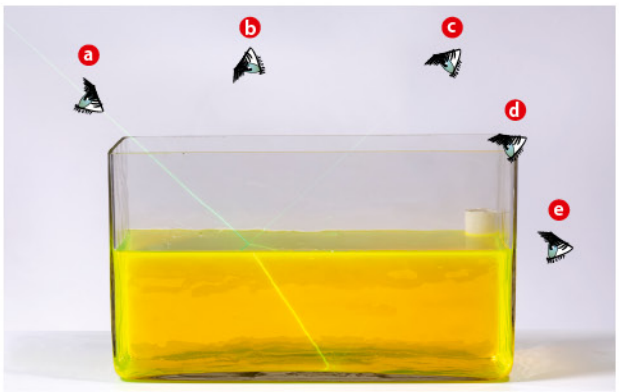
17 Quelles légendes ?

Recopier et compléter ce schéma en le légendant :



18 Attention danger !

Le laser est une source de lumière quasi rectiligne et très puissante, car toute l'énergie lumineuse est concentrée dans un faisceau de petit diamètre. C'est pourquoi il ne faut jamais le regarder directement, ni regarder son reflet !



Parmi les situations représentées, lesquelles sont dangereuses pour l'observateur ?

19 Angle d'incidence

Un rayon lumineux se propageant dans l'air parvient sur une cuve d'éthanol. Il forme un angle d'incidence égal à 40° par rapport à la normale à la surface de séparation.

Données : $n_{air} = 1{,}00$ et $n_{éthanol} = 1{,}36$.

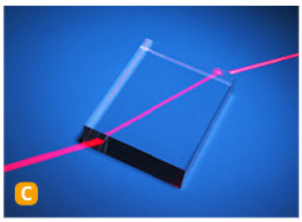
1. Réaliser un dessin en indiquant toutes les informations.
2. Calculer la valeur de l'angle de réfraction.
3. Tracer le rayon réfracté.

20 Réflexion ou réfraction ?

Indiquer le phénomène visible sur chacune des photographies : réflexion ou réfraction ? Préciser les milieux de propagation traversés par la lumière.





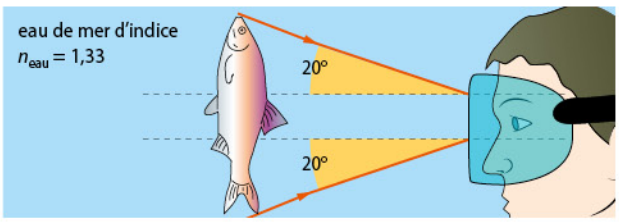




21 Randonnée palmée

Pour observer la biodiversité marine, de nombreux vacanciers s'adonnent à la randonnée palmée, ou *snorkeling*, avec masque et tuba. En sortant de l'eau, un touriste raconte qu'il a vu de très gros poissons. Le moniteur tempère son enthousiasme...

1. On considère la situation ci-dessous. Dans quel milieu vont se propager les deux rayons lumineux parvenant dans le masque ? Comment le trajet des rayons va-t-il être modifié ?

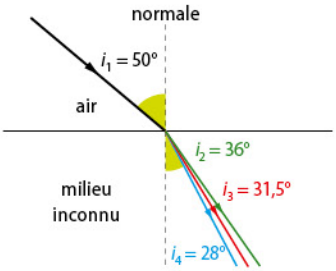


2. Expliquer, à l'aide d'un schéma, le phénomène de grossissement qui a induit le touriste en erreur.

22 Associer le bon milieu

Un rayon lumineux parvient avec un angle d'incidence de 50° à l'interface entre l'air et un milieu inconnu. Le schéma montre les positions de trois rayons réfractés dans trois milieux différents.

Associer à chaque rayon le bon milieu de propagation.



Milieu	Indice optique
glace	1,31
glycérine	1,46
verre flint	1,62

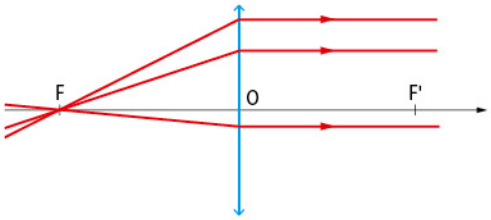
3 Lentilles convergentes

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Lentilles, modèle de la lentille mince convergente : foyers, distance focale ➥ EXERCICES 23 à 25	• 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 donnée par une lentille mince convergente.
Image réelle d'un objet réel à travers une lentille mince convergente Grandissement ➥ EXERCICES 25 et 26	• Définir et déterminer géométriquement un grandissement.
L'œil, modèle de l'œil réduit ➥ EXERCICES 27 à 29	• Modéliser l'œil.

23 Le bon mot

Recopier et légender le schéma en utilisant les mots suivants :

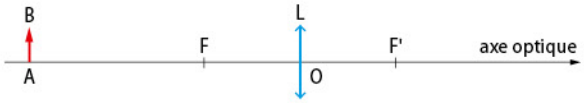
foyer image, centre de la lentille, axe optique, foyer objet, lentille convergente, rayons lumineux, distance focale.



24 Soyez précis(e)

1. Déterminer graphiquement la position et le sens de l'image de l'objet AB ci-dessous par une lentille convergente.

Données : *OA = 7 cm et OF' = 3 cm.*



2. Déterminer le grandissement γ.

25 Focalisons-nous !

L'image A'B' d'un objet AB par une lentille convergente est renversée et mesure 3 cm.

Données : *AB = 2 cm ; OA = 5 cm et OA' = 7,5 cm.*



1. Déterminer graphiquement la position des foyers de la lentille.

2. Déterminer le grandissement γ.

26 La bonne forme

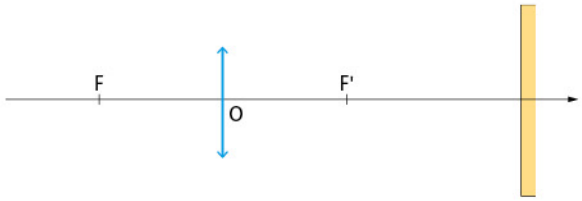


1. Ces deux lentilles aux bords épais conviennent-elles pour modéliser le cristallin de l'œil ?

2. Quelle expérience peut-on réaliser pour s'assurer de leur caractère convergent ou non ?

27 Mon œil...

Un élève représente ci-dessous le modèle réduit de l'œil humain.



1. Quelles parties de l'œil humain représentent la lentille et l'écran ?

2. Quel objet faut-il ajouter sur le schéma pour compléter le modèle réduit de l'œil ?

28 Modèle réduit de l'œil

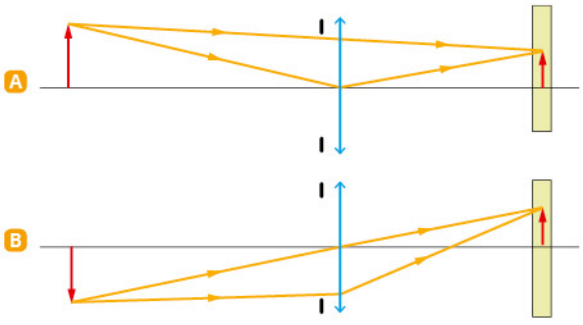
Dans la liste suivante, quels objets peuvent servir à construire le modèle réduit de l'œil en travaux pratiques ?



Une source de lumière, une lentille convergente, un prisme, un diaphragme, un écran, un miroir, une lentille divergente.

29 Le bon modèle

Lequel de ces schémas correspond à celui de la formation d'une image sur la rétine de l'œil ?



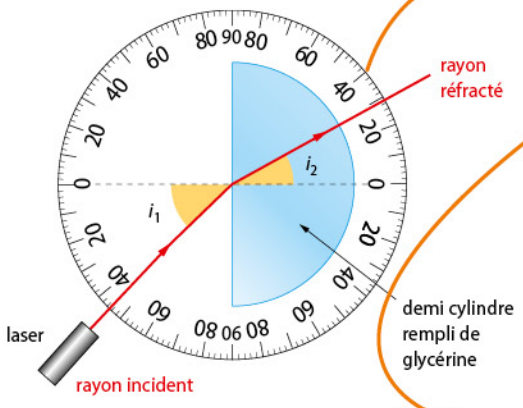
Exercice résolu EN AUTONOMIE

30 Détermination de l'indice optique de la glycérine

Le glycérol, appelé aussi glycérine, est un liquide transparent et légèrement visqueux. Il est notamment utilisé dans les cosmétiques pour ses effets hydratants et antibactériens.

Afin de déterminer l'indice optique de la glycérine, noté $n_{glycérine}$, on réalise le dispositif expérimental ci-contre, exactement comme sur le schéma.

La source de lumière est un laser : l'énergie lumineuse est concentrée en un faisceau très étroit. Par sécurité, il ne faut ni le regarder directement ni regarder son reflet.



Donnée : *indice optique de l'air* $n_{air} = 1{,}00$.

1. **Expliquer** les deux phénomènes que l'on s'attend à observer lorsque le rayon laser atteint le demi-cylindre.
2. **Préciser** dans quelles directions l'observateur ne doit pas se placer pour satisfaire aux règles de sécurité.
3. **Déterminer** l'indice optique de la glycérine, en portant une attention particulière aux chiffres significatifs.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- Le schéma est donné avec un rapporteur. On peut y lire la valeur des **angles d'incidence et de réfraction**.
- Lorsque la lumière atteint un milieu d'indice optique différent du premier, il existe toujours un **rayon réfléchi**.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Expliquer** : donner une justification à une observation ou une affirmation.
- **Préciser** : compléter l'information donnée.
- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. La propagation de la lumière est modifiée lorsqu'elle change de milieu : c'est le phénomène de **réfraction**. Il se produit aussi une **réflexion**.

2. Les directions à éviter sont celles du rayon réfracté et du rayon réfléchi. D'après la loi de la réflexion de Snell-Descartes, l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence, c'est-à-dire : $i_1 = r = 45°$. Par lecture sur le rapporteur, on relève que l'angle de réfraction $i_2 = 29°$.

Par sécurité, il ne faut donc pas se trouver dans la direction de 45°, symétriquement à la source par rapport à la normale ; ni dans la direction de 29° à la sortie du rayon lumineux de la glycérine.

3. À l'aide du schéma, on mesure les angles $i_1 = 45°$ et $i_2 = 29°$.
D'après la loi de la réfraction de Snell-Descartes : $n_{air} \cdot \sin i_1 = n_{glycérine} \cdot \sin i_2$.

L'indice optique vaut donc : $n_{glycérine} = n_{air} \cdot \dfrac{\sin i_1}{\sin i_2}$.

Ce qui nous donne le résultat : $n_{glycérine} = 1{,}00 \times \dfrac{\sin 45}{\sin 29} = 1{,}46$ soit $\boldsymbol{n_{glycérine} \approx 1{,}5}$.

QUELQUES CONSEILS

2. Utiliser la loi de Snell-Descartes de la réflexion : $i_1 = r$.

3. Utiliser la loi de la réfraction de Snell-Descartes :

$$n_{air} \cdot \sin i_1 = n_{glycérine} \cdot \sin i_2$$

Écrire d'abord la formule, sous forme littérale, de l'indice optique $n_{glycérine}$, avant de procéder au calcul numérique.

Vérifier que sa calculatrice est bien en mode DEGRE.

Les angles i_1 et i_2 étant mesurés avec deux chiffres significatifs, de même que n_{air}, exprimer le résultat avec deux chiffres significatifs.

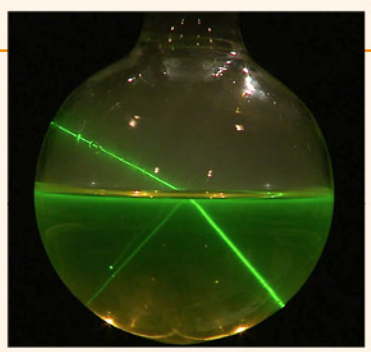
EXERCICE SIMILAIRE

31 Identification d'un milieu transparent

Dans l'expérience ci-contre, un laser est orienté en direction d'une sphère remplie pour moitié d'un liquide transparent inconnu, pour l'autre moitié d'air. L'angle d'incidence mesure 43,5° et l'angle de réfraction 66,0°.

1. Préciser la position de la source laser dans ce dispositif en justifiant la réponse.

2. Déterminer la nature du liquide inconnu.



Milieu transparent	Indice optique
air	1,00
eau	1,33
éthanol	1,36
glycérine	1,47

Exercice résolu EN AUTONOMIE

32 Image projetée par un vidéoprojecteur

La notice d'un vidéoprojecteur précise :
distance focale de l'objectif : 16,5 mm ;
distance de projection : de 1,77 à 2,40 m.



Dans l'appareil, la source de lumière est un panneau à cristaux liquides type LCD, de hauteur AB = 1,0 cm. Lors de la fabrication du vidéoprojecteur, le technicien a placé le panneau LCD perpendiculairement à l'objectif, à une distance de 2,0 cm. Nous assimilerons l'objectif à une lentille convergente de même focale.

1. Sur un schéma à l'échelle 1, **construire** l'image A'B' que donne la lentille du panneau LCD. Préciser la position et le sens de l'image.
2. **Exprimer** le grandissement γ en fonction de A'B' et AB, puis le **calculer**.
3. **Comparer** ces conditions de projection avec les indications de la notice.

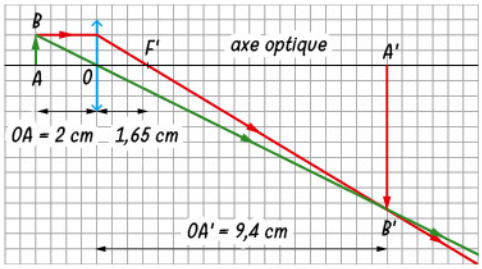
LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- La **distance focale OF'** et la **distance lentille-objet OA** sont connues.
- La **distance de projection** est la distance à respecter entre l'écran et le vidéoprojecteur pour observer de manière satisfaisante l'image produite par la lentille.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Construire** : effectuer un schéma avec précision en respectant l'échelle.
- **Exprimer** : donner l'écriture d'une formule littérale.
- **Calculer** : savoir utiliser à bon escient sa calculatrice.
- **Comparer** : mettre en regard deux valeurs pour en identifier les différences ou les similitudes.

EXEMPLE DE RÉDACTION



1. On trace les rayons issus du point B pour déterminer la position de son image B'. L'image d'un objet perpendiculaire à l'axe est aussi perpendiculaire à l'axe optique, donc A' est le projeté orthogonal de B' sur l'axe optique. Pour déterminer la position de l'image, on mesure sur le schéma la distance **OA' = 9,4 cm**. L'image est **renversée**, car le sens de l'image A'B' est contraire à celui de AB par rapport à l'axe optique.

2. Par définition, on a : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$. D'où $\gamma = \frac{4,7}{1}$ donc $\gamma = \mathbf{4,7}$.
Comme le grandissement est supérieur à 1, on dit que l'image est **agrandie**.

3. Ces conditions de projection ne respectent pas les indications de la notice, car la distance OA' n'est pas dans l'intervalle [1,77 m ; 2,40 m].

QUELQUES CONSEILS

1. L'échelle 1 signifie « à taille réelle ». Pour déterminer la position de l'image, on trace deux rayons particuliers partant du point B :
– celui qui passe par le centre de la lentille, qui n'est pas dévié ;
– celui qui arrive parallèlement à l'axe optique, et qui émerge en passant par le foyer image F'.

2. AB et A'B' doivent être exprimés dans la même unité. γ est une grandeur qui s'exprime sans unité.

EXERCICE SIMILAIRE

33 Image formée sur la rétine de l'œil

Lorsqu'on lit couché sur le dos en plaçant une revue à 10 cm du visage, l'œil accommode : des petits muscles dédiés tirent sur le cristallin qui se déforme pour que l'image de l'objet observé se forme sur la rétine. Le cristallin change donc de distance focale en fonction de la distance d'observation. Dans ce cas, la distance focale vaut 2,0 cm. Le diamètre du globe oculaire mesure 2,5 cm.



1. Représenter la situation à l'échelle 1 en schématisant le modèle réduit de l'œil et la position de la revue.
2. Une photo de hauteur 2 cm est imprimée sur une page de la revue. Déterminer, à l'aide d'une construction graphique, la position et le sens de l'image de cette photo par l'œil.
3. Indiquer si l'image se forme bien sur la rétine.
4. Exprimer puis calculer le grandissement γ. L'image formée par l'œil est-elle plus grande ou plus petite que la photo observée ?

Croiser les notions

34 Une première mesure HISTOIRE DES SCIENCES

En 1632, dans son *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde,* Galilée met en scène plusieurs personnages. Salviati se fait le porte-parole de Galilée, tandis que Sagrédo, un homme ouvert et cultivé, écoute et commente les idées exposées. En voici un extrait :

> ***Salviati*** « [...] Je prends deux aides, avec chacun une chandelle qu'ils placent dans une lanterne, de façon à pouvoir la masquer et la découvrir à la vue de l'autre par interposition de la main ; se tenant face à face, à quelques coudées de distance, chacun s'exerce à dévoiler et à dissimuler sa lumière à la vue de son compagnon, découvrant la sienne propre dès qu'il aperçoit celle de l'autre [...].
>
> L'habitude étant acquise sur une courte distance, nos deux compagnons s'éloigneront de deux ou trois milles avec deux lanternes semblables, et, accomplissant de nuit la même expérience, observeront attentivement si les ouvertures et les occultations ont lieu de la même manière que plus près ; auquel cas on pourra conclure avec certitude que la propagation de la lumière est instantanée : car si elle exigeait un certain temps, **à une distance de trois milles, qui en font en réalité six** si l'on considère le trajet de la lumière, le délai devrait être tout à fait observable. »
>
> ***Sagrédo*** « L'expérience me semble d'invention non moins sûre qu'ingénieuse. Mais dites-nous ce que, dans la pratique, vous avez conclu. »
>
> ***Salviati*** « À vrai dire, je ne l'ai expérimentée que sur de petites distances, c'est-à-dire moins d'un mille, de quoi je n'ai pas pu m'assurer si vraiment l'apparition de la lumière opposée est instantanée ou bien très rapide... »

Donnée : *1 mille correspond à 1,6 km.*

1. Faire un schéma légendé de l'expérience proposée par Galilée en représentant le trajet d'un rayon lumineux.



2. En parlant « d'habitude acquise », que cherche à améliorer Galilée ?

3. **a.** Expliquer la phrase en gras.
b. Calculer la durée que Galilée aurait souhaité mesurer à l'aide de cette expérience.

4. Cette mesure était-elle réalisable au XVII^{e} siècle ?

35 Vers l'infini et au-delà

En 1905, Albert Einstein postule que la vitesse de la lumière dans le vide est une vitesse limite : dans l'Univers, aucune forme de matière et aucune information ne peut se propager plus vite.

1. Dans l'air, quelle distance parcourt la lumière en :
a. 1 s ? **b.** 1 jour ? **c.** 1 an ?

2. Pour les besoins du scénario, certains films de science-fiction mettent en scène des vaisseaux spatiaux capables de se déplacer très rapidement d'un système planétaire à un autre.
Calculer la vitesse d'un vaisseau terrestre capable de rallier en 4,0 secondes Alpha du Centaure, le système planétaire le plus proche du nôtre. Commenter le résultat.

Donnée : *Distance entre la Terre et Alpha du Centaure : $4{,}13 \times 10^{13}$ km.*

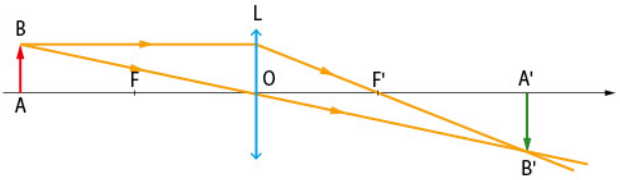
36 À l'aide, Thalès !

Deux élèves ont réalisé le montage schématisé ci-dessous pour obtenir l'image d'un objet de hauteur 2 cm. Sur leur compte rendu, ils ont noté la distance lentille-objet OA, et la distance lentille-image OA'. Ils ont cependant oublié de noter la taille de l'image A'B' sur l'écran...

Données : *OA = 15 cm ; OA' = 20 cm.*

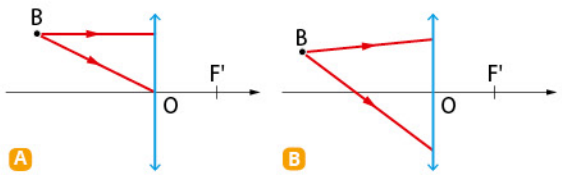
1. Expliquer comment ils peuvent déterminer le grandissement γ à l'aide du théorème de Thalès.

2. En déduire la taille de l'image A'B'.



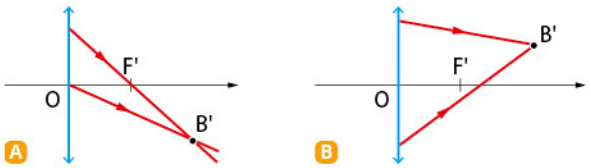
37 Tracé de faisceaux de lumière

1. **a.** Dans chaque cas ci-dessous, recopier le schéma et tracer le faisceau de lumière émergent.



b. Dans chacun des cas, où positionner un écran pour observer le point image B' ? Compléter les schémas en dessinant les écrans.

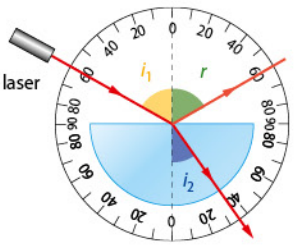
2. Dans chaque cas ci-dessous, recopier le schéma, tracer le faisceau de lumière incident et retrouver la position du point objet B correspondant au point image B'.



38 Réfraction particulière

On réalise le dispositif ci-contre avec un laser et un demi-cylindre rempli de liquide.

Expliquer pourquoi le rayon réfracté n'est pas dévié à la sortie du demi-cylindre, alors qu'il l'est sur la partie plane du demi-cylindre.



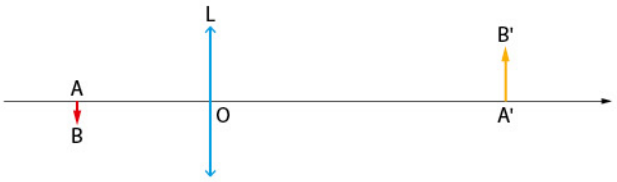
39 Projection privée



Un technicien démonte le vidéoprojecteur qui permet aux membres d'un club de visionner des films sur le mur d'une salle, à 1 m de distance. La source de lumière est un écran LCD qui se situe à 20 cm de l'objectif.

Cet écran, que l'on modélise par un objet AB, est positionné à l'envers pour projeter une image A'B' à l'endroit sur le mur. La notice précise que la distance focale de l'objectif est réglable, et vaut entre 31 mm et 45 mm.

1. À l'aide d'une construction graphique à l'échelle 1/5, déterminer la distance focale de l'objectif, considéré comme une lentille convergente.



2. La distance focale est-elle en accord avec l'indication de la notice ?

JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- bien repéré l'échelle pour adapter le schéma ;
- identifié la distance focale OF'.

40 Like a diamond

During a workshop, two pupils place a green laser in the air, in the direction of a diamond. They measure the refracted angle for several incident angles.

incident angle i_1 (in °)	5	15	25	35	45	55	65	75
refracted angle i_2 (in °)	2	6	10	14	17	20	22	24
sin i_1								
sin i_2								

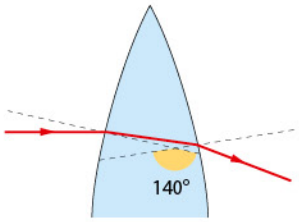
1. Calculate the sinus of the two angles with a spreadsheet.

2. Trace a graphic to determine the index of refraction of the diamond.

41 Double réfraction DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

Pour simplifier, on ne représente qu'une seule déviation du rayon lumineux au passage d'une lentille mince. En réalité, dans une lentille, le phénomène de réfraction se produit deux fois : une fois à l'interface air-verre, et une fois à l'interface verre-air.

On considère la lentille ci-contre, constituée de verre d'indice optique $n_2 = 1{,}6$.



DÉMARCHE AVANCÉE

Sachant que le premier angle d'incidence dans l'air vaut 28°, déterminer l'angle de réfraction en sortie de lentille.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Légender le schéma fourni. De quel type de lentille s'agit-il ?

2. Le premier angle d'incidence dans l'air vaut 28°. Déterminer la valeur de l'angle de réfraction après la première réfraction.

3. a. Sachant que la somme des angles d'un triangle vaut 180°, déterminer la valeur de l'angle d'incidence pour la deuxième réfraction.
b. En déduire la valeur du deuxième angle de réfraction en sortie de la lentille.

42 Un réveil « son et lumière »

Un réveille-matin projette l'heure au plafond, à 2 m 15 de l'objectif. Les chiffres qui s'affichent correspondent à une image droite de 4 cm de haut. L'objectif est assimilé à une lentille convergente, de distance focale 37 cm.

1. La durée que met la lumière pour se déplacer du réveil au plafond vaut environ :
a. 7 ms ; b. 7 µs ; c. 7 ns.

2. En orientant votre feuille au format paysage, réaliser un schéma du dispositif à l'échelle 1/10 sur l'axe horizontal, et à taille réelle sur l'axe vertical.

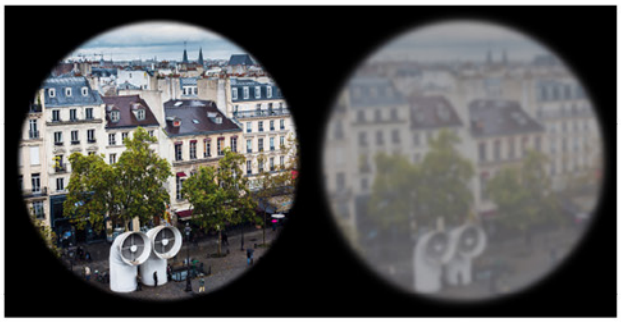
3. Déterminer graphiquement la position de l'horloge lumineuse qui est projetée au plafond par le réveil, ainsi que la taille des chiffres de l'horloge.

4. Calculer le grandissement.



43 Opération de la cataracte

Chez une personne sur cinq, à partir d'une soixantaine d'années, le cristallin s'opacifie progressivement : l'image formée sur la rétine perd alors en netteté. Cette maladie s'appelle la cataracte. Le seul traitement est chirurgical.



vision normale vision avec cataracte

1. Pourquoi l'apparition de zones opaques sur le cristallin conduit-elle à une baisse de la qualité de la vue ?

2. a. D'après le modèle réduit de l'œil, quel dispositif optique peut être utilisé en remplacement du cristallin naturel ? En déduire la nature des implants qui sont posés, par chirurgie, dans les yeux malades.

b. Les implants ont longtemps été rigides. Quels inconvénients présentaient-ils par rapport au fonctionnement du cristallin naturel ?

44 Incertitude-type de mesure

Les élèves d'une classe réalisent, dans les mêmes conditions expérimentales, la mesure de l'indice optique du même milieu. Ils regroupent les mesures dans un tableau :

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 cherche à exprimer la valeur n de l'indice optique en tenant compte de l'incertitude-type de mesure.

Donnée : *La théorie statistique montre que la meilleure estimation de l'incertitude-type u_n dans le cas d'une répétition de la mesure de la grandeur n est :*

$$u_n = \frac{s_n}{\sqrt{N}}$$

où N est le nombre de mesures effectuées et s_n l'écart type.

1. Construire l'histogramme de cette série de mesures.

2. Quelle est la meilleure estimation de la valeur n de l'indice optique ?

3. Calculer l'écart type s_n.

4. En déduire la valeur de l'incertitude-type.

45 Aide-mémoire

Un élève souhaite retrouver la position d'un objet lors d'une séance TP où il avait déterminé les caractéristiques d'une image à travers une lentille convergente de distance focale 5 cm.

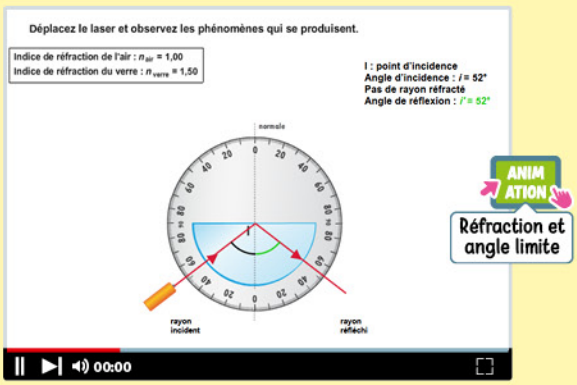
Cette image était droite, de hauteur 3,6 cm, projetée à 46 cm de la lentille.

Construire le schéma permettant de résoudre cette situation.

À L'ORAL

46 Ça passe... ou pas ?

Préparer un exposé oral expliquant l'animation suivante :



Cet exposé de quelques minutes devra utiliser les mots clés suivants :
- propagation rectiligne de la lumière ;
- la normale, le rayon incident, le rayon réfléchi et le rayon réfracté ;
- l'angle d'incidence, l'angle de réflexion et l'angle de réfraction ;
- milieu de propagation ;
- phénomène de réfraction ;
- phénomène de réflexion totale.

Ce court exposé devra pouvoir être réalisé sans note écrite.

47 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE



De nombreux objets du quotidien contiennent des lentilles sphériques qui focalisent la lumière.

Préparer un exposé oral permettant d'expliquer pourquoi on aperçoit ici une image réduite et renversée du paysage.

Acquérir des compétences

48 Identification de pierres précieuses

ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

APP **Rechercher et organiser l'information**

Le fonctionnement du réfractomètre à réflexion interne, utilisé par les bijoutiers pour identifier des pierres précieuses, repose sur les lois de Snell-Descartes.

DOC 1 Le phénomène de réflexion totale

Le phénomène de réflexion totale se produit quand un faisceau de lumière parcourant un milieu arrive sur l'interface d'un milieu d'indice plus faible. À partir d'un certain angle, dit angle limite, le faisceau ne passe plus dans le second milieu : seul le rayon réfléchi subsiste.

Cet angle limite dépend des indices des deux milieux.

DOC 3 Quelques indices optiques

Verre du réfractomètre : $n_{verre} = 1{,}96$

Gemme étudiée : n_{gemme}, à déterminer

Diamant : $n_{diamant} = 2{,}40$

DOC 4 Un peu de gemmologie

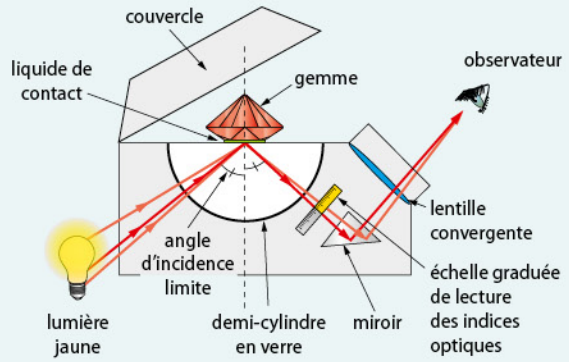


Qu'est-ce qu'une gemme ? Ces pierres fines, précieuses ou d'ornementation, sont de natures très diverses : n'importe quelle matière dure et colorée peut obtenir l'appellation de gemme. Pour la mériter, la pierre doit être attrayante, surtout par sa couleur ; elle doit aussi être peu altérable, et assez solide pour ne pas se rayer ou s'endommager en usage régulier. Parmi les plus connues : le rubis, l'émeraude, le saphir, la topaze, la malachite et l'améthyste.

DOC 2 Principe de fonctionnement du réfractomètre

Une lumière jaune est envoyée en direction de la gemme, qui doit être idéalement lisse. La lumière traverse d'abord le demi-cylindre, fabriqué dans un verre très dense, puis atteint l'interface avec la gemme.

Une échelle graduée fait alors apparaître deux zones, selon l'angle d'incidence des rayons lumineux : une zone claire, illuminée par les rayons qui ont subi une réflexion totale à l'interface, et une zone sombre qui correspond au cas où le rayon incident s'est réfracté dans la gemme et n'a donc pas atteint le miroir. La limite entre les deux zones correspond à l'angle limite pour la gemme étudiée.



Les propriétés des gemmes diffèrent selon leur nature : l'angle limite mesuré dans le réfractomètre est donc propre à chaque type de gemme.

ANALYSE

1. a. Quel phénomène se produit à l'interface verre-gemme ?
b. Exprimer l'angle limite en fonction des indices optiques de la gemme et du verre.
2. Quelle modification observe-t-on lorsqu'on remplace une gemme par une autre sur la vitre ?
3. Quel est le rôle de la lentille (en bleu sur le schéma) ?
4. Serait-il possible de mesurer l'indice optique du diamant avec un tel dispositif ?

SYNTHÈSE

Résumer le principe de fonctionnement du réfractomètre, et expliquer que la gemme soit reconnaissable par mesure de son indice optique.

49 Un tour pas si magique

TÂCHE COMPLEXE

AN/RAI **Construire les étapes d'une résolution de problème**

Un élève présente un tour de magie à ses camarades. Pour qu'il soit visible par toute la classe, il le retransmet sur un écran à l'aide d'une caméra fixe. Le tour commence : l'élève place un verre sur une pièce de monnaie, puis il le remplit d'eau. Incroyable : la pièce « disparaît » !

VIDÉO Une pièce de monnaie disparaît



LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Expliquer le principe du tour de magie.

Retrouvez des exercices de synthèse p. 288

50 Déclenchement automatique des essuie-glaces

DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

AN/RAI **Proposer une stratégie de résolution**

Les voitures modernes sont équipées d'un détecteur de pluie qui contrôle automatiquement les essuie-glaces.

DOC 1 Principe du détecteur de pluie

Souvent couplé à un capteur de luminosité, le détecteur de pluie est installé en haut du pare-brise. Il permet de déclencher automatiquement les essuie-glaces dès qu'il pleut, et d'adapter la vitesse de balayage en fonction de l'intensité de la pluie.

Comment fonctionne le détecteur ? Des diodes émettent un faisceau infrarouge qui se réfléchit sur la surface extérieure de la vitre. D'autres diodes reçoivent cette lumière infrarouge réfléchie. Quand le pare-brise est sec, la réflexion est totale. En présence d'eau, la réflexion est partielle, et la quantité de lumière réfléchie est donc moins importante.

L'information est transmise à un calculateur qui adapte en permanence le rythme du balayage à l'intensité de la pluie. Ce capteur peut aussi commander la fermeture du toit ouvrant et des vitres électriques.

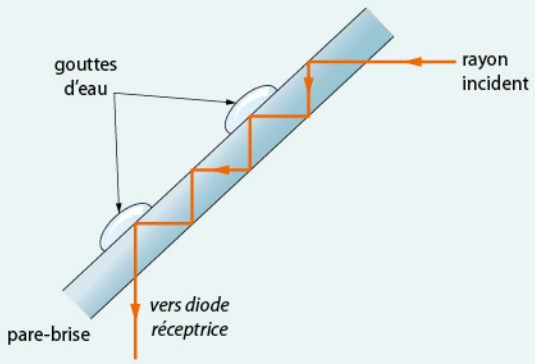
D'après le site www.automobile-magazine.fr



DOC 3 Indices optiques utiles

Indice optique du verre : $n_{verre} = 1{,}50$
Indice optique de l'eau : $n_{eau} = 1{,}33$
Indice optique de l'air : $n_{air} = 1{,}00$

DOC 2 Schéma simplifié de la propagation de la lumière dans le pare-brise



DÉMARCHE EXPERTE

Expliquer le principe du déclenchement automatique de l'essuie-glace quand il pleut.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. a. Déterminer l'angle limite à partir duquel il y a réflexion totale dans le cas verre-air.
b. Procéder de même pour le cas verre-eau.

2. Proposer une explication au fonctionnement du détecteur de pluie.

VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

51 Taille et position d'une image

DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

AN/RAI **Élaborer un protocole**

1. Proposer un protocole expérimental pour montrer que l'image d'un objet sur un écran peut être soit plus petite, soit plus grande que l'objet. Schématiser le dispositif et tracer des rayons lumineux spécifiques dans les deux cas.

2. Un élève réalise l'image d'un objet de hauteur 2,0 cm avec une lentille de distance focale 10 cm. Il renouvelle la manipulation et regroupe ses résultats dans un tableur :

a. Comment déterminer, à l'aide du tableur, le grandissement pour chaque mesure ?

b. De quel(s) paramètre(s) dépend le grandissement ?

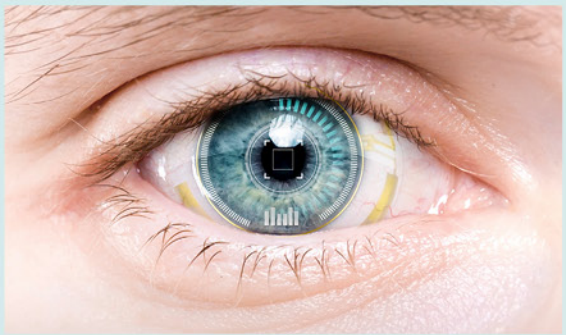
Position de l'objet OA (en cm)	50	40	30	20	15
Position de l'image OA' (en cm)	12,5	13,3	15,0	20,0	30,0
Taille de l'image A'B' (en cm)	0,50	0,67	1,00	2,00	4,00

Les sciences et nous

GROS PLAN SUR...

Les lentilles connectées

Plusieurs entreprises font la course pour sortir des lentilles connectées, pour l'instant au stade de prototypes. Les promesses sont nombreuses : ces lentilles pourraient aider les personnes souffrant de problèmes de vue, mesurer le taux de glycémie des diabétiques, ou encore prendre des photos et des vidéos relayées via un smartphone... Mais comment alimenter ces petites merveilles de technologie ? Tout simplement... grâce aux mouvements des yeux ! Un condensateur d'énergie est déjà prévu.



LES MÉTIERS DU CHAPITRE

Technicien·ne en optique de précision

Le technicien en optique travaille à la conception et à la réalisation d'instruments d'optique de haute technologie. Il surveille la fabrication des lentilles, miroirs et prismes nécessaires au montage de dispositifs d'analyse. Il exerce dans divers secteurs d'activité comme l'espace, la médecine, la lunetterie, la photographie et le contrôle de la pollution. Il travaille en étroite collaboration avec des chercheurs ou des ingénieurs. Son souci du détail et ses qualités de minutie et de dextérité sont appréciés. Scientifique complet, le technicien en optique de précision a aussi de bonnes bases en électronique et mécanique.

***Niveau d'études** : bac+2 à bac+3 après un bac technologique ou général avec spécialité physique-chimie.*





Opticien·ne

L'opticien est un acteur de notre santé : il réalise, répare et vend les verres correcteurs prescrits par un ophtalmologiste (docteur spécialiste de l'œil). Il peut même être sollicité directement pour évaluer notre acuité visuelle, notamment par un examen optométrique. Il doit être un bon technicien, afin de calibrer, tailler et monter les verres sur la monture. Il doit aussi avoir de bonnes capacités relationnelles, car c'est lui qui conseille le patient pour trouver le meilleur produit. Il s'agit d'intégrer des critères esthétiques, financiers et techniques comme les verres amincis, à double foyer, antireflets, avec une monture légère... ou même privilégier des lentilles de contact.

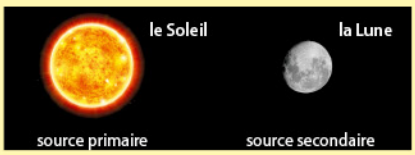
***Niveau d'études** : bac+2 après un bac technologique ou général avec spécialité physique-chimie.*

Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

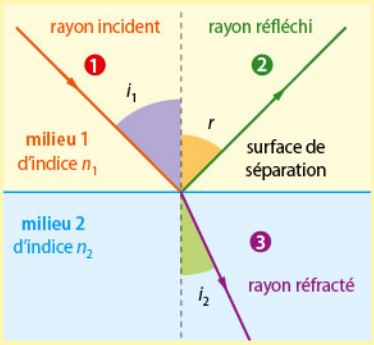
LES ACQUIS INDISPENSABLES

- Les **sources** de lumière **primaires** produisent leur propre lumière, tandis que les **sources** dites **secondaires** diffusent la lumière qui les éclaire.



- La lumière se propage en ligne droite dans un **milieu homogène** et **transparent**.
- On représente le trajet de la lumière par un segment de droite fléché, appelé **rayon lumineux**, qui part de la source de lumière.

- Voir un objet, c'est **recevoir** dans nos yeux de la lumière provenant de cet objet.
- À l'interface entre deux milieux d'indices optiques différents, la lumière est déviée par **réfraction** et par **réflexion**.



POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

Dans les bandes dessinées, pour signifier qu'un personnage fixe un objet du regard, le dessinateur fait partir une flèche en pointillés de son œil jusqu'à l'objet.



Cette représentation est-elle appropriée pour schématiser la propagation de la lumière au cours de la vision ?

SITUATION 2



Une publicité présente les diamants comme « éternels, et brillant de mille éclats ».

Un diamant est-il une source de lumière ?

SITUATION 3



La partie immergée d'une paille n'est pas vue dans le prolongement de sa partie aérienne.

Comment expliquer que la paille apparaît brisée au niveau de l'interface air/eau ?



Lumières colorées

CHAPITRE 11

PHYSIQUE



Arrivé au sommet d'une montagne, le randonneur aperçoit son ombre auréolée de lumières colorées dans les nuages en contrebas. Comment expliquer ce phénomène, et que nous apprend-il sur la lumière ?

➥ EXERCICE 46

NOTIONS ET CONTENUS

- Lumière blanche, lumière colorée.
- Dispersion de la lumière blanche par un prisme ou un réseau.
- Longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.
- Spectre d'émission : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- Produire et exploiter des spectres d'émission obtenus à l'aide d'un système dispersif et d'un analyseur de spectre. ➥ ACTIVITÉ 3

TP

COMPÉTENCES :
APP Schématiser une situation
AN/RAI Faire des prévisions à l'aide d'un modèle

Dispersion de la lumière blanche par un prisme

Après avoir traversé un prisme, une lumière blanche émerge en un éventail de faisceaux colorés. Que nous apprend cette expérience sur la nature de la lumière blanche ?

PROTOCOLES EXPÉRIMENTAUX

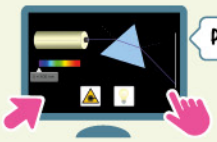
Expérience 1

- À l'aide d'une source de lumière blanche associée à une fente, on éclaire la face d'entrée d'un prisme en verre, d'indice optique moyen $n = 1{,}6$.
- On observe le **spectre** formé sur un écran blanc.

Expérience 2

- Reproduire l'expérience avec une source laser. Attention à ne pas la regarder directement !

POUR VISUALISER



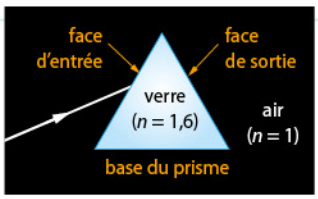
Une animation pour vérifier les observations.

VOCABULAIRE

- Une lumière **polychromatique** se décompose en plusieurs radiations colorées, au contraire d'une lumière **monochromatique** qui est pure.
- Le **spectre** d'une lumière est la figure colorée obtenue après la traversée du prisme.

DOC 1 Un prisme

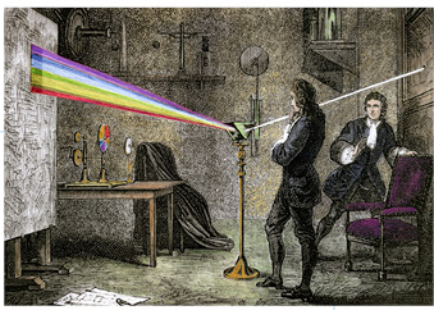
La face d'entrée d'un prisme est la face sur laquelle arrive la lumière ; la face de sortie, celle par laquelle la lumière ressort.





En coupe, ces deux faces apparaissent comme les deux côtés d'un triangle dont le troisième représente la base du prisme.

DOC 2 L'interprétation de Newton



En 1666, Newton disperse la lumière solaire à l'aide d'un prisme, et observe sur un écran toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. En isolant plusieurs rayons de lumière colorée avec un panneau percé de trous, Newton vérifie qu'un prisme réfracte ces rayons, mais ne change pas leur couleur. Il comprend alors que la lumière solaire est composée de différentes radiations colorées que le prisme sépare en les déviant différemment.

Auparavant, les savants pensaient que le prisme avait le pouvoir de (re)colorer toute lumière le traversant.

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 a. Quel phénomène la lumière subit-elle aux faces d'entrée et de sortie du prisme ?
b. Reproduire la figure du document 1. Tracer l'allure du rayon qui prolonge le rayon incident dans le prisme et à sa sortie.
c. La lumière est-elle déviée vers la base du prisme, ou dans le sens contraire ?

2 a. Réaliser l'expérience 1. L'analyse précédente est-elle vérifiée ?
b. Qu'observe-t-on également en sortie du prisme ?
c. Le faisceau en sortie est encadré par deux rayons. À quelle couleur est associé le rayon le plus dévié ?

3 a. Réaliser l'expérience 2. Qu'observe-t-on ?
b. Cette expérience donne-t-elle raison aux savants qui ont précédé Newton ?

SYNTHÈSE

4 Décrire et expliquer qualitativement le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme.

5 Qu'est-ce qui différencie une lumière blanche d'une lumière laser ?

Je réussis si...

- **Je sais identifier la face d'entrée, la face de sortie et la base d'un prisme lors de l'expérience.**
- **Je sais orienter le prisme pour voir un spectre étalé sur l'écran.**
- **Je sais faire la différence entre une lumière polychromatique et monochromatique.**

TP

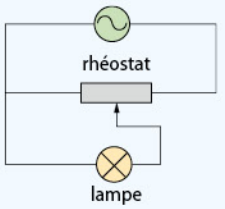
COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental
COM Présenter une démarche de manière argumentée

Couleur et température des corps chauds

Comment les astrophysiciens peuvent-ils connaître la température de surface d'étoiles distantes de plusieurs milliers de milliards de kilomètres ?

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- On établit un courant électrique au sein du filament d'une lampe que l'on observe à l'œil nu et au travers d'un **spectroscope**.
- On augmente progressivement l'intensité du courant, grâce à un rhéostat, pour chauffer de plus en plus le filament.



DÉMARCHE EXPERTE

Auguste Comte avait-il raison ? Justifier en précisant l'information que contient la lumière émise par des étoiles comme Rigel et Bételgeuse.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Après avoir réalisé l'expérience, dire comment évoluent la lumière émise par le filament et son spectre, au fur et à mesure que la température du filament augmente.
2. De quelle couleur serait la lumière émise si l'on pouvait chauffer davantage le filament ? Justifier.
3. En considérant les informations que l'on peut tirer des couleurs de Bételgeuse et Rigel, peut-on dire qu'Auguste Comte avait raison ?

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Réaliser l'expérience. Que se passe-t-il quand le filament est suffisamment chaud ?
2. Lorsque la température du filament augmente :
– comment évolue la couleur de la lumière émise ?
– comment évolue le spectre de cette lumière ?
Vérifier vos observations à l'aide de la vidéo.
3. Si l'on pouvait chauffer davantage le filament, de quelle couleur serait la lumière émise ? Justifier.
4. En considérant que tout corps chaud se comporte comme le filament, que peut-on déduire en comparant les couleurs de Bételgeuse et de Rigel ?
5. Auguste Comte avait-il raison ? Justifier.

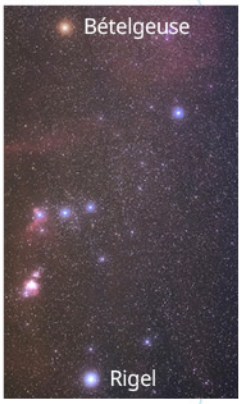
DOC 1 Les étoiles, ces lointaines inconnues

Le philosophe des sciences Auguste Comte (1798-1857) prétendait que l'on ne pourrait jamais rien savoir des étoiles, étant donné leur prodigieux éloignement. L'étoile la plus proche, Proxima du Centaure, est tout de même à 4,2 années-lumière, soit près de 40 000 milliards de kilomètres ! Et pourtant...



DOC 2 Des étoiles colorées

Par une belle soirée d'hiver, qui n'a pas admiré le ciel nocturne et ses étoiles, énormes boules de gaz chaud ? Une constellation brillante attire le regard : Orion, qui représente un chasseur célèbre de la mythologie grecque. Avec un peu d'habitude, on s'aperçoit que les étoiles ont des teintes différentes. La supergéante Bételgeuse, dans l'épaule gauche du chasseur, est rouge, tandis que Rigel, vers son genou droit, délivre une lumière bleutée.



POUR VISUALISER



Cette vidéo montre comment évoluent simultanément la couleur de la lumière émise et son **spectre** quand la température du filament est modifiée.

VOCABULAIRE

- Un **spectroscope** est un instrument comportant un (ou plusieurs) prisme(s) ou un réseau, et qui réalise le **spectre** d'une lumière.

Je réussis si...

- **Je sais réaliser le montage expérimental.**
- **Je détermine le rapport entre température d'un corps chauffé et couleur de la lumière émise.**
- **Je décris le spectre changeant de la lumière en fonction de sa couleur.**
- **DÉMARCHE EXPERTE Je sais justifier toutes les étapes de la démarche proposée.**

TP

COMPÉTENCE :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental

Acquisition de spectres lumineux

Le spectre d'une lumière renseigne sur les différentes radiations qui la composent.
Existe-t-il un rapport entre le spectre d'une lumière et la nature de sa source ?

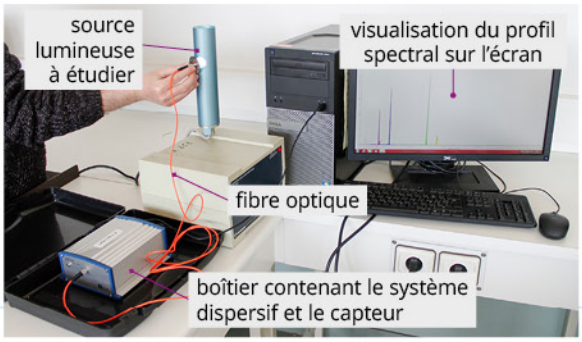
DOC 1 Les sources de lumière étudiées

- Une lampe à filament.
- Plusieurs **lampes à vapeur atomique**.
- Un laser (à ne pas regarder directement !).



DOC 2 La chaîne de mesure

On peut acquérir le spectre de la lumière d'une source lumineuse à l'aide d'un spectromètre numérique. La lumière émise est guidée par une fibre optique pour traverser un système dispersif, à la sortie duquel un capteur mesure l'intensité de rayonnement de chaque composante colorée. Un logiciel représente ensuite le profil spectral de la lumière.



VOCABULAIRE

- **Lampe à vapeur atomique :** lampe électrique renfermant un gaz qui émet de la lumière lorsqu'il est excité.
- **Longueur d'onde** : grandeur associée à une radiation lumineuse, notée λ, et mesurée en nanomètre (nm).

EXPLOITATION ET ANALYSE

Acquérir le profil spectral et le spectre de chaque source de lumière étudiée.

1 Sur un profil spectral, quelle grandeur est représentée par l'axe des abscisses ? À quoi est-elle associée ?

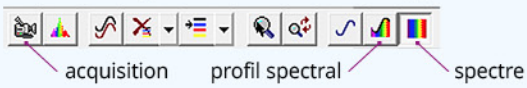
2 Recopier et compléter le tableau du **document 4** à l'aide des termes suivants *: courbe en cloche ; un seul pic ; spectre à raie unique, spectre de raies, plusieurs pics séparés, spectre continu.*

SYNTHÈSE

3 Quel renseignement sur la source tire-t-on du spectre d'une lumière ?

MANIPULATION

- Mettre sous tension le boîtier relié à la fibre optique, puis lancer le logiciel. La barre de menu apparaît :



- Pour chaque source de lumière :

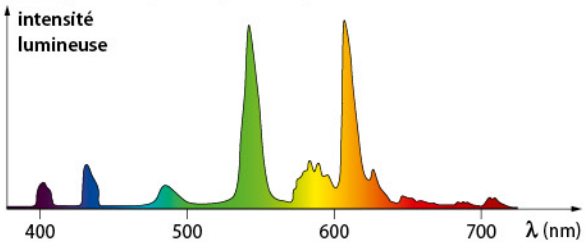
– Cliquer sur l'icône *profil spectral.*

– Maintenir fixement l'extrémité de la fibre optique à proximité de la source de lumière.

– Cliquer sur l'icône *acquisition* : le profil spectral apparaît à l'écran. Enregistrer le fichier sous le nom *« profil spectral » + nom de la lampe.*

– Pour observer le spectre associé, cliquer sur l'icône *spectre.* Enregistrer le fichier sous le nom *« spectre » + nom de la lampe.*

DOC 3 Exemple de profil spectral



La lumière étudiée est composée de quatre radiations principales. Celles dans le vert et dans l'orange sont plus intenses que celles dans le bleu et dans le violet.

DOC 4 À chaque source de lumière, son spectre !

Type de source	Enveloppe du profil spectral	Spectre
Corps chaud (filament)		
Gaz excité (lampe à vapeur)		
Laser		

Je réussis si...

- **Je sais produire un spectre d'émission.**
- **Je sais caractériser un spectre.**
- **Je sais associer à un type de spectre un type de source.**

COMPÉTENCES :
AN/RAI Procéder à des analogies
COM Utiliser un vocabulaire adapté

L'arc-en-ciel



SITUATION-PROBLÈME

Un phénomène optique de toute beauté célèbre les noces de la pluie et du soleil : l'arc-en-ciel ! On l'observe en présence de gouttes de pluie, en se plaçant dos au soleil.

Comment expliquer la forme d'un arc-en-ciel ?

HYPOTHÈSE Proposer une hypothèse en la justifiant.

DOC 1 Couleur, d'où viens-tu ?



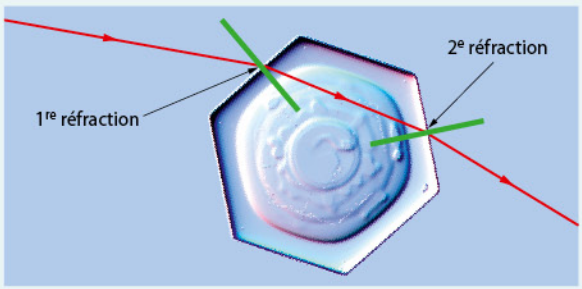
Cette animation explique d'où proviennent les couleurs de l'arc-en-ciel.

VOCABULAIRE
- Un **élément dispersif** est un objet (comme un prisme) qui décompose la lumière qui le traverse.

DOC 2 Les halos solaires colorés

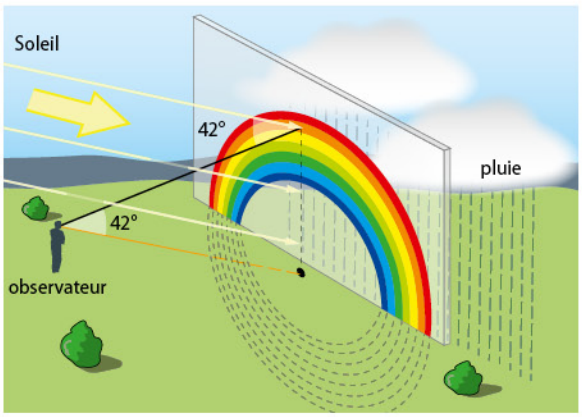
Certains halos autour du Soleil ou de la Lune dessinent des arcs-en-ciel fermés que l'on pourrait appeler des « cercles-en-ciel » (photo ci-contre). Ils s'expliquent par la présence de cristaux de glace hexagonaux dans des nuages d'altitude (comme les cirrus) qui dispersent la lumière par réfraction.





DOC 3 La forme de l'arc-en-ciel

L'œil de l'observateur est au sommet d'un cône qui s'appuie sur l'arc-en-ciel, et de symétrie de révolution autour de l'axe Soleil-observateur.



PISTES DE RÉSOLUTION

1 Pourquoi peut-on dire qu'une goutte d'eau, à la géométrie sphérique, se comporte (en partie) comme un prisme vis-à-vis de la lumière du soleil ? Noter une différence importante.

2 Les **éléments dispersifs** à l'origine des halos ont-ils une géométrie circulaire ? Confirmer ou invalider l'hypothèse selon laquelle la forme de l'arc-en-ciel serait due à la géométrie sphérique des gouttes de pluie.

3 L'arc rouge d'un arc-en-ciel est-il dû à toutes les gouttes du rideau de pluie ? Préciser la forme de l'espace occupé par ces gouttes en justifiant votre réponse.

CONCLUSION

Expliquer, le plus précisément possible, comment se forme un arc-en-ciel.

Je réussis si...
- **Je sais interpréter l'expérience de la dispersion de la lumière blanche par un prisme.**
- **Je sais différencier, sur un schéma, la réflexion de la réfraction de la lumière.**

PAGE Flashable

1 Lumière blanche, lumières colorées

Lumière blanche

Le **Soleil**, en plein jour, est la principale source naturelle de lumière blanche.

Les fabricants de lampes d'éclairage cherchent à reproduire au mieux la lumière solaire pour retrouver son agrément.

EXEMPLE

Les anciennes lampes à filament étaient trop énergivores ; elles ont été remplacées par des lampes à DEL et des lampes fluocompactes dont l'indice de rendu des couleurs (IRC) s'approche de 100, celui de la lumière du jour.

Couleur d'une lumière

On peut parler de la couleur d'une lumière bien que la lumière ne soit **pas visible.** La **couleur d'une lumière** est celle d'un écran blanc qu'elle éclaire.

EXEMPLE

En discothèque, ce sont les particules en suspension dans l'air qui, éclairées par les projecteurs, se comportent comme un écran et manifestent la trajectoire des faisceaux de lumière (FIG. 1).

Il est possible de déterminer la couleur d'une lumière à la couleur de sa source, mais il est dangereux de regarder directement certaines sources de lumière comme les lasers (FIG. 2).

Radiation lumineuse et longueur d'onde

Toute lumière est constituée d'une ou plusieurs **radiations lumineuses**, chacune d'elles étant caractérisée par sa **longueur d'onde** λ (dans le vide ou dans l'air), qui s'exprime en **mètre** (m).

En pratique, on utilise comme unité le **nanomètre** (nm), plus adapté pour exprimer des petites valeurs : **1 nm = 10^{-9} m** (FIG. 3).

EXEMPLES

Un laser rouge émet à une longueur d'onde $\lambda = 650$ nm, tandis qu'un laser vert émet à $\lambda = 532$ nm.

Polychromatique et monochromatique

Une lumière composée de plusieurs radiations lumineuses est dite **polychromatique**.

Au contraire, une lumière qui comporte une unique radiation lumineuse est dite **monochromatique**.

EXEMPLES

Un laser émet une lumière monochromatique.

Une lampe fluocompacte produit une lumière polychromatique : elle émet sur plusieurs plages de longueurs d'onde.

Dans le cas général, la couleur d'une lumière ne permet pas de déterminer si elle est polychromatique ou monochromatique.

EXEMPLE

La lumière monochromatique d'un laser rouge apparaît identique à celle, polychromatique, émise par une diode électroluminescente rouge (FIG. 4).



FIG. 1 La lumière éclaire sur son trajet des particules de fumée, ce qui rend visible son trajet.



DANGER
RAYONNEMENT
LASER

FIG. 2 Ne jamais regarder directement un faisceau laser !

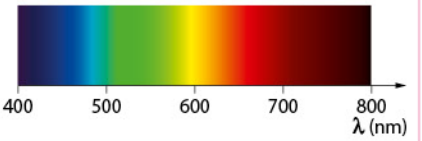


FIG. 3 Le domaine du visible couvre les radiations de longueur d'onde entre 400 et 800 nm.

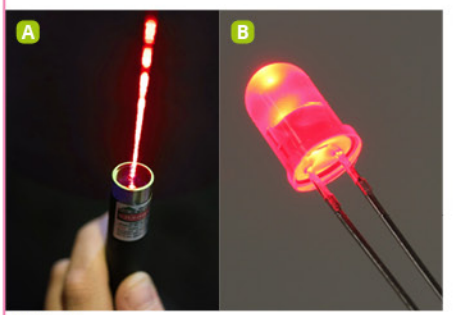


FIG. 4 Lumière rouge émise A par un laser ; B par une diode électroluminescente.

2 Dispersion de la lumière blanche par un prisme

Pour déterminer la composition en radiations lumineuses d'une lumière, il faut la **disperser**, c'est-à-dire **séparer ses différentes radiations**.

On utilise pour cela un **prisme** ou un **réseau**, qui sont appelés **systèmes dispersifs**. La figure colorée résultante est un **spectre** (FIG. 5).

EXEMPLE

Les sillons d'un CD forment un réseau qui disperse la lumière du jour : les irisations observées révèlent un spectre composé de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel.

Le **spectre de la lumière blanche** est composé de l'ensemble des radiations lumineuses du domaine du visible, entre 400 nm et 800 nm.

La lumière blanche est donc une lumière polychromatique (FIG. 6).

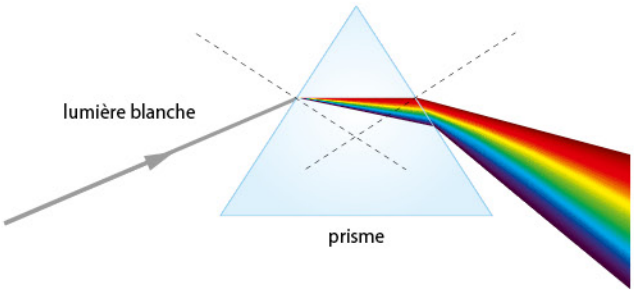


FIG. 5 Le spectre de la lumière blanche est visible sur un CD A et à la sortie d'un prisme B, deux systèmes dispersifs.

Réfraction dans un prisme

Étudions plus précisément comment un prisme disperse un faisceau de lumière blanche.

On éclaire la face d'entrée :



On constate que le faisceau est dévié vers la base du prisme, et que la lumière blanche est dispersée lors de chacune des réfractions : d'abord lors de la traversée de la face d'entrée (à l'interface air/verre) puis sur la face de sortie (à l'interface verre/air). Les rayons lumineux correspondant aux différentes radiations émergent selon des angles différents (FIG. 7).

Un **prisme** dévie davantage les radiations de courte longueur d'onde (vers le bleu) que les radiations de grande longueur d'onde (vers le rouge), ce qui induit l'effet de **dispersion** de la lumière (FIG. 6).

La forme du prisme accentue cet effet.

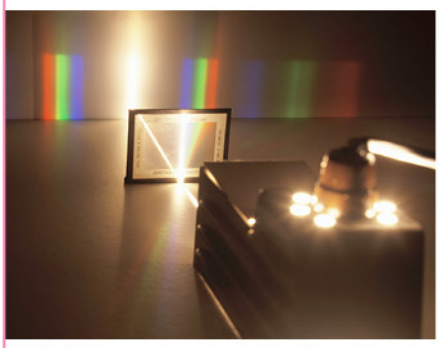


FIG. 6 Dispersion de la lumière blanche par un réseau (un ensemble de traits serrés) : les spectres obtenus révèlent toutes les couleurs de l'arc-en-ciel.



FIG. 7 Un arc-en-ciel se forme quand les gouttes d'eau dispersent la lumière incidente. Dans la goutte, un rayon bleu est plus dévié qu'un rayon rouge.

APPROFONDISSEMENT SCIENTIFIQUE

D'après la **loi de la réfraction de Snell-Descartes** (voir chapitre 10), l'angle de réfraction dépend de l'indice optique du prisme et de l'angle d'incidence.
Comme toutes les radiations ont un même angle d'incidence, leurs différents angles de réfraction ne peuvent s'expliquer que si l'indice est différent pour chaque radiation.

Ainsi, l'**indice optique *n*** du verre d'un prisme **dépend de la longueur d'onde λ** de la radiation qui le traverse. On le note ***n*(λ)**.

3 Spectres d'émission

Le spectre de la lumière émise par une source est appelé **spectre d'émission**. Son analyse renseigne sur la nature de la source.

Spectre continu d'origine thermique

Un **corps fortement chauffé** (solide, liquide ou gaz sous haute pression) produit un rayonnement d'origine thermique dont le **spectre est continu**.

EXEMPLE
Un objet incandescent émet une lumière dont le spectre est continu (FIG. 8).

La lumière émise par un corps fortement chauffé (un filament, une coulée de lave, etc.) dépend uniquement de sa température.

Quand un corps s'échauffe, la **couleur de la lumière** émise évolue du **rouge au blanc** en passant par l'orange, tandis que l'**intensité lumineuse** augmente (FIG. 8). Le rayonnement émis s'enrichit progressivement en radiations de courte longueur d'onde (FIG. 9).

À très haute température, la lumière est bleue et très intense.

EXEMPLE
L'étoile Rigel est bleue : sa température de surface est d'environ 11 000 °C ; à comparer avec celle du Soleil, qui est de 5 500 °C environ.

Spectre de raies

Un **gaz d'atomes excité à basse pression** émet une lumière composée d'une ou plusieurs radiations. Son spectre est constitué de **raies colorées**. C'est un spectre de **raies d'émission** (FIG. 10).

Les longueurs d'onde des raies d'émission sont spécifiques de chaque atome (ou ion). Il est donc possible d'identifier la présence d'un atome dans un gaz excité à partir de son spectre.

Le spectre de raies d'émission d'un atome (ou d'un ion) fait fonction de **carte d'identité**.

Spectre d'une étoile

Un spectre d'étoile comporte de fines raies noires sur un fond continu (FIG. 11).



FIG. 11 Spectre du Soleil. Trois raies noires caractéristiques de l'hydrogène y sont repérées : l'atmosphère du Soleil comporte en effet de l'hydrogène.

Le spectre continu renseigne sur la température à la surface de l'étoile. Les raies sombres, quant à elles, correspondent, en négatif, aux raies d'émission des éléments chimiques présents dans son atmosphère. Ces raies fournissent donc des informations sur la **composition chimique** de l'étoile.

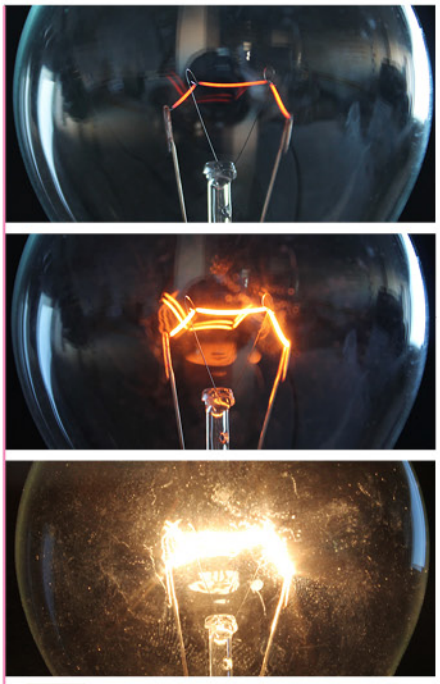


FIG. 8 Un filament chauffé passe du rouge au blanc au fur et à mesure que la température augmente.

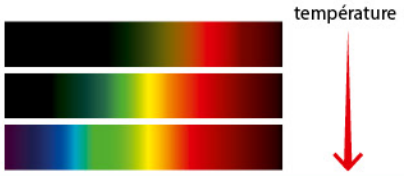


FIG. 9 Quand la température augmente, le spectre s'enrichit en radiations de courtes longueurs d'onde.



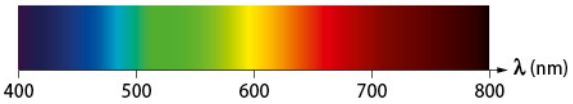
FIG. 10 **A** Spectre du sodium (Na). **B** Spectre de l'hydrogène (H).

VOCABULAIRE
- **Gaz excité** : gaz chauffé ou soumis à une tension électrique.

1 Lumière blanche, lumières colorées

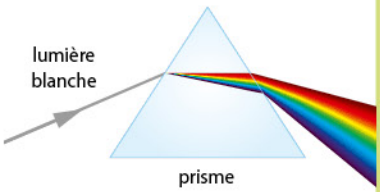


- Le **Soleil** est la principale source de lumière blanche.
- Pour identifier la **couleur** d'une lumière, on observe la couleur prise par un écran blanc qu'elle éclaire.
- Une lumière **polychromatique** est composée de plusieurs **radiations lumineuses**, au contraire d'une lumière **monochromatique** qui n'en contient qu'une seule.
- Chaque radiation lumineuse est caractérisée par sa **longueur d'onde λ** qui s'exprime en nanomètre.



2 Dispersion de la lumière blanche par un prisme

- **Disperser** une lumière consiste à séparer ses différentes radiations lumineuses.
- Un **réseau** et un **prisme** sont des systèmes dispersifs. La figure colorée qui résulte de la **décomposition** de la lumière incidente est appelée **spectre**.
- Dans un prisme, les différentes **radiations** d'une lumière polychromatique sont séparées par **réfraction**, selon les **lois de Snell-Descartes**.
- Comme l'**indice optique** du verre dépend de la longueur d'onde, les rayons lumineux correspondant aux différentes radiations émergent selon des angles différents.



3 Spectres d'émission

- Un corps fortement chauffé émet une lumière dont le **spectre** est **continu**.
- Un gaz d'atomes excité, à basse pression, émet une lumière composée de plusieurs radiations distinctes. Son spectre est un **spectre de raies**.

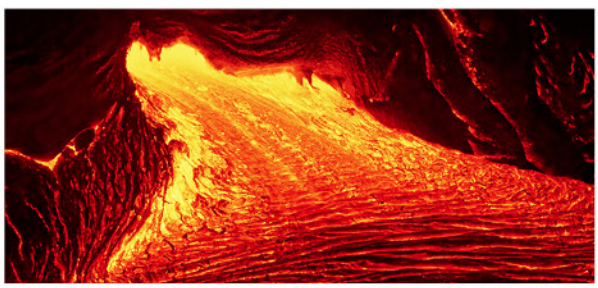


Spectre continu — Spectre de raies

- Quand la température d'un corps chauffé s'élève, la couleur de la lumière qu'il émet passe du rouge à l'orange, puis au blanc et au bleu, tandis que son spectre s'enrichit en radiations de courtes longueurs d'onde (vers le bleu).



- Un corps émet d'autant plus de lumière qu'il est chaud.



La lave chaude, en haut de la coulée, est plus lumineuse que la lave en contrebas, qui s'est refroidie.

- Un spectre de raies est caractéristique du gaz émetteur, et fait fonction de carte d'identité.



Spectre du carbone C : un code-barres identifiant

- Un **spectre d'étoile** comporte :

– un fond de spectre continu qui renseigne sur la température à la surface de l'étoile ;

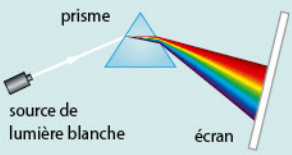
– des raies sombres qui correspondent, en négatif, aux raies d'émission de gaz présents dans son atmosphère.

Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

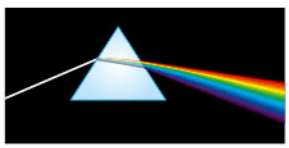
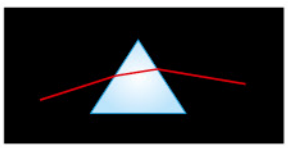
QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

1 Lumière blanche, lumières colorées

	A	B	C
1 La principale source de lumière blanche est :	la Lune.	un laser.	le Soleil.
2 Une expérience est dessinée ci-dessous.  En réalité, on voit :	le rayon de lumière blanche.	le faisceau de lumières colorées.	la partie de l'écran éclairée par les lumières colorées (le spectre).
3 Une lumière est polychromatique :	si elle n'est composée que d'une seule radiation.	si elle est composée de plusieurs lumières colorées.	si elle n'est pas monochromatique.
4 La longueur d'onde :	peut s'exprimer en mètre.	a pour symbole λ.	décrit la longueur d'un rayon de lumière.

2 Dispersion de la lumière blanche par un prisme

	A	B	C
5 Le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme est correctement représenté par :			
6 Le prisme disperse la lumière blanche car :	en absorbant la lumière blanche, il fait apparaître des couleurs.	chaque lumière colorée est réfractée différemment.	l'indice du prisme dépend de la longueur d'onde de chaque radiation.

3 Spectres d'émission

	A	B	C
7 La lumière rouge émise par un corps chaud a pour spectre :			
8 Ce spectre est : 	un spectre continu.	un spectre de raies.	le spectre de la lumière blanche.
9 L'analyse d'un spectre de raies permet :	d'identifier la nature des atomes du gaz émetteur.	d'identifier la nature du corps chaud qui a émis sa lumière.	de savoir si le gaz émetteur est plus ou moins chaud.
10 Le spectre d'une étoile renseigne sur :	la composition du cœur de l'astre.	la température en surface.	sa taille.

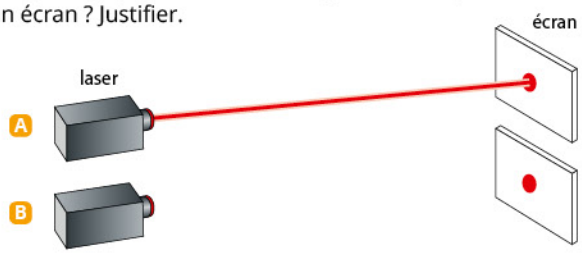
Acquérir les notions

1 Lumière blanche, lumières colorées

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Lumière blanche, lumière colorée. ➥ EXERCICES 11 À 13	• Citer la principale source de lumière blanche. • Savoir que la lumière n'est pas visible.
Longueur d'onde d'un rayonnement monochromatique dans le vide ou dans l'air. ➥ EXERCICES 14 À 17	• Définir une lumière polychromatique et une lumière monochromatique. • Caractériser une lumière monochromatique par sa longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.

11 Rayon visible ou invisible ?

1. Quel schéma représente le mieux ce que l'on observe lorsque l'on pointe un laser rouge de faible puissance sur un écran ? Justifier.



2. Comment matérialiser le rayon lumineux du laser à l'aide de poudre de craie ? Expliquer pourquoi le trajet de la lumière devient apparent.

12 Un faisceau laser visible ?

Depuis la base de Dumont d'Urville, en Antarctique, un faisceau laser est régulièrement pointé vers le ciel. Les scientifiques étudient ainsi les évolutions de la composition de l'atmosphère, et évaluent leur impact sur le climat à l'échelle mondiale.

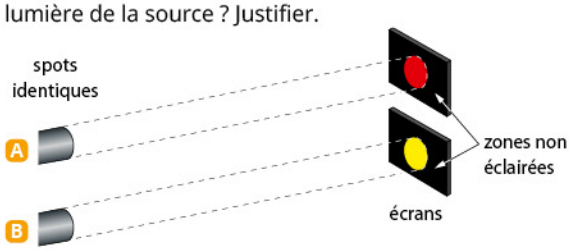


1. Comment expliquer que le faisceau laser soit visible sur la photographie ?

2. Pensez-vous que ce faisceau soit visible quand la lumière sort de l'atmosphère terrestre ? Justifier.

13 Déterminer la couleur d'une lumière

Une même source de lumière colorée éclaire d'abord un écran rouge A puis un écran blanc B. De quelle couleur est la lumière de la source ? Justifier.



14 Longueurs d'onde et lumière blanche

1. Comment appelle-t-on la lumière qui nous éclaire en plein jour ?

2. Pourquoi dit-on qu'on peut la « décomposer » ?

3. Ordonner les longueurs d'onde des radiations bleue, verte et rouge qui la composent.

15 Conversion d'une longueur d'onde

1. La longueur d'onde d'une radiation lumineuse est de $4{,}30 \times 10^{-7}$ m. La convertir en nanomètre.

2. Un laser a pour longueur d'onde $\lambda = 1\,200$ nm.
a. Cette radiation se trouve-t-elle dans le domaine du visible ? Justifier.
b. Convertir sa longueur d'onde en mètre, et écrire le résultat en notation scientifique.

16 Lumière monochromatique et polychromatique

Les termes « polychromatique » et « monochromatique » viennent du grec *khrôma,* « couleur », *polús,* « plusieurs », et de *mónos*, « seul ».

1. Justifier ces noms pour les deux types de lumière, monochromatique et polychromatique.

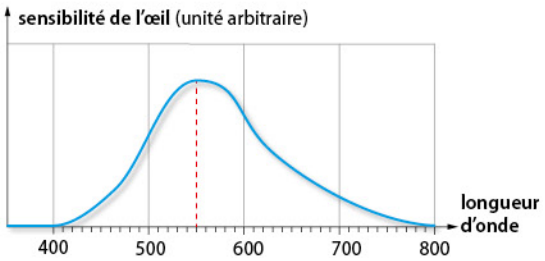
2. Citer un exemple de chacune de ces lumières.

3. Quelle grandeur caractérise une lumière monochromatique (ou radiation) ? Quelle est son unité ?

4. Proposer une expérience permettant d'identifier si une lumière est polychromatique ou non.

17 Sensibilité de l'œil humain et longueur d'onde

Voici la courbe de sensibilité de l'œil à la lumière.



1. Quel est le symbole de la longueur d'onde ?

2. Quelle est l'unité de l'axe des abscisses ?

3. Quelle est la longueur d'onde de la radiation à laquelle l'œil est le plus sensible ?

2 Dispersion de la lumière blanche par un prisme

Notions du programme

Dispersion de la lumière blanche par un prisme ou un réseau.

➥ EXERCICES 18 à 21

Ce qu'on attend de moi

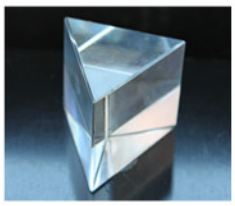
- Décrire le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme.

18 Dispersion et vocabulaire

1. Quel phénomène appelle-t-on dispersion de la lumière blanche ?

2. Comment appelle-t-on la figure colorée obtenue sur l'écran ?

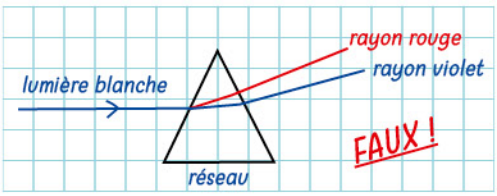
3. Citer les noms de ces deux éléments dispersifs :

A 

B 

19 Le jeu des erreurs

Dans le schéma de la dispersion de la lumière blanche ci-dessous, trois erreurs se sont glissées. Trouver lesquelles.



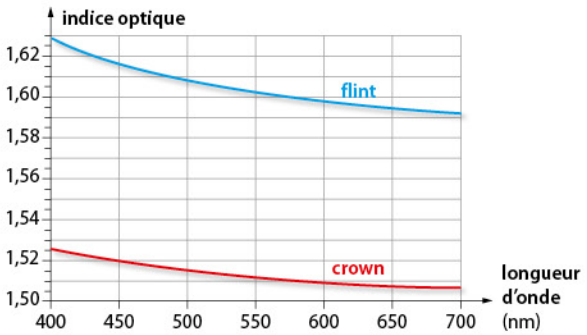
20 Indice optique et dispersion

1. Choisir la bonne proposition : l'indice optique du verre *ne dépend pas/dépend* de la longueur d'onde de la lumière.

2. La déviation d'une radiation à la traversée d'un dioptre air/verre ou verre/air est d'autant plus grande que l'indice du verre est grand.

Comparer $n_{verre}(\lambda = 400\ nm)$ et $n_{verre}(\lambda = 700\ nm)$.

3. Quel verre, flint ou crown, permet la meilleure dispersion de la lumière blanche ? Justifier en utilisant ce graphique :



21 Le mécanisme de la dispersion

1. Est-ce le phénomène de réfraction, celui de réflexion ou celui d'absorption qui explique la dispersion de la lumière blanche à la traversée d'un prisme ?

2. Combien de fois ce phénomène affecte-t-il la lumière à la traversée du prisme ? Justifier.

3. Pourquoi les différentes radiations qui composent la lumière blanche ne sont-elles pas déviées de la même façon ?

4. Le verre est un milieu dit *dispersif*. Citer un exemple (évident !) de milieu non dispersif.

3 Spectres d'émission

Notions du programme

Spectre d'émission : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies

➥ EXERCICES 22 à 30

Ce qu'on attend de moi

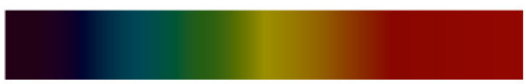
- Différencier un spectre d'émission continu d'un spectre de raies.
- Identifier le type de source lumineuse à partir de son spectre.
- Interpréter un spectre continu d'origine thermique.
- Identifier les atomes d'un gaz émetteur à partir du spectre de sa lumière.

22 Spectre continu et spectre de raies d'émission

Parmi les quatre spectres ci-dessous, lesquels sont des spectres continus ? Lesquels sont des spectres de raies ?

A 

B 

C 

D 

23 Le spectre de la lumière blanche

1. Parmi les spectres ci-dessous, lequel correspond à celui de la lumière blanche ?

A 

B 

C 

2. Le spectre de la lumière blanche est-il un spectre de raies ou un spectre continu ?

24 Telle lumière, tel spectre

On donne les spectres des lumières émises par deux lampes différentes.

A



B



1. Quelle lampe émet de la lumière grâce à un corps chaud ?
2. Qu'est-ce qui émet la lumière dans l'autre lampe ?

25 Température et lumière des sources chaudes

Un filament chauffé est photographié à deux températures différentes.



A



B

1. Sur quelle image le filament est-il le plus chaud ?
2. Quel filament émet le plus de lumière bleue ?
3. Quel filament émet le moins de radiations de courtes longueurs d'onde ?

26 Des étoiles colorées

La constellation d'Orion est visible en hiver dans l'hémisphère nord. Elle comporte deux étoiles très brillantes : Bételgeuse, une supergéante rouge, et Rigel, une supergéante bleue.

Voici le spectre d'émission de chacune de ces étoiles :

A



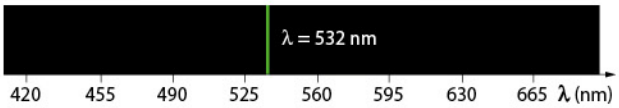
B



1. La zone émettrice de lumière dans les étoiles est-elle constituée par des corps chauds ou des gaz excités ? Justifier.
2. Quelle information peut-on tirer des couleurs respectives des étoiles ?
3. Associer un spectre à chaque étoile en justifiant.

27 Une seule raie

Un spectromètre fournit le spectre d'une lumière :

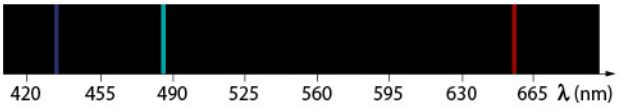


1. Quel est le nom de la grandeur physique mesurée ?
2. Justifier que cette lumière est monochromatique.
3. De quel type de source de lumière ce spectre est-il la signature ?

28 Lampe à vapeur atomique

À l'aide d'un spectromètre, un technicien réalise le spectre d'une lampe à décharge, une lampe électrique qui contient un gaz renfermé dans une ampoule en verre.

Il obtient le résultat suivant :



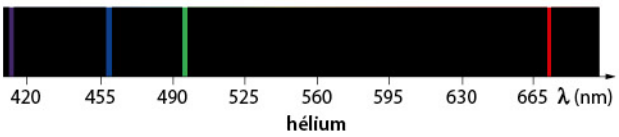
Déterminer de quels atomes est constitué le gaz de la lampe.

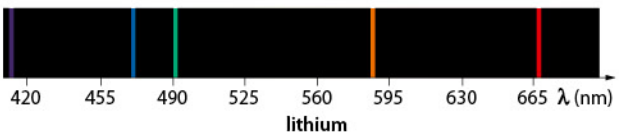
Données :

Atomes émetteurs	Valeur des longueurs d'onde de quelques raies d'émission (en nm)
Mercure	436 ; 546 ; 577
Hydrogène	434 ; 486 ; 656
Sodium	449 ; 454 ; 568 ; 589

29 Raie(s) caractéristique(s) ?

Quelques raies des spectres de l'hélium et du lithium sont présentées ci-dessous :





1. Peut-on confirmer la présence d'hélium ou de lithium dans un échantillon à partir de leur seule raie violette ? Justifier.
2. Pour les différencier à partir des raies vertes et rouges, quelle qualité devra avoir le spectromètre ?
3. Plus généralement, une unique raie suffit-elle pour identifier un atome émetteur ?

30 Éclairage public

Les lampadaires qui délivrent une lumière jaune sont souvent des lampes à vapeur de sodium.

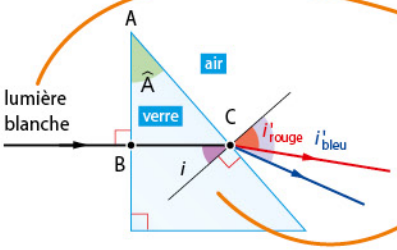
Comment pourrait-on le vérifier expérimentalement ?



Exercice résolu EN AUTONOMIE

31 Détermination des indices optiques d'un prisme pour deux longueurs d'onde

Afin de déterminer les indices optiques n_{rouge} et n_{bleu} du verre d'un prisme pour deux longueurs d'onde, $\lambda = 400$ nm (bleu) et $\lambda = 750$ nm (rouge), on réalise l'expérience schématisée ci-contre.



On mesure :
– l'angle du prisme $\hat{A} = i = 35{,}0°$;
– l'angle de réfraction pour le rayon rouge, $i'_{rouge} = 65{,}8°$;
– l'angle de réfraction pour le rayon bleu, $i'_{bleu} = 69{,}2°$.
En utilisant la loi de Snell-Descartes pour la réfraction :

1. **Prouver** que le rayon n'est pas réfracté lors de la traversée du premier dioptre air/verre, s'il arrive perpendiculairement au dioptre. On appellera i_1 l'angle d'incidence sur la face d'entrée du prisme et i'_1 l'angle de réfraction correspondant.

2. **Déterminer** n_{rouge} et n_{bleu}, et conclure sur la raison de la dispersion de la lumière blanche par un prisme.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- Le phénomène étudié est lié à la **réfraction** de la lumière.
- On observe que la lumière arrive **perpendiculairement** à la face d'entrée du prisme.
- Les angles de réfraction i'_r et i'_b ainsi que l'angle d'incidence i sont mesurés par rapport à la **normale** à la face de sortie du prisme.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Prouver** : produire une démonstration, souvent mathématique.
- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Le rayon n'est pas dévié si $i'_1 = i_1$. D'après la loi de Snell-Descartes, à la première interface air-verre, on a :

$$n_{air} \cdot \sin i_1 = n_{verre} \cdot \sin i'_1.$$

Le rayon arrive perpendiculairement au dioptre donc $i_1 = 0$.
On a donc $\sin i_1 = 0$, et on en déduit que $n_{verre} \cdot \sin i'_1 = 0$. Cette relation ne se vérifie que si $\sin i'_1 = 0$, soit $i'_1 = 0$. **Le rayon n'est donc pas dévié.**

2. À l'interface verre-air, pour le rayon rouge, on a :

$$n_{rouge} \cdot \sin i = n_{air} \cdot \sin i'_{rouge}.$$

D'où $\boldsymbol{n_{rouge} = (\sin i'_{rouge} / \sin i) \times n_{air}}$ avec $n_{air} = 1{,}00$.

Avec $i = \hat{A} = 35{,}0°$ et $i'_{rouge} = 65{,}8°$, on calcule $\boldsymbol{n_{rouge} = 1{,}59}$.

Par analogie avec la formule précédente, pour le rayon bleu :

$$n_{bleu} = (\sin i'_{bleu} / \sin i) \times n_{air}.$$

Avec $i = 35{,}0°$ et $i'_{bleu} = 69{,}2°$, on trouve $\boldsymbol{n_{bleu} = 1{,}63}$.

La dispersion est due au fait que l'indice optique du prisme dépend de la longueur d'onde.

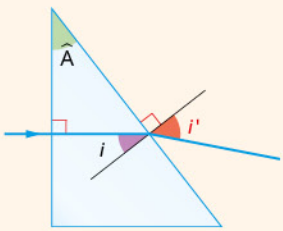
QUELQUES CONSEILS

1. Exprimer mathématiquement la condition de non réfraction du rayon : c'est ce que l'on cherchera à démontrer.
2. Bien écrire la formule littérale donnant n_{rouge} avant de passer au calcul numérique.
Inutile de démontrer la formule littérale pour n_{bleu} (déjà fait pour n_{rouge}).
Donner le résultat avec 3 chiffres significatifs.

EXERCICE SIMILAIRE

32 Détermination du type d'un verre

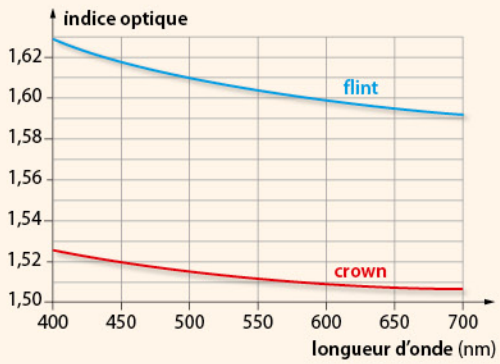
On réalise l'expérience ci-dessous à l'aide d'un laser de couleur cyan ($\lambda = 500$ nm) et d'un prisme en verre.



On mesure les angles : $\hat{A} = i = 30{,}0°$ et $i' = 53{,}6°$.

1. Déterminer l'indice optique du verre pour cette longueur d'onde.

2. La courbe ci-contre donne la variation de l'indice optique de deux types de verre différents, « flint » et « crown », en fonction de la longueur d'onde. Déterminer le type du verre du prisme.

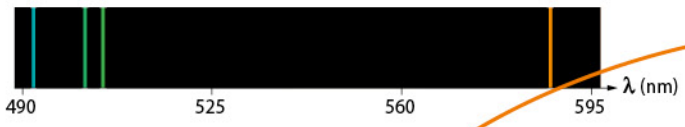


Exercice résolu EN AUTONOMIE

MESURES ET INCERTITUDES

33 Détermination précise d'une longueur d'onde sur un spectre

On considère une partie du spectre d'émission d'une vapeur atomique.



L'axe des longueurs d'onde est gradué linéairement en nanomètre.

On sera amené à utiliser une règle dont la plus petite graduation est le millimètre.

Données : *λ(raie verte de l'hélium) = 504,8 nm.*
λ(raie verte du carbone) = 505,2 nm.

1. **Mesurer** précisément la valeur de la longueur d'onde de la raie orange.
2. Refaire cette mesure pour la troisième raie verte. Peut-on en déduire s'il s'agit de la raie verte du carbone ou de l'hélium ? Justifier.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- **Graduation linéaire** : Une même différence de longueur d'onde, correspond à une même longueur sur l'axe.
- La **précision de la mesure** dépend de l'instrument de mesure, ici une règle **graduée en millimètre**.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Mesurer** : évaluer une grandeur (ici une longueur associée à une longueur d'onde) à l'aide d'un étalon de même espèce (ici le millimètre de la règle).

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. L'axe des longueurs d'onde est gradué de 35 nm en 35 nm, ce qui ne permet pas de mesure précise. Il faut compléter la graduation, ce qui revient à déterminer l'échelle choisie. Comme la graduation est linéaire, 1 mm mesuré à la règle correspond partout à une même différence de longueur d'onde.

On mesure à la règle, entre 490 et 595, une longueur $\ell = 7{,}5$ cm $= 75$ mm, ce qui correspond à un écart en longueur d'onde de $595 - 490 = 105$ nm.

On dresse le tableau de correspondance ci-dessous.

Différence de longueur d'onde $\Delta\lambda$ (en nm)	**Longueur** ℓ (en mm)
105	75
$105/75 \times 1{,}0 = 1{,}4$	1,0

L'échelle de l'axe des longueurs d'onde est : 1,0 mm ↔ 1,4 nm.

Entre la graduation 560 et la raie orange, on mesure $\ell = 19{,}5$ mm, d'où :

$\Delta\lambda = 19{,}5 \times 1{,}4 = 27{,}3$ nm donc λ **(raie orange)** $= 560 + 27{,}3 =$ **587,3 nm.**

2. On mesure entre la graduation 490 et la raie verte $\ell = 10{,}5$ mm, d'où :

$\Delta\lambda = 10{,}5 \times 1{,}4 = 14{,}7$ nm donc λ **(raie verte)** $= 490 + 14{,}7 =$ **504,7 nm**.

Il s'agit de la **raie verte de l'hélium** ($\lambda = 504{,}8$ nm), la petite différence étant due à la précision de la mesure.

QUELQUES CONSEILS

1. Pour déterminer l'échelle, mesurer la longueur entre les graduations les plus éloignées pour une meilleure précision. Pour donner l'échelle de l'axe, indiquer à combien de nm correspond 1 mm.

2. On compare le résultat obtenu aux valeurs de longueurs d'onde données pour la raie verte de l'hélium et celle du carbone.

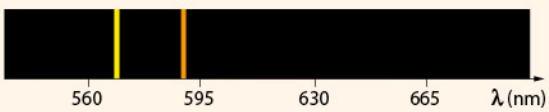
EXERCICE SIMILAIRE

34 Le doublet orange du sodium

On considère la raie orange dans le spectre d'émission d'une vapeur atomique de sodium, utilisée dans certains éclairages publics. L'échelle de l'axe des longueurs d'onde est linéaire A.

1. Mesurer précisément la longueur d'onde de la raie orange.
2. En fait, cette raie est constituée de deux raies très proches, ce que montre un spectromètre plus précis B.

Vérifier que l'écart entre les deux raies est $\Delta\lambda = 0{,}6$ nm.



A **La raie orange du sodium.**

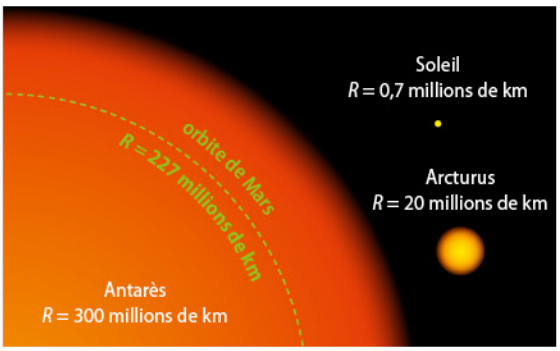


B **Le doublet orange du sodium.**

Croiser les notions

35 Des étoiles bien différentes

Antarès est une supergéante rouge visible dans la constellation du Scorpion, tandis qu'Arcturus est une géante orange observable à l'œil nu dans la constellation du Bouvier, située près de la Grande Ourse. Le Soleil, quant à lui, est une naine jaune ; une désignation que l'on comprend mieux quand on compare la taille de ces trois étoiles !



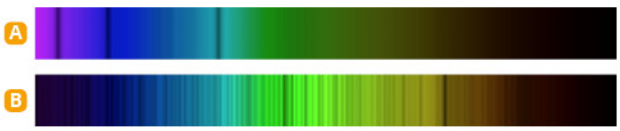
1. Parmi les étoiles citées, laquelle a la température de surface la plus grande ? Justifier.

2. À l'aide de quel instrument peut-on obtenir le spectre de la lumière de ces étoiles ?

3. Quelle différence pourrait-on noter entre les spectres de ces étoiles ?

36 Des spectres d'étoiles

À l'aide d'un spectroscope, un astronome a obtenu les deux spectres présentés ci-dessous : celui de l'étoile Castor A et celui de l'étoile Aldébaran B.



1. Citer les deux éléments que l'on peut trouver dans un spectroscope, et dont le rôle est de disperser la lumière.

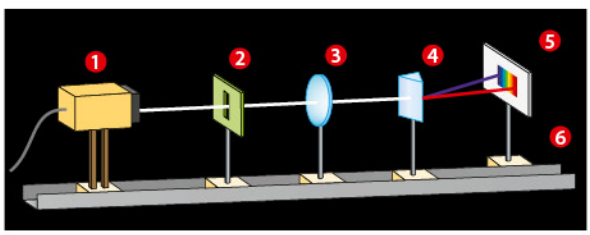
2. Pourquoi peut-on dire que la lumière émise par ces étoiles est polychromatique ?

3. Comparer les deux spectres. Qu'en déduire concernant la température de ces deux étoiles ?

4. Dans le ciel nocturne, l'une de ces étoiles est orange tandis que l'autre est blanche. Attribuer à chacune sa couleur en justifiant votre réponse.

37 Dispositif d'obtention d'un spectre

On réalise le dispositif suivant :



1. Associer à chaque élément numéroté du dispositif un des noms de la légende suivante : *source de lumière, écran, lentille convergente, prisme, fente, banc optique.*

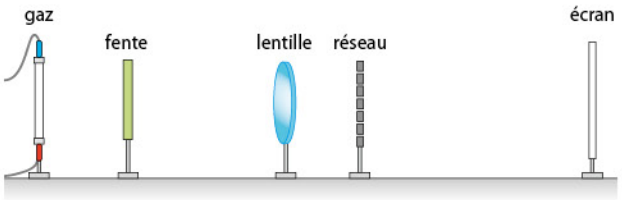
2. Comment nomme-t-on la figure colorée sur l'écran ?

3. Pourquoi l'écran ne peut-il pas être dans l'alignement des autres éléments du dispositif ?

4. De quel type de spectre s'agit-il ? Quel renseignement tire-t-on de la nature de ce spectre ?

38 Utilisation d'un réseau pour l'obtention d'un spectre

On utilise le montage ci-dessous pour réaliser le spectre de la lumière émise par un gaz atomique.



1. À quelle condition un gaz atomique émet-il de la lumière ?

2. Dans ce montage, quel élément disperse la lumière ? Par quel autre élément aurait-on pu le remplacer ?

3. On obtient le spectre ci-dessous sur l'écran :



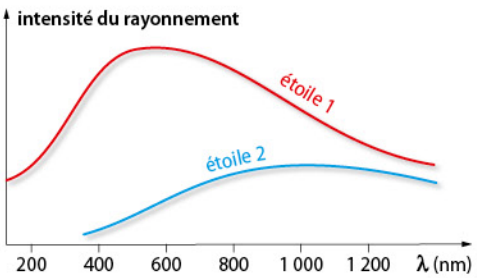
a. Pourquoi obtient-on un spectre de raies ?

b. Par quelle grandeur physique repère-t-on chacune des raies ?

c. Pourquoi peut-on dire qu'un tel spectre constitue une « carte d'identité » du gaz émetteur ?

39 Profils spectraux d'étoiles

On a représenté ci-dessous l'intensité de la lumière rayonnée à toutes les longueurs d'onde comprises entre 200 nm et 1 400 nm par deux étoiles. Le sommet de chaque courbe en cloche indique la longueur d'onde à laquelle le rayonnement émis est le plus intense.



1. Quelle est l'étoile qui rayonne le plus dans les courtes longueurs d'onde ?

2. En déduire celle dont le spectre contient le plus de lumière bleue.

3. Quelle est celle dont la température de surface est la plus haute ? Justifier.

4. Identifier les deux étoiles à l'aide du tableau ci-après :

Étoiles	Canopus	Antarès
Couleur	blanc-jaune	rouge
Température (en °C)	6 000	3 500

JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- bien noté les longueurs d'onde du maximum d'émission pour chaque étoile ;
- comparé ces valeurs pour comparer les températures de surface de chaque étoile.

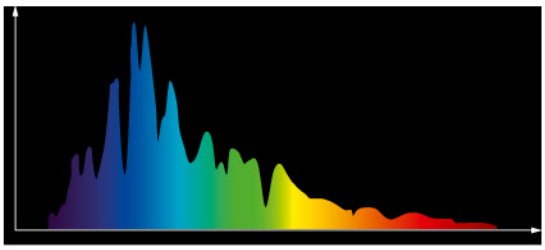
40 Profil spectral d'une supernova



Une supernova est une gigantesque explosion d'une étoile en fin de vie ; à son maximum, elle dégage autant d'énergie que l'ensemble des étoiles d'une galaxie ! Dans le ciel, cela se traduit par l'apparition d'une lueur qui s'éteint ensuite en quelques dizaines de jours.

Les astrophysiciens ont ainsi pu observer en 1987, à l'œil nu, la supernova SN1987A dans le Grand nuage de Magellan, une galaxie satellite de notre Voie lactée. Les restes de l'explosion constituent un *rémanent de supernova* (ci-dessus, la nébuleuse du Crabe).

On a représenté le profil spectral de la supernova SN1987 au maximum de son émission :



VOCABULAIRE

- Le **profil spectral** donne l'intensité du rayonnement en fonction de la longueur d'onde.

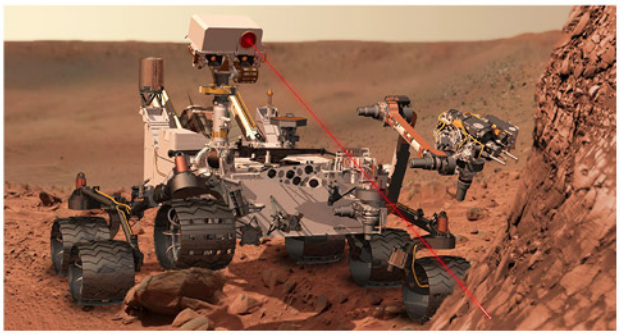
1. Quelle grandeur est représentée sur l'axe des ordonnées ? Sur l'axe des abscisses ?
2. La lumière de la supernova est-elle :
   a. polychromatique ou monochromatique ? Justifier.
   b. émise par un gaz excité ou par un corps chaud ? Justifier.
   c. émise principalement dans le bleu ou dans le rouge ?
3. Sachant que le profil spectral du Soleil présente un maximum décalé vers la droite (vers les grandes longueurs d'onde), comparer la température de la surface émettrice de la supernova et celle du Soleil.

41 Red against red

Antares is a red star, the brightest one in the constellation of Scorpius. The word "Antares" means "rival of Ares" ("anti-Ares") or "rival of Mars" – Mars is the Roman counterpart of Ares, the Greek god of war. In ancient times, astronomers thought the red star looked similar to the planet Mars. Mars, in fact, can sometimes get close to Antares when it travels across the night sky, and the star can be easily mistaken for the planet.

As Mars and Antares are similarly red, can we assume that their surface temperatures are the same? Justify your answer.

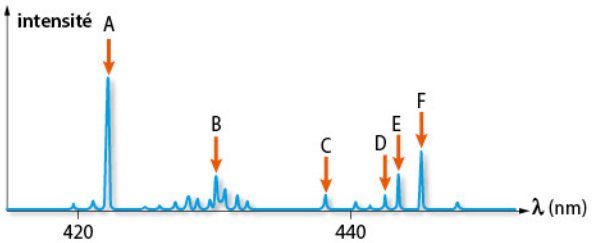
42 Analyse de la composition du sol martien



Depuis le 6 août 2012, le rover *Curiosity* parcourt la surface de Mars pour étudier la géologie martienne. Pour cela, il dispose d'un instrument, appelé Chemcam, constitué d'un spectromètre associé à un laser. Le laser pulsé, de forte puissance, provoque localement un échauffement brutal des roches éclairées, qui se vaporisent superficiellement. Les ions et atomes du gaz se trouvent alors dans un état excité, et émettent de la lumière. Le spectromètre analyse cette lumière sur la plage de 250 nm à 900 nm.

1. Quelle particularité a la lumière émise par un laser ?
2. Quel est le rôle du laser de Chemcam ?
3. À quoi sert le deuxième élément constituant Chemcam ?
4. De quelle nature sont les spectres obtenus ? Justifier.

L'analyse d'un échantillon a fourni un spectre d'émission dont une partie est reproduite ci-dessous. L'intensité lumineuse est présentée en fonction de la longueur d'onde. Chaque pic correspond à une raie, qui est d'autant plus lumineuse que le pic est haut.



Données : *longueurs d'onde de raies d'émission de l'élément calcium Ca, en nm : 423 ; 443 ; 444 ; 446.*

5. Le spectre révèle-t-il la présence de l'élément calcium Ca dans la roche martienne ? Justifier.
6. La roche ne contient-elle que cet élément ? Justifier.

43 Quand la lave change de couleur

Lors de l'éruption d'un volcan effusif, de la lave en fusion est éjectée depuis la chambre magmatique et forme un panache au-dessus du cratère. Ce spectacle se décline en différentes couleurs, pour le plus grand bonheur des photographes : après avoir été éjectée, la lave change de couleur au cours de son ascension.



DÉMARCHE AVANCÉE

Après avoir décrit l'évolution de la couleur de la lave en fonction de sa position au sein du panache, expliquer ce phénomène.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Quelles sont les trois couleurs principales de la lumière émise au sein du panache ?
2. Associer ces trois couleurs aux trois zones suivantes au sein du panache : le centre, la périphérie, la zone intermédiaire.
3. Au cours de son ascension dans le panache, la lave s'éloigne-t-elle ou se rapproche-t-elle de la source de chaleur que constitue la chambre magmatique ?
4. Expliquer pourquoi la lumière émise par la lave change de couleur au cours de son ascension.

44 Mesurer une longueur d'onde sur un spectre

Sur un spectre produit par un spectroscope à réseau, la distance entre deux raies est proportionnelle à la différence entre les longueurs d'onde correspondantes.
Une partie du spectre du lithium est présentée ci-dessous.



Données : *λ(bleu) = 460 nm ; λ(rouge) = 610 nm.*

1. Calculer la longueur d'onde de la raie verte.
2. En utilisant la figure de l'exercice suivant, indiquer si ce spectre est un spectre d'ordre 1 ou -1, en justifiant.

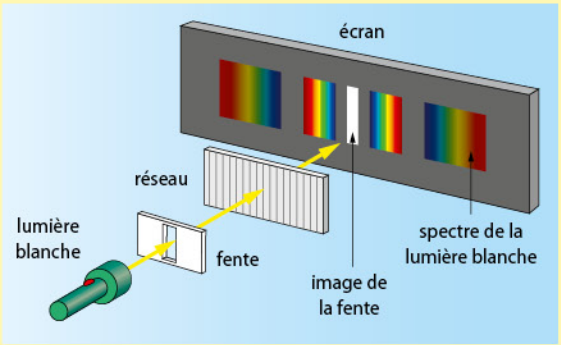
JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- appliqué la proportionnalité mentionnée plus haut ;
- bien repéré les positions relatives des raies bleue et rouge dans les spectres à comparer.

À L'ORAL

45 Spectres de réseau et spectre de prisme

On présente ci-dessous le résultat de la dispersion de la lumière blanche par un réseau.



On a repéré les différents spectres obtenus par un entier relatif appelé *ordre du spectre*. Entre l'ordre – 1 et 1 se trouve l'image, blanche, de la fente (la fente est située entre la source de lumière et le réseau).



Ordre du spectre	– 2	– 1	1	2

Lors d'un exposé oral, comparer les spectres obtenus à l'aide d'un prisme à ceux obtenus avec un réseau. On s'appuiera sur les questions suivantes :

a. N'obtient-on qu'un seul spectre avec un réseau ?

b. Les radiations bleues sont-elles plus déviées que les radiations rouges ? (La lumière proche de l'image centrale de la fente est la moins déviée.)

c. Sachant que la lumière dispersée se répartit sur plusieurs spectres, ces spectres sont-ils davantage ou moins lumineux qu'un spectre obtenu avec un prisme ?

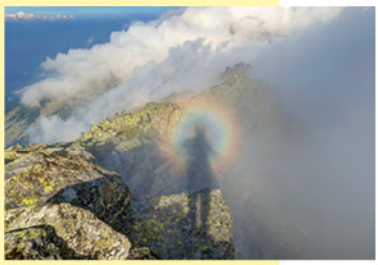
d. Pour séparer deux raies lumineuses mais proches :
– avec un réseau, vaut-il mieux utiliser un spectre d'ordre 1 ou d'ordre 2 ?
– avec un prisme, vaut-il mieux utiliser un prisme dont l'indice varie beaucoup ou peu en fonction de la longueur d'onde ?

On pourra utiliser un diaporama avec quelques images comme support de l'exposé oral.

46 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Arrivé au sommet d'une montagne, le randonneur aperçoit son ombre auréolée de lumières colorées dans les nuages en contrebas.

Préparer un exposé oral proposant une explication de ce phénomène.



Acquérir des compétences

47 Choix du verre d'un prisme TÂCHE COMPLEXE

AN/RAI **Construire les étapes d'une résolution de problème**

Les prismes sont fabriqués à partir de deux grands types de verre : *flint* et *crown*, dont les pouvoirs dispersifs, notamment, sont différents.

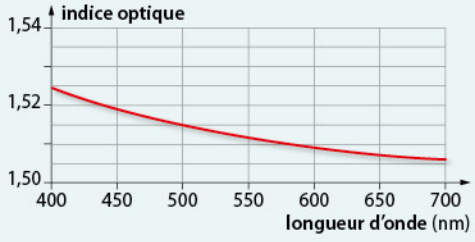
DOC 1 Pouvoir dispersif

Pour une variation donnée $\Delta\lambda$ de longueur d'onde, un matériau est d'autant plus dispersif que la variation d'indice optique Δn y est importante.

DOC 3 Indice optique d'un verre flint

L'indice optique n d'un verre flint, pour une longueur d'onde donnée λ, vérifie la formule : $n = 1{,}589 + \frac{10{,}20 \times 10^3}{\lambda^2}$ où λ est exprimée en nm.

DOC 2 Indice optique d'un verre crown



LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

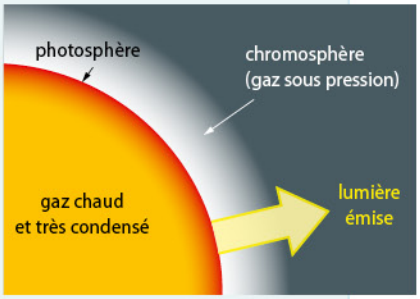
On dispose d'un prisme flint et d'un prisme crown. Lequel choisir pour séparer au mieux deux raies voisines comprises dans l'intervalle 450-500 nm ? Justifier votre réponse.

48 Composition de l'atmosphère d'une étoile ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

APP **Rechercher et organiser l'information**

DOC 1 Structure élémentaire d'une étoile

Le *cœur* d'une étoile est formé d'un gaz très chaud dans lequel des réactions thermonucléaires dégagent une énergie prodigieuse. Une partie de cette énergie est émise vers l'extérieur sous forme lumineuse par la *photosphère*. Cette lumière, avant de sortir de l'étoile, traverse son atmosphère appelée *chromosphère*. Certaines radiations y sont absorbées au passage.



DOC 2 Identification des raies à l'aide d'un logiciel

- Télécharger le logiciel « Spectroscopie et astrophysique » sur le site www.physagreg.fr.
- Cliquer sur « Dessiner la constellation » puis sur l'étoile Deneb dans la constellation du Cygne : son spectre apparaît.
- Cliquer sur les différents atomes proposés.

LIEN URL

DOC 3 Spectre à raies sombres d'une étoile

Le spectre de la lumière émise par la photosphère est *continu*, mais les gaz atomiques constituant la chromosphère absorbent certaines radiations (les mêmes que celles qu'ils émettent quand ils sont excités). La lumière qui nous parvient présente donc un spectre continu sur lequel se superposent des *raies sombres*.



ANALYSE

1. Dans une étoile, qu'est-ce que la photosphère ? Qu'est-ce que la chromosphère ?
2. Que peut-on dire du spectre de la lumière de l'étoile :
   a. à la sortie de la photosphère ?
   b. à la sortie de la chromosphère ?
3. Comparer les raies sombres absorbées par les gaz de la chromosphère, et les raies qu'ils émettent quand ils sont excités.
4. À l'aide du logiciel proposé, déterminer quels atomes sont présents dans l'atmosphère de Deneb, l'une des étoiles les plus brillantes du ciel nocturne d'été.

SYNTHÈSE

Résumer la démarche permettant de déterminer la composition de l'atmosphère d'une étoile.

Retrouvez des exercices de synthèse p. 288

49 Mesurer la distance d'une galaxie — DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

AN/RAI **Construire les étapes d'une résolution de problème**

DOC 1 Décalage des raies d'émission

Tout comme la sirène d'une ambulance nous semble plus ou moins aiguë selon que le véhicule s'approche ou s'éloigne de nous, quand une source lumineuse bouge, le spectre de la lumière que nous recevons est modifié. Ainsi, les raies du spectre d'un astre en *déplacement* par rapport à la Terre sont décalées. Les longueurs d'onde reçues λ_R diffèrent des longueurs d'onde λ_E des mêmes raies émises en laboratoire.

- Si $\lambda_R < \lambda_E$: l'astre s'approche de nous.
- Si $\lambda_R > \lambda_E$: l'astre s'éloigne.

Pour un astre qui s'éloigne à la vitesse v :

$$\lambda_R - \lambda_E = \frac{v}{c} \cdot \lambda_E$$

avec $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} et v en m · s^{-1}.

DOC 2 Les galaxies lointaines s'éloignent vite !

D'après la loi de Hubble, la vitesse v d'une galaxie est proportionnelle à la distance d qui nous en sépare :

$$v = H_0 \cdot d$$

avec $H_0 = 2{,}3 \times 10^{-18}$ s^{-1} ; v en m · s^{-1} ; d en m.

Donnée : *1 année-lumière (a.l.) = 9,5 × 10^{15} m.*

DOC 3 Raie Hα du spectre de la galaxie NGC1808

- Dans le spectre de la lumière reçue depuis la galaxie NGC1808, on distingue une raie sombre, appelée raie Hα. Celle-ci est due aux nuages d'hydrogène, éclairés par les étoiles de cette galaxie. On mesure $\lambda_R(H\alpha) = 658{,}5$ nm.
- Le spectre d'émission de l'hydrogène, obtenu en laboratoire, comporte la même raie. La longueur d'onde est légèrement différente : $\lambda_E(H\alpha) = 656{,}3$ nm.



DÉMARCHE EXPERTE

Trouver la distance d (en années-lumière) à laquelle se situe NGC1808 par rapport à la Terre.

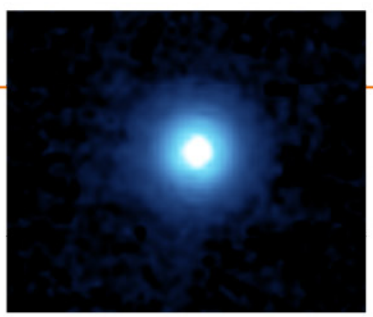
DÉMARCHE AVANCÉE

1. La galaxie NGC1808 s'éloigne-t-elle ou se rapproche-t-elle de la Terre ? Justifier.
2. Montrer que la vitesse de la galaxie vérifie la relation : $v = c \cdot (\lambda_R - \lambda_E)/\lambda_E$, puis calculer v.
3. En déduire la distance d (en mètre puis en années-lumière) de la galaxie par rapport à la Terre.

VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

50 Étalonner un spectre d'étoile — DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

AN/RAI **Tracer une courbe et la modéliser à l'aide d'un tableur**



Véga est l'étoile la plus brillante de la constellation de la Lyre.
Son spectre est connu, et comporte des raies sombres caractéristiques des atomes contenus dans son atmosphère. Pour les identifier, on doit d'abord étalonner le spectre, c'est-à-dire attribuer une longueur d'onde précise à chaque raie. Pour cela, on juxtapose le spectre d'émission du lithium.

Données : *quelques raies (en nm) du spectre d'émission des atomes : H : 410 ; 435 ; 486 ; 655 He : 447 ; 470 ; 502 ; 587 Na : 429 ; 454 ; 568 ; 589*



spectre de Véga



spectre étalon du lithium

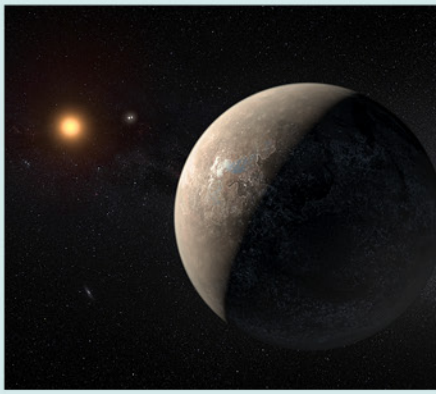
1. À l'aide d'un tableur-grapheur :
a. Mesurer à la règle les positions des raies du lithium, puis tracer la courbe d'étalonnage de la longueur d'onde λ (en nm) en fonction de la position x (en mm) des raies.
b. Modéliser le nuage de points obtenus par une courbe de tendance linéaire, et faire apparaître l'équation de la courbe, de la forme $\lambda = ax + b$ (FICHE MÉTHODE ➥ p. 300).
2. À l'aide de cette équation et en mesurant les positions de chaque raie de 1 à 5 à la règle, déterminer la valeur de chaque longueur d'onde correspondante.
3. Quel atome contient l'atmosphère de Véga ? Justifier en utilisant les données.

Les sciences et nous

GROS PLAN SUR...

Des spectres pour la détection d'exoplanètes

Une exoplanète est une planète qui tourne autour d'une autre étoile que le Soleil. Depuis la première détection en 1995, plus de 4 000 exoplanètes ont été découvertes.
Une méthode de détection exploite le spectre de la lumière des étoiles. Si les raies spectrales se déplacent périodiquement vers les courtes puis vers les grandes longueurs d'onde, c'est que l'étoile est soumise à l'influence gravitationnelle d'une ou plusieurs planètes. Des spectroscopes très précis, associés à des télescopes, sont capables de détecter ces très faibles variations périodiques.
Il y aurait en moyenne au moins une exoplanète par étoile dans notre propre galaxie, la Voie lactée, soit plus de 150 milliards ! Combien parmi elles abritent la vie ?



Proxima b du Centaure : la « planète habitable » qui serait la plus proche de la Terre (vue d'artiste).

LES MÉTIERS DU CHAPITRE

Technicien·ne lumière

Le technicien lumière conçoit et met en œuvre tous les éclairages et effets lumineux lors de spectacles sons et lumière. Il opère avant et pendant les répétitions du spectacle, et assure la réussite de la représentation finale.
Il tient compte à la fois d'une multitude de contraintes techniques et des besoins artistiques de la production sur laquelle il travaille. Pour proposer la lumière la plus adaptée, il connaît et exploite les caractéristiques des différentes sources de lumière et en tire le meilleur parti.

***Niveau d'études** : bac+2 à bac+3 après un bac technologique ou général avec spécialité physique-chimie.*





Astrophysicien·ne instrumentaliste

L'astrophysicien a la tête dans les étoiles !
Il participe à l'observation de l'Univers dans le but de mieux comprendre les lois physiques qui le régissent, et d'étudier les objets parfois exotiques (comme les fameux trous noirs) qui le composent. Pour remplir sa mission, son principal allié est... la lumière.
Et pour toujours mieux recevoir et décoder les secrets dont elle est la messagère, l'astrophysicien spécialiste d'instrumentation cherche à améliorer les instruments d'exploration existants (les télescopes, les spectroscopes, etc.) et à en concevoir de nouveaux.

***Niveau d'études** : bac+5 à bac+8 après un bac général avec spécialité physique-chimie.*

Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- Un **circuit électrique** est constitué de **dipôles** : un générateur et au minimum un récepteur reliés entre eux par des fils de connexion. Le circuit doit être fermé pour fonctionner.
- Les dipôles sont **en série** s'ils forment une seule boucle. Les dipôles sont **en dérivation** s'ils forment au moins deux boucles.
- La **tension *U*** se mesure avec un voltmètre branché en dérivation aux bornes d'un dipôle. Elle s'exprime en volt (V).
- L'**intensité *I*** du courant se mesure avec un ampèremètre branché en série entre deux dipôles. Elle s'exprime en ampère (A).
- Dans un circuit série, la tension vérifie la **loi d'additivité** et l'intensité la **loi d'unicité**. Dans un circuit en dérivation, la tension vérifie la loi d'unicité et l'intensité la loi d'additivité.
- Un conducteur ohmique est caractérisé par sa **résistance *R***, celle-ci est exprimée en ohm (Ω).
- La **loi d'Ohm** :

$U = R \times I$

U : tension aux bornes du conducteur ohmique (en **V**)

R : résistance du conducteur ohmique (en **Ω**)

I : intensité du courant qui traverse le conducteur ohmique (en **A**)

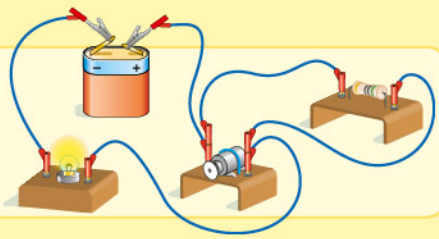
POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

On réalise le circuit dessiné ci-contre.

Citer les dipôles en série et ceux en dérivation.



SITUATION 2

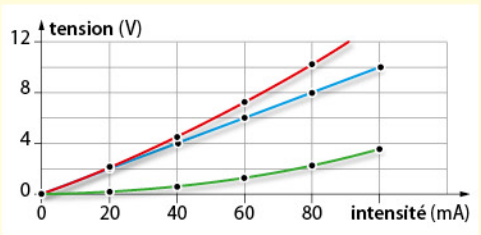
Lorsque l'on plante un morceau de zinc et un morceau de cuivre dans un citron, on obtient une pile capable d'alimenter une LED par exemple.



Pour produire une tension plus élevée, faut-il associer ces deux citrons en série ou en dérivation ?

SITUATION 3

On mesure la tension aux bornes d'un générateur, d'une lampe et d'un conducteur ohmique. Voici les graphiques obtenus :



Lequel correspond au conducteur ohmique ?

CHAPITRE 12
PHYSIQUE

Signaux et capteurs



Comment un capteur (observé au microscope électronique) de l'épaisseur d'un cheveu peut-il mesurer la pression exercée par les pattes d'une fourmi ?

➥ EXERCICE 39

NOTIONS ET CONTENUS

- Lois des circuits électriques : loi des mailles et loi des nœuds.
- Caractéristique tension-courant d'un dipôle.
- Conducteurs ohmiques : résistance, loi d'Ohm.
- Capteurs électriques.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- Mesurer une tension et une intensité ➥ ACTIVITÉ 1
- Représenter et exploiter la caractéristique d'un dipôle ➥ ACTIVITÉ 2
- Mesurer une grandeur physique à l'aide d'un capteur électrique résistif ➥ ACTIVITÉ 3
- Utiliser un dispositif avec un microcontrôleur ➥ ACTIVITÉ 4

COMPÉTENCES :
APP Schématiser une situation
AN/RAI Choisir, élaborer, justifier un protocole

Mesure d'une tension et d'une intensité

LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

Les batteries des appareils mobiles (téléphone, tablette, lecteur MP3, etc.) peuvent être rechargées en les branchant sur un port USB d'ordinateur ou sur une prise via un adaptateur.

Est-il plus rapide de recharger un appareil mobile avec un port USB d'ordinateur ou avec un adaptateur secteur ?

COUP DE POUCE ➥ p. 330

DOC 1 Testeurs de port USB

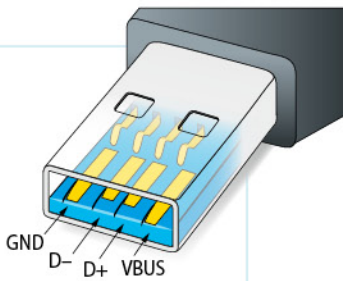
Afin d'évaluer les performances des ports et câbles USB, on trouve dans le commerce des appareils appelés testeurs USB, ils se connectent entre le port USB et le périphérique à alimenter. Ces appareils disposent d'un afficheur qui permet d'accéder à la valeur de deux grandeurs électriques.



DOC 2 Norme USB

Un câble USB comprend quatre fils :

- les fils GND et VBUS permettent de fournir une tension électrique de 5 V ;
- les fils D+ et D– permettent de transférer des données entre un périphérique et un ordinateur.



DOC 3 Capacité d'une batterie

La capacité Q est une grandeur qui indique la quantité d'électricité qu'une batterie est susceptible de stocker. Elle s'exprime en ampèreheure, notée Ah.

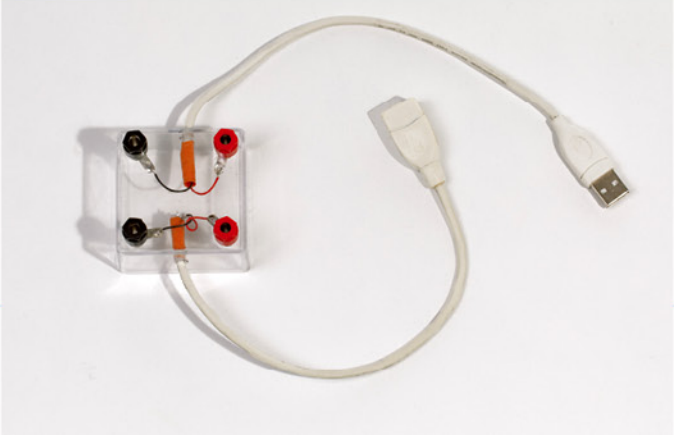
La capacité Q est égale au produit de l'intensité du courant I qu'elle reçoit par la durée de charge Δt :

intensité du courant (en **A**)

capacité de la batterie (en **Ah**) ← $Q = I \cdot \Delta t$ → durée de charge (en **h**)

DOC 4 Matériel mis à disposition

- Ordinateur avec port USB.
- Appareil mobile et son câble de chargement avec adaptateur USB et secteur.
- Adaptateur secteur.
- Multimètres.
- Câble USB dont les extrémités ont été reliées à des bornes de connexions.



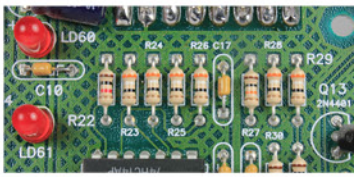
Je réussis si...

- **Je sais mesurer une tension et un courant.**
- **Je sais schématiser un circuit électrique simple.**

TP

COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre un protocole expérimental
VAL Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

LED et résistance de protection



Les LED (ici rouges) sont présentes dans la plupart des dispositifs électroniques. Elles sont toujours accompagnées d'un ou de plusieurs conducteurs ohmiques appelés résistance(s) de protection. Comment sont-ils choisis ?

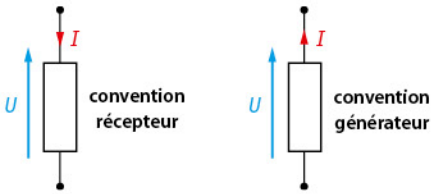
DOC 1 Dipôle étudié

Les caractéristiques du conducteur ohmique étudié sont données ci-contre.



Resistor 1 kΩ	
Max. power rating	¼ W
Accuracy	± 5 %

DOC 2 Convention d'orientation des grandeurs électriques



PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- Relier le dipôle à étudier à un générateur de tension variable.
- Placer dans le circuit :
  - un voltmètre pour mesurer la tension U aux bornes du dipôle ;
  - un ampèremètre pour mesurer l'intensité I du courant qui traverse le dipôle.
- Ajuster les calibres sachant que les valeurs mesurées ne dépasseront pas 12 V et 200 mA.
- En modifiant le réglage du générateur, mesurer une dizaine de valeurs de tension et d'intensité.

DOC 3 Approche de représentation graphique par Python

On utilise le programme écrit ci-dessous à l'aide du langage Python pour réaliser une représentation graphique des résultats d'une mesure et pour les modéliser par une fonction mathématique.

```
1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3  from scipy import stats
4  #Noter les valeurs de l'intensité du courant
5  x = np.array([Mes valeurs séparées par une virgule])
6  #Noter les différentes valeurs de la tension
7  y = np.array([Mes valeurs séparées par une virgule])
8  #Réalisation du graphique
9  plt.plot(x,y,'ob')
10 plt.xlabel("intensité I (A)")
11 plt.ylabel("tension U (V)")
12 plt.title("Caractéristique intensité-tension")
21 plt.show()
```

```
13 #Codage de la régression linéaire
14 pente, intercept, r_value, p_value, std_err =
stats.linregress(x,y)
15 mn=np.min(x)
16 mx=np.max(x)
17 x1=np.linspace(mn,mx,500)
18 y1=pente*x1+intercept
19 plt.plot(x1,y1,'-r')
20 print(pente, intercept)
```

MESURES ET ANALYSE

1 a. Représenter la variation de la tension en fonction de l'intensité (doc. 3). *Ce graphique est appelé caractéristique intensité-tension.*
b. Proposer une fonction mathématique qui permettrait de modéliser les résultats expérimentaux.
c. Rappeler la loi d'Ohm et montrer qu'elle est cohérente avec la fonction mathématique proposée.

2 a. Réaliser cette modélisation en insérant la seconde partie du programme qui se trouve entre les lignes 12 et 21 (doc. 3).
Relever la valeur du coefficient directeur calculée.
b. Expliquer à quoi correspond cette valeur pour le dipôle étudié.

SYNTHÈSE

3 a. La valeur expérimentale obtenue pour le dipôle est-elle cohérente avec la valeur indiquée par le fabricant (doc.1) ?
b. En exploitant la caractéristique du dipôle et les indications du fabricant, expliquer pourquoi la tension à ses bornes ne doit pas dépasser 15,8 V.

Je réussis si...

- **Je sais mesurer une tension et une intensité.**
- **Je sais représenter et exploiter la caractéristique d'un dipôle.**
- **Je sais utiliser un langage de programmation pour représenter un graphique.**

TP

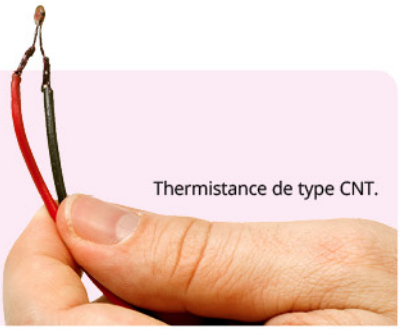
COMPÉTENCES :
AN/RAI Choisir, élaborer, justifier un protocole
VAL Comparer à une valeur de référence

Étalonnage d'un capteur

SITUATION-PROBLÈME

De nombreux dispositifs automatisés intègrent des capteurs de température appelés thermistances.
La résistance d'une thermistance varie en fonction de la température environnante.

Comment pourrait-on connaître la température ambiante à l'aide d'une thermistance ?



Thermistance de type CNT.

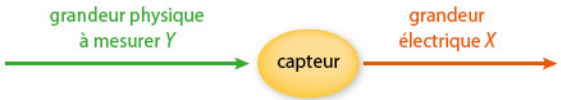
HYPOTHÈSE Proposer une hypothèse en la justifiant.

DOC 1 Étalonnage d'un capteur

Un capteur permet de mesurer une grandeur physique *Y* d'intérêt telle que la température, la pression, la luminosité, etc. Dans la plupart des cas, les propriétés électriques du matériau utilisé pour fabriquer le capteur sont modifiées lorsque cette grandeur change.

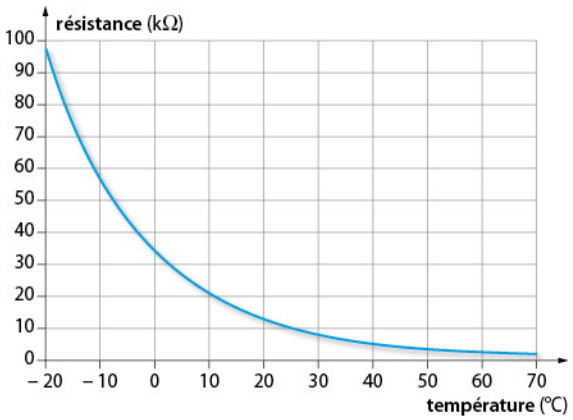
Pour pouvoir utiliser un capteur, il faut donc connaître la correspondance entre la valeur de la grandeur physique *Y* d'intérêt et la valeur de la grandeur électrique utilisée *X*. Pour cela, on réalise une courbe d'étalonnage représentant les variations de *Y* en fonction de *X*.

Grâce à la lecture de cette courbe, on dispose, pour chaque valeur de *X*, de la valeur correspondante *Y*.



DOC 2 Courbe d'étalonnage

Les fabricants de thermistances fournissent généralement des courbes d'étalonnage dont l'allure est la suivante.



PISTES DE RÉSOLUTION

1 Relier la thermistance CTN étudiée à un multimètre en mode ohmètre.
Comment varie la résistance de ce dipôle lorsque la température est modifiée ?

2 **a.** En utilisant le matériel disponible, proposer une expérience qui permettrait de réaliser une courbe d'étalonnage de ce dipôle.
b. Réaliser les mesures envisagées après validation par le professeur.

CONCLUSION

3 **a.** En utilisant la thermistance et la courbe d'étalonnage, évaluer la température ambiante de la salle de classe.
b. Comparer le résultat trouvé à une valeur mesurée à l'aide d'un thermomètre.

DOC 3 Matériel mis à disposition



- Thermistance.
- Multimètre.
- Thermomètre numérique ou thermomètre à alcool.
- Bécher rempli d'eau froide et de glaçons.
- Plaque chauffante.
- Ordinateur muni d'un tableau-grapheur.

Je réussis si...

- **Je sais mesurer la résistance d'un dipôle.**
- **Je sais réaliser et exploiter la courbe d'étalonnage d'un capteur.**

TP

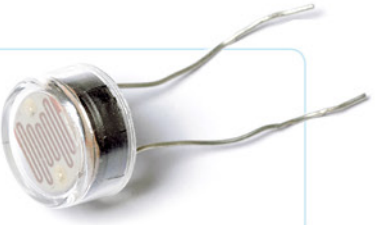
COMPÉTENCES :
RÉA Mettre en œuvre les étapes d'une démarche
VAL Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance

Capteur de lumière

Il existe de nombreux dispositifs d'éclairage automatique qui s'allument lorsque la nuit tombe. Quel dispositif permet ce fonctionnement autonome ?

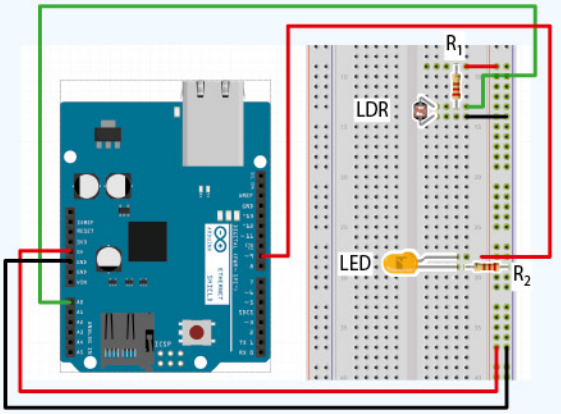
DOC 1 La photorésistance

Une photorésistance, appelée aussi LDR (Light Dependent Resistor), est un dipôle dont la valeur de la résistance varie en fonction de l'intensité de la lumière qu'il reçoit. La valeur de la résistance diminue lorsqu'elle est éclairée et elle est maximale en l'absence de lumière.
Les LDR sont couramment présentes dans de nombreux circuits électroniques, en particulier dans les alarmes, les horloges, les luminaires...



MONTAGE EXPÉRIMENTAL

Les possibilités offertes par le microcontrôleur sont utilisées pour réaliser un circuit où une photorésistance commande l'allumage d'une diode en fonction de l'intensité lumineuse ambiante. Ce circuit est généralement appelé interrupteur crépusculaire et se présente de la façon suivante.



DOC 2 Approche de programmation de microcontrôleur Arduino

On utilise le programme ci-dessous et le microcontrôleur Arduino pour réaliser un circuit.

```
// definition 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
}

void loop()  {
//affichage des résultats de l'entrée A0 dans le moniteur
Valeur=analogRead(analogPin);
Tension=Valeur*5.0/1023;
Serial.println(Tension);
delay (1000);  //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);}}
```

EXPÉRIENCE ET ANALYSE

1 Réaliser le montage proposé et programmer le microcontrôleur Arduino.

2 Vérifier qualitativement que le dispositif obtenu fonctionne comme un interrupteur crépusculaire.

3 Mesurer la valeur de la tension U_P aux bornes de la photorésistance.
a. Comment varie la valeur de la tension U_P quand l'éclairement de la photorésistance est modifié ?
b. Mesurer la valeur de la tension U_P à partir de laquelle la diode s'éclaire. Cette valeur est-elle cohérente avec la valeur de seuil donnée dans le programme (doc. 2) ?

4 **a.** Modifier le programme pour qu'une ombre légère suffise à provoquer l'allumage de la LED.
b. Vérifier à l'aide du multimètre que la nouvelle valeur de seuil choisie est bien respectée.

SYNTHÈSE

Il est possible d'utiliser les performances du microcontrôleur pour mesurer, de manière précise et plus aisée, la tension U_P.

5 Ouvrir le moniteur Arduino et reprendre les questions 1 à 5 en utilisant les capacités de mesure du microcontrôleur.

Je réussis si...

- **Je sais mesurer une tension et une intensité.**
- **Je sais utiliser un dispositif avec microcontrôleur et capteur.**

1 Lois des circuits électriques

Les circuits électriques

Un **circuit électrique** est une boucle conductrice comprenant plusieurs **dipôles** et des fils de connexion (FIG. 1).

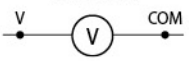
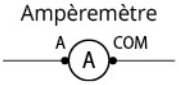
Les dipôles sont classés en deux catégories :
– les **générateurs** (piles, panneaux solaires, dynamos), qui fournissent l'énergie au circuit ;
– les **récepteurs** (lampes, moteurs), qui ont besoin d'énergie pour fonctionner.

Chaque dipôle est représenté schématiquement par des symboles normalisés (FIG. 2) (FICHE MÉTHODE ➥ p. 329).

Dans un circuit électrique (FIG. 2), on peut identifier des nœuds et des mailles :
– un **nœud** est un point de connexion entre trois fils de connexion ;
– une **maille** est une boucle fermée composée de plusieurs dipôles associés en série.

Grandeurs électriques dans les circuits

Pour étudier le fonctionnement d'un circuit électrique, il est nécessaire de mesurer deux grandeurs : la **tension électrique** et l'**intensité du courant**.

Grandeur électrique	Tension	Intensité du courant
Notation	U	I
Unité et symbole	Volt (V)	Ampère (A)
Appareil de mesure et symbole normalisé	Voltmètre 	Ampèremètre 

La mesure des valeurs des tensions et des intensités des courants dans un circuit est réalisée à l'aide d'un multimètre. (FICHE PRATIQUE ➥ p. 316)

Lois de l'électricité

Dans les circuits électriques, la tension et l'intensité vérifient des relations mathématiques appelées **lois de l'électricité**.

Pour un ensemble de dipôles associés **en série** :
• **Loi d'unicité de l'intensité** : l'intensité du courant est la même en tout point.
• **Loi d'additivité des tensions** (**loi des mailles**) : la tension aux bornes de l'ensemble est égale à la somme des tensions aux bornes de chaque dipôle.

EXEMPLE
Dans un circuit série (FIG. 3), on peut écrire : $\boldsymbol{I = I_1 = I_2}$ et $\boldsymbol{U = U_1 + U_2}$.

Pour un ensemble de dipôles associés **en dérivation** :
• **Loi d'unicité des tensions** : la tension est la même aux bornes de chaque dipôle.
• **Loi d'additivité des intensités** (**loi des nœuds**) : la somme des intensités des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en repartent.

EXEMPLE
Dans un circuit en dérivation (FIG. 4), on peut écrire : $\boldsymbol{U = U_1 = U_2}$ et $\boldsymbol{I = I_1 + I_2}$.

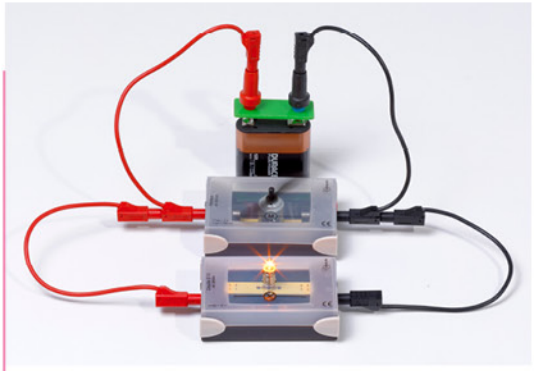


FIG. 1 Différents dipôles forment un circuit électrique.

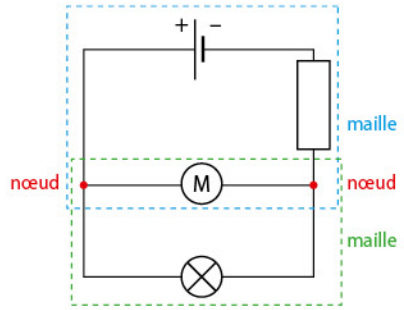


FIG. 2 Schéma normalisé du circuit électrique de la figure 1.

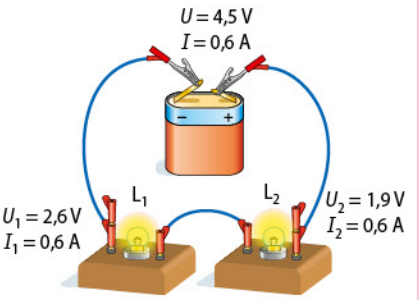


FIG. 3 Mesures de tension et d'intensité dans un circuit série.

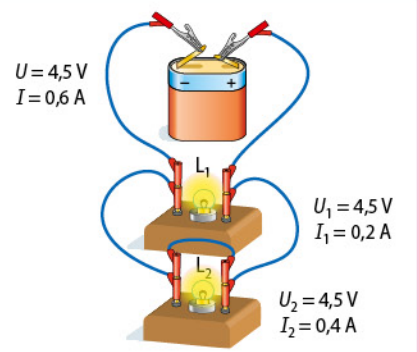


FIG. 4 Mesures de tension et d'intensité dans un circuit en dérivation.

2 Caractéristique d'un dipôle

Conventions

La tension et l'intensité sont des grandeurs algébriques, c'est-à-dire qu'elles peuvent prendre des valeurs positives ou négatives.

L'orientation des tensions et des intensités est fixé arbitrairement par convention (FIG. 5) :
– pour un **générateur :** le courant et la tension sont orientés dans le **même sens** ;
– pour un **récepteur** : le courant et la tension sont orientés dans des **sens opposés**.

Les **signes** des tensions et des courants sont alors fixés :
– si l'intensité I est orientée de la borne + à la borne – du générateur, alors elle est positive ;
– en convention **générateur**, U et I ont le même signe s'ils ont la **même orientation** ;
– en convention **récepteur**, U et I ont le même signe s'ils ont des **orientations opposées**.

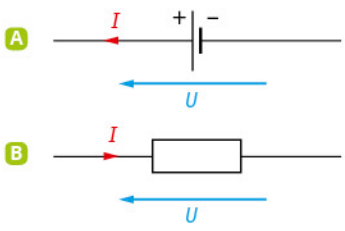


FIG. 5 Convention générateur A et convention récepteur B.

Caractéristique tension-intensité d'un dipôle

La **caractéristique** d'un dipôle est l'ensemble des couples de valeurs (U ; I) possibles pour ce dipôle.
Chaque point de la caractéristique d'un dipôle est appelé **point de fonctionnement**.

La caractéristique d'un dipôle permet de connaître les conditions de fonctionnement d'un dipôle : à une valeur de la tension U correspond une unique valeur de l'intensité I du courant, et réciproquement.

EXEMPLE

La caractéristique d'une diode (FIG. 6) est obtenue en représentant la variation de l'intensité du courant en fonction de la tension entre ses bornes.
Elle montre que si la tension aux bornes de la diode vaut U_{AB} = 1,0 V, alors elle sera parcourue par un courant d'intensité I_{AB} = 125 mA.
Ces valeurs correspondent aux coordonnées du point P.

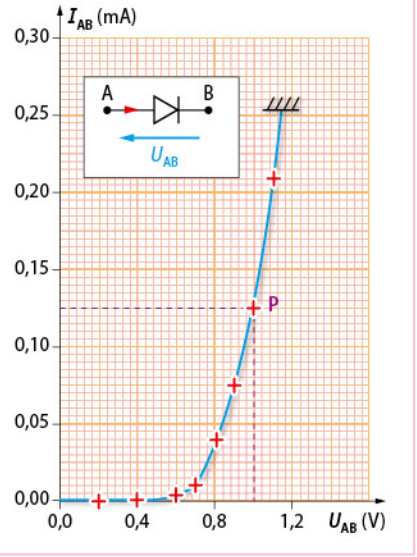


FIG. 6 Caractéristique tension-intensité d'une diode : $I_{AB} = g(U_{AB})$.

Pour représenter une caractéristique, deux graphiques équivalents peuvent être réalisés :
– la **caractéristique intensité-tension** pour la variation de la tension U_{AB} aux bornes d'un dipôle en fonction de l'intensité I_{AB} du courant qui le traverse :

$$U_{AB} = f(I_{AB})$$

– la **caractéristique tension-intensité** pour la variation de l'intensité I_{AB} du courant dans un dipôle en fonction de la tension U_{AB} à ses bornes :

$$I_{AB} = g(U_{AB})$$

Limites de fonctionnement d'un dipôle

Les caractéristiques des dipôles sont des courbes limitées. Les valeurs minimales et maximales définissent le **domaine de fonctionnement** du dipôle. Il est impératif de ne pas dépasser ces limites pour éviter d'endommager le dipôle (FIG. 7).

EXEMPLE

Sur la caractéristique précédente (FIG. 6), la limite maximale de fonctionnement est représentée par un petit trait hachuré. Il indique que la tension aux bornes de cette diode ne doit pas dépasser 1,2 V et que le courant qui la traverse doit être inférieur à 300 mA.

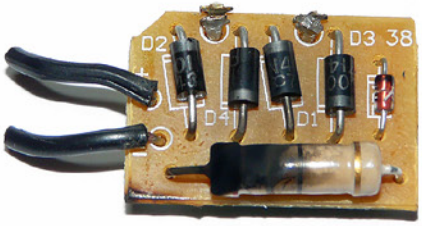


FIG. 7 Dipôle endommagé par un fonctionnement hors des limites de fonctionnement.

3 Conducteurs ohmiques et capteurs

Composants à comportement ohmique

À température constante, la tension aux bornes de certains dipôles varie linéairement en fonction de l'intensité du courant qui les traversent (FIG. 8). Ces dipôles sont appelés conducteurs ohmiques.

La caractéristique tension-intensité d'un **conducteur ohmique** est une droite passant par l'origine.

Loi d'Ohm

La caractéristique d'un conducteur ohmique (FIG. 8) peut être modélisée par une fonction linéaire.

La tension U_{AB} aux bornes d'un conducteur ohmique parcourue par un courant d'intensité I_{AB} s'écrit :

$$U_{AB} = R \cdot I_{AB}$$

- U_{AB} : tension aux bornes du conducteur ohmique (en V)
- R : résistance du conducteur ohmique (en Ω)
- I_{AB} : intensité du courant dans le conducteur ohmique (en A)

La **résistance** est un coefficient de proportionnalité qui correspond au coefficient directeur de la caractéristique.

EXEMPLE Le coefficient directeur de la caractéristique vaut (FIG. 8) :

$$\frac{3}{15 \times 10^{-3}} = 200\ \Omega$$

On dit que ce conducteur ohmique a une résistance R de 200 Ω.

La résistance d'un conducteur ohmique peut être mesurée à l'aide d'un multimètre en mode **ohmmètre**.

Capteurs résistifs

Certains dipôles présentent la particularité d'avoir une résistance qui dépend d'une grandeur physique liée à leur environnement : température, intensité lumineuse, pression... Ces dipôles sont largement utilisés comme **capteurs** dans des applications technologiques courantes.

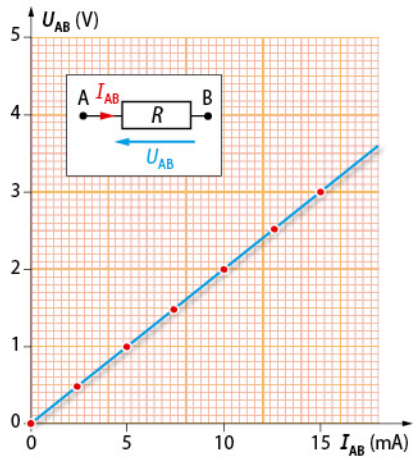


FIG. 8 Caractéristique intensité-tension d'un conducteur ohmique : $U_{AB} = f(I_{AB})$.

POUR VISUALISER



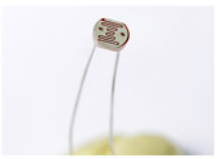
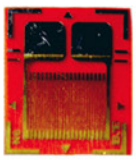
Une animation sur la loi d'Ohm en lien avec la caractéristique.

UN PONT VERS LES MATHS

Fonction linéaire

Une fonction linéaire est représentée par une droite qui passe par l'origine du repère (O ; x, y).

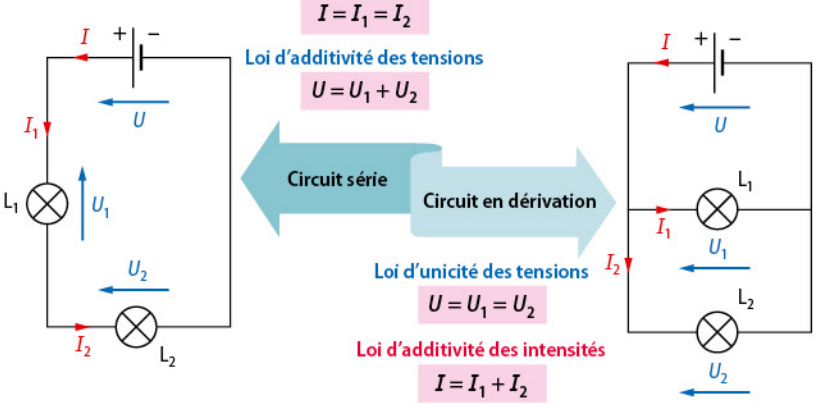
Son équation s'écrit $y = a \cdot x$ où a est le coefficient directeur de la droite.

Exemple de dipôle	 Photorésistance	 Thermistance	 Jauge de contrainte
Paramètre d'influence	Éclairement	Température	Pression
Variation de la résistance	Augmente avec la luminosité	Diminue quand la température augmente	Augmente avec la pression subie
Applications technologiques	Allumage automatique de l'éclairage, ouverture automatique des portes, mise en route d'un système d'alarme...	Thermomètre, thermostat d'ambiance, détecteur d'incendie...	Balance électronique, capteur de déformation, mesure de pression...

Le vocabulaire à retenir
Les relations à connaître et savoir utiliser

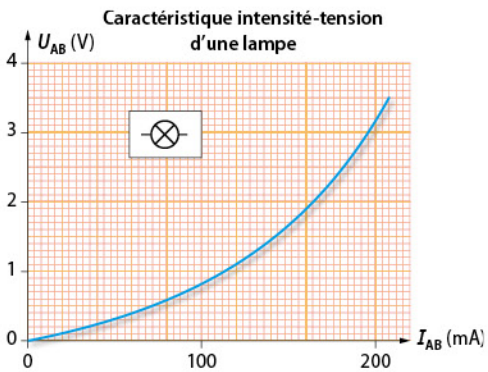
1 Lois des circuits électriques

- La **tension électrique** se mesure avec un voltmètre, son unité est le volt (V).
- L'**intensité du courant** se mesure avec un ampèremètre, son unité est l'ampère (A).
- Ces deux grandeurs vérifient les **lois des circuits électriques**.
- Des dipôles en série forment une **maille**.
Des dipôles en dérivation sont reliés par des **nœuds**.

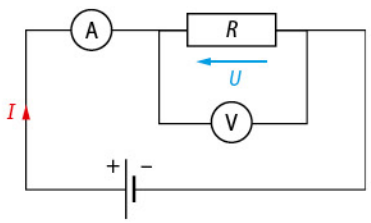


2 Caractéristique d'un dipôle

- Lorsque l'on mesure la tension aux bornes d'un dipôle et l'intensité du courant qui le traverse, on obtient un couple **$(I_{AB} ; U_{AB})$** qui est un **point de fonctionnement** du dipôle.
L'ensemble des points de fonctionnement d'un dipôle constituent la **caractéristique** de ce dipôle. Elle prend la forme d'un graphique $U_{AB} = f(I_{AB})$ ou $I_{AB} = g(U_{AB})$.

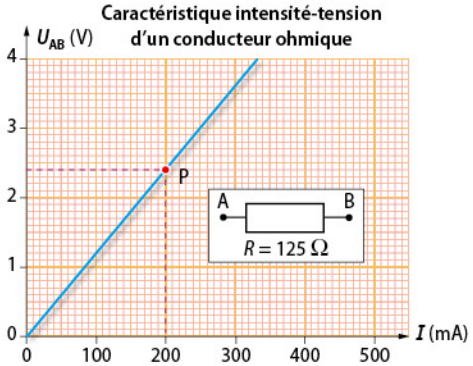


- Les points de fonctionnement sont mesurés à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre.



3 Conducteurs ohmiques et capteurs

- Un conducteur ohmique est caractérisé par sa **résistance électrique *R*** dont l'unité est le **ohm (Ω)**.
- La caractéristique intensité-tension d'un conducteur ohmique est **une droite passant par l'origine** dont le coefficient directeur est égal à la résistance *R*.



- Il existe une relation linéaire entre l'intensité et la tension d'un conducteur, appelée **loi d'Ohm** :

résistance (en Ω)
tension (en V) → $U = R \cdot I$ ← intensité (en A)

- Certains matériaux ont une résistance qui dépend de **paramètres d'influence**. Ils sont utilisés comme **capteurs** et permettent de mesurer des grandeurs diverses.

Paramètres d'influence		
Éclairement	Température	Pression
		
Photorésistance	Thermistance	Jauge de contrainte

Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

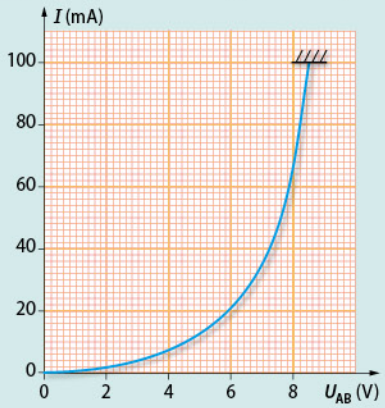
QCM interactif

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➥ SOLUTIONS EN PAGE 330

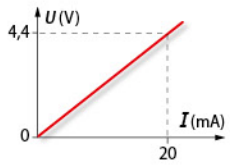
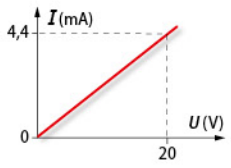
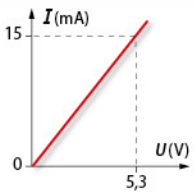
1 Lois des circuits électriques

	A	B	C
1 Lorsque des dipôles sont associés en dérivation, les tensions entre leurs bornes :	s'ajoutent pour déduire celle du générateur.	sont toutes égales à celle du générateur.	ont la même valeur.
2 Lorsque l'on ajoute un dipôle dans un circuit série, la tension aux bornes des autres dipôles :	diminue.	reste la même.	augmente.
3 Lorsque des dipôles sont associés en dérivation, ils sont chacun parcourus par des courants :	d'intensités différentes.	d'intensité égale à celle sortant du générateur.	d'intensités égales.

2 Caractéristique d'un dipôle

	A	B	C
4 La caractéristique d'un dipôle est une courbe :	bornée.	qui représente la variation de la résistance en fonction d'une grandeur physique.	qui représente les couples de valeurs $(U ; I)$ pour un dipôle.
5 Voici la caractéristique d'un dipôle : 	Si la tension aux bornes de ce dipôle augmente, l'intensité du courant diminue.	Si la tension aux bornes de ce dipôle vaut 8 V, l'intensité du courant vaut 70 mA.	On peut appliquer aux bornes de ce dipôle une tension de 9 V.

3 Conducteurs ohmiques et capteurs

	A	B	C
6 La loi d'Ohm s'écrit :	$R = \frac{I}{U}$	$I = U \cdot R$	$I = \frac{U}{R}$
7 La caractéristique d'un conducteur ohmique de résistance 220 Ω est :			

Acquérir les notions

1 Lois des circuits électriques

Notions du programme

Lois des circuits électriques
➥ EXERCICES 8 à 12

Ce qu'on attend de moi

- Réaliser la représentation normalisée d'un circuit électrique.
- Mesurer une tension et une intensité.
- Exploiter les lois des mailles et des nœuds dans un circuit.

DONNÉE

FICHE MÉTHODE ➥ p. 329

8 Lampe de poche

On a photographié ci-dessous l'intérieur d'une lampe de poche et le multimètre qui est utilisé pour mesurer l'intensité du courant dans la lampe.



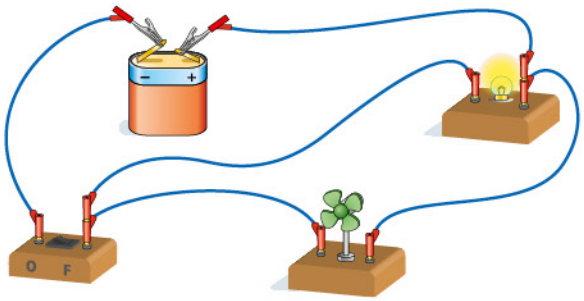


1. a. Réaliser le schéma normalisé du circuit électrique de la lampe de poche.
b. Représenter sur ce schéma un ampèremètre permettant de mesurer l'intensité du courant dans le circuit.

2. a. Sur quel mode faut-il positionner le sélecteur du multimètre pour réaliser cette mesure ?
b. Quel calibre doit-on utiliser si l'intensité maximale que peut recevoir la lampe est de 150 mA ?
c. Les fils de connexion sont-ils convenablement branchés sur le multimètre pour réaliser cette mesure ?

9 Circuit électrique

On réalise le circuit électrique représenté ci-dessous.

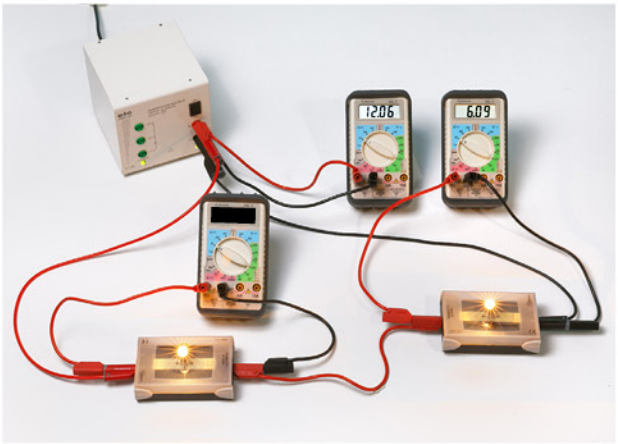


1. a. Réaliser le schéma normalisé de ce circuit.
b. Positionner sur le schéma un voltmètre qui permet de mesurer la tension aux bornes de la lampe.

2. La mesure réalisée avec ce voltmètre permet-elle de connaître la valeur de la tension aux bornes de la pile ?

3. Indiquer sur le schéma les nœuds et les mailles de ce circuit.

10 Mesures de tension



1. On suppose que les appareils de mesure sont correctement branchés. S'agit-il de voltmètres ou d'ampèremètres ?

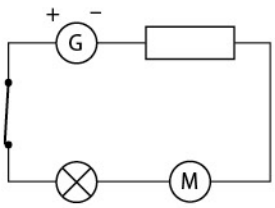
2. Réaliser le schéma normalisé de ce circuit.

3. Prévoir la valeur affichée sur l'écran caché par l'expérimentateur.

4. Les deux lampes sont-elles parcourues par la même intensité de courant ? Expliquer.

11 Interrupteur et multimètre

On considère le circuit schématisé ci-contre.



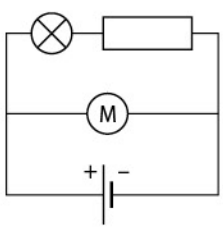
Les valeurs des tensions aux bornes du générateur, de la lampe et de la résistance sont : $U_G = 12{,}1$ V ; $U_L = 4{,}6$ V ; $U_R = 3{,}2$ V.

1. Reproduire le schéma et positionner le voltmètre qui a permis de mesurer la tension aux bornes du générateur.

2. Calculer la valeur de la tension aux bornes du moteur.

12 Utiliser un multimètre

Dans ce circuit, on a mesuré la valeur de la tension U_G aux bornes de la pile, les valeurs des intensités I_G et I_L des courants sortant du générateur et traversant la lampe.



Données : $U_G = 6$ V ; $I_G = 420$ mA ; $I_L = 140$ mA.

1. Reproduire le schéma et positionner les ampèremètres permettant de mesurer les valeurs des intensités I_G et I_L.

2. Combien de mailles et de nœuds ce circuit comporte-t-il ?

3. Déterminer les valeurs des intensités I_R et I_M du courant qui traverse la résistance et le moteur.

2 Caractéristique d'un dipôle

Notions du programme

Caractéristique tension-courant d'un dipôle
➥ EXERCICES 13 à 16

Ce qu'on attend de moi

- Réaliser et exploiter la caractéristique d'un dipôle.
- Identifier les points de fonctionnement d'un dipôle.

DONNÉE

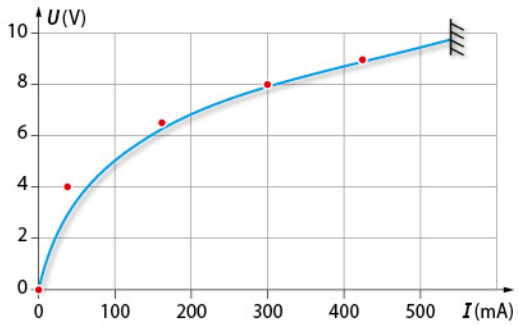
FICHE MÉTHODE ➥ p. 329

13 Varistance



Une varistance est un dipôle couramment utilisé comme élément de protection des circuits électriques contre les surtensions.

Ci-dessous, on a la caractéristique intensité-tension d'une varistance.

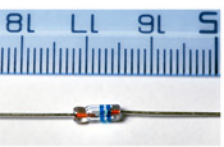


1. Lister le matériel nécessaire pour réaliser une caractéristique intensité-tension.

2. Quelles valeurs de la tension et de l'intensité n'est-il pas possible de dépasser pour cette varistance ?

3. La tension aux bornes de la varistance vaut 5 V. Quelle sera la valeur du courant qui traverse ce dipôle ?

14 Diode au germanium



On branche une diode aux bornes d'un générateur de tension variable, puis on mesure la tension U (en V) à ses bornes et l'intensité I (en mA) du courant qui la traverse.

U	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,54	0,58
I	0	0	0	4	20	50	80	100

1. Réaliser le schéma normalisé du circuit en indiquant la position des instruments de mesure utilisés.

2. Représenter la caractéristique tension-intensité (U ; I) à partir des points de fonctionnement mesurés.

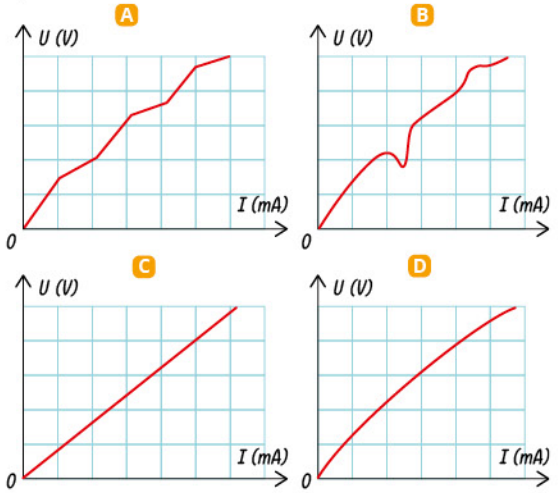
3. a. À partir de quelle valeur de tension minimale, la diode est-elle parcourue par un courant ?
b. Quelle valeur de la tension permet d'obtenir un courant d'intensité 60 mA ?

15 Choisir une caractéristique

La mesure de la tension U aux bornes d'un dipôle D et de l'intensité I du courant qui le traverse donne les résultats suivants.

U (en V)	0	2	4	6	8	10
I (en mA)	0	64	163	281	404	557

À partir de ces valeurs, des élèves ont proposé ces caractéristiques.

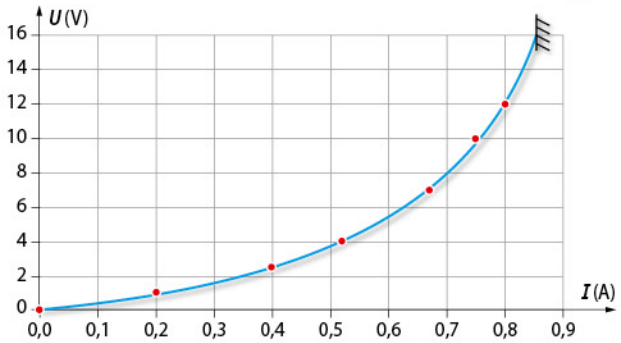


En argumentant la réponse, choisir la caractéristique qui représente le mieux les points de fonctionnement (I ; U) du dipôle D.

16 Clignotant



Les lampes 12 V-10 W sont souvent utilisées pour équiper les clignotants des véhicules deux roues. On réalise expérimentalement la caractéristique courant-tension (I ; U) d'une lampe de ce type.



Donnée : *la puissance électrique de la lampe est donnée par la relation : $P = U \cdot I$.*

1. La lampe ne brille pas tant que l'intensité du courant qui la traverse n'atteint pas 200 mA. Quelle tension doit être appliquée à la lampe pour qu'elle commence à briller ?

2. a. Lorsque la lampe fonctionne sur ses valeurs nominales 12 V-10 W, montrer que l'intensité du courant dans la lampe est de 0,83 A.
b. Cette valeur est-elle cohérente avec la caractéristique ?

3. Si la lampe est parcourue par un courant d'intensité 1 A, que se passe-t-il ?

3 Conducteurs ohmiques et capteurs

Notions du programme	Ce qu'on attend de moi
Résistance et loi d'Ohm ➥ EXERCICES 17 à 19	• Connaître et exploiter la loi d'Ohm. • Exploiter la caractéristique d'un conducteur ohmique.
Capteurs électriques ➥ EXERCICES 20 et 21	• Citer des exemples de capteurs. • Mesurer une grandeur physique à l'aide d'un capteur. • Réaliser et exploiter une courbe d'étalonnage.

DONNÉE

La puissance d'un conducteur ohmique est :

$$P = U \cdot I$$

17 Circuit



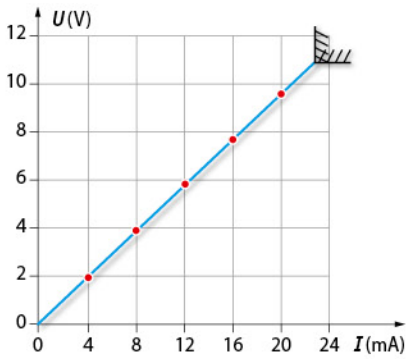
La réalisation d'un circuit nécessite d'utiliser un conducteur ohmique de 330 Ω. Il sera parcouru par un courant d'intensité 73 mA.

1. Calculer la valeur de la tension aux bornes de ce conducteur ohmique.

2. Le fabricant de ce type de conducteur ohmique indique que la puissance maximale P admissible est de 1 W. Peut-on l'utiliser dans ce circuit ?

18 Étude d'une caractéristique

On trace la caractéristique intensité-tension d'un conducteur ohmique de résistance R.



1. Lister le matériel nécessaire à la réalisation des mesures conduisant à cette caractéristique.

2. Si la tension aux bornes du conducteur ohmique est de 6 V, que vaut l'intensité du courant qui le traverse ?

3. Calculer la valeur de la résistance de ce conducteur ohmique.

4. Déduire de la caractéristique la puissance maximale admissible par ce conducteur ohmique.

19 Construire une caractéristique

On mesure les valeurs de la tension U entre les bornes d'un dipôle et de l'intensité I du courant qui le traverse. On obtient ces résultats.

I (en mA)	0	4,0	5,1	7,8	14,0	20,1	30,4
U (en V)	0	1,0	1,5	2	3,5	5	7,5

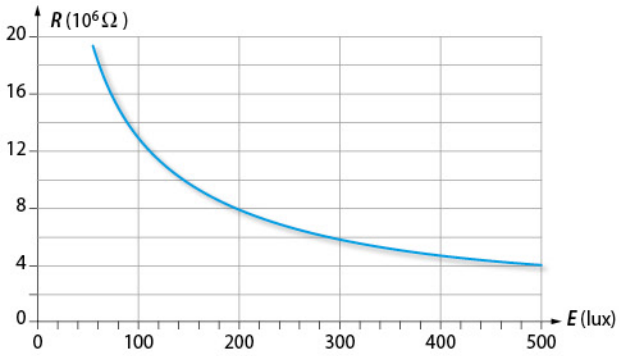
1. Représenter la caractéristique tension-intensité.

2. Expliquer pourquoi cette caractéristique est cohérente avec un conducteur ohmique.

3. Calculer la résistance de ce conducteur ohmique.

20 Capteur de luminosité

Une photorésistance est un dipôle dont la résistance varie en fonction de l'éclairement qu'elle reçoit. L'éclairement s'exprime en lux.



1. a. Expliquer pourquoi une photorésistance peut être utilisée comme capteur d'éclairement.
b. Pour un éclairement de 300 lux, estimer la valeur de la résistance de cette photorésistance.

2. a. La photorésistance est un capteur dit « non-linéaire ». Proposer une explication à ce qualificatif.
b. Une variation de 100 lux provoque-t-elle toujours la même variation de la valeur de la résistance ?

3. Proposer un exemple d'objet courant qui exploite un capteur d'éclairement.

21 Capteur de température

De nombreux thermomètres numériques utilisent un capteur appelé thermistance.

La résistance de ce dipôle varie en fonction de sa température.

Voici les valeurs de la résistance R (en mΩ) d'une thermistance en fonction de la température T (en °C) :

T	5	10	15	25	30	40	55	65
R	3,05	2,5	1,9	1,4	1,05	0,75	0,45	0,35

1. Citer un exemple de la vie courante où l'utilisation d'un capteur de température est nécessaire.

2. Représenter la variation de la résistance R en fonction de la température T : courbe $R(T)$.

3. Si la résistance vaut 1 600 kΩ, que vaut la température ?

4. Pourquoi dit-on que la courbe $R(T)$ est une courbe d'étalonnage ?

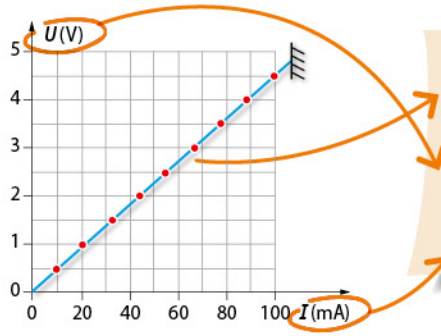
Exercice résolu EN AUTONOMIE

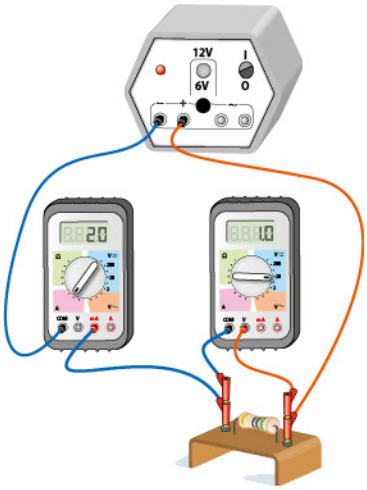
22 Dipôle inconnu

On réalise le montage ci-contre afin de tracer la caractéristique d'un dipôle.

On note U la tension aux bornes du dipôle et I l'intensité du courant qui le traverse.

Le résultat des mesures permet de tracer la caractéristique intensité-tension ci-contre.





1. **Représenter** le schéma normalisé du circuit électrique correspondant au montage réalisé.
2. **Justifier** que la caractéristique ci-dessus est celle d'un conducteur ohmique.
3. **Calculer** la valeur de la résistance R de ce conducteur ohmique.

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

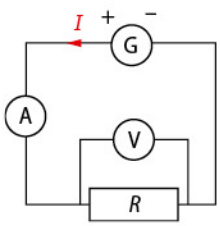
- L'allure de la caractéristique peut renseigner sur la **nature du dipôle**.
- Les **grandeurs** mises en jeu et leurs **unités** se trouvent sur les axes.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Représenter** : dessiner en respectant des règles spécifiques.
- **Justifier** : donner des arguments pour prouver une affirmation.
- **Calculer** : utiliser l'outil mathématique pour trouver la valeur d'une grandeur.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Ci-contre le schéma normalisé du circuit électrique.



2. La tension U aux bornes d'un conducteur ohmique (de résistance R) et l'intensité I du courant qui le traverse sont reliées par la loi d'Ohm : $\boldsymbol{U = R \cdot I}$.

Cette équation est une fonction linéaire représentée par une droite passant par l'origine.

La caractéristique proposée est donc celle d'un conducteur ohmique.

3. D'après la loi d'Ohm, on a : $R = \frac{U}{I} = \frac{4,5}{0,100}$.

$\boldsymbol{R = 450\ \Omega}$, la résistance du dipôle étudié vaut donc 450 Ω.

QUELQUES CONSEILS

1. Revoir les symboles normalisés : (FICHE MÉTHODE ➥ p. 329).

3. Vérifier que la tension est en volt (V) et que l'intensité est en ampère (A) pour que la résistance soit en ohm (Ω).

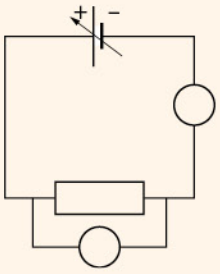
Pour une droite passant par l'origine d'équation $\boldsymbol{y = a \cdot x}$, le coefficient directeur a s'obtient en calculant le quotient de l'ordonnée y par l'abscisse x.

EXERCICE SIMILAIRE

23 Valeur inconnue d'une résistance

Afin de déterminer la caractéristique d'un conducteur ohmique de résistance R, on mesure la tension et l'intensité du courant à ses bornes.

Pour cela, on réalise le montage du circuit ci-contre partiellement schématisé.



1. Reproduire et compléter le schéma afin d'identifier la place de l'ampèremètre et celle du voltmètre dans le circuit.

2. Prévoir l'allure de la caractéristique du conducteur ohmique.

3. Tracer sa caractéristique intensité-tension.

U (en V)	0	5	10	15	20
I (en A)	0	0,11	0,21	0,32	0,42

4. Exploiter la caractéristique pour calculer la valeur de la résistance du conducteur ohmique.

Exercice résolu EN AUTONOMIE

24 Étalonnage d'une sonde de température

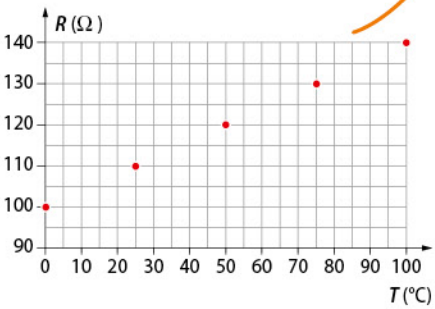
Parmi les capteurs de température à résistance variable, le plus utilisé est le capteur appelé Pt100. Cette appellation signifie qu'il est composé de platine (dont le symbole chimique est Pt) et que sa résistance vaut 100 Ω à 0 °C.

Avant d'utiliser un capteur Pt100, on procède à son étalonnage. Pour cela, on réalise le montage ci-contre.

Les résultats obtenus sont donnés sous la forme d'un graphique (voir ci-contre).

1. **Expliquer** le rôle de chaque instrument de mesure du montage.
2. **Confronter** les résultats expérimentaux à cette affirmation :
« Un capteur Pt100 est linéaire. »
3. **Déterminer** la valeur de la température correspondant à une résistance de 115 Ω.





LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

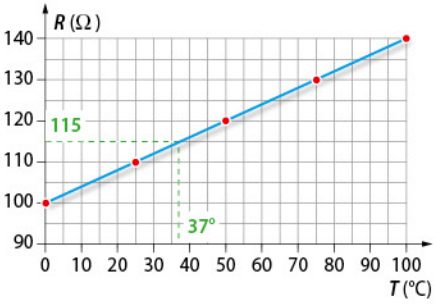
- La photographie montre tous les **instruments de mesure** utilisés.
- La **courbe d'étalonnage** relie la résistance du capteur à sa température.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Expliquer** : donner une justification à une observation ou une affirmation.
- **Confronter** : comparer deux informations pour évaluer leur cohérence.
- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. Le multimètre mesure la valeur de la résistance du capteur Pt100.
Le thermomètre mesure la valeur de la température.
2. Sur le graphique, les résultats obtenus peuvent être modélisés par une droite. Donc, la variation de la résistance R en fonction de la température T est linéaire.
3. La lecture sur le graphique donne une température de **37 °C** pour une résistance de 115 Ω.



QUELQUES CONSEILS

2. Le mot « linéaire » renvoie généralement à une fonction affine.
3. La droite d'étalonnage d'un capteur permet de relier la grandeur d'intérêt à la grandeur directement mesurable.

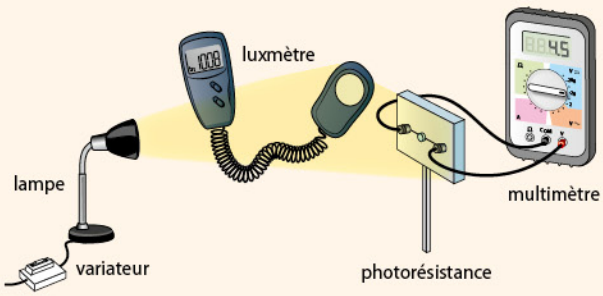
EXERCICE SIMILAIRE

25 Étalonnage d'une photorésistance

Les photorésistances sont des dipôles dont la résistance varie en fonction de l'éclairement qu'ils reçoivent. On se propose de mesurer la valeur de la résistance R (en kΩ) aux bornes d'une photorésistance et de l'éclairer avec une lampe dont l'éclairement E (en lux) peut être modifié.

Les mesures sont rassemblées dans le tableau ci-contre.

E	R
50	10,5
100	8,0
150	6,0
200	4,3
200	3,5
300	2,5
350	1,7
400	1,5
450	1,2
500	1,2

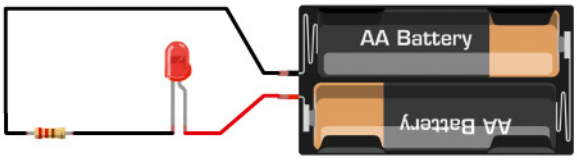


1. Réaliser le graphique représentant la variation de la résistance R en fonction de l'éclairement E.
2. Modéliser les résultats obtenus par une courbe. Peut-on dire que ce capteur est linéaire ?
3. Déterminer la valeur de l'éclairement lorsque le capteur a une résistance de 7 500 Ω.

Croiser les notions

26 Protection d'une LED DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

Dans tous les circuits électroniques, les LED (diodes électroluminescentes) sont associées en série avec une résistance dite « résistance de protection ».



Lorsque la LED est allumée, la tension à ses bornes vaut 1,2 V et le courant qui la traverse ne doit pas avoir une intensité supérieure à 18 mA.

DÉMARCHE AVANCÉE

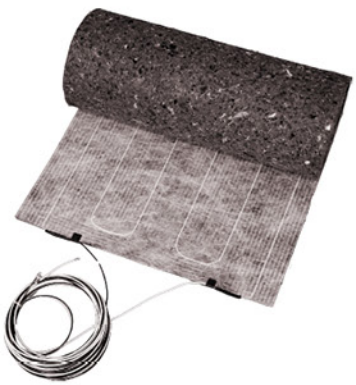
Quelle est la plus petite valeur de résistance qui permettra de protéger cette LED ?

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

1. Représenter le schéma normalisé du circuit comprenant deux piles AA 1,5 V, une LED et une résistance de protection.

2. a. Calculer la valeur de la tension aux bornes de la résistance de protection lorsque la LED est allumée.
b. En déduire la valeur minimale à choisir pour la résistance de protection.

27 Résistance chauffante souple



Les résistances chauffantes sont des dipôles conçus pour produire de la chaleur lorsqu'ils sont parcourus par un courant.

On dispose de deux résistances chauffantes identiques.

1. On branche une de ces résistances à un multimètre.



a. Comment nomme-t-on le multimètre ainsi utilisé ?
b. Quelle grandeur a-t-on mesurée ?

2. a. Comment faut-il associer les deux résistances chauffantes pour qu'elles soient parcourues par un courant le plus fort possible ?
b. Calculer dans ce cas la valeur de l'intensité du courant dans chaque résistance lorsqu'elles sont alimentées par un générateur 12 V.

28 Série et dérivation

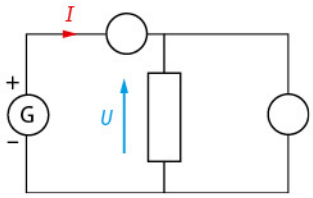
Une pile de 4,5 V est branchée aux bornes d'un conducteur ohmique Coh_1 de résistance $R_1 = 470\ \Omega$.

1. Calculer la valeur de l'intensité I du courant à la sortie du générateur.

2. On ajoute, en série avec Coh_1, un conducteur ohmique Coh_2 de résistance $R_2 = 270\ \Omega$ et on branche en dérivation sur Coh_1 et Coh_2, un conducteur ohmique Coh_3 de résistance $R_3 = 330\ \Omega$. Pour ce nouveau circuit, on note I' l'intensité du courant à la sortie du générateur.
a. Réaliser le schéma normalisé de ce nouveau circuit.
b. En raisonnant sur ce schéma, déterminer si I' sera : plus grand / égal / plus petit que I.
c. Calculer la valeur I' et vérifier la cohérence de ce résultat avec la prévision émise en b.

29 Voltmètre et conducteur ohmique

Pour réaliser la caractéristique d'un conducteur ohmique, on réalise le montage ci-contre.



1. Reproduire et compléter le schéma afin d'identifier la position du voltmètre et de l'ampèremètre.

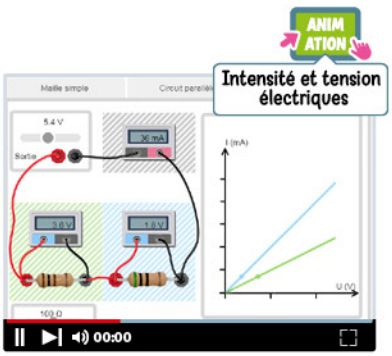
2. Des mesures d'intensité de courant et de tension ont donné ces résultats.

I (en mA)	0	20	39	61	80	105
U (en V)	0	2,0	4,0	6,0	8,1	10

a. Représenter la caractéristique intensité-tension du conducteur ohmique et justifier la modélisation choisie.
b. En déduire la valeur de la résistance de ce conducteur ohmique.

30 Simulation

Regarder l'animation ci-contre.



1. a. Nommer les trois instruments de mesure présents.
b. Représenter le circuit visualisé par un schéma normalisé.

2. a. La loi d'additivité des tensions est-elle respectée ?
b. La valeur de l'intensité du courant affichée est-elle cohérente avec les valeurs indiquées pour le conducteur ohmique de gauche (sur fond vert) ?
c. Calculer la valeur de la résistance du conducteur ohmique de droite (sur fond bleu).

3. a. Que représente chaque droite ?
b. Les points de fonctionnement représentés sont-ils cohérents avec les valeurs mesurées ?
c. Justifier la position de la droite bleue par rapport à la droite verte.

31 Deux dipôles

Pour deux dipôles D_1 et D_2, on mesure la valeur de l'intensité I (en mA) du courant qui les traverse lorsque l'on applique entre leurs bornes une tension U (en V).

On obtient les résultats suivants.

D_1	U	0	2,0	4,0	6,0	8,0	9,0	10,0
	I	0	4	9	18	32	41	54
D_2	U	0	2,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
	I	0	4,0	11	13	15	17	19

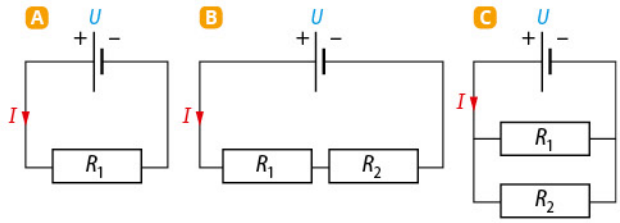
1. Sur un même graphique, représenter les caractéristiques intensité-tension de chaque dipôle.

2. Ces deux dipôles sont-ils des conducteurs ohmiques ?

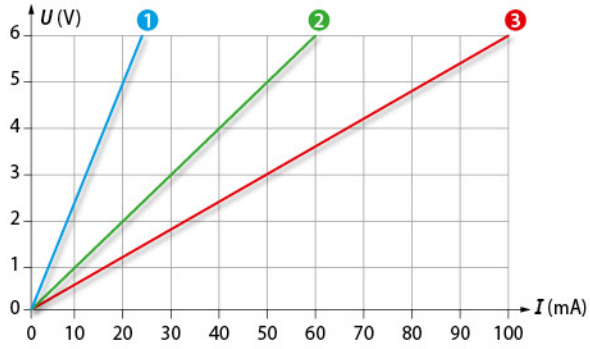
3. Un conducteur ohmique est aussi appelé « dipôle linéaire ». Justifier cette appellation.

32 Quelle caractéristique ?

On dispose de deux conducteurs ohmiques de résistances R_1 et R_2 que l'on utilise pour réaliser ces circuits.



En faisant varier la valeur de la tension U délivrée par le générateur, on obtient les caractéristiques ci-dessous.



1. La caractéristique 2 correspond au circuit A. Calculer la valeur de la résistance R_1.

2. Sans calculer, associer :
– la caractéristique 1 au circuit B ou C ;
– la caractéristique 3 au circuit B ou C.

3. En raisonnant sur le circuit B, calculer la valeur de la résistance R_2.

4. En raisonnant sur le circuit C, montrer que les valeurs R_1 et R_2 sont cohérentes avec la caractéristique.

33 Diode idéalisée

La caractéristique d'une diode au silicium est représentée ci-après. Elle est modélisée par deux portions de droite.

1. *Pour un tel dipôle, on peut dire qu'avant d'atteindre la tension de seuil U_s, la diode se comporte comme un interrupteur ouvert.*

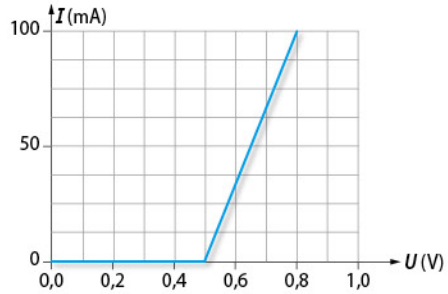
a. Justifier le comportement de la diode en utilisant la caractéristique.

b. Déterminer la valeur de la tension de seuil U_s.

2. *Pour un tel dipôle, on peut dire qu'au-delà de la tension U_s, la diode se comporte comme un conducteur ohmique de résistance très élevée.*

a. Justifier l'analogie avec le conducteur ohmique en utilisant la caractéristique.

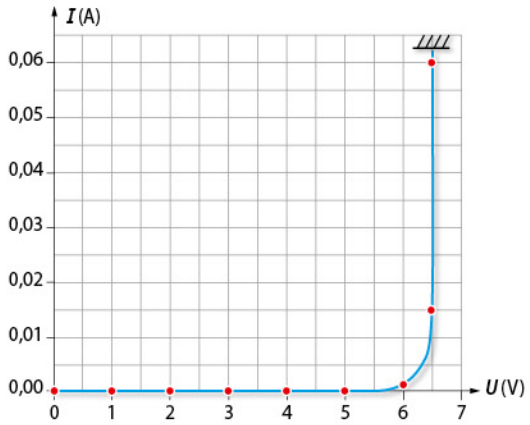
b. Calculer la valeur de la résistance correspondante.



34 Zener diode

In the twentieth century, the American physicist, Clarence Zener, described the properties of insulators that were later used in the development of the dipole that bears his name: the Zener diode.

The voltage-current characteristic of a Zener diode is shown below:



1. Why can we say that the voltage across a Zener diode is not sensitive to changes in the intensity of the current?

2. What is the tension under these conditions at its limits?

35 Donnée technique

Voici la notice technique délivrée par le fabricant d'un dipôle :

La caractéristique du dipôle est modélisée par une fonction mathématique d'équation :

$$I = 6{,}2 \times 10^{-3} \times U^2$$

L'intensité maximale du courant qui traverse le dipôle vaut :

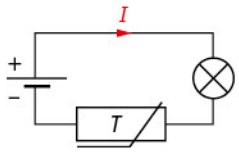
$$I_{max} = 1 \text{ A}$$

1. Ce dipôle peut-il être un conducteur ohmique ?

2. Représenter la caractéristique tension-intensité de ce dipôle jusqu'à sa limite de fonctionnement.

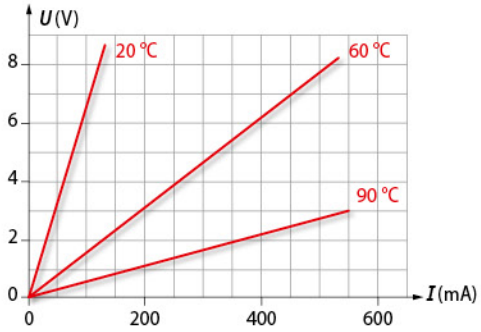
36 Témoin de surchauffe

Un circuit simple utilisant une thermistance permet d'obtenir l'allumage d'une lampe lorsque la température augmente. Son schéma est représenté ci-contre.



La lampe choisie pour ce circuit fonctionne lorsqu'elle est soumise à une tension de 3,5 V et une intensité de courant de 450 mA (valeurs nominales).

La thermistance utilisée est fournie avec les caractéristiques suivantes.



1. En s'appuyant sur les caractéristiques, justifier que la résistance de cette thermistance diminue lorsque la température augmente.

2. a. Reproduire le schéma du circuit en représentant à l'aide de flèches les tensions U_G, U_L et U_T aux bornes du générateur, de la lampe et de la thermistance.
b. Établir une relation entre ces trois tensions.

3. Calculer la valeur de la tension que doit délivrer le générateur pour que la lampe brille lorsque la température atteint 90 °C.

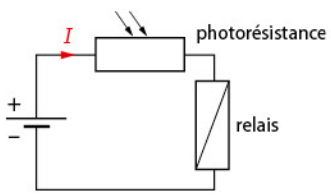
4. En supposant que la valeur de la tension délivrée par le générateur reste inchangée, prévoir si la lampe brillera encore à la température de 60 °C.

37 Contrôle par photorésistance

Les photorésistances sont souvent utilisées pour commander un type d'interrupteur particulier appelé *relais*.

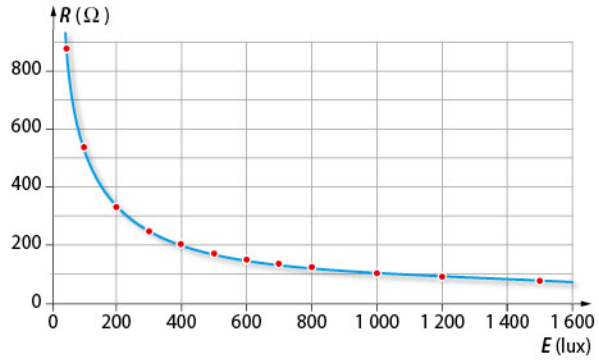
Le relais a la propriété de pouvoir commander la fermeture ou l'ouverture d'un circuit électrique annexe.

Dans le circuit schématisé ci-dessous, on a associé une batterie, une photorésistance et un relais.



La résistance R_r de ce relais est constante et vaut 50 Ω. Le relais se déclenche lorsqu'il est parcouru par un courant d'intensité 20 mA.

La résistance R_p de la photorésistance varie en fonction de l'éclairement E qu'elle reçoit.



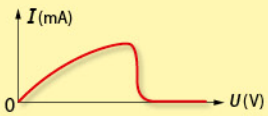
1. a. Représenter sur un même graphique les caractéristiques intensité-tension de cette photorésistance pour des éclairages de 100 lux, 500 lux et 1 500 lux (échelle : 5 V pour 1 cm et 20 mA pour 1 cm).
b. En déduire que, pour une tension donnée, le passage d'un éclairage faible à une forte lumière revient à multiplier l'intensité du courant dans la photorésistance par 10.

2. Quelle tension doit délivrer la batterie pour que le relais se déclenche à une valeur de 100 lux d'éclairement ?

À L'ORAL

38 Surprise !

En traçant la caractéristique d'un dipôle, un binôme d'élèves obtient le graphique ci-contre.



Préparer un exposé oral permettant d'expliquer le changement brusque du tracé. Cet exposé de quelques minutes devra utiliser les mots clés suivants :
– caractéristique d'un dipôle ;
– point de fonctionnement ;
– domaine de fonctionnement ;
– puissance admissible.

Ce court exposé devra pouvoir être réalisé sans note écrite.

39 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Ce capteur est observé au microscope électronique.

Comment un capteur de l'épaisseur d'un cheveu peut-il mesurer la pression exercée par les pattes d'une fourmi ?



Acquérir des compétences

40 Diviseur de tension — TÂCHE COMPLEXE

APP Schématiser une situation

RÉA Effectuer des procédures courantes (calculs)

Un enseignant a acheté un bloc d'alimentation 12 V pour équiper une carte Arduino.

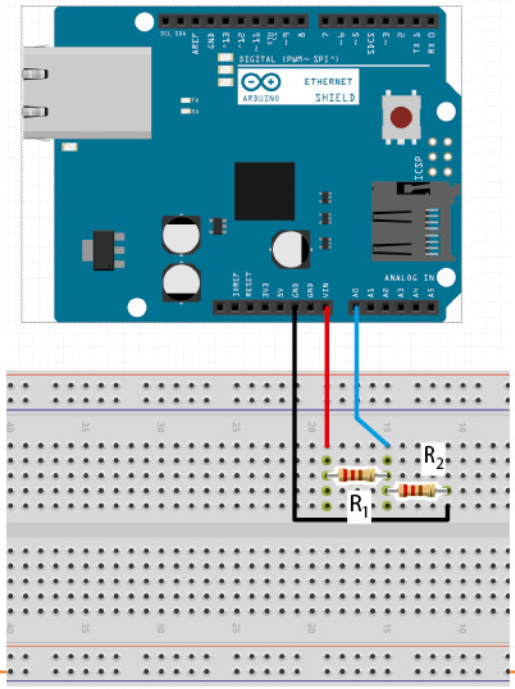
Avant de l'utiliser, il est indispensable de vérifier que la tension délivrée est bien celle indiquée par le fabricant.

La tension d'alimentation U est mesurable sur la borne VIN, mais ne peut pas être directement reliée à l'entrée A0 de la carte, qui est limitée à 5 V, pour ne pas détériorer la carte.

Pour utiliser l'entrée A0, il est donc recommandé de suivre le montage représenté ci-contre.

Données :

$U_{VIN} = 12\ V$; $R_1 = 3{,}3\ k\Omega$; $R_2 = 1{,}1\ k\Omega$.



LE PROBLÈME À RÉSOUDRE

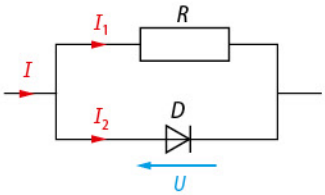
Montrer que les valeurs des résistances R_1 et R_2 permettent de diviser par 4 la valeur de la tension U à la borne VIN, ce qui rend possible l'utilisation de l'entrée A0.

41 Détecteur de surintensité — DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

AN/RAI Proposer une stratégie de résolution

De nombreux équipements (tableau de bord de véhicules, boîtier de commande...) intègrent un voyant d'alerte de surintensité. Il s'agit généralement d'une diode électroluminescente (DEL) rouge qui s'éclaire si l'intensité I du courant dans le circuit dépasse une valeur limite I_{max}.

Ce dispositif est obtenu en associant en dérivation un conducteur ohmique de résistance R et une DEL.

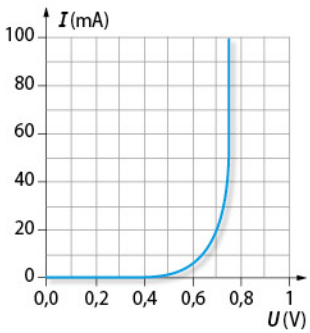


La caractéristique tension-intensité de la DEL est représentée ci-contre. ▶

La DEL s'éclaire lorsqu'elle est soumise à une tension supérieure à sa tension de seuil U_s, c'est-à-dire à la valeur de la tension à partir de laquelle l'intensité du courant qui traverse la diode est différente de zéro.

Donnée : $R = 40\ \Omega$.





DÉMARCHE AVANCÉE

1. En utilisant les lois des circuits, démontrer cette relation :

$$I = \frac{U}{R} + I_2$$

2. En utilisant la caractéristique, déterminer la valeur de la tension de seuil U_s de la DEL utilisée.

3. Déduire des deux résultats précédents la valeur limite de l'intensité du courant I_{max}.

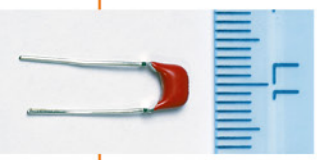
DÉMARCHE EXPERTE

Déterminer la valeur de l'intensité du courant I_{max} à partir de laquelle la DEL étudiée va s'allumer pour signaler une surintensité.

Retrouvez des exercices de synthèse p. 288

42 CTN ou CTP ? DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

AN/RAI Élaborer un protocole
VAL Comparer à une valeur de référence



On appelle thermistance un dipôle dont la résistance électrique varie en fonction de la température.

Selon la nature des matériaux employés pour les fabriquer, il est possible de les classer en deux catégories : les thermistances CTN et les thermistances CTP (photo). Elles diffèrent par la façon dont la résistance dépend de la température (Doc. 1).

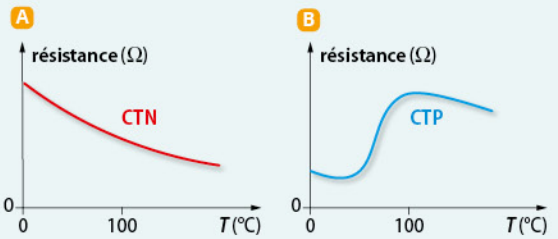
1. Proposer un protocole expérimental afin de déterminer si la thermistance dont on dispose est de type CTN ou CTP.

2. Ce protocole est mis en œuvre, les résultats obtenus sont regroupés dans ce tableau.

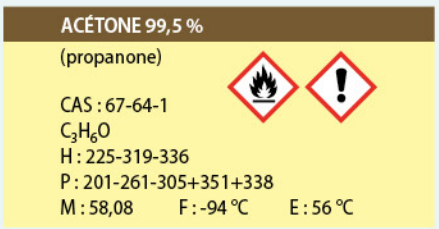
T (en °C)	R (en Ω)	T (en °C)	R (en Ω)
0	220	60	110
10	125	70	265
20	70	80	410
30	42	85	520
40	44	90	600
50	62	100	820

a. Réaliser un graphique pour représenter la variation de la résistance en fonction de la température.
b. Déterminer la nature CTN ou CTP de la thermistance.

DOC 1 Allures des caractéristiques de thermistances



DOC 2 Étiquette d'un flacon d'acétone



3. On utilise cette thermistance pour mesurer la valeur de la température d'ébullition de l'acétone (Doc. 2).
a. Quelles précautions faut-il prendre pour réaliser cette expérience ?
b. La résistance est mesurée, elle vaut : $R = 86\ \Omega$. En déduire la valeur de la température de ce changement d'état.
c. Comparer cette valeur à la valeur attendue.

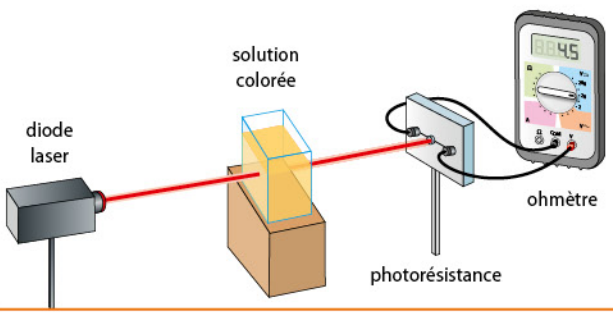
VERS LA SPÉCIALITÉ PHYSIQUE-CHIMIE

43 Photorésistance et spectrophotométrie DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

RÉA Mettre en œuvre les étapes d'une démarche

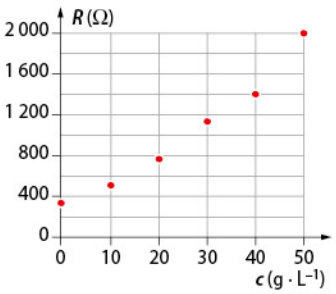
Pour déterminer la concentration d'une solution colorée, il est possible d'utiliser une photorésistance et une diode laser. Pour cela, on réalise une échelle de teintes par dilutions successives d'une solution-mère, puis on place chaque solution-fille sur le trajet de la lumière.





La résistance est mesurée à l'aide d'un ohmmètre.

Ci-contre les résultats obtenus sous forme de graphique.



1. La photorésistance est-elle un capteur « linéaire » ?

2. La résistance de la photorésistance est d'autant plus grande que l'éclairement est faible. Cette affirmation est-elle cohérente avec les résultats obtenus ?

3. Pourquoi peut-on dire que le graphique permet « d'étalonner la photorésistance » ?

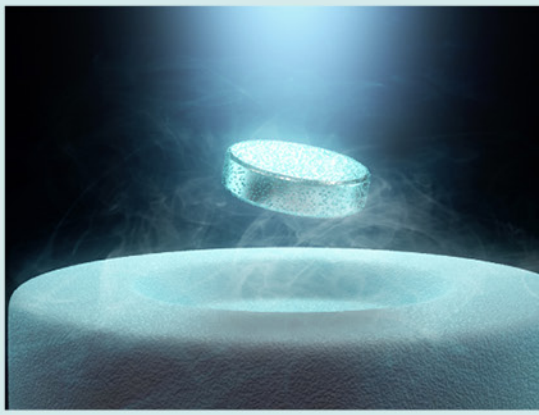
4. On remplace les solutions-filles par une solution de concentration inconnue. La valeur indiquée par l'ohmmètre est 1,2 kΩ. Quelle est la valeur de la concentration de cette solution ?

Les sciences et nous

GROS PLAN SUR...

La supraconductivité

Certains matériaux très particuliers présentent une propriété peu commune : ils ont une résistance électrique nulle. Cela signifie que le déplacement des électrons n'est pas freiné comme dans les conducteurs ohmiques par exemple. Ces matériaux sont appelés supraconducteurs.
Cette propriété apparaît uniquement à très basse température (environ – 250 °C), ce qui rend leur utilisation complexe et qui limite pour le moment les possibilités d'applications technologiques.
La supraconductivité est cependant un domaine de recherche scientifique très important qui connaît des progrès réguliers, et les perspectives d'utilisation dans l'industrie sont très prometteuses.



LES MÉTIERS DU CHAPITRE

Électronicien·ne automobile

Les véhicules automobiles, qu'ils soient à motorisation électrique ou thermique, embarquent un très grand nombre de dispositifs électroniques : ordinateur de bord, GPS, multiplexage, éclairage, climatisation...
L'électronicien automobile assure la conception, la production et l'entretien de tous ces dispositifs.
Il est également responsable de la maintenance des capteurs qui permettent le contrôle du fonctionnement du véhicule.

***Niveaux d'études** : bac+2 après un bac professionnel, un bac technologique ou un bac général avec spécialité physique-chimie.*





Technicien·ne en domotique

Le technicien en domotique rend les habitations intelligentes en permettant aux résidents de commander et contrôler un nombre, en constante augmentation, de dispositifs domestiques.
Il veille donc à connecter les circuits électriques de la maison à des ensembles de capteurs avec lesquels les interactions sont possibles généralement à partir d'un smartphone.
Chauffage, éclairage, électroménager, alarme, équipement audiovisuel, les domaines d'intervention du technicien en domotique sont très variés.

***Niveaux d'études** : bac+2 après un bac professionnel, un bac technologique ou un bac général avec spécialité physique-chimie.*

Retrouvez d'autres renseignements sur le site de l'Onisep.

EXERCICES DE SYNTHÈSE



1 Le son chez les dauphins

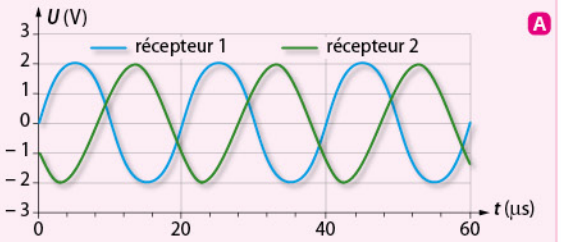
Le dauphin est un mammifère de la famille des cétacés. Il perçoit, comme l'Homme, les sons ayant une fréquence de 20 Hz à 20 kHz. Cet animal est aussi capable d'émettre et de capter des ultrasons lui permettant de se localiser par écho grâce à un sonar biologique. Ce système naturel permet au dauphin d'émettre un ultrason et d'en capter le signal réfléchi par un obstacle afin de mesurer la distance qui le sépare de ce dernier.

DOC 1 L'oscillogramme

Pour étudier expérimentalement les ultrasons produits par les dauphins, on dispose d'un émetteur et de deux récepteurs à ultrasons que l'on place dans un récipient rempli d'eau. L'émetteur génère une onde ultrasonore progressive et sinusoïdale.

Un oscilloscope permet d'enregistrer les signaux détectés par chaque récepteur.

Les récepteurs sont séparés d'une distance d égale à 12 mm, le récepteur 1 étant le plus proche de l'émetteur. On obtient l'oscillogramme ci-dessous **A**.

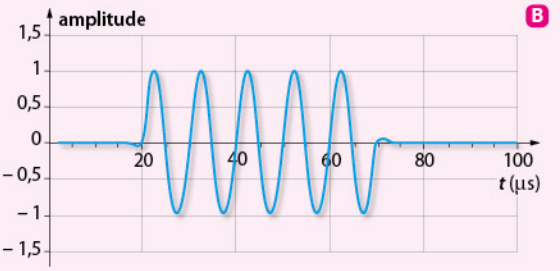


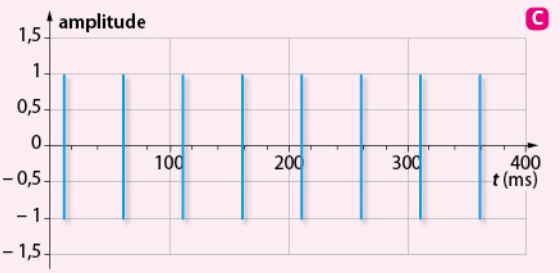
DOC 2 Les clics et trains de clics

Les dauphins n'émettent pas des ultrasons en continu, mais des salves ultrasonores très brèves et puissantes appelées « clics » **B**. Ces clics sont émis par séries formant un large faisceau appelé « train de clics » **C**. Les clics sont représentés par des traits verticaux.

La durée d'un train de clics et le nombre de clics dans un train dépendent de la localisation du dauphin et de son activité : en recherche de nourriture par exemple.

On suppose que les clics d'un même train sont émis à intervalles de temps réguliers et ont la même fréquence.

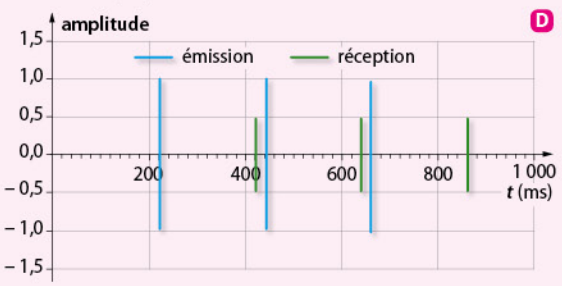




DOC 3 Écholocalisation par le dauphin

Afin de se localiser, le dauphin émet d'autres clics de fréquence 50 kHz et de portée de plusieurs centaines de mètres. Ces clics, espacés de 220 ms, se réfléchissent sur le fond marin ou sur les rochers et sont captés à leur retour par le dauphin **D**. La perception du retard de l'écho lui fournit des informations concernant l'aspect du fond marin ou la présence d'une masse importante (bateau ou nourriture).

Donnée : *la célérité des ultrasons dans l'eau salée à 10 m de profondeur est de 1 530 m · s⁻¹.*



1. À quelles fréquences les ultrasons se situent-ils ?
2. **a.** Déterminer la fréquence des ondes ultrasonores émises par l'émetteur (figure **A**).
   b. Déterminer le retard que présente la détection des ondes au niveau du récepteur 2 par rapport au récepteur 1 (ce retard est inférieur à la périodicité temporelle).
   c. En déduire la célérité des ondes ultrasonores dans l'eau.
3. Comparer la durée totale d'un clic et la durée entre deux clics d'un train.
4. **a.** Déterminer l'intervalle de temps Δt séparant l'émission d'un clic et la réception de son écho, sachant que ce retard est inférieur à la durée entre deux clics.
   b. En déduire la profondeur H à laquelle se trouve le dauphin.

2 Diagnostic ophtalmique

Les parents de Mélanie, 5 ans, élève en grande section de maternelle, rencontrent l'infirmier scolaire car ils sont inquiets, leur fille a tendance à se pencher exagérément sur ses cahiers quand elle dessine.



DOC 1 Des défauts de la vision

- Un œil myope est un œil dont le cristallin converge trop. Ce défaut se corrige avec un verre correcteur ou une lentille divergente (plus épaisse sur les bords qu'au centre).
- Un œil hypermétrope est au contraire un œil dont le cristallin ne converge pas assez. Il se corrige avec un verre correcteur ou une lentille convergente.

DOC 2 Taille de l'œil humain

À la naissance, l'œil humain mesure entre 16,5 et 18 mm.

Vers l'âge de 18 mois, sa taille augmente d'environ 3,5 mm.

On note ensuite une évolution régulière de 1 mm par an jusqu'à l'âge de 3 ou 4 ans, puis de 0,1 mm par an.

La taille définitive de l'œil n'est atteinte que vers 14 ou 15 ans.

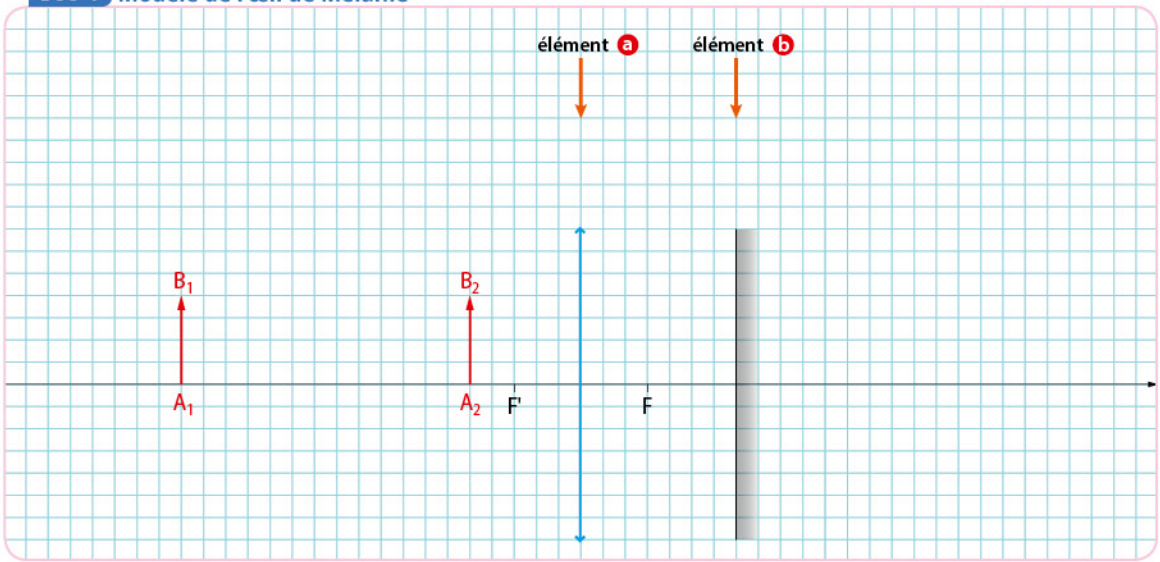
DOC 3 Le laser

En modifiant la courbure et l'épaisseur de la cornée, le laser corrige la réfraction de l'œil. Le laser permet donc d'aplatir la cornée d'un œil myope ou de bomber celle d'un œil hypermétrope.

Pour autoriser l'opération, la croissance de l'œil doit être stable, une condition incontournable.



DOC 4 Modèle de l'œil de Mélanie



1. À quelle partie de l'œil réel correspond l'élément a ? et l'élément b ? (Doc. 4)
2. L'objet A_1B_1 est le dessin de Mélanie à distance normale. L'objet A_2B_2 est le dessin de Mélanie tel qu'elle doit le positionner pour bien le voir.

a. Reproduire et compléter le schéma du document 4 en traçant les rayons lumineux issus de l'objet A_1B_1 et de l'objet A_2B_2.

b. Grâce aux tracés précédents, dire où est située l'image $A'_2B'_2$ perçue par l'œil de Mélanie lorsqu'elle observe l'objet A_2B_2.

c. Montrer, grâce à ces rayons, que Mélanie ne peut pas voir nettement l'image $A'_1B'_1$ de l'objet A_1B_1.

3. a. À l'aide des connaissances acquises et des documents, expliquer aux parents que le comportement de Mélanie quand elle dessine vient probablement d'un défaut de la vision.

b. Nommer et expliquer ce défaut.

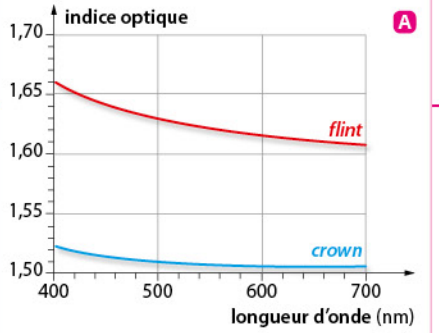
c. Que peut-on dire aux parents pour les informer des solutions qui existent afin de corriger le défaut de l'œil de Mélanie ?

EXERCICES DE SYNTHÈSE

3 Expériences avec un prisme

On utilise comme milieu dispersif un prisme en verre de type « flint » d'indice optique n_v.

Le graphique **A** ci-contre permet de déterminer la valeur de l'indice optique de deux types de verres « flint » et « crown » en fonction de la longueur d'onde de la lumière qui arrive à leur surface.

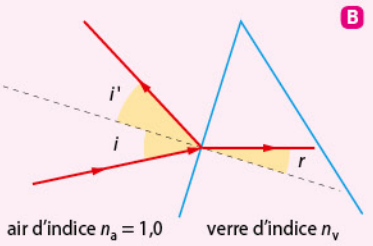


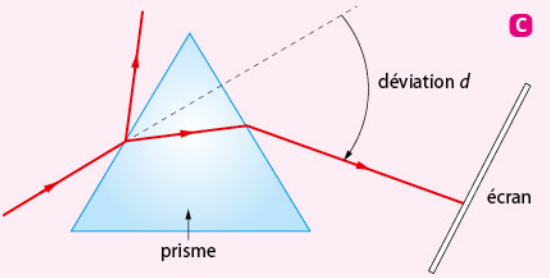
DOC 1 Expérience avec le laser

On utilise dans cette expérience la lumière de couleur rouge de longueur d'onde $\lambda = 633$ nm émise par un laser.

Le faisceau laser est dirigé, suivant une incidence donnée, vers l'une des faces du prisme placé dans l'air.
On observe que ce faisceau est dévié **B**.

Un écran placé derrière le prisme montre un point lumineux de même couleur (rouge) que le faisceau incident **C**.

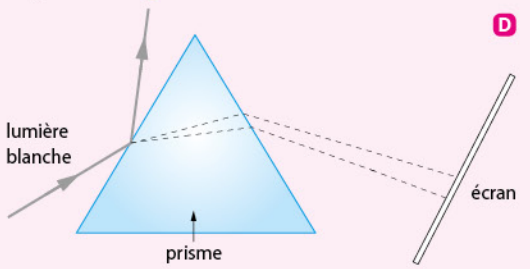




DOC 2 Expérience avec la lumière blanche

On remplace la lumière du laser par une lumière blanche.

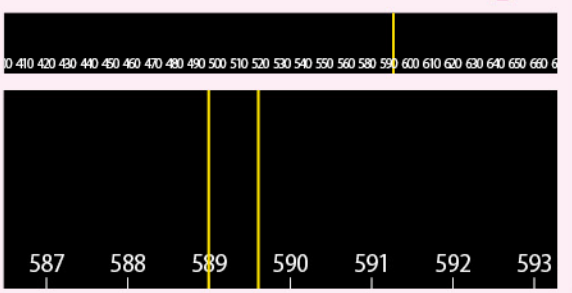
Les traits en pointillés correspondent aux trajets de deux rayons lumineux de couleurs respectives rouge et bleu **D**.



DOC 3 Expérience avec une lampe à vapeur de sodium

On remplace la lumière du laser par une lampe à vapeur de sodium **E**.

Voici ce que l'on observe sur écran :



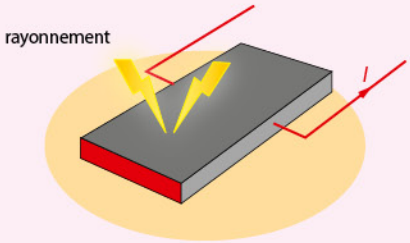
1. **a.** Quelle est la nature de la lumière émise par le laser ?
   b. Quel est l'indice de réfraction du verre pour la longueur d'onde du laser ?
   c. Quels sont les deux phénomènes optiques qui ont lieu à l'interface air-verre ?
   Pour $i = 20°$, déterminer la valeur de l'angle i' et celle de l'angle r **C**.
2. **a.** Dans le cas de la lumière blanche, décrire ce que l'on observe sur écran.
   Expliquer succinctement le phénomène et identifier sur la figure **D** les deux rayons en pointillés.
   b. Donner les limites des longueurs d'onde dans le vide du spectre visible et les couleurs correspondantes.
   Situer les domaines des rayonnements ultraviolets et infrarouges par rapport au domaine du spectre visible.
3. Dans le cas de la lampe à vapeur de sodium, indiquer ce que l'on observe sur écran et déterminer les longueurs d'onde des deux raies du sodium.

4 Détecteur de lumière

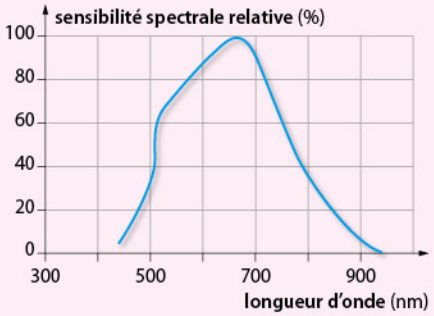
Une photorésistance est un dipôle généralement utilisée pour mesurer une intensité lumineuse (appareil photo, système de détection, etc.).



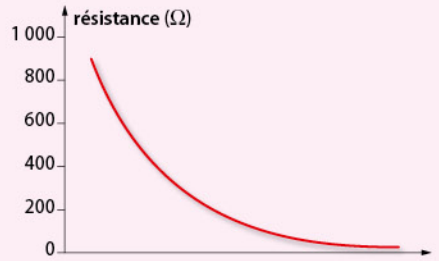
DOC 1 Principe de la photorésistance



DOC 2 Sensibilité spectrale d'une photorésistance



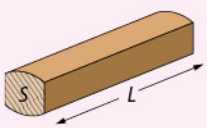
DOC 3 Résistance d'une photorésistance



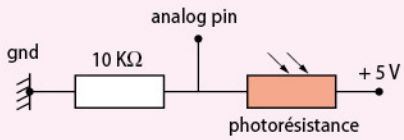
DOC 4 Résistance et matériau

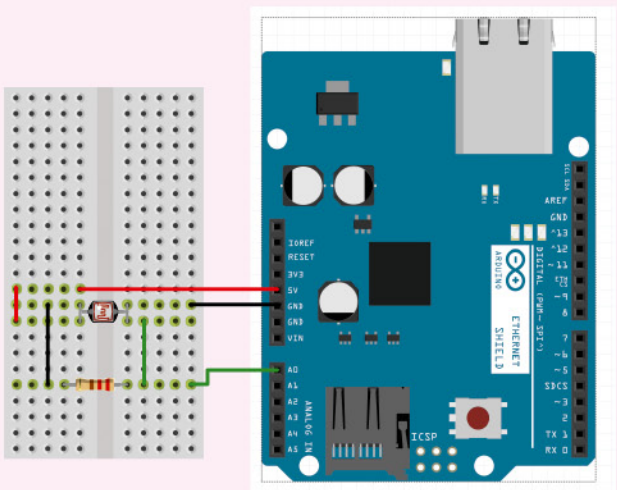
La relation entre la résistance R (en Ω) d'un conducteur, sa surface S (en m²), sa longueur L (en m) et la résistivité ρ (en Ω · m) du matériau est :

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$



DOC 5 Montage électrique





microcontrôleur

1. **a.** Quels sont les paramètres ayant une influence sur la valeur de la résistance d'un matériau ? Lequel doit sans doute être sensible à l'intensité lumineuse pour une photorésistance ?
   b. Comment évolue la valeur de la résistance d'une photorésistance en fonction du flux lumineux ?
2. Une photorésistance est-elle sensible de la même façon à toutes les radiations lumineuses ?
3. **a.** Expliquer l'utilisation de photorésistances comme détecteurs de lumière.
   b. Expliquer le fonctionnement du montage électrique utilisant le microcontrôleur.
   c. Quelle est la valeur de la tension arrivant à l'entrée analogique du microcontrôleur quand la photorésistance est dans l'obscurité ? la photorésistance est éclairée ?

FICHE REPÈRE 1

La physique-chimie après la classe de 2de

1 En voie générale

a. L'enseignement scientifique

Si vous choisissez de poursuivre le lycée en voie générale, vous aurez un enseignement scientifique de 2 h par semaine, intégré dans le tronc commun de 1re et de Tle (5 % de la note finale du baccalauréat).

Enseignements communs	
ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE	
Première	Terminale
2 h	2 h

Cet enseignement est au croisement de la physique-chimie, des mathématiques, des SVT et des outils numériques.

Vous y aborderez les sciences au sens large en tenant compte à la fois de l'**Histoire des sciences** mais également des **enjeux et des débats scientifiques actuels**.

Vous aurez aussi à mener un **projet expérimental et numérique**.

➽ *L'ensemble des notes des bulletins de 1re et de Tle compteront pour 10 % de la note finale du baccalauréat. Cela concerne aussi l'enseignement scientifique.*

➽ *Vous aurez aussi une épreuve de contrôle continu en 1re puis une épreuve en Tle. Les notes obtenues à ces épreuves seront intégrées dans la part des 30 % de la note finale dédiée aux contrôles continus.*

b. La spécialité physique-chimie

➽ *Voir la fiche repère 2.*

Enseignements de spécialité	
PHYSIQUE CHIMIE	
Première	Terminale
4 h	6 h



2 En voie technologique

Si vous choisissez de poursuivre le lycée en voie technologique, la physique-chimie est présente **dans de nombreux enseignements de spécialités** intégrés au menu des séries scientifiques comme STI2D, STL, ST2S et STD2A.

➽ *L'enseignement de physique-chimie est bien sûr adapté à la série suivie pour vous permettre une poursuite d'étude dans l'enseignement supérieur après le baccalauréat.*

	Première	Terminale
STI2D Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable	Physique-chimie et mathématiques	Physique-chimie et mathématiques
STL Sciences et technologies de laboratoire	Physique-chimie et mathématiques	Physique-chimie et mathématiques
ST2S Sciences et technologies de la santé et du social	Physique-chimie pour la santé	Chimie, biologie et physiopathologie humaines
STD2A Sciences et technologies du design et des arts appliqués	Physique-chimie	Analyse et méthodes en design

FICHE REPÈRE 2

La spécialité physique-chimie en 1re

1 Un choix vers des études scientifiques

En fin d'année scolaire de 2de, si vous poursuivez dans la voie générale, vous aurez à choisir les trois enseignements de spécialité que vous suivrez en classe de 1re.

Ces enseignements de spécialité vous permettront de vous préparer à **poursuivre vos études dans l'enseignement supérieur** après votre baccalauréat.

➽ *L'enseignement de spécialité de physique-chimie est particulièrement recommandé si vous envisagez de poursuivre des **études supérieures scientifiques** pour préparer un métier dans des domaines comme le médical, l'aérospatial, la recherche, la police scientifique, la domotique, la télécommunication, la transition écologique, la pharmacie, l'enseignement, la transition numérique, l'architecture...*



2 Horaires et contenus de la spécialité physique-chimie

Enseignements de spécialité	
Première	Terminale
4 h	6 h

Contenus de la spécialité

- Constitution et transformations de la matière
- Mouvement et interactions
- L'énergie : conversions et transferts
- Ondes et signaux

L'enseignement de spécialité de physique-chimie est, comme les autres enseignements de spécialité, un enseignement de 4 h en 1re (et de 6 h en Tle).

Le programme de cette spécialité s'inscrit dans la continuité de la classe de 2de.

La **démarche expérimentale** et l'activité de **modélisation** y occupent une place centrale. L'approche est concrète et au plus près des situations réelles.

➽ *Cet enseignement vous permettra d'acquérir les modes de raisonnement inhérents aux sciences expérimentales. Il vous permettra aussi de vous inscrire dans un parcours qui vous ouvre la voie à des études supérieures scientifiques.*

3 Le poids de la spécialité physique-chimie au bac

a. Contrôle continu

L'ensemble des notes des bulletins de 1re et de Tle comptent pour 10 % de la note finale du baccalauréat.

➽ *Cela concerne aussi la spécialité physique-chimie.*

Si vous faites le choix de ne pas garder la spécialité de physique-chimie en Tle, une épreuve de contrôle continu vous sera proposée en fin d'année de 1re.

➽ *La note de cette épreuve sera alors intégrée dans la part des 30 % de la note finale du baccalauréat dédiée aux contrôles continus.*

b. Épreuves finales

Part dans la note finale : 60 %.

Une des épreuves terminales porte sur la **spécialité physique-chimie**. L'épreuve se déroulera en Tle au lycée après les vacances de printemps.

Une autre épreuve terminale est l'**oral terminal** qui portera sur un projet qui peut s'appuyer sur l'enseignement de spécialité de physique-chimie, et qui se déroulera en fin d'année de Tle.

FICHE PRATIQUE 1

Utiliser un microcontrôleur

Grâce à des microcontrôleurs, on réalise des dispositifs technologiques capables d'interagir avec leur environnement.

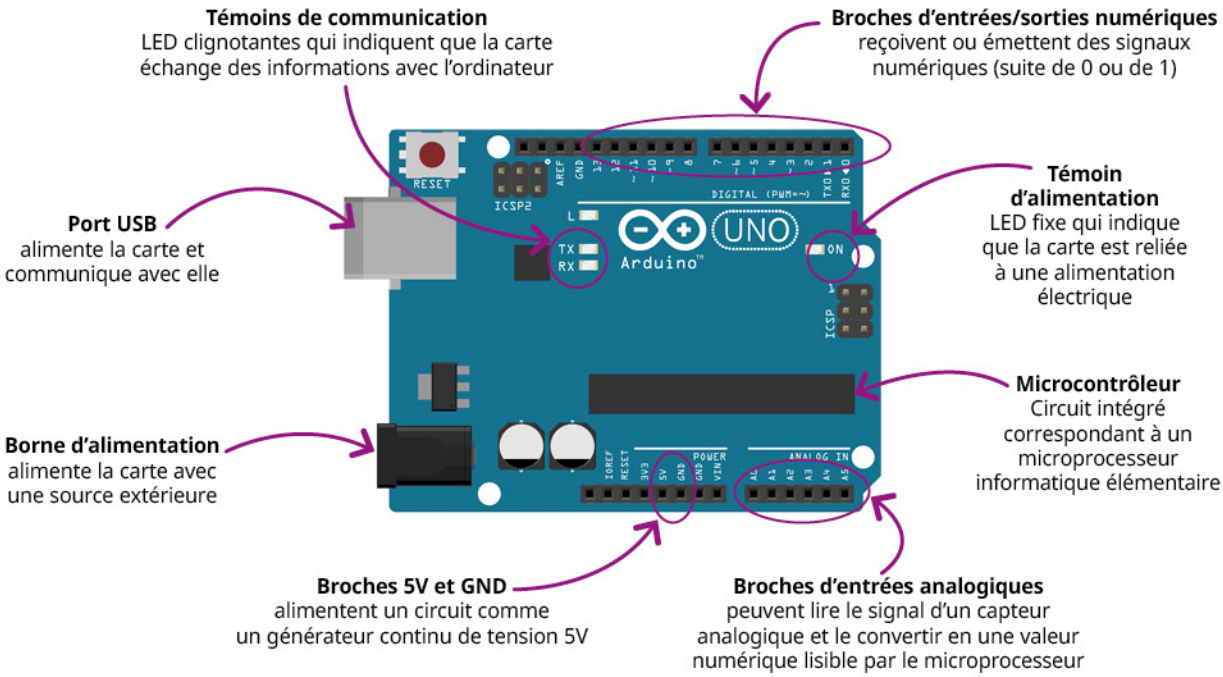


La carte Arduino Uno tient dans la main. Cet ordinateur simplifié est construit sur un circuit intégré unique contenant un **processeur**, une **mémoire** et des **périphériques programmables** d'entrée et de sortie.

Ce type de microcontrôleur est capable de recueillir des informations à l'aide de capteurs, puis de les exploiter pour effectuer des actions. L'ensemble suit les commandes indiquées par l'utilisateur sous la forme de programmes écrits en langage informatique.

1 S'approprier la carte Arduino

Les principaux éléments suivants sont présents sur la carte Arduino Uno :



L'utilisation d'une carte à microcontrôleur nécessite systématiquement la réalisation de trois opérations successives :

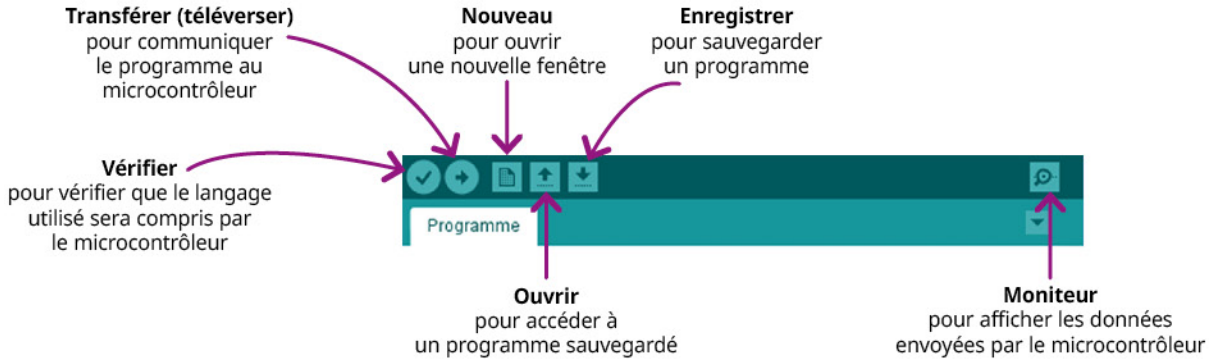
- connecter l'ordinateur à la carte, via un port USB, pour y transférer le programme qui donnera au microcontrôleur les instructions à suivre ;
- sur l'ordinateur disposant d'un logiciel adapté, écrire le programme en respectant le langage du microcontrôleur ;
- réaliser les circuits comportant les capteurs (photorésistance, thermistance, etc.) et les actionneurs (LED, moteur, haut-parleur, etc.).

2 Communiquer avec la carte Arduino

Afin de communiquer avec la carte Arduino, il convient d'utiliser le langage qu'elle est capable de comprendre en écrivant un ensemble d'instructions appelé **programme**.

Pour cela, ouvrir la **console Arduino** en cliquant sur l'icône : 

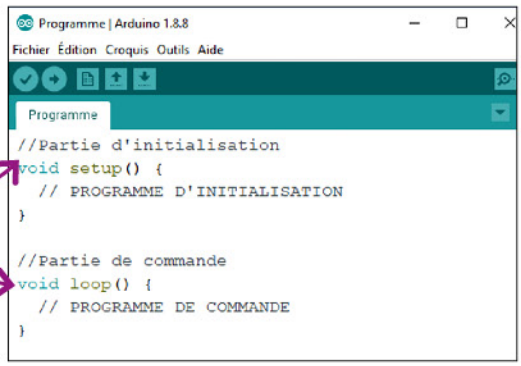
Cette console comporte six icônes qui suffisent à communiquer avec le microcontrôleur :



Un programme Arduino comprend a minima deux parties :

- la **partie d'initialisation** dans laquelle tous les éléments qui vont jouer un rôle dans le programme sont définis ;
- la **partie de commande** qui va se réaliser de façon répétée.

Dans un programme, le texte précédé de // est un commentaire qui ne sera pas lu par le microcontrôleur.



3 Écrire un premier programme

On exécute un programme simple, appelé Blink, pour vérifier que la communication entre l'ordinateur et la carte Arduino fonctionne.

Dans la partie d'initialisation, on indique au microcontrôleur que la LED (notée L sur la carte) va devoir agir en suivant une commande.

Dans la partie de commande, on demande successivement :

- à la LED de s'allumer ;
- d'attendre 1 000 ms, soit 1 seconde ;
- à la LED de s'éteindre ;
- d'attendre 1 000 ms avant de répéter le cycle.

La diode L clignote ainsi toutes les secondes.

En modifiant la valeur de `delay` (1000), on ajuste la période de ce clignotement.



FICHE PRATIQUE 2

Utiliser un langage de programmation

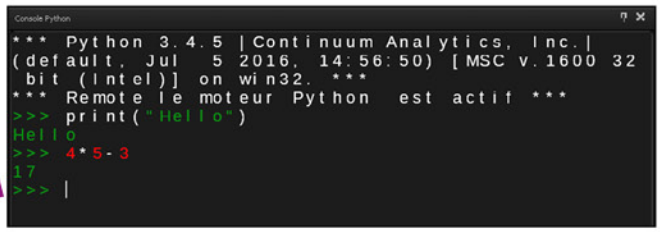
À l'aide d'un programme informatique, on peut traiter des données d'expérience, automatiser des calculs... Tout algorithme doit être rédigé dans un langage de programmation adapté, puis compilé pour être exécuté par l'ordinateur.

Python est un langage de programmation à la syntaxe simple. Il est multiplateforme (Windows, MacOS, Linux, Android, IOS). Le langage Python peut ainsi être utilisé sur n'importe quel ordinateur, smartphone et même sur les calculatrices Casio Graph 90+E, TI 83 Premium CE et Numworks. Les programmes présents dans ce manuel sont compatibles avec la version 3 de Python. Pour un usage scientifique, on choisira l'environnement de développement PyScripter, intégré à la distribution « EduPython ».

1 Exécuter des commandes dans la console

La console Python permet d'exécuter de simples lignes de commandes ou bien de lancer des programmes. La console est utile pour tester des commandes avant de les insérer dans un programme.

Toute commande écrite après le signe >>> peut être directement exécutée en appuyant sur la touche « entrée » du clavier.



Voici trois astuces pratiques :



- L'**autocomplétion** : écrire la ou les premières lettres d'une commande. Un menu déroulant s'ouvre, proposant une liste des fonctions Python.
- L'**aide** : pour obtenir des détails sur une fonction, il suffit de se déplacer dans le menu déroulant.
- Les **couleurs de syntaxe** : dans la console et dans l'éditeur, des couleurs clarifient automatiquement la syntaxe des commandes. Par exemple, selon les réglages du logiciel, les chaînes de caractères s'afficheront en vert, les boucles `if` et `while` en bleu, les chiffres en rouge... Des erreurs de syntaxe sont donc visibles.

2 Manipuler les variables en Python

- Les variables ont un **type**, qui définit leurs propriétés et conditionne les fonctions que l'on peut leur appliquer. Voici quelques exemples de types en Python :

```
a = 5

b = 4.56

c = "Bonjour"

d = ["A","B","C",a,34,"azerty"]

e = True
```

- **Entier** : entiers compris entre – 2 147 483 648 et 2 147 483 647.
- **Virgule flottante** : nombres réels, spécifiés avec un point, jusqu'à 12 chiffres significatifs.
- **Chaîne de caractères** : suite de caractères alphanumériques, spéciaux, accentués, etc.
- **Liste** : un ensemble contenant autant d'éléments voulus, de n'importe quel type.
- **Booléen** : variable prenant deux états seulement : Vrai (True) et Faux (False).

- Les mêmes opérations auront des effets différents selon le type de variable auquel elles sont appliquées.

EXEMPLE

L'opérateur « + », appliqué à des entiers, correspond à une addition. Le même opérateur, appliqué à des chaînes de caractères ou des listes, effectue leur concaténation, c'est-à-dire leur mise bout à bout.

```
>>> 5+5
10
>>>
```

addition

```
>>> "5"+"5"
'55'
>>> [5]+[5]
[5, 5]
>>>
```

concaténation

3 Éditer un programme

- Cliquer dans la fenêtre d'édition pour écrire un programme.
- Saisir les commandes, ligne par ligne. Une fois le programme écrit, le nommer et l'enregistrer sous forme de fichier *.py*.
- Appuyer sur les touches « ctrl » + « F9 » pour compiler le programme et l'exécuter dans la console.
- En cas d'erreur, la console renvoie un message. La ligne du programme concernée par le « bug » est indiquée.



- **Structure d'un programme Python**

En Python, l'**indentation** (décalage du début de la ligne avec la touche « tabulation ») indique la structure des sous-programmes. En cas d'erreur d'indentation, le programme ne fonctionnera pas ou renverra des résultats erronés !

Les lignes précédées par # ne sont pas compilées.

EXEMPLE

```
#Début du programme
compteur = 10
while compteur > 0 :
    if compteur == 2 :
        print("C'est presque la fin")
    elif compteur == 1 :
        print("Dernier tour")
    else :
        print("On n'est pas encore arrivé")
    compteur = compteur - 1
print("C'est fini !")
```

Toutes ces lignes sont dans la boucle `while`.

Dans ce programme, la boucle `if` sera reprise 10 fois (`compteur` = 10, 9, 8, ... 0) alors que la ligne `print("C'est fini !")` » ne sera exécutée qu'une seule fois.

Les **arguments** des fonctions (variables) sont écrits entre parenthèses.

4 Pour aller plus loin

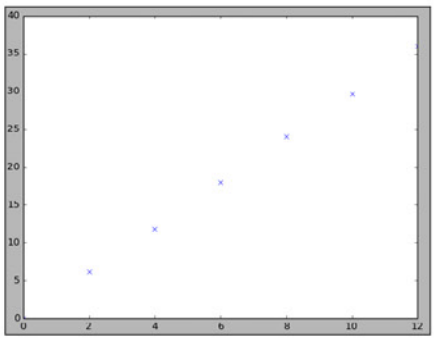
L'interpréteur Python sait faire des calculs simples, mais il est parfois nécessaire d'ajouter des fonctionnalités supplémentaires en important une **bibliothèque**.

En physique-chimie, on utilisera principalement les bibliothèques **math** pour manipuler des fonctions mathématiques usuelles ; **numpy** pour gérer des vecteurs ; **scipy** pour effectuer des calculs plus élaborés comme des régressions linéaires ; et **matplotlib** pour tracer des graphiques.

EXEMPLE

On lance la commande `from matplotlib.pyplot import *` pour pouvoir appeler ensuite toutes les fonctions du module **pyplot** de la bibliothèque **matplotlib**.

```
from matplotlib.pyplot import *
x = [0,2,4,6,8,10,12]
y = [0,6.2,11.8,18,24.1,29.7,36.0]
plot(x,y,'x')
show()
```



Pour créer une fonction, on utilise le mot clé « `def` » suivi du nom de la fonction et des parenthèses contenant les paramètres éventuels. Le mot clé « `return` » permet de renvoyer le résultat du calcul. Il suffira ensuite d'appeler la fonction dans la console pour afficher le résultat.

EXEMPLE

On crée une fonction `angle_refraction` qui prend comme arguments l'angle d'incidence d'un rayon, en radian, et les indices optiques des deux milieux :

```
from math import *
def angle_refraction(i,n1,n2):
    return asin(n1*sin(i)/n2)
```

FICHE PRATIQUE 3

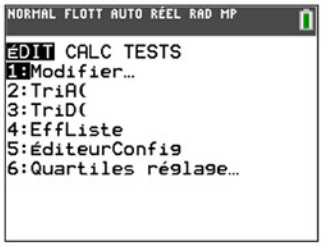
Utiliser sa calculatrice TI (83 Premium CE)



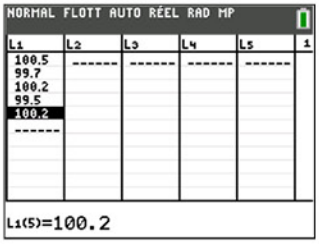
1 Exploiter une série de mesures

Pour effectuer des calculs à partir d'un ensemble de données, on les saisit dans des listes.

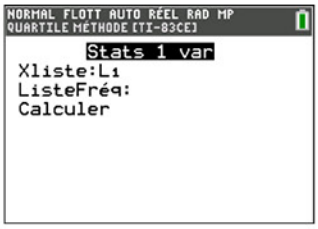
1 Entrer dans le mode Statistique en appuyant sur la touche **stats**, puis confirmer le choix 1 avec la touche **entrer**.



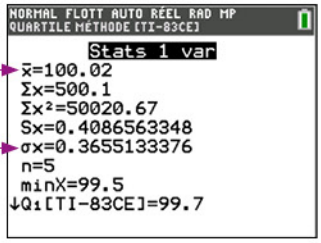
2 Saisir les données, par exemple dans la liste L_1, en appuyant sur la touche **entrer** après la saisie de chacune des valeurs.



3 Appuyer successivement sur les touches **stats**, ▸ et **entrer**, puis valider trois fois pour lancer les calculs sur les *n* valeurs de la liste L_1.



4 La calculatrice affiche les résultats obtenus :



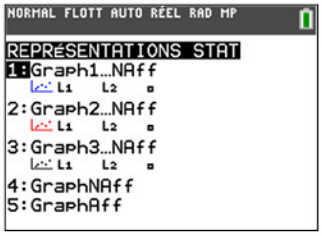
moyenne

écart-type

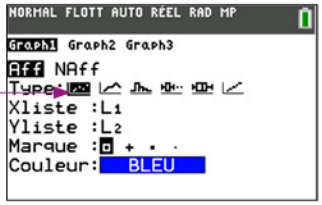
2 Construire un graphe

On veut représenter graphiquement les valeurs entrées dans une liste L_2 en fonction de celles présentes dans L_1.

1 Appuyer sur les touches **2nde** puis **f(x)** pour accéder au menu graphique.

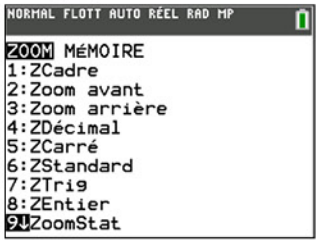


2 Appuyer sur la touche **entrer**, sélectionner le 1er graphe en allant sur **Aff** puis choisir un type de graphe. La liste **L1** doit être en abscisse (Xliste), et la liste **L2** en ordonnée (Yliste).

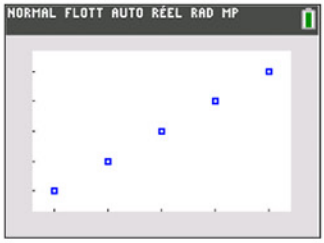


Nuage de points

3 Pour ajuster la fenêtre d'affichage, presser la touche **zoom**. Puis choisir la commande « **9 : ZoomStat** » en descendant avec ▾ et valider avec la touche **entrer**.



4 Le graphe choisi s'affiche :



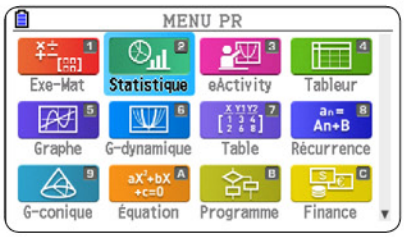
Utiliser sa calculatrice Casio (Graph 90+E)



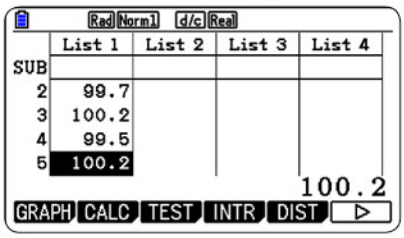
1 Exploiter une série de mesures

Pour effectuer des calculs à partir d'un ensemble de données, on les saisit dans des listes.

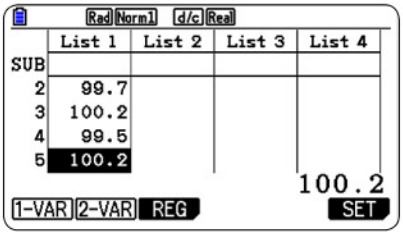
1 À l'aide du pavé directionnel, sélectionner le menu Statistique. Valider en appuyant sur la touche EXE.



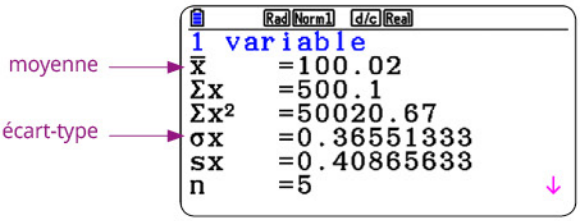
2 Saisir les données dans la liste **List 1**, en validant chaque valeur avec la touche EXE.



3 Pour lancer les calculs statistiques sur les *n* valeurs de la liste **List 1**, appuyer sur la touche F2 pour sélectionner **CALC** et choisir ensuite le menu **1-VAR** avec la touche F1.



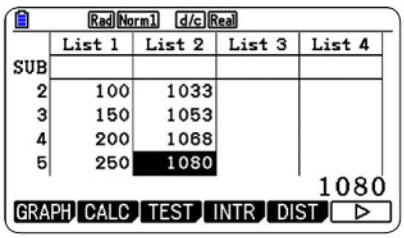
4 La calculatrice affiche les résultats :



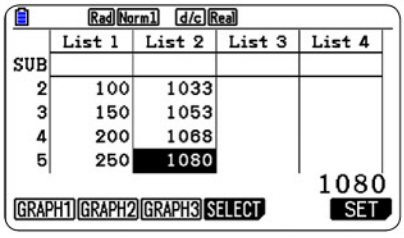
2 Construire un graphe

On veut représenter graphiquement les valeurs entrées dans « List 2 » en fonction de celles présentes dans « List 1 ».

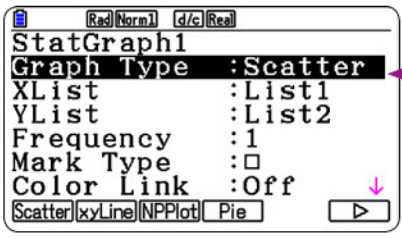
1 Presser la touche F1 pour choisir **GRAPH**.



2 Presser la touche F6 pour choisir **SET** et accéder aux paramètres du graphique.

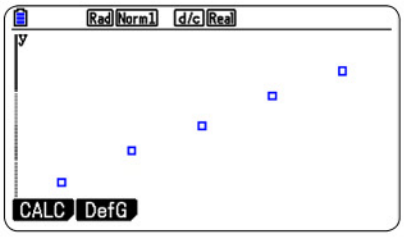


3 Choisir **List 1** en abscisse (XList), **List 2** en ordonnée (YList). Dans **Graph Type**, sélectionner le type de graphe voulu (F1 pour **Scatter**).



Nuage de points

4 Valider avec EXE puis appuyer sur la touche F1 pour afficher le graphe.



FICHE PRATIQUE 4

Utiliser un tableur-grapheur

Un tableur-grapheur est un logiciel qui permet de classer des données dans des tableaux, d'effectuer des calculs à partir de ces données, et de créer des graphiques.

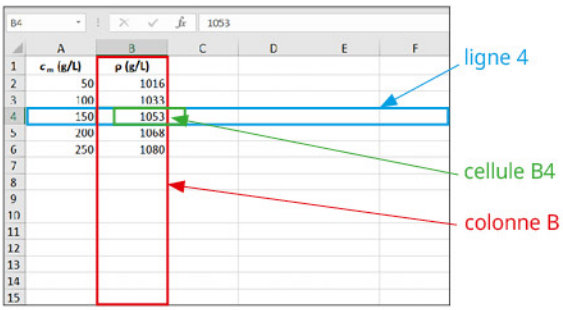
1 Utiliser le tableur

a. Entrer des données

• Ouvrir un logiciel de tableur tel que Microsoft Excel ou LibreOffice Calc.

Une **feuille de calcul** s'affiche : il s'agit d'un tableau, constitué de **lignes** numérotées et de **colonnes** repérées par des lettres.

Chaque case, appelée **cellule**, est repérée par ses coordonnées.



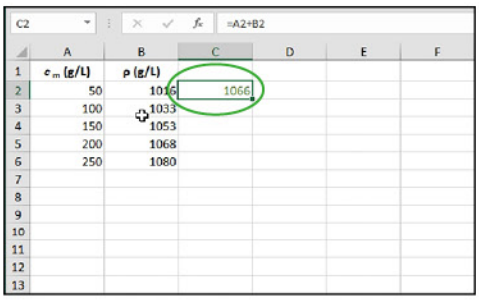
EXEMPLE

On saisit des couples de mesure dans les colonnes A et B : en colonne A les concentrations en masse de solutions étalons en g · L^{-1}, et en colonne B la masse volumique mesurée en g · L^{-1}.

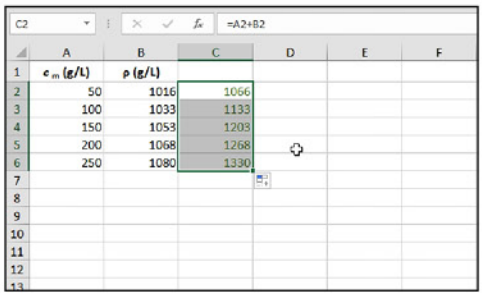
b. Faire des calculs

• Pour effectuer des calculs, on entre une formule dans une nouvelle cellule en commençant par le signe =, puis on valide par la touche Entrée.

Les opérations courantes s'effectuent avec les **opérateurs** + (somme) ; – (différence) ; * (produit) ; / (quotient) et ^ (puissance).



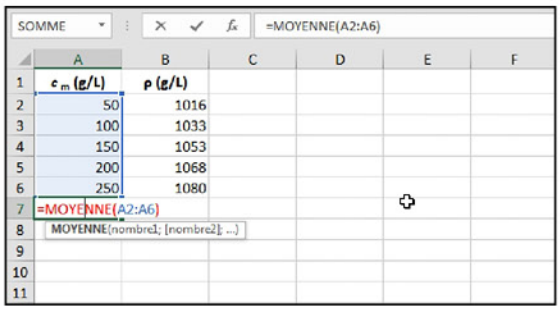
La cellule C2 est la somme des cellules A2 et B2.

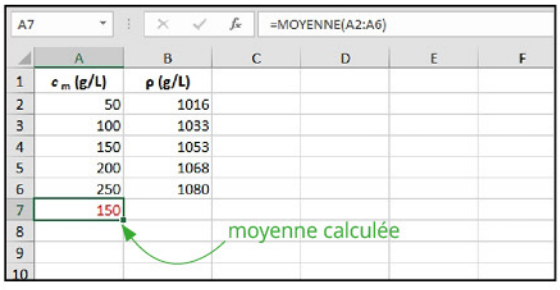


En tirant sur le bord inférieur droit de la cellule C2, on duplique la formule dans toute la colonne C.

• Les tableurs-grapheurs font également appel à des **bibliothèques de fonctions** où les principales fonctions mathématiques (sinus, cosinus, somme, moyenne, écart-type) sont disponibles.

Ces fonctions peuvent s'appliquer à une cellule ou à un ensemble de cellules.



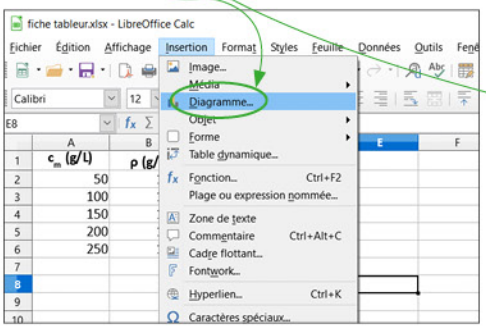


Dans la cellule A7, la séquence « =MOYENNE/ sélectionner A2 à A6/ valider » calcule la moyenne des cinq premières valeurs de la colonne A.

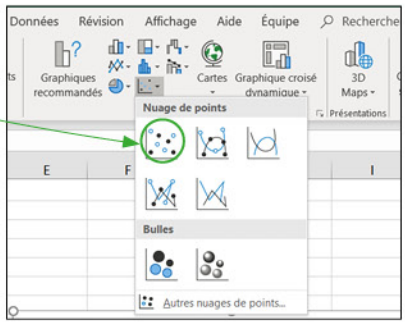
2 Utiliser le grapheur

a. Construire un graphique

- Avec la souris, sélectionner la plage de cellules contenant les données à représenter, puis cliquer sur le menu permettant d'insérer un graphique.



Avec Libre Office Calc



Avec Microsoft Excel

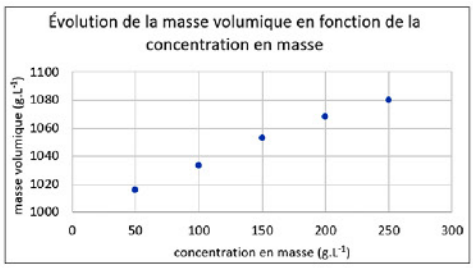
- Choisir le type de graphique souhaité : nuage de points, courbe, histogramme, secteur, etc.

Vérifier les paramètres de tracé : choix de la série de données à représenter sur l'axe X et sur l'axe Y, format des séries de données (en ligne ou en colonne), etc.

- Compléter le graphique en ajoutant le nom des grandeurs portées sur chacun des axes, avec leur unité, et le titre.

EXEMPLE

Pour étudier l'évolution de la masse volumique de solutions en fonction de la concentration en masse de soluté, on trace un nuage de points avec la masse volumique en ordonnée, et la concentration en masse en abscisse.



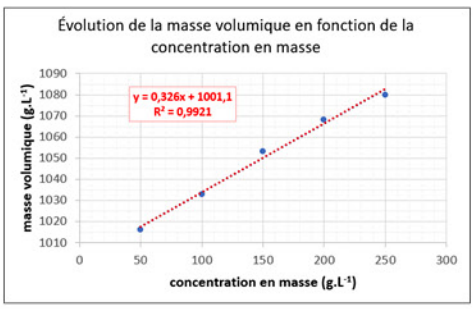
b. Modéliser un ensemble de données

- Cliquer sur le menu permettant d'insérer une **courbe de tendance**.

- Choisir le type de courbe (par exemple linéaire) afin de modéliser les données, et demander l'affichage de son **équation**.

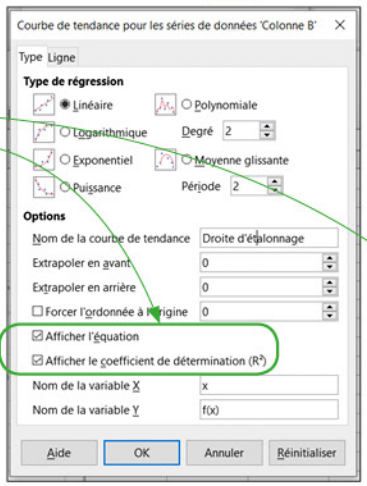
Le logiciel minimise automatiquement l'écart entre les données et le modèle de courbe choisi.

- Le **coefficient de détermination** R^2 apprécie l'adéquation entre les valeurs et le modèle choisi. Plus ce coefficient est proche de 1, meilleure est la correspondance entre les deux.

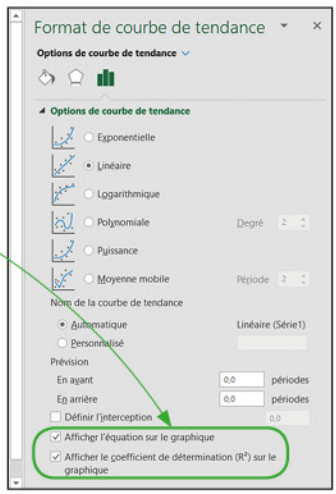


L'équation de la courbe de régression linéaire est donnée avec le coefficient de détermination.

Avec Libre Office Calc



Avec Microsoft Excel



EXEMPLE

L'évolution de la masse volumique en fonction de la concentration en masse de soluté se modélise par une droite. Son équation permet par exemple de calculer la concentration en masse, inconnue, d'une solution à partir de la mesure de sa masse volumique.

FICHE PRATIQUE 5

Utiliser un smartphone en physique-chimie

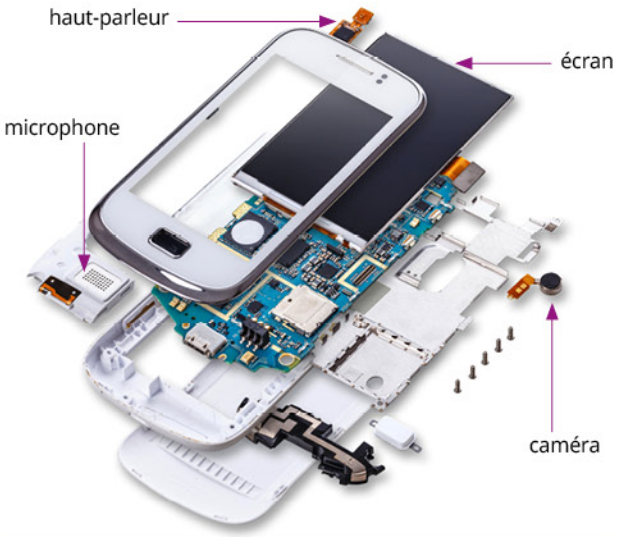
Les smartphones sont bardés de capteurs qui peuvent s'avérer utiles lors d'activités expérimentales.

1 Capteurs et émetteurs présents dans un smartphone

Un smartphone renferme de nombreux capteurs : capteur de température, capteur de pression, capteur de luminosité ambiante, accéléromètre, gyromètre, magnétomètre, etc.

En activité expérimentale, on exploitera notamment la **caméra**, qui enregistre des vidéos grâce auxquelles on analyse des mouvements ; et le **microphone**, qui enregistre des sons.

Un smartphone comprend aussi un **haut-parleur**, utile pour émettre un signal sonore, et un **écran** qui émet de la lumière.

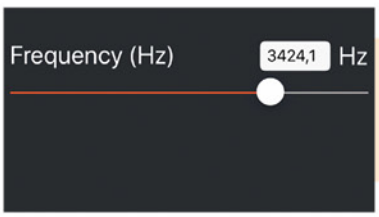


2 Applications utiles

Le « store » propose des applications potentiellement utiles en physique-chimie. En voici quelques exemples :



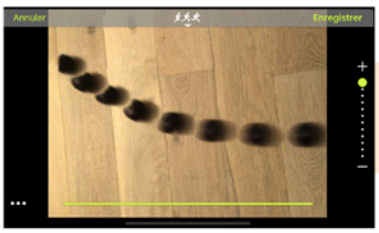
Physics Toolbox Suite



Cette application comprend de nombreux outils qui exploitent les capteurs du téléphone. Elle peut générer un signal sonore de fréquence prédéterminée.



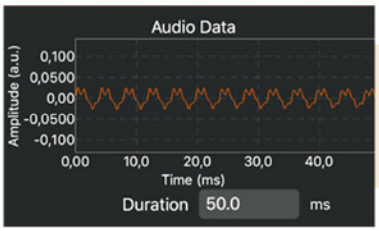
Motion Shot



Cette application décompose le mouvement d'un objet : elle fournit une chronophotographie à partir d'une vidéo.



Phyphox



Cette application exploite les données de nombreux capteurs du téléphone. Elle permet notamment d'enregistrer et d'étudier un signal sonore.

FICHE PRATIQUE 6

Connaître la verrerie de laboratoire

1 Pour prélever



Bécher



Erlenmeyer



Tubes à essais

2 Pour mesurer



Éprouvette graduée



Fioles jaugées



Pipettes jaugées

3 Pour séparer



Fiole à vide et entonnoir Büchner



Ampoule à décanter

4 Pour synthétiser



Ballon monocol



Réfrigérant à eau

FICHE PRATIQUE 7

VIDÉO Banc Kofler

Mesurer une température de fusion

La température de fusion est caractéristique d'une espèce chimique. Elle se mesure facilement à l'aide d'un banc Kofler.

1 Principe



L'appareil, électrique, est muni d'une plaque chauffante dont la température augmente régulièrement d'un bout à l'autre, passant de 50 à 260 °C. Un **curseur** repère le passage de l'état solide à l'état liquide. L'**index** pointe la température de fusion recherchée sur une **échelle graduée**.

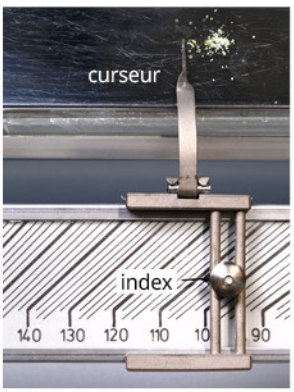
L'appareil nécessite un **étalonnage** à l'aide de **solides étalons** dont la température de fusion est connue.

Remarque : un produit pur présente un point de fusion bien net, alors que le passage de l'état solide à l'état liquide est plus étalé lorsque des impuretés sont présentes. En ce cas, il faut prévoir une étape de purification (par exemple par recristallisation).

2 Préparation de la mesure

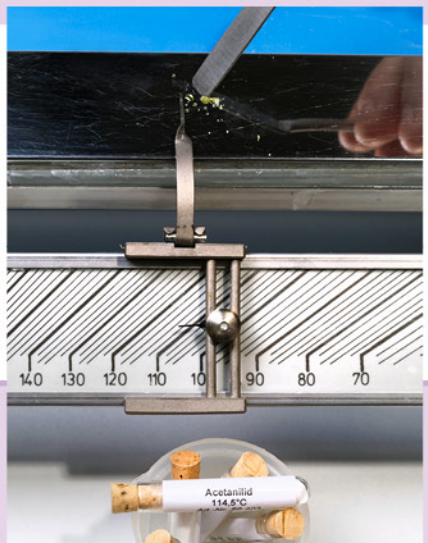


- Allumer le banc au moins 30 minutes avant la mesure.
- Déposer une petite quantité de solide sec (quelques cristaux) à l'extrémité froide de la plaque.
- Avec la pointe d'une spatule, déplacer lentement le solide, en biais, vers l'extrémité chaude.
- Dès que les premières gouttes de liquide apparaissent, abaisser le curseur entre le liquide et le solide restant.
- Lire la valeur indiquée par l'index : elle fournit une valeur approximative de la température de fusion recherchée.
- Nettoyer la plaque avec un coton imbibé d'un peu d'éthanol.



3 Étalonnage et mesure

- Recommencer l'opération avec un solide étalon dont la température de fusion est proche de la température mesurée précédemment.
- Après avoir abaissé le curseur, placer la pointe de l'index sur la température théorique de fusion du solide étalon. Le banc Kofler est alors étalonné.
- Nettoyer le banc en prenant garde à ne plus modifier la position de l'index. Refaire une mesure avec le solide étudié pour déterminer sa température de fusion.



ANIM ATION Chromatographie sur couche mince

Réaliser une chromatographie sur couche mince

La chromatographie sur couche mince (CCM) permet de séparer et d'identifier des espèces chimiques présentes dans un mélange.

1 Préparation de la cuve

- Si besoin, préparer le mélange de solvants qui constituera l'**éluant**, puis en verser dans la cuve à chromatographie afin d'obtenir une hauteur de liquide d'environ 1 cm.
- Boucher la cuve afin d'éviter l'évaporation des solvants.

2 Préparation de la plaque

Attention !
Si la plaque utilisée est une plaque de silice, elle est très fragile. Éviter de la toucher avec les doigts.

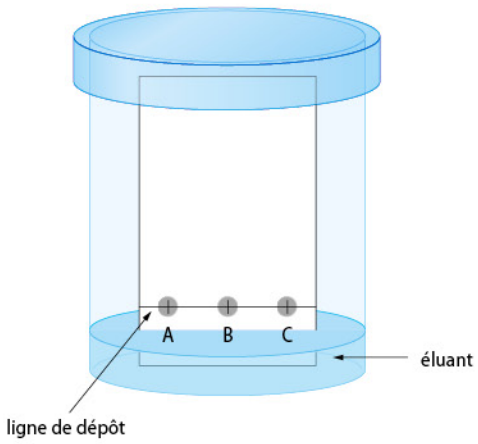
- Tracer au crayon gris, à environ 1,5 cm du bord inférieur de la plaque, un trait qui constitue la ligne de dépôt.
- Placer sur cette ligne des marques, régulièrement espacées, dont le nombre est égal à celui des échantillons à déposer.

3 Dépôt des échantillons

- À l'aide d'une pointe fine, déposer les échantillons sur leurs marques respectives. La tache de dépôt ne doit pas dépasser 3 mm, et il faut changer de pointe pour chaque échantillon.

4 Élution

- Introduire la plaque verticalement dans la cuve : la ligne de dépôt doit être au-dessus du niveau de l'éluant. Boucher la cuve.



Plaque préparée avec dépôts

- L'éluant contenu dans la cuve monte le long de la plaque : c'est l'étape d'**élution**. Attendre que l'éluant arrive à environ 1 cm du haut de la plaque, puis retirer la plaque et repérer par un trait la hauteur maximale atteinte par l'éluant (c'est la **ligne de front**). Sécher la plaque (à l'aide d'un sèche-cheveux par exemple).

5 Révélation du chromatogramme

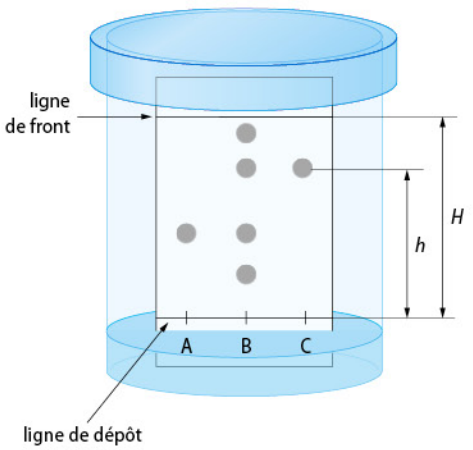
- Dans le cas de composés colorés, le chromatogramme est directement exploitable.
- Pour les produits incolores, il est nécessaire de faire apparaître les taches : c'est l'étape de **révélation**. On peut pour cela utiliser une lampe à ultraviolet, des vapeurs de diiode ou une solution de permanganate de potassium.

Attention !
Ne pas regarder directement la lumière d'une lampe à ultraviolet.

- Entourer chaque tache au crayon.

6 Exploitation du chromatogramme

- Mesurer la hauteur parcourue par l'éluant entre les deux traits repérés sur la plaque. On la note H.
- Mesurer la hauteur parcourue par une tache, entre la ligne de dépôt et sa hauteur finale. On la note h.
- Le **rapport frontal** R de ce composé peut être calculé par la formule $R = \frac{h}{H}$.



Chromatogramme après élution

FICHE PRATIQUE 9

VIDÉO Réalisation d'une dissolution

Préparer une solution de concentration donnée par dissolution

1 Détermination de la masse de soluté à prélever



- Pour préparer un volume V (**en L**) de solution de *concentration en masse* de soluté c_m (**en g · L^{-1}**), il faut prélever une masse de soluté m (**en g**) :

$$m = c_m \cdot V$$

2 Matériel à utiliser

- Verrerie de contenance :

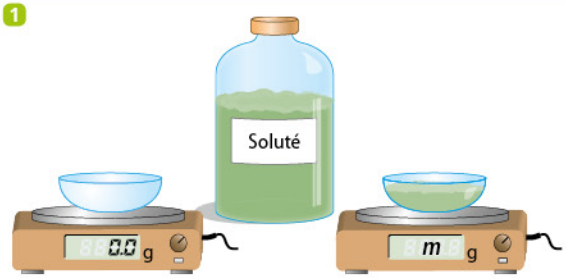
  fiole jaugée de volume V et son bouchon.

- *Matériel complémentaire* :

  balance ; coupelle et spatule ; entonnoir ; compte-gouttes.

3 Étapes de la préparation de la solution

1



- Poser une coupelle sur la balance.
- Effectuer la tare de la balance, puis peser l'échantillon de soluté de masse m.

2



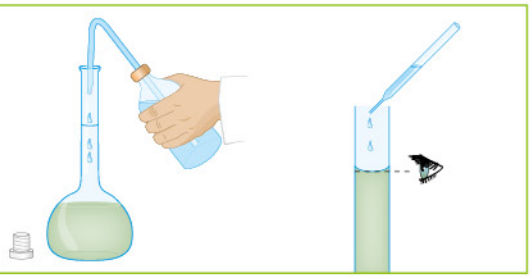
- Adapter un entonnoir sur la fiole jaugée de volume V et verser le contenu de la coupelle dans la fiole.
- Prendre soin d'entraîner tout le solide en rinçant la coupelle et l'entonnoir avec un peu d'eau distillée.

3



- Ajouter de l'eau distillée dans la fiole en ne la remplissant qu'à moitié.
- Boucher la fiole et agiter doucement jusqu'à dissolution complète du solide.

4



- À la pissette, ajouter de l'eau distillée jusqu'à 1 cm au-dessous du trait de jauge.
- Compléter au compte-gouttes et ajuster le niveau au trait de jauge en alignant le bas du ménisque sur le trait de jauge.
- Boucher et agiter doucement pour homogénéiser : la solution est prête.

ANIM ATION Réalisation d'une dilution

Préparer une solution de concentration donnée par dilution

1 Détermination du volume de solution-mère à prélever

Pour préparer un volume V_1 (**en L**) de solution-fille de *concentration en* masse c_{m1} (**en g · L^{-1}**), il faut prélever un échantillon de volume V_0 (**en L**) de solution-mère de *concentration en* masse c_{m0} (**en g · L^{-1}**) de valeur :

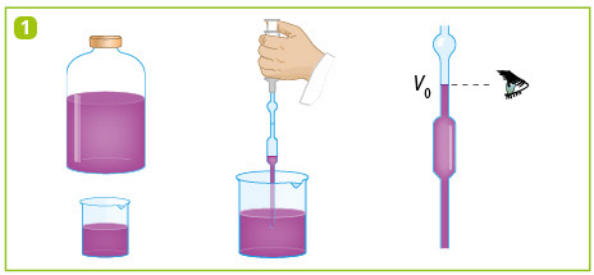
$$V_0 = \frac{c_{m1} \cdot V_1}{c_{m0}}$$



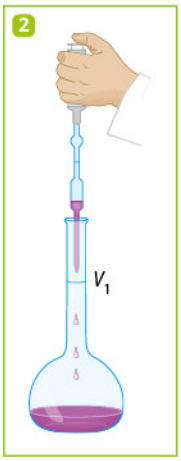
2 Matériel à utiliser

- La verrerie de prélèvement est **une pipette jaugée de contenance V_0**. La verrerie de contenance utilisée est une **fiole jaugée de volume V_1** et son bouchon.
- *Matériel complémentaire* : un système de pipetage (pipeteur ou propipette) ; un bécher pour prélever la solution-mère ; un compte-gouttes ou une pipette.

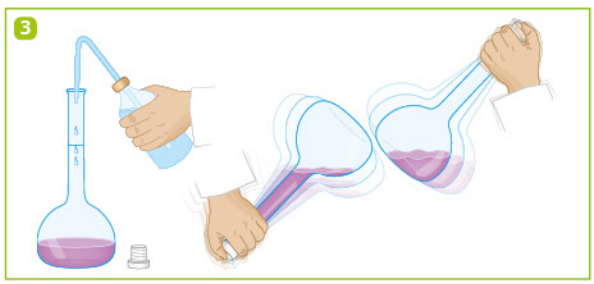
3 Étapes de la préparation de la solution



- Verser la solution à prélever dans un bécher.
- Rincer la pipette jaugée avec un peu de cette solution.
- À l'aide de la pipette jaugée et de la propipette (ou pipeteur), prélever le volume V_0 de solution-mère en alignant le bas du ménisque de la solution sur le trait de jauge.



- Introduire le prélèvement dans une fiole jaugée de volume V_1.
- Ne pas souffler dans la pipette pour récupérer les dernières gouttes, leur volume n'est pas comptabilisé dans V_0 !



- Ajouter de l'eau distillée dans la fiole en ne la remplissant qu'à moitié.
- Boucher la fiole et agiter doucement pour homogénéiser le mélange.



- À la pissette, ajouter de l'eau distillée jusqu'à 1 cm au-dessous du trait de jauge. Compléter au compte-gouttes et ajuster le niveau au trait de jauge en alignant le bas du ménisque sur le trait de jauge.
- Boucher et agiter doucement pour homogénéiser : la solution diluée (solution-fille) est prête.

FICHE PRATIQUE 11

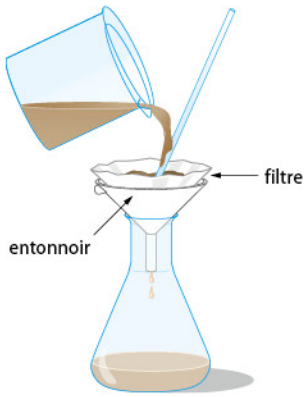
Réaliser une filtration

La filtration permet de séparer un solide et un liquide.
Deux techniques de filtration peuvent être utilisées au laboratoire.

1 Filtration par gravité

a. Principe

Dans la filtration par gravité, on utilise un filtre en papier à travers lequel le liquide s'écoule sous la seule action de son poids.

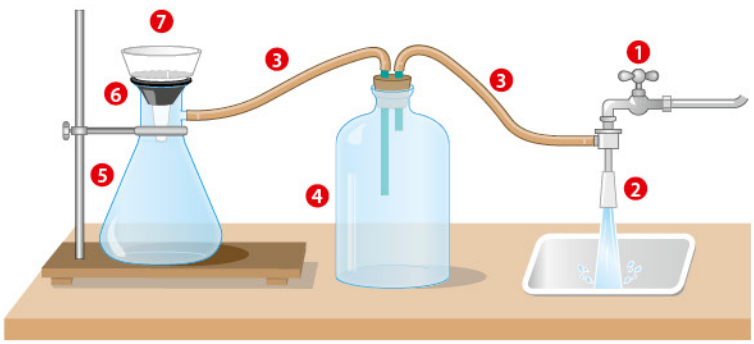


b. Mise en œuvre expérimentale

- Placer un entonnoir sur un erlenmeyer. Mettre un papier-filtre de taille adaptée dans l'entonnoir.
- Afin de mettre le solide en suspension, agiter le mélange à filtrer contenu dans un bécher. Le verser ensuite par petites portions dans l'entonnoir, le long d'un agitateur de verre, qui reste en contact avec le papier-filtre.
- Pour finir, le solide peut être rincé délicatement avec un solvant approprié dans lequel il n'est pas (ou très peu) soluble.

2 Filtration sous pression réduite

1. robinet
2. trompe à eau
3. tuyau de raccord
4. fiole de garde
5. fiole à vide où le filtrat est recueilli
6. joint
7. entonnoir Büchner muni d'un papier-filtre



a. Principe

La filtration sous pression réduite est plus rapide et plus efficace que la filtration simple.

On utilise l'eau qui coule d'un robinet pour créer une dépression sous l'entonnoir et aspirer le liquide à filtrer. Un filtre posé sur le fond de l'entonnoir retient le solide et laisse passer le liquide.

La fiole de garde permet d'éviter que de l'eau n'arrive dans la fiole à vide en cas d'erreur de manipulation.

b. Mise en œuvre expérimentale

- Fixer la fiole à vide à l'aide d'une pince sur un support de montage.
- Vérifier la présence d'un joint entre la fiole à vide et l'entonnoir Büchner.
- Placer un papier-filtre qui doit recouvrir les trous de l'entonnoir Büchner.
- Ouvrir à fond le robinet de la trompe à eau.
- Verser le mélange à séparer dans le Büchner. Afin d'améliorer le séchage du solide, on peut l'écraser (avec un bouchon retourné, par exemple).
- Avant de fermer le robinet à la fin de la filtration, débrancher le tuyau de la trompe à eau, pour éviter que la faible pression dans ce tuyau ne provoque une aspiration de l'eau dans la fiole de garde.
- Récupérer le solide dans le Büchner.

FICHE PRATIQUE 12

ANIMATION Chauffage à reflux

Réaliser une distillation ou un chauffage à reflux

1 Principe et intérêt des montages

• Une **distillation** permet de séparer deux liquides miscibles dont les températures d'ébullition sont différentes. Lorsque le mélange est chauffé, le composé qui a la température d'ébullition la plus basse s'évapore le premier. Ses vapeurs se refroidissant dans le réfrigérant, elles se liquéfient : on peut alors recueillir ce liquide, séparé du reste du mélange.

• Un **chauffage à reflux** est utilisé pour augmenter la vitesse des transformations chimiques lors des synthèses.

Le reflux permet d'éviter les pertes de matière en liquéfiant les vapeurs formées.

2 Mise en œuvre pratique des deux montages

• Introduire le mélange dans un ballon à fond rond et ajouter quelques grains de pierre ponce.

• Fixer le ballon au support par une pince et le placer dans le chauffe-ballon posé sur un support élévateur.

• *Pour la distillation*, placer sur le ballon l'allonge coudée puis le condenseur (ou réfrigérant), qui sera maintenu par une pince fixée à un support.

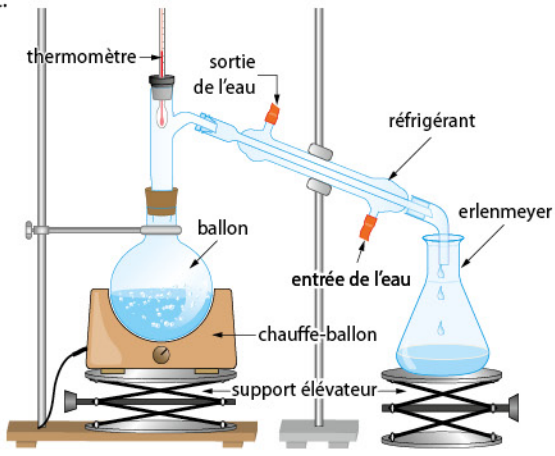
• *Pour le chauffage à reflux*, placer sur le ballon le réfrigérant.

• Relier le tuyau d'arrivée d'eau froide au robinet, puis au bas du condenseur.

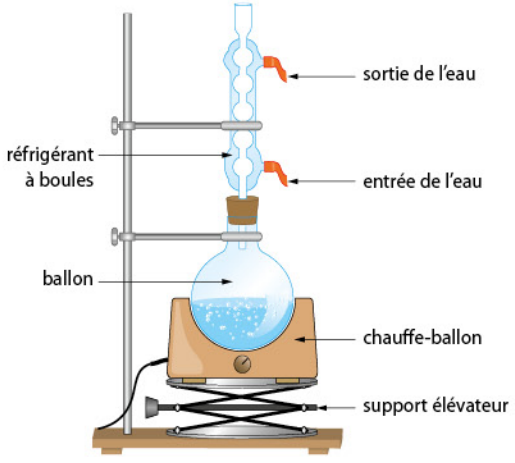
• Placer une extrémité du tuyau de sortie d'eau en haut du condenseur, puis l'autre extrémité dans l'évier.

• Ouvrir avec précaution le robinet et régler un débit d'eau assez faible.

• Mettre en marche le chauffe-ballon, puis régler le thermostat de manière à obtenir une ébullition douce.



Montage de distillation



Montage de chauffage à reflux

3 Rôle des différents éléments

• Le **réfrigérant** (ou condenseur) permet d'éviter les pertes de matière (réactifs, produits, solvants, espèces spectatrices) par évaporation. Il est important que l'eau arrive par le bas du réfrigérant et ressorte par le haut.

Attention !
Le haut du réfrigérant ne doit pas être bouché (risque de surpression dans le montage).

• La **pierre ponce** permet de réguler l'ébullition en favorisant la formation de bulles d'air au sein du liquide.

• Le **support élévateur** est un élément de sécurité : il permet de descendre rapidement le chauffe-ballon afin d'interrompre le chauffage en cas de besoin (emballement de la réaction).

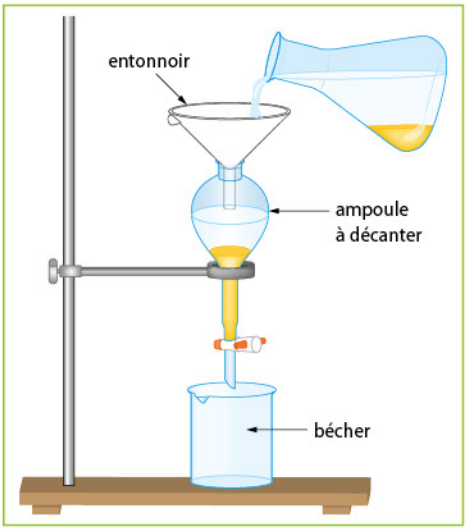
FICHE PRATIQUE 13

Utiliser une ampoule à décanter

Une ampoule à décanter permet de séparer deux liquides non miscibles. Elle permet également d'extraire une espèce chimique d'un mélange en utilisant un solvant (non miscible au mélange) dans lequel l'espèce est plus soluble que dans le milieu d'origine.

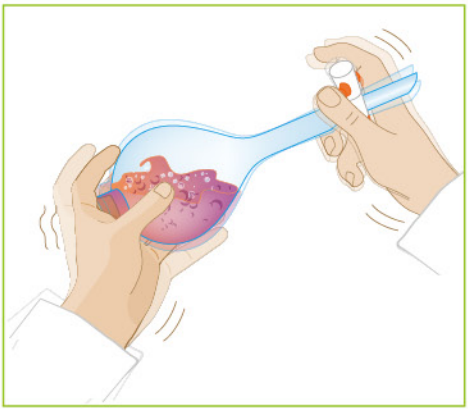
1 Introduction du mélange ►

- Placer l'ampoule à décanter sur son support. Fermer le robinet et placer un bécher en dessous.
- Introduire dans l'ampoule, à l'aide d'un entonnoir, le mélange des deux liquides non miscibles que l'on souhaite séparer (on prend ici l'exemple du cyclohexane et de l'eau iodée).



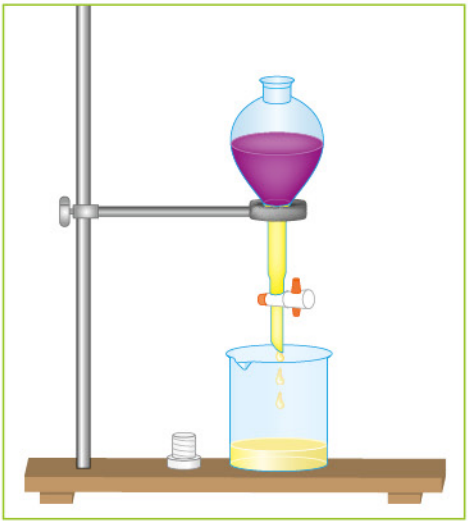
2 Extraction et dégazage ►

- Placer le bouchon sur l'ampoule puis la sortir de son support.
- En tenant le bouchon avec une main, incliner l'ampoule, comme indiqué ci-contre. L'ouverture de l'ampoule doit être dirigée vers un espace inoccupé.
- En maintenant toujours le bouchon, agiter l'ampoule doucement. De temps en temps, ouvrir le robinet pour éviter des problèmes de surpression dans l'ampoule : c'est le **dégazage**.



3 Séparation des liquides ►

- Replacer l'ampoule sur son support. Enlever le bouchon et attendre quelques instants que les deux liquides non miscibles se séparent.
- Ouvrir le robinet et recueillir le premier liquide qui s'écoule (le plus dense).
- Fermer le robinet quand le second liquide (ici le cyclohexane contenant le diiode) arrive au niveau du robinet et changer de récipient pour le recueillir si besoin.



FICHE PRATIQUE 14

Réaliser un dosage par étalonnage

Comment déterminer la concentration en masse d'une espèce chimique à l'aide d'un ensemble de solutions étalons de concentrations connues ?

1 Qu'est-ce qu'un dosage par étalonnage ?

Le dosage par étalonnage permet de déterminer la concentration en masse inconnue c_m d'une espèce en solution, sans que la nature ni la concentration de la solution analysée ne soient modifiées. Cette méthode est dite non destructive.

2 Méthodes de dosage

a. Utiliser une échelle de teintes

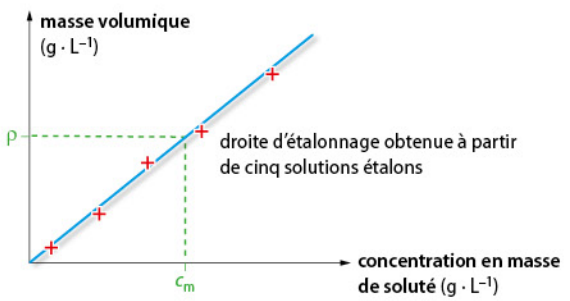
- Si l'espèce chimique dosée est colorée, préparer une **échelle de teintes**, c'est-à-dire un ensemble de solutions étalons contenant l'espèce chimique à doser et dont les concentrations en masse sont connues précisément.
- Les ranger par concentration croissante, puis estimer la concentration cherchée par comparaison visuelle des teintes. Pour que la méthode soit fiable, il faut que les concentrations des solutions étalons encadrent celles de la solution contenant l'espèce à doser.



b. Mesurer une masse volumique

Les étapes du dosage par étalonnage sont les suivantes :

1. Réaliser une gamme de solutions étalons, qui contiennent l'espèce dosée à des concentrations en masse connues.
2. Pour chacune des solutions étalons préparées, mesurer la masse volumique, qui dépend de la concentration en masse en soluté.
3. Reporter les mesures sur un graphique représentant l'évolution de la masse volumique en fonction de la concentration en masse.
4. Modéliser les points de mesure obtenus par une courbe de tendance. Les points de mesure reportés sur le graphique doivent être alignés (aux incertitudes expérimentales près), suivant une droite passant par l'origine : la **droite d'étalonnage**.
5. Mesurer la masse volumique ρ de la solution dont la concentration en masse c_m de l'espèce dosée est inconnue.
6. Utiliser la droite d'étalonnage pour déterminer la valeur de c_m par lecture directe, ou la calculer à partir de l'équation de la droite fournie par un tableur-grapheur.



FICHE PRATIQUE 15

Utiliser un logiciel de traitement de vidéos

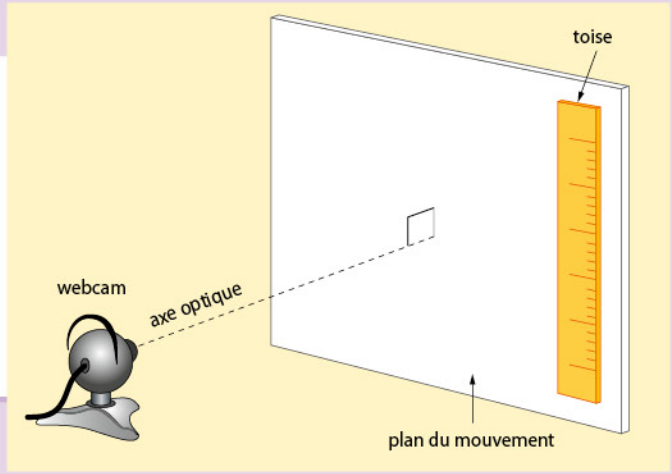
Enregistrer le mouvement d'un objet permet ensuite de l'analyser. Un logiciel de traitement de vidéo (ou une application de smartphone dédiée) permet de décomposer l'enregistrement image par image, donc de décomposer le mouvement.

1 Enregistrement d'une vidéo

Pour que l'enregistrement vidéo du mouvement d'un objet soit exploitable, il faut s'assurer que :

– le mouvement ait lieu dans un **plan parallèle** au capteur de la caméra (perpendiculaire à l'axe optique du capteur) ;

– l'objet de dimensions connues ou la règle graduée ait été positionné dans le plan du mouvement (la règle permet l'**étalonnage** des longueurs).



2 Traitement de la vidéo

a. Étalonnage

Il s'agit de faire correspondre les dimensions observées sur l'écran aux dimensions réelles. Pour cela, le logiciel propose de faire correspondre une valeur réelle à un segment à construire sur l'écran.

On choisit comme segment la longueur sur l'écran de l'objet de dimensions connues.



b. Repère d'espace

Il s'agit d'identifier un repère d'espace avec une origine. Pour cela, le logiciel propose de cliquer sur un point de l'écran qui est choisi comme origine, puis oriente l'espace par deux axes.

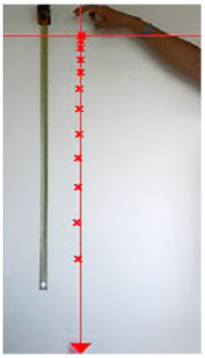
On choisit généralement l'origine à la position de départ de l'objet dont on étudie le mouvement.



c. Pointage

Il s'agit de repérer image par image les positions successives occupées par l'objet au cours du temps. Pour cela, le logiciel propose de cliquer image par image sur un point de l'écran.

On choisit généralement comme point d'étude le centre de l'objet dont on étudie le mouvement.



3 Exploitation

À l'aide d'un tableur-grapheur ou d'un logiciel de programmation, il est ensuite possible d'exploiter les coordonnées (t, X, Y) des points.

Grd	t	X	Y
Unité	s	m	m
1	0,000	0,000	0,001
2	0,040	0,000	0,009
3	0,080	0,001	0,023
4	0,120	-0,001	0,045
5	0,160	0,000	0,073
6	0,200	0,000	0,105
7	0,240	0,000	0,137
8	0,280	0,000	0,169
9	0,320	0,001	0,193
10	0,360	0,000	0,215
11	0,400	0,000	0,239
12	0,440	-0,001	0,268
13	0,480	0,001	0,296

FICHE PRATIQUE 16

Mesurer une force

Pour mesurer la valeur d'une force qui modélise une action mécanique, on utilise un dynamomètre.

1 Interpréter les traits d'une graduation

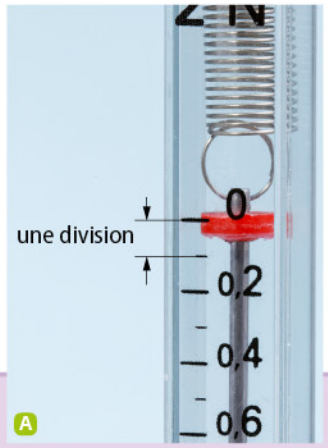
L'espace entre les traits d'une graduation est appelé une **division**.

La valeur d'une division est à interpréter à partir des inscriptions disponibles.

Plus la division est petite, plus la mesure sera précise.

EXEMPLES

Sur le dynamomètre A, une division représente 0,1 N. Sur le B, une division représente 0,05 N.







2 Mesurer la valeur d'une force

Pour déterminer la valeur d'une force, l'action doit être exercée à l'extrémité du dynamomètre. Généralement, cette extrémité est un crochet.

3 Lire la valeur de la force

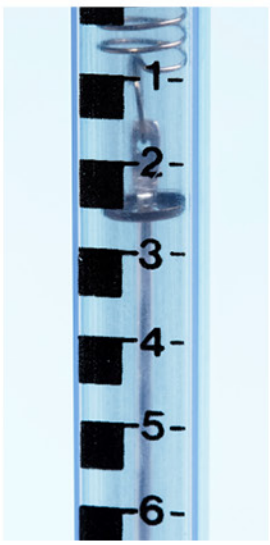
La valeur de la force est indiquée par la **position du curseur** ou **de l'aiguille** du dynamomètre.

Si le curseur est entre deux divisions, on choisit la valeur moyenne entre les deux.

EXEMPLES



$F = 1{,}0$ N



$F = 2{,}5$ N



$F = 1{,}25$ N

FICHE PRATIQUE 17

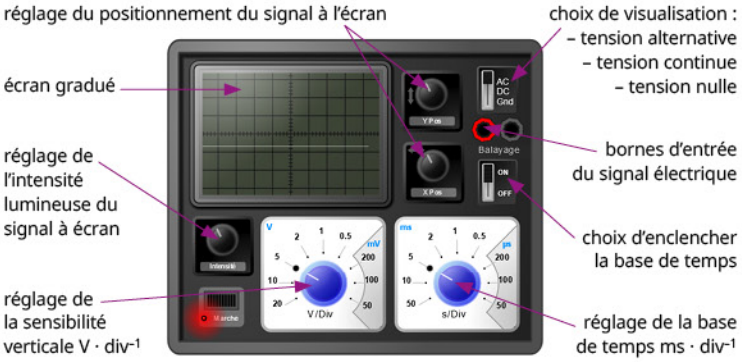
ANIMATION Oscilloscope AC/DC

Utiliser un oscilloscope

L'oscilloscope est un outil d'observation et d'analyse de signaux électriques.

1 Principe et constitution

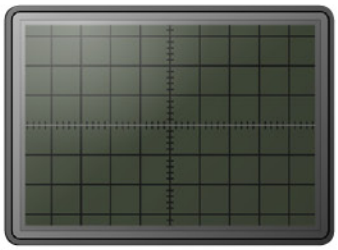
Un oscilloscope est un appareil qui permet de visualiser l'**évolution d'une tension électrique en fonction du temps**.



Il **se branche aux bornes d'un dipôle** (générateur ou récepteur) dont on veut observer le signal de la tension.

2 Préréglages

En l'absence de signal à l'entrée et si la base de temps n'est pas enclenchée, un trait horizontal au centre de l'écran doit être observé (il correspond à une tension nulle) :



Pour centrer ce trait horizontal, agir sur les boutons de réglage « Y Pos » et « X Pos ».

3 Analyse d'un signal à l'oscilloscope

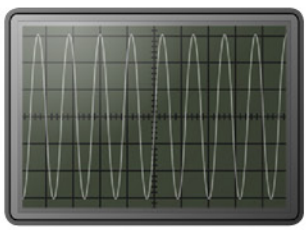
a. À l'aide de la base de temps

La **base de temps** permet de définir l'échelle horizontale de la représentation graphique sur l'écran.
Une **division** (div) représente un carreau de l'écran.

EXEMPLE

Mesure d'un signal de fréquence de 440 Hz.

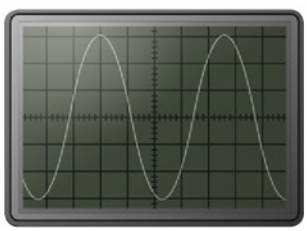
Mauvais réglage





2 ms · div⁻¹

Bon réglage





0,5 ms · div⁻¹

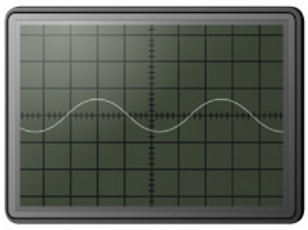
b. À l'aide de la sensibilité verticale

La **sensibilité verticale** permet de définir l'échelle verticale de la représentation graphique sur l'écran.
Une division (div) représente un carreau de l'écran. La représentation graphique doit occuper tout l'écran.

EXEMPLE

Mesure d'un signal d'amplitude 6 V.

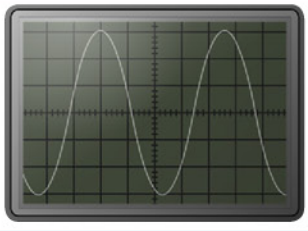
Mauvais réglage





10 V · div⁻¹

Bon réglage





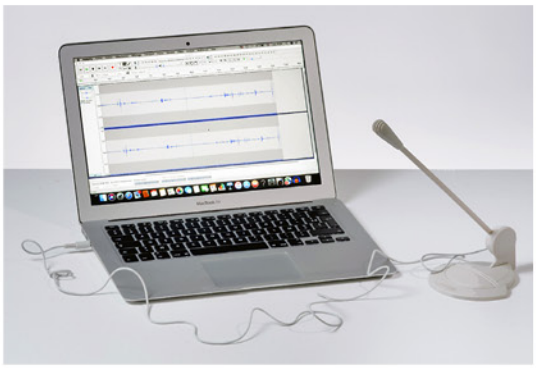
2 V · div⁻¹

FICHE PRATIQUE 18

Utiliser un logiciel d'enregistrement et de traitement du son

1 Enregistrement d'un son

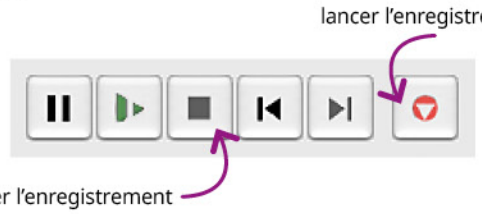
- Lancer le logiciel d'enregistrement (par exemple Audacity) préalablement installé sur un ordinateur muni d'une carte son.
- Brancher un microphone dans la prise « micro » de l'ordinateur.



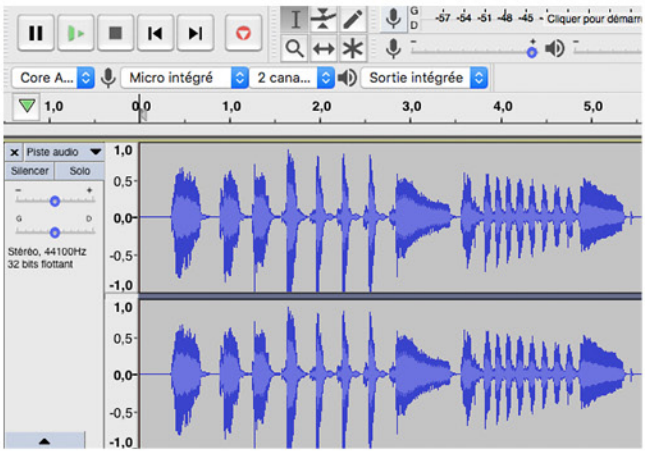
C'est le microphone qui transforme le signal sonore en signal électrique. L'ordinateur va convertir, au niveau de l'un de ses composants, le signal électrique en signal numérique.



- Pour lancer et arrêter un enregistrement, cliquer sur les boutons :

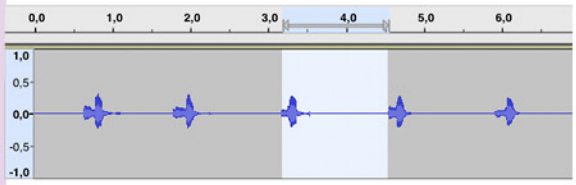


- Les ordinateurs sont dotés généralement de deux canaux pour assurer un enregistrement en stéréo. On visualise ainsi deux pistes à l'écran.



2 Traitement du signal

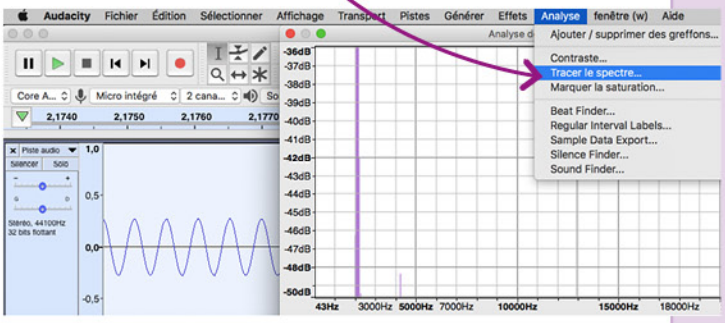
Un logiciel de traitement du son est équipé de nombreuses fonctionnalités agissant sur le signal enregistré. En physique, un tel logiciel permet de faire des mesures et d'analyser le signal sonore.





Grâce à l'outil réticule, on sélectionne une partie du signal pour en mesurer la **durée** avec précision.

À l'aide d'une analyse spectrale, on détermine la **fréquence** d'un signal sonore périodique sinusoïdal.



FICHE PRATIQUE 19

Utiliser un multimètre

Le multimètre est un instrument de mesure qui sert à étudier des circuits électriques. Il permet de mesurer la valeur d'une tension, l'intensité d'un courant, une résistance, etc.

1 S'approprier l'instrument

Quel que soit le modèle utilisé, un multimètre présente les principaux éléments suivants :



1. Position d'arrêt
2. Sélecteur de l'instrument
3. Zone de mesure des tensions continues
4. Zone de mesure des intensités continues
5. Zone de mesure des résistances
6. Borne de mesure des tensions ou des résistances
7. Borne de mesure commune à toutes les fonctions
8. Borne de mesure des intensités

2 Réaliser des mesures

Pour mesurer...	**... une tension**	**... une intensité**	**... une résistance**
Brancher le multimètre :	en série en utilisant les bornes V et COM	en dérivation en utilisant les bornes 10A et COM	en utilisant les bornes Ω et COM
Positionner le sélecteur :	sur le plus grand calibre de la zone 3 (souvent notée V =).	sur le plus grand calibre de la zone 4 (souvent notée A =).	sur le plus grand calibre de la zone 5 (souvent notée Ω).
	puis choisir le calibre juste supérieur à la valeur affichée sur l'écran.		

FICHE MÉTHODE 1

Comprendre la notion de dispersion d'une mesure

1 Qu'est-ce que mesurer ?

- **Mesurer**, c'est évaluer la valeur d'une grandeur par comparaison avec **une valeur prise comme référence**.

EXEMPLE

On mesure à la naissance la masse d'un nouveau-né et on la compare à la valeur moyenne de la masse des nouveau-nés.

- On mesure cette grandeur avec un **instrument de mesure adapté**.

EXEMPLE

On mesure une masse à l'aide d'une balance.



Mesure d'une masse



2 Qu'est-ce que la dispersion d'une mesure ?

- La mesure ne pouvant être absolument précise, il existe toujours un écart entre la valeur mesurée et la valeur exacte ou valeur « vraie ». Cet écart est appelé **dispersion de la mesure**.
- Seuls les étalons de mesure ont, par convention, une valeur exacte.
- Lors d'une mesure, le scientifique cherche à réduire cette dispersion et donc à gagner en **précision**.

EXEMPLE

La précision d'un mètre de maçon n'est pas adaptée pour mesurer la taille d'un petit objet.

3 De quoi dépend la dispersion d'une mesure ?

- La dispersion d'une mesure peut venir de l'**instrument de mesure**.

EXEMPLE

La précision de l'instrument de mesure est insuffisante pour la mesure. L'instrument de mesure est mal étalonné ou n'est pas fiable car la valeur qu'il indique dérive...

- La dispersion d'une mesure peut découler de l'**expérimentateur**.

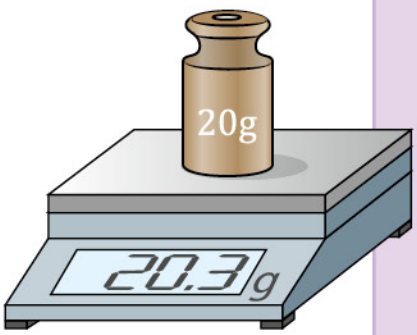
EXEMPLE

La mesure n'est pas effectuée avec rigueur. La démarche mise en œuvre ne permet pas une précision dans la mesure...

- La dispersion d'une mesure peut être due à la **grandeur** mesurée.

EXEMPLE

Une température qui n'est pas parfaitement constante, une altitude qui varie...



Une balance mal étalonnée indique une valeur de masse qui s'éloigne de la valeur « vraie ».

FICHE MÉTHODE 2

Exprimer les incertitudes de mesure

Pour rendre compte de la dispersion d'une mesure, le résultat d'une mesure doit être donné avec l'incertitude associée.

1 Écrire un résultat de mesure

Une mesure ne peut jamais conduire à une valeur vraie, rigoureusement certaine, mais seulement à des valeurs approchées. On parle de **variabilité** ou de **dispersion** d'une mesure.

Pour évaluer la dispersion d'une mesure, on utilise une grandeur appelée **incertitude-type**. Elle traduit le doute qu'il existe entre le résultat de cette mesure et la valeur vraie.

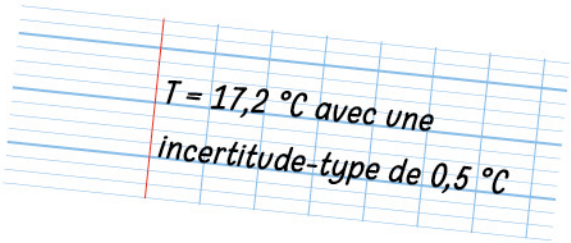
L'incertitude s'écrit sous la forme d'un **intervalle** dans lequel la valeur « vraie » se trouve probablement.

EXEMPLE

0,5 °C est l'incertitude de la mesure ci-contre.

Cette écriture signifie que :
– la meilleure estimation de la grandeur mesurée, ici la température T, est 17,2 °C ;
– la valeur vraie a de fortes chances de se trouver dans l'intervalle 17,2 – 0,5 = 16,7 °C et 17,2 + 0,5 = 17,7 °C.

Cela revient à écrire que : 16,7 °C $\leqslant T \leqslant$ 17,7 °C.



2 Exploiter une série de plusieurs mesures

a. Série de mesures

La variabilité d'une mesure apparaît lorsque l'on répète plusieurs fois la mesure d'une même grandeur dans les mêmes conditions expérimentales.

EXEMPLE

Si l'on mesure à plusieurs reprises la masse d'un échantillon, le résultat affiché par la balance peut varier. Cela s'explique par de nombreux paramètres :
– fonctionnement de l'instrument,
– position de l'échantillon sur le plateau,
– limite de l'affichage,
– température de la pièce,
– etc.

Mesure n°	1	2	3	4	5	6
Masse (g)	57,2	57,2	56,8	57,4	58,2	57,0

b. Analyse qualitative : l'histogramme

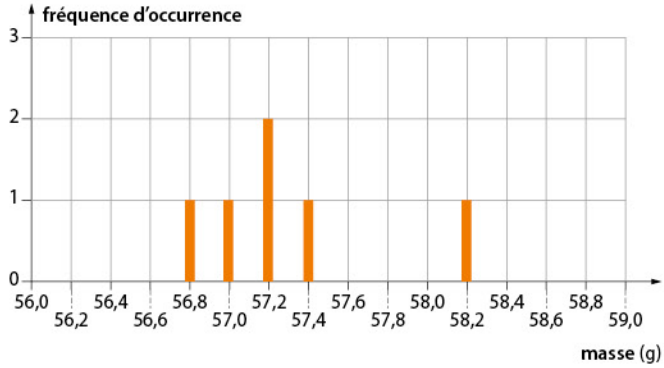
À l'aide d'un tableur, on illustrera la variabilité d'une mesure en réalisant un **histogramme**. Un histogramme donne la fréquence d'occurrence pour chaque valeur mesurée. Il permet de se rendre compte de l'ampleur de la dispersion des valeurs des mesures effectuées.

Quand un résultat dans une série de mesures est très éloigné des autres, on dit qu'il est aberrant. Il devra être écarté afin de réduire la dispersion.

EXEMPLE

Dans l'exemple précédent, les mesures sont assez peu dispersées, sauf la mesure n° 5.

Le résultat de la mesure n° 5, qui est très éloigné des autres, est aberrant. On ne conserve que les autres valeurs.



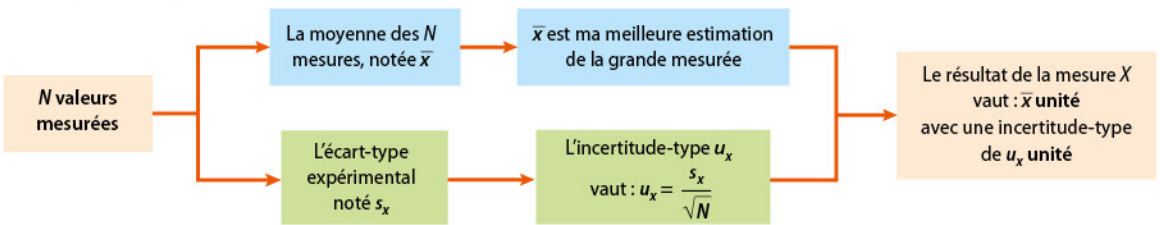


Il est souvent possible de réduire la dispersion des mesures :
– en respectant les règles d'utilisation optimale de l'instrument ;
– en utilisant un instrument de mesure plus performant ;
– en améliorant la précision du protocole expérimental.

c. Calculer l'incertitude-type sur une série de mesures

Lorsque l'on réalise plusieurs mesures d'une même grandeur X, il est possible de calculer la **meilleure estimation** du résultat ainsi que la valeur de l'**incertitude-type** associée.

Pour cela, si l'on dispose de N mesures :



Au lycée, on écrit les incertitudes en respectant les règles suivantes :
– l'incertitude-type d'une mesure est écrite avec **un ou deux chiffres significatifs** ;
– l'incertitude-type est **arrondie**, par excès, **à la même décimale que la valeur mesurée**.

EXEMPLE

Sur l'exemple précédent où l'on mesure une masse m, on a conservé cinq valeurs. On a donc $N = 5$.

On calcule la moyenne $\bar{m}$ et l'écart-type expérimental s_m en utilisant le menu statistique de la calculatrice (figure ci-contre) :

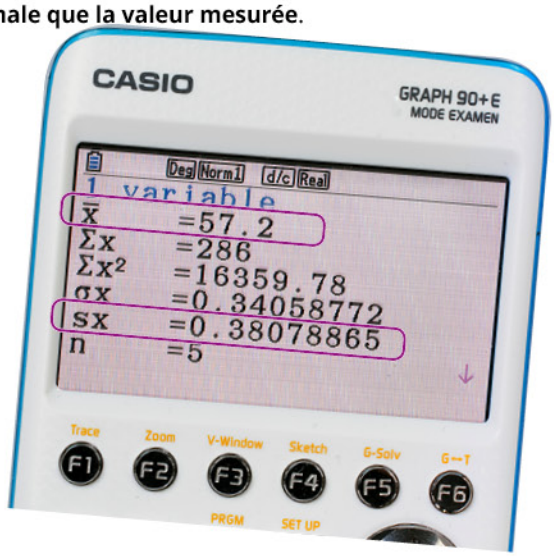
$$\bar{m} = 57{,}2 \quad \text{et} \quad s_m = 0{,}38078...$$

On calcule l'incertitude-type :

$$u_m = \frac{s_m}{\sqrt{N}}$$

soit $$u_m = \frac{0{,}38078}{\sqrt{5}} = 0{,}17029...$$

On écrit le résultat final : la masse vaut $m = 57{,}2$ g avec une incertitude-type de 0,2 g.



FICHE MÉTHODE 3

Utiliser les puissances de 10

MESURES ET INCERTITUDES

Pour exprimer les dimensions des objets infiniment petits (comme l'atome) ou infiniment grands (comme une galaxie), on a recours aux puissances de 10.

1 Multiples et sous-multiples des unités

On peut traduire les puissances de 10 par des multiples et des sous-multiples des unités du Système international.

Préfixe	Symbole	Puissance de 10
téra	T	$\times 10^{12}$
		$\times 10^{11}$
		$\times 10^{10}$
giga	G	$\times 10^{9}$
		$\times 10^{8}$
		$\times 10^{7}$
méga	M	$\times 10^{6}$
		$\times 10^{5}$
		$\times 10^{4}$
kilo	k	$\times 10^{3}$
hecto	h	$\times 10^{2}$
déca	da	$\times 10^{1}$
		$\times 10^{0}$
déci	d	$\times 10^{-1}$
centi	c	$\times 10^{-2}$
milli	m	$\times 10^{-3}$
		$\times 10^{-4}$
		$\times 10^{-5}$
micro	µ	$\times 10^{-6}$
		$\times 10^{-7}$
		$\times 10^{-8}$
nano	n	$\times 10^{-9}$
		$\times 10^{-10}$
		$\times 10^{-11}$
pico	p	$\times 10^{-12}$
		$\times 10^{-13}$
		$\times 10^{-14}$
femto	f	$\times 10^{-15}$

EXEMPLE Multiples et sous-multiples du mètre.

Unité	Symbole	Conversion en m	
téramètre	Tm	$\times 10^{12}$ m	1 000 000 000 000 m
		$\times 10^{11}$ m	100 000 000 000 m
		$\times 10^{10}$ m	10 000 000 000 m
gigamètre	Gm	$\times 10^{9}$ m	1 000 000 000 m
		$\times 10^{8}$ m	100 000 000 m
		$\times 10^{7}$ m	10 000 000 m
mégamètre	Mm	$\times 10^{6}$ m	1 000 000 m
		$\times 10^{5}$ m	100 000 m
		$\times 10^{4}$ m	10 000 m
kilomètre	km	$\times 10^{3}$ m	1 000 m
hectomètre	hm	$\times 10^{2}$ m	100 m
décamètre	dam	$\times 10^{1}$ m	10 m
mètre	**m**	$\times 10^{0}$ **m**	**1 m**
décimètre	dm	$\times 10^{-1}$ m	0,1 m
centimètre	cm	$\times 10^{-2}$ m	0,01 m
millimètre	mm	$\times 10^{-3}$ m	0,001 m
		$\times 10^{-4}$ m	0,000 1 m
		$\times 10^{-5}$ m	0,000 01 m
micromètre	µm	$\times 10^{-6}$ m	0,000 001 m
		$\times 10^{-7}$ m	0,000 000 1 m
		$\times 10^{-8}$ m	0,000 000 01 m
nanomètre	nm	$\times 10^{-9}$ m	0,000 000 001 m
		$\times 10^{-10}$ m	0,000 000 000 1 m
		$\times 10^{-11}$ m	0,000 000 000 01 m
picomètre	pm	$\times 10^{-12}$ m	0,000 000 000 001 m
		$\times 10^{-13}$ m	0,000 000 000 000 1 m
		$\times 10^{-14}$ m	0,000 000 000 000 01 m
femtomètre	fm	$\times 10^{-15}$ m	0,000 000 000 000 001 m

2 Écriture scientifique d'un nombre

En écriture scientifique, tout nombre s'écrit comme le produit d'un nombre compris entre 1 et 10 (10 exclu) et d'une puissance de 10.

EXEMPLE L'écriture scientifique du nombre 0,000 027 est $2{,}7 \times 10^{-5}$.

$a \times 10^{b}$ avec $1 \leqslant a < 10$ et b entier positif ou négatif

FICHE MÉTHODE 4

Gérer les chiffres significatifs et la notation scientifique

En physique, toute grandeur numérique est une grandeur mesurée. Cette mesure est effectuée avec une certaine précision. Cela a une conséquence sur l'écriture du résultat.

1 Nombre de chiffres significatifs

Le nombre de chiffres significatifs indique la précision d'une mesure. Les chiffres significatifs sont les chiffres connus avec certitude et le premier chiffre incertain.

EXEMPLE

La mesure « 1,32 m » comporte 3 chiffres significatifs. Les chiffres 1 et 3 sont connus avec certitude. Le chiffre 2 est incertain.

2 Particularité du « zéro »

Lorsque le premier chiffre de gauche est un zéro, ce zéro n'est pas significatif.

Lorsque le dernier chiffre de droite est un zéro, ce zéro est significatif.

EXEMPLE

La mesure « 0,42 m » ne comporte que 2 chiffres significatifs.
La mesure « 2,30 m » comporte 3 chiffres significatifs.

3 Calcul et chiffres significatifs

a. Multiplication et division

Le résultat d'une multiplication ou d'une division a autant de chiffres significatifs que la mesure la moins précise utilisée dans le calcul.

EXEMPLE

On donne une vitesse v et une distance parcourue d : $v = 3{,}2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $d = 10{,}2\ \text{m}$.

La durée du déplacement s'écrit : $\Delta t = \dfrac{d}{v}$.

d est connu avec 3 chiffres significatifs ; v, avec seulement 2 chiffres significatifs. La mesure la moins précise est celle de v.

Le résultat de Δt ne sera donc donné qu'avec 2 chiffres significatifs : $\dfrac{10{,}2}{3{,}2} = 3{,}1875$, que l'on arrondit donc à 3,2 : $\boldsymbol{\Delta t = 3{,}2\ \text{s}}$.

b. Addition et soustraction

Le résultat d'une addition ou d'une soustraction a autant de décimales que la mesure présente dans le calcul qui en a le moins.

EXEMPLE

On donne deux longueurs $L = 23{,}12\ \text{m}$ et $\ell = 0{,}821\ \text{m}$. La mesure qui a le moins de décimales est 23,12 (2 décimales).

$L - \ell = 23{,}12 - 0{,}821 = 22{,}299$, que l'on arrondit donc à 22,30 : $\boldsymbol{L - \ell = 22{,}30\ \text{m}}$.

4 La notation scientifique

- La notation scientifique consiste à exprimer un nombre sous la forme :

$$\boldsymbol{a \times 10^{b}} \quad \text{avec} \quad 1 \leqslant a < 10$$
et b entier relatif non nul

EXEMPLE

En notation scientifique, 0,002 5 s'écrit : $2{,}5 \times 10^{-3}$.

- a doit être compris entre 1 (inclus) et 10 (exclu).

EXEMPLE

La valeur 1,5 est déjà une notation scientifique.
On n'écrira pas : $1{,}5 \times 10^{0}$.

- Pour exprimer un nombre en puissance de 10, la relation mathématique suivante peut être utile :

$$\boldsymbol{10^{n} \times 10^{m} = 10^{n+m}}$$

EXEMPLE

Pour convertir 100 mm en m et utiliser la notation scientifique, on écrit :

$100\ \text{mm} = 1 \times 10^{2}\ \text{mm} = 1 \times 10^{2} \times 10^{-3}\ \text{m} = 1 \times 10^{-1}\ \text{m}$

- Dans l'écriture scientifique $a \times 10^{n}$, c'est le nombre de chiffres de a qui donne le nombre de chiffres significatifs.

EXEMPLE

$3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ comporte 3 chiffres significatifs.

FICHE MÉTHODE 5

Construire un graphique

Un **graphique** est la représentation des variations d'une grandeur en fonction d'une autre grandeur. Il permet ainsi de mieux appréhender un phénomène.

Des couples de valeurs sont généralement trouvés expérimentalement, et sont consignés dans un tableau.

EXEMPLE

On étudie l'évolution de la valeur de la tension aux bornes d'une lampe, en fonction de la valeur de l'intensité du courant électrique qui la traverse. On a relevé expérimentalement les points de fonctionnement du dipôle :

U (en **V**)	0	0,1	0,4	0,8	1,3	1,9	2,6	3,5	4,6	5,7
I (en **mA**)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90

1 Tracer et nommer les axes

- Tracer deux axes perpendiculaires sur une feuille (de préférence de papier millimétré), en utilisant un crayon à papier et une règle.
- Nommer chaque axe avec le nom de la grandeur (ou son symbole), et son unité. La grandeur qui est représentée en ordonnées, sur l'axe vertical, est celle dont on veut étudier l'évolution.

EXEMPLE

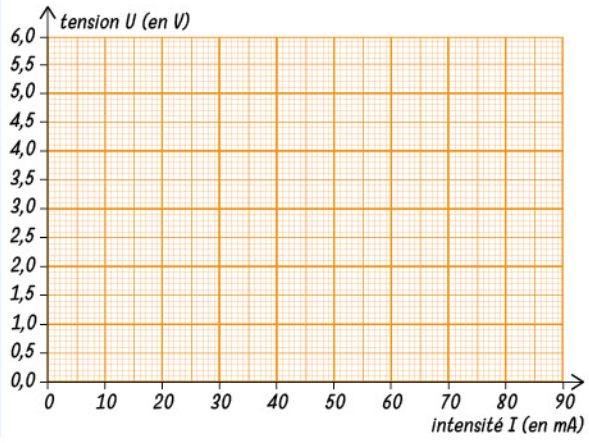
On trace un axe vertical pour la tension U (en V) et un axe horizontal pour l'intensité I (en mA).

2 Graduer les axes

- Graduer les axes, soit en utilisant l'échelle donnée, soit en choisissant une échelle adaptée. Celle-ci doit permettre d'obtenir un graphique suffisamment grand.

EXEMPLE

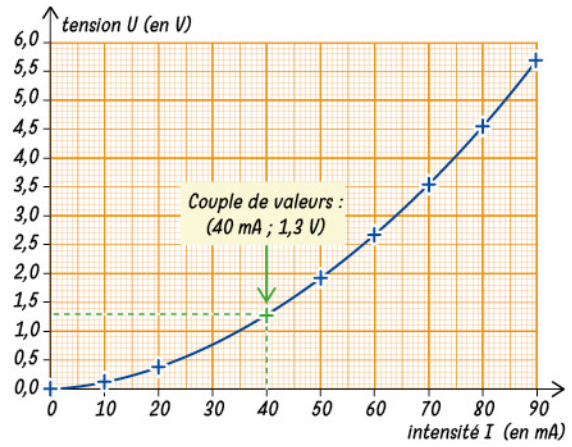
Ici, on peut prendre 1 cm pour 1,0 V en ordonnée, et 1 cm pour 10 mA en abscisse.



3 Placer les points et tracer la courbe

- Au crayon à papier, placer les couples de valeurs du tableau à l'aide de croix « + ».
- Si les points semblent alignés, les relier par une droite tracée à la règle : elle doit passer au plus près de ces points. Si les points ne sont pas alignés, les relier « à main levée ».

EXEMPLE



4 Donner un titre au graphique

- Donner un titre au graphique en utilisant une formulation du type : **« évolution de... en fonction de... »**. Le premier terme correspond au nom de la grandeur représentée en ordonnée, et le second celui de la grandeur en abscisse.

EXEMPLE

« Évolution de la valeur de la tension aux bornes d'une lampe en fonction de la valeur de l'intensité du courant électrique. »

FICHE MÉTHODE 6

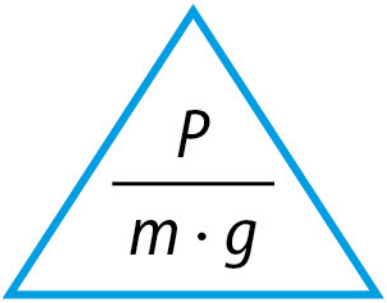
Utiliser une relation de proportionnalité

1 Relation mathématique et méthode du triangle

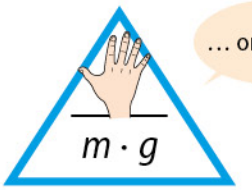
Une relation de proportionnalité se traduit par une relation mathématique entre trois grandeurs.
La **méthode du triangle** peut être utile pour gérer au mieux le lien entre ces trois grandeurs.

EXEMPLE Relation entre le poids P, la masse m et l'intensité de pesanteur g.

À partir de la relation $\boldsymbol{P = m \cdot g}$,
on dessine le triangle ci-contre :

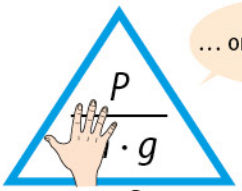


Pour chercher P…



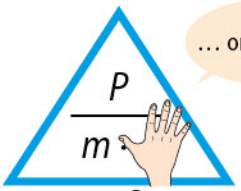
$P = m \cdot g$

Pour chercher m…



$m = \frac{P}{g}$

Pour chercher g…



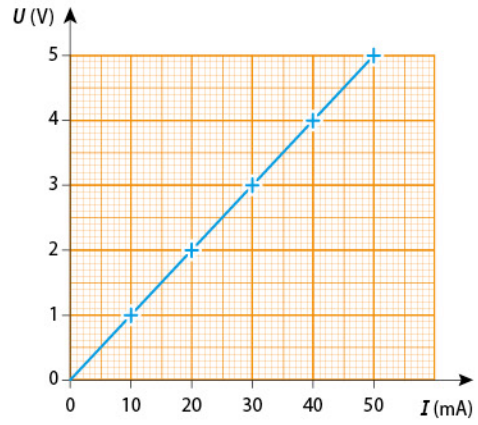
$g = \frac{P}{m}$

2 Représentation graphique d'une relation de proportionnalité

Lorsqu'il existe une relation de proportionnalité entre deux grandeurs, la représentation graphique de l'évolution de l'une en fonction de l'autre est une demi-droite qui passe par l'origine.

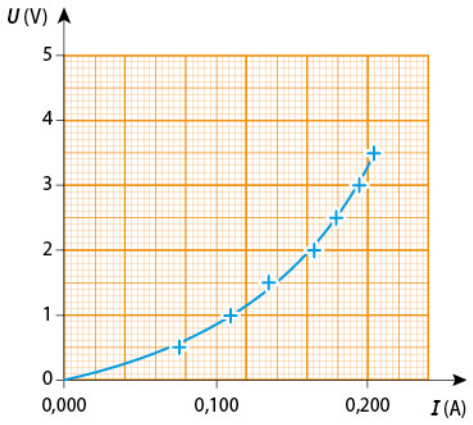
EXEMPLE

La tension aux bornes d'une résistance est proportionnelle à l'intensité qui la traverse.



CONTRE-EXEMPLE

La tension aux bornes d'une lampe n'est pas proportionnelle à l'intensité qui la traverse.



FICHE MÉTHODE 7

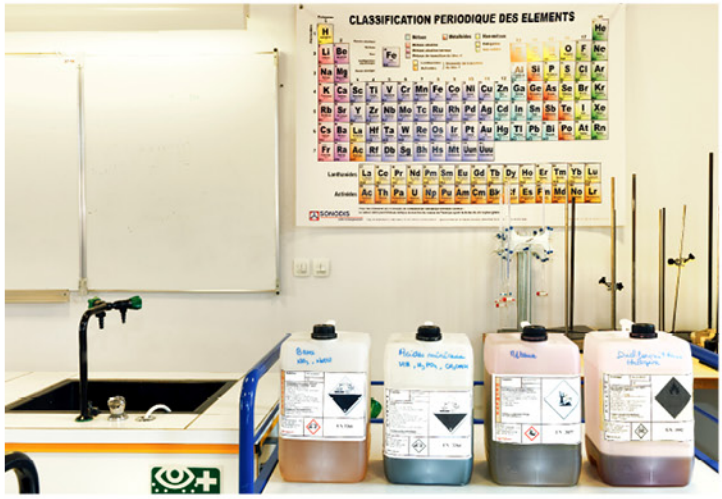
Éliminer une espèce chimique pour respecter l'environnement

1 Recycler les déchets

• Il faut éviter de jeter dans l'évier les produits que l'on utilise au laboratoire, même en faible quantité. En effet, ces produits sont parfois dangereux pour l'environnement ou la santé. Et tout ce que l'on déverse dans les égouts se retrouve un jour ou l'autre dans notre alimentation.

• Les produits chimiques liquides doivent être déposés dans les bidons de récupération présents dans la salle de TP et réservés à cet effet. Les bidons en polyéthylène sont résistants et facilement identifiables.





• Chaque grande famille de déchets (acides, bases, solvants organiques, oxydants, ions métalliques en solution) est stockée dans un bidon différent.

• Après chaque rejet, les contenants de stockage doivent être soigneusement refermés.

• Pour la récupération et le traitement des déchets chimiques, le lycée fait appel à une société spécialisée.

2 Rejeter à l'évier seulement dans certaines conditions

Les rejets sont autorisés dans certains cas

Solutions acides et basiques diluées

en faisant couler de l'eau pour diluer

Solutions ioniques

Cl^- Na^+ SO_4^{2-} Mg^{2+} Ca^{2+} K^+ Fe^{2+} Fe^{3+} Zn^{2+} Sn^{2+} Cu^{2+} Co^{2+} Al^{3+}

pour de faibles concentrations et après dilution

3 Limiter les quantités utilisées

• En général, les produits chimiques coûtent chers et sont polluants, il ne faut donc utiliser que les quantités nécessaires aux expériences.
Ainsi, lorsque l'on doit prélever un volume de solution à l'aide d'une pipette (jaugée ou graduée), il faut préalablement en verser dans un bécher.

• Il faut bien réfléchir au volume nécessaire : il doit être suffisant pour le prélèvement, mais pas trop grand pour éviter les gaspillages.

• Il faut aussi être attentif si l'on doit prélever un produit solide.

FICHE MÉTHODE 8

Ajuster une équation chimique

L'écriture de l'équation chimique d'une réaction doit respecter à la fois les lois de conservation des éléments et de conservation de la charge électrique.

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

Une équation chimique est l'écriture symbolique de la réaction chimique.
Pour l'établir :

1. On place les **réactifs** à gauche et les **produits** à droite d'une **flèche** qui indique le sens d'évolution du système lors de la réaction.

2. Les réactifs et les produits sont représentés par leurs **formules brutes**, qui ne peuvent être modifiées.

3. On précise l'**état physique** de chaque espèce chimique : solide (s), liquide (ℓ), gazeux (g) ou en solution aqueuse (aq).

EXEMPLE

$C\,(s) + O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g)$
Réactifs — Produit(s)

2 Conservation des éléments

- Pour chaque type d'atome, on doit retrouver le même nombre d'atomes dans les réactifs et les produits. On dit alors que **l'équation est ajustée**.
- Sinon, il faut placer, devant les formules des réactifs et/ou des produits, des **nombres stœchiométriques** afin d'ajuster l'équation. Ces nombres doivent être de préférence entiers.

EXEMPLE

$C\,(s) + O_2\,(g) \rightarrow CO_2\,(g)$
1 C — 2 O — 1 C et 2 O

EXEMPLES

$H_2\,(g) + O_2\,(g) \rightarrow H_2O\,(\ell)$
2 H — 2 O — 2 H et 1 O

équation non ajustée

$2\,H_2\,(g) + O_2\,(g) \rightarrow 2\,H_2O\,(\ell)$
4 H — 2 O — 4 H et 2 O

équation ajustée

Remarque : les nombres stœchiométriques égaux à 1 ne sont pas écrits.

3 Conservation de la charge électrique

Si des ions sont mis en jeu, comme lors de l'action d'un acide sur un métal, la conservation de la charge électrique est aussi vérifiée.

EXEMPLE

$Fe\,(s) + 2\,H^+\,(aq) \rightarrow Fe^{2+}\,(aq) + H_2\,(g)$
1 Fe — 2 H — 1 Fe — 2 H ← conservation des atomes
$q = +2e$ C — $q = +2e$ C ← conservation de la charge

FICHE MÉTHODE 9

Représenter un vecteur vitesse

Pour décrire le mouvement d'un objet, il faut connaître sa trajectoire ainsi que l'évolution de sa vitesse.

1 Vecteur déplacement et vecteur vitesse moyenne

Soient M et M', deux positions successives d'un point modélisant un système d'étude à des instants voisins séparés d'une durée Δt.

- Le **vecteur déplacement** est le vecteur :

$$\overrightarrow{MM'}$$



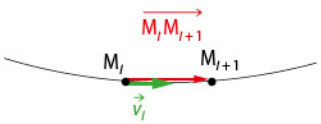
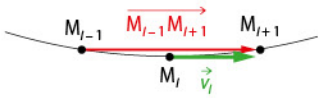
- Le **vecteur vitesse moyenne** de ce point s'écrit à partir du vecteur déplacement :

$$\vec{v} = \frac{\overrightarrow{MM'}}{\Delta t}$$



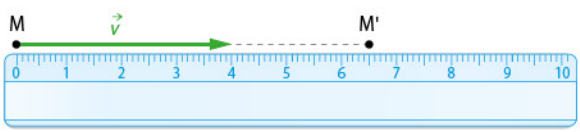
2 Vecteur vitesse en un point

Deux méthodes permettent de représenter le vecteur vitesse en un point modélisant un système d'étude.

Méthode n° 1 À partir du vecteur déplacement d'un point au point suivant	**Méthode n° 2** Par encadrement d'un point par deux points proches
M_i et M_{i+1} sont deux positions successives d'un point à des instants voisins séparés d'une durée Δt.	M_{i-1}, M_i, et M_{i+1} sont des positions successives d'un point à des instants voisins séparés d'une durée Δt. M_{i-1} et M_{i+1} encadrent la position M_i et sont séparés d'une durée $2\Delta t$.
$\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{M_iM_{i+1}}}{\Delta t}$	$\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}}{2\Delta t}$
	

3 Représentation à l'échelle

Quelle que soit la méthode utilisée, le vecteur vitesse a **une longueur proportionnelle à la valeur de la vitesse**. Il est donc représenté à l'aide d'une échelle de longueur qui lui est propre, et qu'il convient de choisir afin qu'elle soit adaptée.



échelle : 1 cm ⟷ 2 m·s^{-1}
$v = 4 \times 2 = 8$ m·s^{-1}

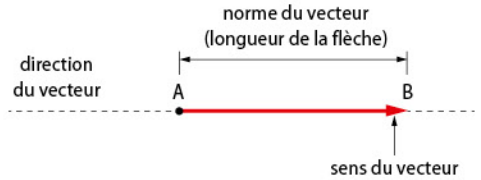
FICHE MÉTHODE 10

Additionner des forces

Une force, qui modélise une action mécanique, est représentée par un vecteur.

1 Caractéristiques et notations

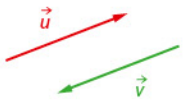
Un **vecteur** est un segment orienté (une flèche), ayant pour extrémités un point de départ et un point d'arrivée. Il est caractérisé par une **direction**, un **sens** et une **norme**.



2 Vecteurs opposés

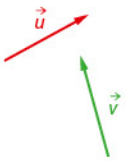
Deux vecteurs sont **opposés** s'ils ont la même direction, la même norme, et un sens opposé.

$\vec{u} = -\vec{v}$ ou $\vec{u} + \vec{v} = \vec{0}$

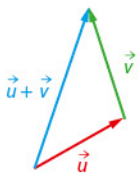


3 Addition de deux vecteurs

On doit additionner $\vec{u}$ et $\vec{v}$.

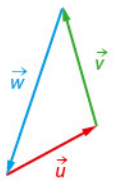


a. Méthode des triangles



Placer l'origine de $\vec{v}$ au niveau de la flèche de $\vec{u}$ puis relier l'origine de $\vec{u}$ à la flèche de $\vec{v}$ pour obtenir la somme.

b. Conséquences



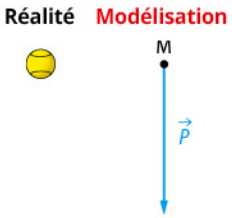
Si trois vecteurs mis bout à bout forment une boucle, on peut dire que :

$\vec{u} + \vec{v} + \vec{w} = \vec{0}$

4 Cas des vecteurs forces

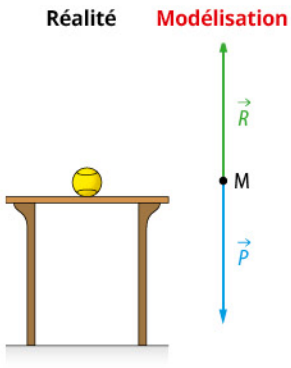
a. Un exemple de force

Une balle de masse m qui chute est soumise à l'action de la Terre modélisée par son **poids** $\vec{P}$ caractérisé par :
– sa direction : la verticale ;
– son sens : vers le bas ;
– sa norme : $P = m \cdot g$,
avec g l'intensité de pesanteur.



b. Équilibre

Une balle posée sur une table est à l'**équilibre** : le poids $\vec{P}$ qui modélise l'action de la Terre sur la balle et la force $\vec{R}$ qui modélise l'action de la table sur la balle sont représentés par des **vecteurs opposés**.
On dit que les forces se **compensent** : $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$.

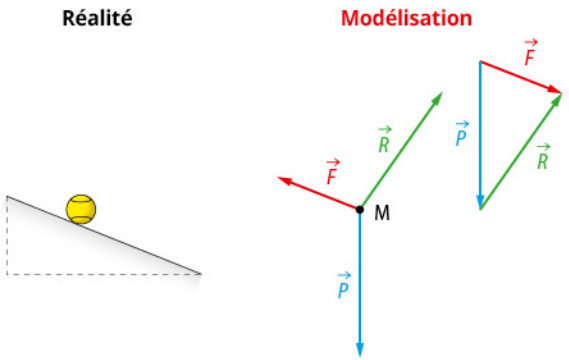


c. Forces qui se compensent

Une balle à l'équilibre sur un plan incliné est soumise à trois actions mécaniques :
– l'action de la Terre, modélisée par le poids $\vec{P}$;
– l'action de la table, modélisée par la force $\vec{R}$;
– les frottements, modélisés par la force $\vec{F}$.

La balle est à l'équilibre, donc $\vec{P} + \vec{F} + \vec{R} = \vec{0}$, et $\vec{P} + \vec{R} = -\vec{F}$.

Pour déterminer $\vec{F}$, on utilise la **méthode des triangles** :



FICHE MÉTHODE 11

ANIMATION Construction d'un diagramme objet-actions

Réaliser un diagramme objets-interactions

Afin d'expliquer le mouvement d'un système, il est important de connaître toutes les actions mécaniques qui agissent sur lui.

Pour identifier les actions mécaniques qui s'appliquent sur un système d'étude, il peut être utile de réaliser un diagramme objets-interactions.

EXEMPLE

Situation d'étude : une automobile en panne poussée par une personne.



1 Inventaire des objets

- Noter tous les **objets** qui interviennent dans la situation : ce sont le **système d'étude** et tous les objets qui interagissent avec lui.
- Ne pas oublier les **appuis** (le sol, par exemple), avec lesquels l'objet est en interaction. Ils exercent aussi une action mécanique, sinon l'objet s'enfoncerait. Inversement, l'objet s'appuie sur eux.
- Faire également intervenir la **Terre**. Il existe une interaction gravitationnelle à distance entre la Terre et l'objet.

EXEMPLE

On réalise l'inventaire des forces qui agissent sur une automobile en panne qui est poussée (on néglige les frottements).

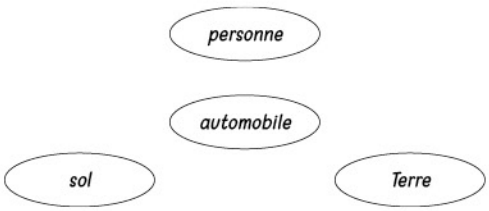
Le système est l'automobile.

Les objets qui interagissent avec elle sont :
- la personne qui pousse ;
- le sol ;
- la Terre.

2 Représentation des objets

- Préparer le diagramme en plaçant chaque objet dans un ovale.
- Placer le **système** au centre.

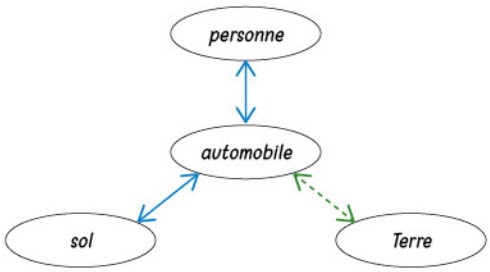
EXEMPLE



3 Représentation des interactions

Lorsqu'il y a une interaction entre un objet et le **système**, représenter cette interaction par une **double flèche** :
- en trait plein pour une interaction de contact ;
- en pointillés pour une interaction à distance.

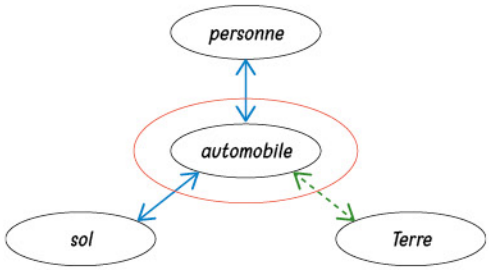
EXEMPLE



4 Identification des actions sur le système

- Entourer l'objet d'étude en utilisant une autre couleur.
- Les actions mécaniques qui s'exercent sur lui sont ainsi identifiées.

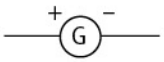
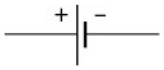
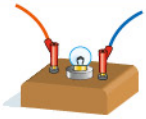
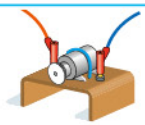
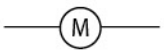
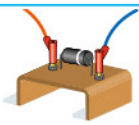
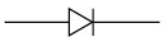
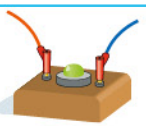
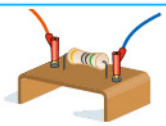
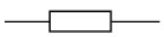
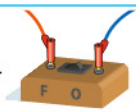
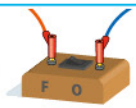
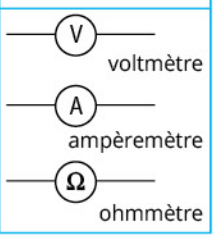
EXEMPLE



FICHE MÉTHODE 12

Schématiser un circuit électrique

1 Connaître les symboles normalisés

Catégorie de dipôle	Nom	Symbole normalisé
Générateurs	générateur 	
	pile 	
Récepteurs	lampe 	
	moteur 	
	diode 	
	diode électroluminescente (DEL) 	
	résistance 	
Connexions	interrupteur fermé 	
	interrupteur ouvert 	
	fil de connexion 	
Multimètre		

2 Dessiner un schéma électrique

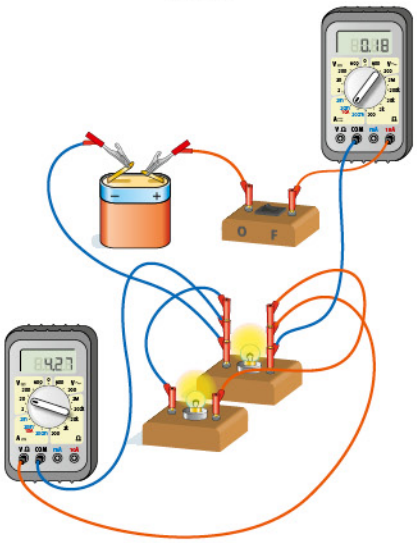
Dessiner le schéma du circuit électrique en respectant les conventions de tracé :

- représenter chaque maille du circuit par un rectangle ;
- dessiner chaque dipôle de la maille sur le rectangle, en assurant une répartition équilibrée ;
- faire apparaître les nœuds du circuit sur le schéma.

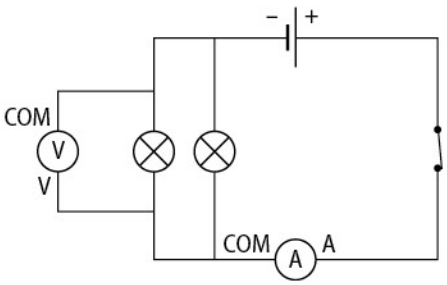
Remarque : plusieurs schémas peuvent correspondre à un même montage, car les positions des dipôles sur une maille peuvent varier.

EXEMPLE

Réalité



Schéma



COUPS DE POUCE

Chapitre 6

1. À partir des différents documents, il faut déterminer comment repérer l'avion dans l'espace et choisir donc l'échelle spatiale la plus adaptée.
Si besoin, voir coup de pouce, p. 332.

Chapitre 7

1. 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*.
Donner les expressions vectorielles de $\vec{F}_{A/S}$ et $\vec{P}$.
Si besoin, voir coup de pouce, p. 332.

Chapitre 10

1. Mesurer les angles d'incidence i_1 et de réfraction i_2 pour une série de valeurs.
Si besoin, voir coup de pouce, p. 332.

Chapitre 12

1. Schématiser le circuit électrique qui modélise le testeur USB en utilisant un ampèremètre et un voltmètre. L'appareil à charger peut être représenté par une résistance.
Si besoin, voir coup de pouce, p. 332.

Chapitre 1

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.

9 **1. a.** Mélange. **b.** Corps pur. **c.** Mélange. **d.** Mélange. **e.** Corps pur. **f.** Mélange.
2. Corps purs : eau distillée et sucre (saccharose).
Mélanges : laiton (alliage de plusieurs métaux), menthe à l'eau.

12 **1.** Homogène signifie que l'on ne peut pas distinguer les constituants de la pâte à l'œil nu.
2. 17 % de sucre ; 33 % de beurre ; 50 % de farine.

16

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}

19 **1. a.** $m_{métal} = 54{,}0$ g (lecture directe).
b. $V_{métal} = 20$ mL.
2. $\rho_{métal} = 2{,}7 \times 10^3$ kg · m^{-3}, il s'agit de l'aluminium.
3. Le cuivre atomique (métal) a généralement une couleur orangée.

23 **1.** $c_m = 3{,}4 \times 10^2$ g · L^{-1}.
Oui, car $c_m < c_{m\,max.}$
2. $m_{max} = 17{,}9$ g.

28 **1.** Une solidification.
2. Le test au sulfate de cuivre anhydre.
3. On mesure la température tout au long du changement d'état.
Cette température de solidification vaut 0 °C, elle est caractéristique de l'eau sous la pression atmosphérique.

30 **1.** $c_{m\,1} = 4{,}0$ g · L^{-1} ; $c_{m\,2} = 2{,}0$ g · L^{-1} ; $c_{m\,3} = 1{,}0$ g · L^{-1} ; $c_{m\,4} = 0{,}50$ g · L^{-1}.
2. $c_{m\,dilué} = c_{m\,3} = 1{,}0$ g · L^{-1} ;
$c_{m\,com.} = 1{,}0 \times 10^2$ g · L^{-1}.
La valeur déterminée expérimentalement est conforme à celle annoncée par le fabricant.

32 **1.** Oui. **2.** 0,4 %.
3. $V = 500$ mL. **4.** $c_m = 4{,}0$ g · L^{-1}.

39 **1.** On prélève avec une pipette jaugée un volume *V* de solution que l'on verse dans un bécher placé sur une balance préalablement tarée. La masse volumique de la solution est calculée en divisant la masse que la balance affiche, par le volume *V*.
2. a. Les deux grandeurs sont exprimées dans la même unité, en g · L^{-1}, mais la masse volumique (en g · L^{-1}) représente la masse en g d'un litre de solution ; la concentration massique (en g · L^{-1}) représente la masse de saccharose contenue dans un litre de solution.
b. $c_m = 112$ g · L^{-1}.

Chapitre 2

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.

16 **1.** 92 protons et 143 neutrons.
2. a. $m_{noyau} = 3{,}92 \times 10^{-25}$ kg.
b. $m_{atome} = 3{,}92 \times 10^{-25}$ kg.
3. Les deux masses trouvées sont égales : la masse des électrons est donc négligeable devant la masse du noyau.

21 **1.** Des sous-couches électroniques.
2. 2 électrons sur la première couche, 8 électrons sur les deuxième et troisième couches.
3. 18 électrons.

23 **1.** 8 électrons de valence.
2. Dans la dernière colonne du tableau.
3. L'hélium et l'argon.

28 **1.** $N = 3{,}0 \times 10^{23}$ atomes.
2. $n = 0{,}5$ mol.

32 **1.** $m = 6{,}38 \times 10^{-30}$ kg.
2. $m' = 2{,}34 \times 10^{-26}$ kg.
3. $m_{atome} = 2{,}34 \times 10^{-26}$ kg. On pouvait négliger la masse des électrons.

33 **1.** $^{9}_{4}$Be. **2.** $m_{atome} = 1{,}50 \times 10^{-26}$ kg.
3. a. $m = 3{,}64 \times 10^{-30}$ kg.
b. La masse des électrons est négligeable devant celle de l'atome.
$m_{noyau} = m_{atome} = 1{,}50 \times 10^{-26}$ kg.

35 **1.** Na $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^1$. **2.** Le lithium.
3. Le béryllium se trouve dans la même colonne que le magnésium, il possède 2 électrons de valence.

37 **1.** 11 protons et 12 neutrons.
2. a. Des isotopes sont des atomes de même numéro atomique, mais qui diffèrent par leur nombre de neutrons.
b. L'isotope possède 1 neutron de plus.
3. Dans la première colonne du tableau.
4. Des propriétés chimiques analogues.
5. $N = 1{,}35 \times 10^{23}$ atomes.
6. $m = 2{,}48$ g.

40 **1.** Atomic numbers are $Z = 4$ and $Z = 12$.
2. 4 and 12 protons.
3. No, it is the same number, 2.
4. They are both in the second column.
5. They are called a family of elements.

Chapitre 3

1 C. **2** C. **3** B. **4** B. **5** B. **6** C. **7** C. **8** B. **9** B. **10** B. **11** C.

15 **1.** Sa couche de valence n'est pas pleine.
2. L'ion sodium Na^+ de configuration électronique : $1s^2\,2s^2\,2p^6$.
3. Pour compenser les charges négatives de l'ion oxyde O^{2-}, il faut deux fois plus d'ion sodium Na^+.

19 **1. a.** L'ion potassium K^+ et l'ion chlorure Cl^-.
b. Même proportion, car les charges des deux ions sont égales mais de signes opposés.
2. a. L'ion béryllium Be^{2+} et l'ion fluorure F^-.
b. Il y a deux fois plus d'ion fluorure que d'ion béryllium.

23 **1.** Aspirine : $C_9H_8O_4$.
Paracétamol : $C_8H_9NO_2$.

2. Non, il manque les doublets non liants dans les modèles moléculaires.
3. Il faut justifier en déterminant le nombre de doublets liants et non liants pour chacun des atomes.

Atome	Configuration électronique	Doublets liants	Doublets non liants
H	$1s^1$	1	0
C	$1s^2\,2s^2\,2p^2$	4	0
O	$1s^2\,2s^2\,2p^4$	2	2
N	$1s^2\,2s^2\,2p^3$	3	1

27 1. $m_{Mg2+} = 4{,}039\,82 \times 10^{-26}$ kg.
2. En respectant le nombre de chiffres significatifs, on trouve :
$m_{Mg2+} = m_{Mg} = 4{,}04 \times 10^{-26}$ kg.
3. La masse des électrons est négligeable devant celle du noyau.

31 1. Les ions zinc sont chargés positivement.
2. Nombre d'ions bromure : $2{,}10 \times 10^{23}$.
Nombre d'ions zinc : $1{,}05 \times 10^{23}$.
3. Zn^{2+}.

33 1.

Atome	Doublets liants	Doublets non liants
C	8 – 4 = 4	0
Cl	7 – 1 = 6	3

2. Il faut rompre 4 liaisons C—Cl.
3. La rupture des liaisons correspond à une augmentation de l'énergie, donc à une déstabilisation.

35 1. Cl^- ; K^+ ; Na^+ ; Mg^{2+}.
2. Ions sodium : $2{,}57 \times 10^{23}$;
ions chlorure : $2{,}86 \times 10^{23}$;
ions potassium : $1{,}39 \times 10^{22}$;
ions magnésium : $7{,}43 \times 10^{21}$.
3. Somme des charges des anions :
$2{,}86 \times 10^{23}$ charges négatives.
Somme des charges des cations :
$2{,}86 \times 10^{23}$ charges positives.

41 1.

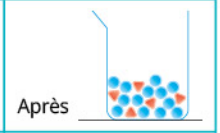
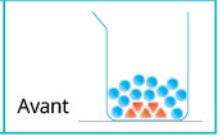
Atome	Doublets liants	Doublets non liants
H	2 – 1 = 1	0
C	8 – 4 = 4	0
O	2	2

2. 4 liaisons C—H ; 1 liaison C—C ; 1 liaison C═O.
3. La formation de ces liaisons conduit à une stabilisation de la molécule par rapport aux atomes pris séparément.

Chapitre 4

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.

14

Fusion d'un solide	
Dissolution d'un solide soluble dans le solvant	
Dissolution d'un solide insoluble dans le solvant	

22 *Corrections disponibles dans l'animation.*

28 a. Mg. b. Cl^-. c. H_2 et Cl_2.

33 1. Transformation chimique.
2. $x = 3$.
3. C_2H_4 est limitant.
4. $H_2O\,(g) \rightarrow H_2O\,(\ell)$

35 1. Non.
2. H_2 est limitant.

39 1. Oui, car une nouvelle espèce chimique s'est formée, l'eau H_2O.
2. Réactifs : H_3O^+ et HO^-. Produit : H_2O.
Spectateurs : Cl^- et Na^+.
3. $H_3O^+\,(aq) + HO^-\,(aq) \rightarrow 2\,H_2O\,(\ell)$
4. HO^- est limitant.

43 1. C'est une transformation chimique.
2. $C_2H_6O + 3\,O_2 \rightarrow 2\,CO_2 + 3\,H_2O$

$$C_8H_{18} + \frac{25}{2}\,O_2 \rightarrow 8\,CO_2 + 9\,H_2O$$

3. a. $V_1 = 42{,}5$ L ; $V_2 = 7{,}5$ L.
b. $m_1 = 33{,}5$ kg ; $m_2 = 5{,}27$ kg.
c. $n_1 = 726$ mol ; $n_2 = 46{,}1$ mol.
4. a. Le réactif limitant est l'éthanol pour sa combustion, et l'octane, pour la sienne.
b. $2{,}75 \times 10^3$ mol de O_2.

Chapitre 5

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

10 1. Le bronze étant un mélange, sa température de fusion n'est pas une constante : elle varie avec les proportions du mélange.
2. $Q = 4{,}2 \times 10^5$ J.

14 1. Un des produits de la transformation est de l'eau liquide.
2. Endothermique, car la température du système a diminué.

17 1. Au moins une nouvelle espèce chimique s'est formée : du dioxyde de carbone.
2. Endothermique.
3. a. L'hydrogénocarbonate de sodium était le réactif limitant après ajout de la première spatule. La transformation s'était arrêtée car il n'y en avait plus.
b. La température va encore diminuer.

22 1. a. $4{,}2 \times 10^{18}$ J. b. $1{,}3 \times 10^{11}$ J.
2. 3×10^{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 !

26 1. De l'or se solidifiant vers l'air environnant.
La solidification de l'or est exothermique.
2. $Q = -3{,}2 \times 10^4$ J.

28 1. a. La transformation est exothermique.
b. L'acide chlorhydrique est limitant.
2. La masse de réactif limitant étant moins grande dans la seconde expérience, la température du système augmentera, mais restera inférieure à 23,1 °C.

31 1. a. Non, la solidification de l'eau est une transformation physique.
b. De la glace qui fond reçoit de l'énergie. Le processus inverse libère de l'énergie et est donc exothermique.
2. La dissolution du nitrate d'ammonium est endothermique, elle reçoit l'énergie de l'eau, qui « voit » son stock d'énergie diminuer suffisamment ici pour que son état physique change.

Chapitre 6

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.

17 1. Par rapport au référentiel ISS.
2. Thomas Pesquet a le mouvement de la station, pour un observateur situé à la surface de la Terre, ce mouvement est rectiligne uniforme.

20 1. Un point situé sur l'axe de la roue.
2. a. Non, il sera circulaire.
b. La rotation de la roue.

23 Les trajectoires A et B sont rectilignes. La trajectoire C est circulaire, D est curviligne.

26 1. M(0,5 ; 1) ; M'(3,5 ; 3). 2. $\overrightarrow{MM'}(3\,;\,2)$.

28 1. $M_4M_5 = 0{,}8$ cm. 2. $v_4 = 3{,}2$ cm · s^{-1}.
3. Le vecteur mesure 1,6 cm.

COUPS DE POUCE

Chapitre 6

2. Puisque l'avion se déplace à une vitesse élevée de 236 m · s^{-1}, sa position doit être « rafraîchie » rapidement sur les écrans des contrôleurs aérien.

Chapitre 7

2. Identifier les termes de $\vec{F}_{A/S}$ et $\vec{P}$ pour en déduire l'expression de $\vec{g}$.
Si besoin, voir coup de pouce, p. 334.

Chapitre 10

2. Tracer la courbe sin $i_1 = f(\sin i_2)$ pour déterminer l'indice de réfraction en tant que coefficient directeur.

Chapitre 12

2. Réaliser le circuit et vérifier que la valeur de la tension délivrée par le port USB de l'ordinateur et l'adaptateur secteur est cohérente avec celle indiquée dans les documents.

31 **1.** Pour la situation **A**, la valeur de la vitesse reste constante. Pour la situation **B**, la vitesse v_2 augmente régulièrement.
2. $v_1 = 2{,}5$ m · s^{-1}.
3. **a.** $v_2(t = 0) = 1{,}0$ m · s^{-1} ;
$v_2(t = 5) = 5{,}0$ m · s^{-1}.
b. Ces deux valeurs sont différentes : $v_2(t = 5) > v_2(t = 0)$.
4. Le mouvement correspondant à l'enregistrement **A** est uniforme, celui correspondant à l'enregistrement **B** est non uniforme (accéléré).
5. Il est impossible ici de savoir si la trajectoire des points est rectiligne, car nous n'avons que les représentations de l'évolution de la vitesse au cours du temps.

33 **1.** 4/80.
2. $v_6 = 30 \times 10^1$ cm · s^{-1}, soit 3,0 m · s^{-1} ; $v_9 = 48 \times 10^1$ cm · s^{-1}, soit 4,8 m · s^{-1}.
3. Le mouvement est rectiligne non uniforme (accéléré).

36 **1.** Le référentiel est la patinoire, c'est-à-dire 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.
b. La rotation du palet autour du point C.
c. Le palet a été lancé avec un mouvement de rotation.

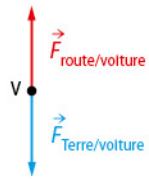
39 A : mouvement uniforme ; B : système au repos ; C et D : mouvement non uniforme.

42 **1.** Cette technique 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, l'échelle temporelle est obtenue à partir de l'intervalle entre deux images qui dure $\frac{1}{14}$ de seconde.
3. $\ell_s = 4{,}1$ m.
4. $v = 5{,}8$ m · s^{-1}.

Chapitre 7

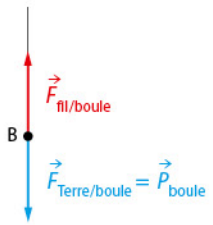
1 A et B. **2** A. **3** C. **4** B. **5** B. **6** B et C. **7** A, B et C. **8** C. **9** B. **10** A, B et C. **11** A et C. **12** A et C.

15 **1.** L'action à distance de la Terre et celle de contact de la route.
2.

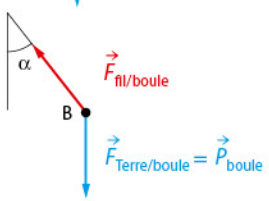


21 **1.** Elle modélise l'action de Jupiter sur Io.
2. $\vec{F}_{J/I} = G \cdot \frac{M_{Jupiter} \cdot M_{Io}}{d^2} \cdot \vec{u}_{IJ}$

27 **1.**



2.

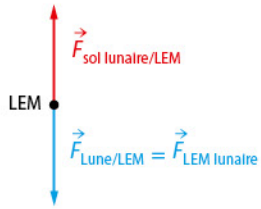


31 **1.**



2. $F_{T/S} = 401$ N.

33 **1.** Il y a la force qui modélise l'attraction de la Lune sur le LEM, c'est-à-dire le poids sur la Lune du LEM et l'action du sol lunaire sur le LEM : $\vec{F}_{Lune/LEM} = \vec{P}_{LEM\ sur\ la\ Lune}$ et $\vec{F}_{sol/LEM}$.
2. $P = 24 \times 10^3$ N = 24 kN.
D'après l'échelle, $\vec{P}$ est représenté par un vecteur de longueur $\ell = 2{,}4$ cm.



37 **1.** **a.** $d = R_T + h$.
b. $\vec{F}_{Terre/guide} = G \cdot \frac{M_T \cdot m}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u}_{GT}$.
2. $F_{Terre/guide} = 735$ N.
3. $P = 736$ N.
4. La différence (minime) de 1 N provient de l'altitude à laquelle se trouve l'alpiniste qui fait que l'intensité de pesanteur g à cette altitude n'est pas égale à la valeur à Paris.

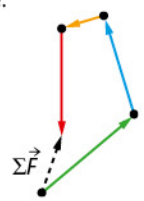
38 *Démarche avancée*
$\vec{F}_{Terre/objet} = m \cdot \left(\frac{G \cdot M_T}{R_T^2}\right) \cdot \vec{u}_{OT}$
$\vec{F}_{Terre/objet} = m \cdot \vec{g} = \vec{P}$
donc $\vec{g} = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} \cdot \vec{u}_{OT}$.
Or on peut lire des valeurs différentes de g au pôle nord, au niveau de 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.** $\vec{F}_{Terre/objet} = m \cdot \left(\frac{G \cdot M_T}{R_T^2}\right) \cdot \vec{u}_{OT}$
b. $\vec{g} = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} \cdot \vec{u}_{OT}$
2. **a.** Le rayon de la Terre R_T.
b. Si R_T n'est pas constant, alors la Terre n'est pas parfaitement sphérique.

Chapitre 8

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

9 **1.** **a.** Le mouvement est rectiligne uniforme. **b.** Non.
2. Il pourrait être immobile.

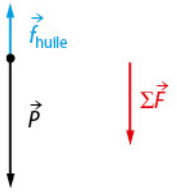
16 **1.** ▶
2. D'après la contraposée du principe d'inertie, le mouvement ne peut être rectiligne uniforme.



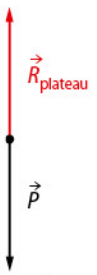
21 **1.** **a.** Seul le modèle **C** convient.
b. Le vecteur vitesse du système varie dans la même direction et dans le même

sens que le vecteur $\vec{F}_2$: sa direction est verticale et son sens est vers le bas (sa valeur augmente au cours du temps).
c. Le mouvement est rectiligne accéléré.
2. Non d'après la contraposée du principe d'inertie.

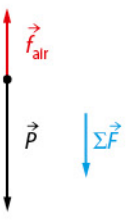
24 **1. a.** L'action de la Terre.
b. Jusqu'à la 10e position de la chronophotographie, le mouvement est rectiligne accéléré. Il devient par la suite rectiligne uniforme.
2. a. D'après le principe d'inertie, puisque le mouvement de la bille est rectiligne uniforme.
b. La variation du vecteur vitesse du système entre deux instants voisins est nulle.
3. a. Lors de la première phase, le poids l'emporte sur les forces de frottement exercées par l'huile.
b. $\sum\vec{F} = \vec{P} + \vec{f}_{huile}$ ▶
c. La variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse d'un système est reliée à $\sum\vec{F}$. Le vecteur vitesse varie verticalement vers le bas : sa valeur augmente.



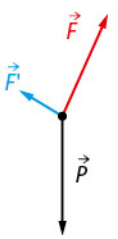
27 **1.** Avant le démarrage, le bloc de marbre est immobile. Il est soumis à des actions qui se compensent.
2. a. Étant toujours soumis à des actions qui se compensent, le bloc de marbre persévère dans son état de repos alors que le véhicule, lui, se met en mouvement.
b. Lorsque le bloc quitte le plateau, il est uniquement soumis à l'action de la Terre modélisée par son poids $\vec{P}$. Son mouvement est rectiligne accéléré (dans le référentiel terrestre).



29 **1.** Le mouvement est rectiligne accéléré jusqu'à la 5e position du système.
2. a. ▶
b. La variation du vecteur vitesse est reliée au vecteur $\sum\vec{F}$. Le vecteur vitesse varie donc verticalement vers le bas. Sa valeur augmente : le mouvement est accéléré.



32 **1.** La somme des forces représentées n'est pas nulle.
2. La balle devrait décrire un mouvement curviligne accéléré. En effet, la variation du vecteur vitesse est reliée à la somme des forces $\sum\vec{F}$, ici orientée vers la droite.



3. Il faut l'intervention d'une troisième force $\vec{F}'$ (la portance) telle que :
$$\vec{F} + \vec{F}' + \vec{P} = \vec{0}$$

34 *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 $\vec{F}_1$: 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.



Chapitre 9

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.

12 **1.** La propagation du signal sonore n'est pas instantanée.
2. $d = 1\,700$ m.

16 **1. a.** Oui. **b.** Le motif bleu.
2. Proposition **b**.
3. Proposition **a**.

20 **1.** La fréquence 440 Hz correspond à la fréquence de vibration du signal sonore.
2. a. $T = 2{,}3$ ms.
b. La fréquence du signal est $f = 440$ Hz. On retrouve bien la fréquence qui caractérise le diapason.

22 **1.** Ils ont la même fréquence mais l'allure de leur motif est différente.
2. Oui.

27 **1.** $v = 1\,500$ m · s^{-1}.
2. Le milieu de propagation est l'eau.

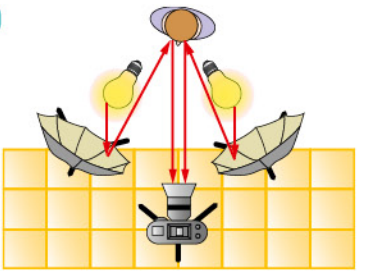
29 **1.** $T = 6{,}8$ ms.
2. Il s'agit de la code *ré* qui a une fréquence de 146,8 Hz.

33 **1.** Une guitare électrique n'a pas besoin d'une cavité résonante car elle est reliée à un amplificateur.
2. a. $T_1 = 9{,}3$ ms.
b. $f_1 = 108$ Hz.
3. a. La hauteur d'un son est sa fréquence. $f_2 = f_1$ 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.

Chapitre 10

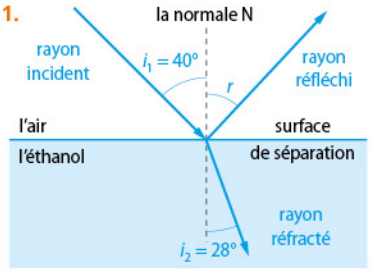
1 C. **2** B. **3** C. **4** C. **5** A et B. **6** A. **7** B et C. **8** B. **9** A, B et C. **10** C.

12



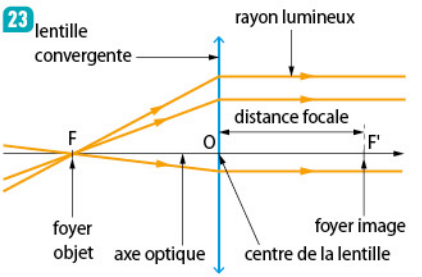
15 $d = 3{,}84 \times 10^3$ km.

19 **1.**



2. $i_2 = 28°$. **3.** Voir ci-dessus.

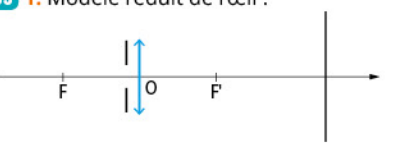
23



27 **1.** La lentille représente le cristallin dans le modèle réduit de l'œil. L'écran représente la rétine de l'œil.
2. Il faudrait ajouter un diaphragme.

31 **1.** Le laser provient du bas de la photo à droite.
2. La sphère est remplie d'eau d'indice 1,33.

33 **1.** Modèle réduit de l'œil :



2. Le tracé à l'échelle 1 donne la position de l'image OA' = 2,5 cm. L'image A'B' est renversée.
3. Oui.
4. $\gamma = 0{,}25$. L'image est plus petite que la photo.

35 **1. a.** 300 000 km en une seconde.
b. $2{,}59 \times 10^{10}$ km en un jour.
c. $9{,}47 \times 10^{12}$ km en un an.

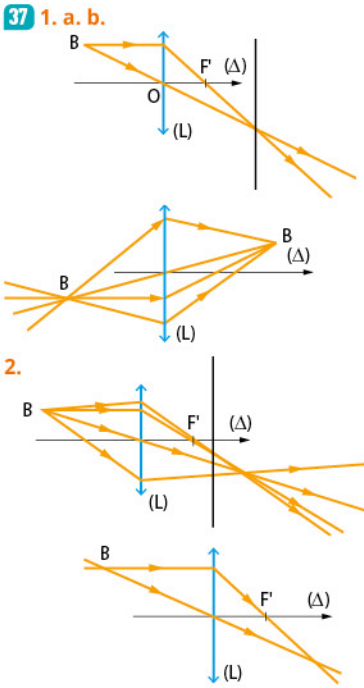
COUP DE POUCE

Chapitre 7

3. Calculer les différentes valeurs de g moyen pour les différentes planètes.

2. $v = 9{,}9 \times 10^{12}$ km · s^{-1}, ce qui est bien plus grand que la vitesse de la lumière, donc irréaliste d'après la théorie d'Einstein.

37 1. a. b.



39 1. OF' = 16,7 cm 2. Non.

43 1. L'apparition de zones opaques gêne la perception de la lumière par les photorécepteurs de la rétine, ce qui altère l'acuité visuelle.
2. a. C'est une lentille convergente qui peut remplacer le cristallin naturel. Les implants 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.

Chapitre 11

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.

11 1. Le schéma **B**, car le faisceau laser n'est pas visible, le contraire de 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.

21 1. Le phénomène de réfraction.
2. Deux fois, car 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.
3. L'indice optique du prisme dépend de la longueur d'onde de la radiation considérée. 4. L'air.

23 1. Le spectre **B**. 2. Un spectre continu.

25 1. **A**. 2. **A**. 3. **B**.

32 1. $n_{cyan} = 1{,}61$. 2. Il s'agit de verre flint.

34 1. λ (raie orange) = 589 nm.
2. On mesure entre les deux radiations $l = 0{,}7$ mm, qui correspond à un écart de longueurs d'onde $\Delta\lambda = 0{,}6$ nm.

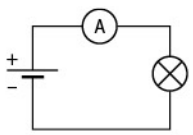
36 1. Soit un ou plusieurs prismes, soit un réseau.
2. On observe sur leur spectre plusieurs couleurs, donc plusieurs radiations de longueurs d'onde différentes.
3. Le spectre **A** contient davantage de bleu, donc davantage de radiations de courtes longueurs d'onde : l'étoile qui a émis cette lumière est plus chaude que l'étoile **B** (associée au spectre **B**).
4. L'étoile **A** est blanche, l'étoile **B** apparaît orange.

39 1. Il s'agit de l'étoile 1. 2. L'étoile 1.
3. L'étoile 1. 4. Canopus est l'étoile 1, Antarès est l'étoile 2.

Chapitre 12

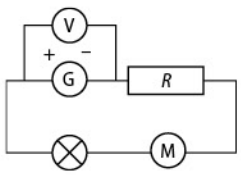
1 B et C. **2** A. **3** A. **4** A et C. **5** B. **6** C. **7** A.

8 1.



2. a. Choisir A pour une mesure d'intensité.
b. Calibre 200 mA. c. Non, le fil rouge doit être sur la borne mA.

11 1.

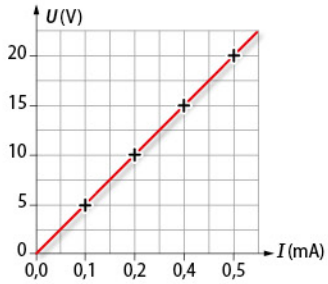


2. $U_M = 4{,}3$ V.

16 1. Point de fonctionnement : (200 mA ; 1 V).
2. a. $I = 0{,}83$ A.
b. On retrouve une valeur proche par lecture graphique.
3. La lampe sera détériorée.

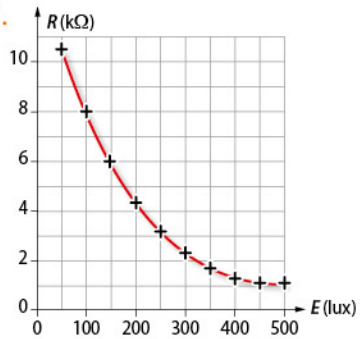
17 1. $U = 24$ V. 2. $P = 1{,}8$ W ; $P > 1$ W, donc pas adapté à l'usage.

23 1. Voltmètre en dérivation et ampèremètre en série.
2. La caractéristique est une droite qui passe par l'origine.
3.



4. $R = 47\ \Omega$.

25 1.

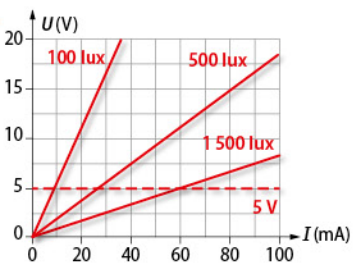


2. On n'obtient pas une droite, donc ce capteur n'est pas linéaire.
3. Par lecture graphique, 120 lux.

27 1. a. Un ohmètre.
b. La résistance du dipôle.
2. a. Association en parallèle. b. $I = 1{,}1$ A.

32 1. $R_1 = 100\ \Omega$. 2. 1 à **B** et 3 à **C**.
3. $R_2 = 150\ \Omega$.
4. $I = I_1 + I_2 = 0{,}1$ A ; les valeurs sont cohérentes.

37 1. a. Par lecture graphique :
100 lux → 550 Ω 500 lux → 180 Ω
1 500 lux → 80 Ω
b.



2. $U_G = 12$ V.

INDEX

A

Action mécanique 158
Ajuster (une équation chimique) . . 89
Anion 66
Atome 44, 66
Avogadro (constante, nombre) 46

C

Capteurs 274
Caractéristique d'un dipôle 273
Cation 66
Chromatographie CCM 23, 90
Changement d'état 22, 110
Charge électrique 44, 89
Charge élémentaire 44
Chauffage à reflux 90
Chute libre 182
Circuit électrique 272
Combustion 89, 111
Composition massique 22
Concentration en masse 23
Conducteurs ohmiques 274
Configuration électronique . . . 45, 66
Conservation des éléments 89
Corps pur 22
Cortège électronique 45
Couche électronique 45
Couleur d'une lumière 250
Coulomb 44

D

Diagramme objets-interactions . . 158
Dilution 23
Dispersion de la lumière 251
Dissolution 23, 88
Domaine d'audibilité 207
Dosage 23
Doublet liant 67
Doublet non liant 67

E

Électron 44
Électron de valence 46
Électroneutralité 67
Élément chimique 44
Endothermique 110, 111
Énergie de liaison 68
Énergie massique 10
Entité chimique 46
Équation chimique 89
Espèce chimique 22, 112
Espèce spectatrice 89
Exothermique 110, 111

F

Famille chimique 46
Fiole jaugée 23
Fission 112
Force 158
Force d'interaction gravitationnelle 159
Formule brute 68, 89
Fréquence 207
Fusion 88, 110, 112

G

Gaz noble 46, 66
Grandissement 230

H

Hauteur d'un son 207
Hétérogène (mélange) 22
Homogène (mélange) 22

I

Image d'un objet 230
Indice optique d'un milieu 228
Intensité d'un son 208
Ion 66
Isotope 44, 112

K

Kofler (banc) 23

L

Lentille convergente 229
Liaison de valence 67
Liquéfaction 22, 110
Loi d'Ohm 274
Lois de l'électricité 272
Longueur d'onde 250
Lumière blanche 250

M

Masse volumique 23
Mélange 22
Modèle du rayon lumineux 228
Modèle réduit de l'œil 230
Mole 46
Mouvement 138

N

Neutron 44
Niveau d'intensité sonore 208
Nombre de masse 44
Nombre stœchiométrique 89, 90
Noyau 44, 88, 112
Nucléon 44
Numéro atomique 44

P

Période 207
Poids 159
Principe des actions réciproques . 160
Principe d'inertie 180
Produit 89
Proton 44

Q

Quantité de matière 46, 89

R

Réactif 89
Réactif limitant 90, 111
Réaction 89
Référentiel 136
Réflexion de la lumière 228
Réflexion totale 228
Réfraction de la lumière 228
Relativité de mouvement 136

S

Schéma de Lewis 67
Signal sonore 206
Solidification 22, 110
Soluté 23
Solution 23
Solvant 23
Spectre de lumière 252
Synthèse 90
Système 136

T

Tableau périodique 45, 66
Température de changement d'état 22
Test chimique 23
Timbre d'un son 208
Trajectoire 137
Transfert thermique 110, 111
Transformation chimique 89, 111
Transformation nucléaire 88, 112
Transformation physique 88

V

Vaporisation 22, 110
Vecteur déplacement 138
Vecteur vitesse 138
Vitesse de la lumière 228
Vitesse de propagation d'un signal sonore 206

Crédits photographiques

1re de couv ht © Richard Beech/SPL/COSMOS • 1re de couv g © Robert/ADOBE STOCK PHOTO/T • 1re de couv b © Matej Kastelic/SHUTTERSTOCK • p. 17 © Pixelshop/SHUTTERSTOCK • p. 17 ht © XanderSt/SHUTTERSTOCK • p. 18 ht g © JEULIN Société • p. 18 m g © JEULIN Société • p. 18 ht d © Picsfive/SHUTTERSTOCK • p. 20 © Radu Berkan/SHUTTERSTOCK • p. 21 © juefraphoto/ADOBE STOCK PHOTO • p. 22 ht g © Valentyn Volkov/SHUTTERSTOCK • p. 22 ht d © Ungvar/SHUTTERSTOCK • p. 25 m © Momentscatcher/ADOBE STOCK PHOTO • p. 26 ht g © Ruslan Chernichev/SHUTTERSTOCK • p. 26 m © Image Source/GETTY IMAGES • p. 27 bas g © Canopy/GETTY IMAGES • p. 27 bas d © Mercan1299/ADOBE STOCK PHOTO • p. 27 m g © Aleks Vf/SHUTTERSTOCK • p. 27 ht d © Jiri Hera/SHUTTERSTOCK • p. 27 m © BillionPhotos.com/ADOBE STOCK PHOTO • p. 30 © Olivier Dirson/ADOBE STOCK PHOTO • p. 32 © Lovelyday12/ADOBE STOCK PHOTO • p. 33 © NizArt/ADOBE STOCK PHOTO • p. 34 bas d © Pixelshop/SHUTTERSTOCK • p. 34 © ArtDi101/SHUTTERSTOCK • p. 35 bas © Haru/SHUTTERSTOCK • p. 35 ht d © Irina Denisova/SHUTTERSTOCK • p. 37 m © Standret/SHUTTERSTOCK • p. 37 ht d Daniel Alexandre/Domaine public/Wikimedia • p. 37 bas g © Sergiophoto/ADOBE STOCK PHOTO • p. 39 © Corsin Battaglia • p. 39 ht d © Bjoern Wylezich/ADOBE STOCK PHOTO • p. 41 ht d © Rue des Archives • p. 41 © Bjoern Wylezich/SHUTTERSTOCK • p. 43 © SSPL/Leemage /T • p. 49 bas g © Windvector/SHUTTERSTOCK • p. 49 ht d © Petrarottova/ADOBE STOCK PHOTO • p. 49 bas d © Vchal/SHUTTERSTOCK • p. 50 ht d © AIR LIQUIDE/Droits Réservés • p. 50 bas d © C Tatiana/SHUTTERSTOCK • p. 50 bas d © SPL/COSMOS/T • p. 51 © Krasula/SHUTTERSTOCK • p. 52 ht g © Photka/SHUTTERSTOCK • p. 52 m © Biphotographs/Alamy/HEMIS • p. 53 bas © SPL/COSMOS • p. 53 © José Nicolas/SIPA PRESS • p. 54 bas g © Science Source/GETTY IMAGES • p. 54 ht d © Rasulov/ADOBE STOCK PHOTO • p. 54 m d © Photka/SHUTTERSTOCK • p. 55 g © Maniouloux • p. 55 ht d © Socrates471/SHUTTERSTOCK • p. 56 ht g © RIA NOVOSTI/T • p. 56 bas d © Corsin Battaglia/Université de Neuchâtel. • p. 56 bas g © Guy42/SHUTTERSTOCK • p. 56 bas d © Bjoern Wylezich/ADOBE STOCK PHOTO • p. 57 © David Parker/SPL/COSMOS • p. 58 © Jacques Boyer/ROGER-VIOLLET • p. 59 ht d © Monty Rakusen's Studio/GETTY IMAGES • p. 59 ht d © CEMES/CNRS Photothèque • p. 59 m d © Philippe Stroppa/CEA/CNRS Photothèque • p. 59 bas g © Milanvirijevic/GETTY IMAGES • p. 60 bas g © Halpoint/Istock/GETTY IMAGES • p. 61 © ArtTim/SHUTTERSTOCK • p. 63 © Antagain/Istock/GETTY IMAGES • p. 66 © Julien Bottenmuller/NATURIMAGES • p. 71 g © JPL/Caltech/NASA • p. 71 d © Philip Evans/GETTY IMAGES • p. 71 bas g Pixabay/Domaine public • p. 72 haut g © Diego Andres Junca/ADOBE STOCK PHOTO • p. 72 bas d © Maniouloux • p. 73 m g © Topthailand/Istock/GETTY IMAGES • p. 73 d © n7atal71/SHUTTERSTOCK • p. 73 ht g © Carol & Mike Werner/Visual Unlimited/GETTY IMAGES • p. 76 © Guillaume Bonnefont/IP3 PRESS • p. 77 ht © New Africa/SHUTTERSTOCK • p. 77 m © ebNad/SHUTTERSTOCK • p. 78 ht g © Xenotar/Istock/GETTY IMAGES • p. 78 © ArtTim/SHUTTERSTOCK • p. 81 ht © ICD/ITKE Université de Stuttgart • p. 81 m © Gregor Bister/Istock/GETTY IMAGES • p. 81 bas g © Traimak/SHUTTERSTOCK • p. 82 bas g © Study Bos/ADOBE STOCK PHOTO/T • p. 83 © Jakob Ebrey-JEP • p. 86 © SPL/BSIP/T • p. 87 © Ekawatchaow/SHUTTERSTOCK • p. 90 © Sheila Terry/SPL/COSMOS • p. 93 m d © Tesson/ANDIA/T • p. 93 bas d © Evgenii Mitroshin/SHUTTERSTOCK • p. 94 © Hansi HECKMAIR • p. 98 ht g © Fälche/ADOBE STOCK PHOTO/T • p. 98 ht d © BIS / NASA-JPL Coll. Archives Sejer • p. 98 m g © Merkulov/ADOBE STOCK PHOTO/T • p. 98 m d © Qantas/ADOBE STOCK PHOTO/T • p. 98 bas © Kit/ADOBE STOCK PHOTO • p. 98 d © Paceman/SHUTTERSTOCK • p. 99 ht © M Vickery/Alamay/HEMIS/T • p. 99 bas © Science Source/AKG-Images • p. 100 ht g © Martyn F Chillmaid/SPL/COSMOS/T • p. 100 bas d © Courtoisie de Jakob Ebrey-JEP • p. 102 bas d © Damien Meyer/AFP/T • p. 103 ht © ITER • p. 103 m d © Decout/REA/T • p. 103 bas g © Couperfield/SHUTTERSTOCK • p. 104 m d © Science Source/BSIP • p. 104 bas Pixabay/Domaine public • p. 105 © NASA • p. 110 © Roman Sigaev/ADOBE STOCK PHOTO/T • p. 111 © Marcello Moryan/SHUTTERSTOCK • p. 114 © SDO/NASA • p. 115 g © Fred Marvaux/ICON SPORT • p. 115 ht d © J. Grant/Wireimage/GETTY IMAGES • p. 116 g © Sujitra Chaowdee/SHUTTERSTOCK • p. 116 ht d © Warm'Up/DR • p. 117 © ITH/RWE AG/REA • p. 118 ht g © Mendil/BSIP • p. 118 bas d © Bloomberg/GETTY IMAGES • p. 120 mg Maniouloux • p. 120 bas © NASA • p. 121 © Science Source/GETTY IMAGES • p. 122 © Courtoisie de Hugues Crepin/The Thermograpic Library • p. 123 ht d © Moonborne/SHUTTERSTOCK • p. 123 m © XIXinXing/SHUTTERSTOCK • p. 123 bas g © Joyseulay/SHUTTERSTOCK • p. 124 © Laboratoires Grimberg/DR • p. 125 © Allstars/SHUTTERSTOCK • p. 126 CC Klockrike/Wikimedia • p. 127 © Silent Corners/SHUTTERSTOCK • p. 128 © Bergamont/SHUTTERSTOCK • p. 129 © ITER • p. 130 bas d © Jacek Chabraszewski/ADOBE STOCK PHOTO • p. 130 bas d © Gouhier/Hahn/Nebinger/ABACA PRESS/T • p. 131 © Rox Travel/SHUTTERSTOCK • p. 132 ht d © Aapsky/SHUTTERSTOCK • p. 132 ht g © IGN, 2019, autorisation 223094-289210 • p. 132 m d Droits Réservés • p. 132 m g © marinetraffic.com/DR • p. 132 © ESRI/ArcGis/DR • p. 135 ht d © Dmitry Kalinovsky/SHUTTERSTOCK • p. 135 g © Sony Network Communications Inc. • p. 135 m © Scanrail/ADOBE STOCK PHOTO • p. 136 m hd © Poba/GETTY IMAGES/T • p. 136 m d © jani Riekkinen/EyeEm/GETTY IMAGES • p. 136 bas d © Sylvain Thomas/REA • p. 136 © Radarvirtuelcom/DR • p. 137 © Anke Van Wyk/123RF • p. 138 © IGN, 2019, autorisation 2169162-81119 • p. 139 ht g © L. Calçada/ESO • p. 139 ht m © Joe West/SHUTTERSTOCK • p. 139 m g © Master Sgt Lance Cheung, US Air Force/DP • p. 139 m d © USAF/DP • p. 139 ht d © Tecnotr/GETTY IMAGES • p. 140 m g © Laurence Saubadu, Jean-Michel Cornu, Jonathan Walter/AFP • p. 140 © IGN, 2019, autorisation 216877-281095 • p. 141 m d © NASA • p. 141 bas g © Mirelle/SHUTTERSTOCK • p. 141 bas d © Florent Gooden/DPPI MEDIA • p. 142 ht g © Deagreez/ADOBE STOCK PHOTO • p. 142 m bg © David Auduc/PHOTONONSTOP/T • p. 142 m bd © RTimages/SHUTTERSTOCK • p. 142 bas g © 4FR/GETTY IMAGES • p. 142 bas d © Jacob Lund/SHUTTERSTOCK • p. 143 © PAINARA - Créalink • p. 145 bas d © Gouhier/Hahn/Nebinger/ABACA PRESS/T • p. 146 ht g © Pascal POGGI • p. 146 ht d © Gilaxia/GETTY IMAGES • p. 147 ht g © Dimitrina Lavchieva/SHUTTERSTOCK • p. 148 ht g © BIUM/T • p. 148 m g © BIUM/T • p. 148 m d © Joggie Borna/SHUTTERSTOCK/T • p. 148 © Rox Travels/SHUTTERSTOCK • p. 149 ht © Kovankin Sergey/SHUTTERSTOCK • p. 149 m d © Digital First Media RM/GETTY IMAGES • p. 149 bas d © ThNorthcut/Lifesize/GETTY IMAGES/T • p. 150 ht g © Claude Coquilleau/ADOBE STOCK PHOTO • p. 150 bas g Droits Réservés • p. 151 ht d © ESA/P. Carril/Novapix/LEEMAGE • p. 151 m d © E. de Malglaive/GAMMA RAPHO/T • p. 151 bas g © Simon Fraser/SPL/COSMOS • p. 152 g © KHARBINE-TAPABOR • p. 152 m © Elenarts/SHUTTERSTOCK • p. 153 © Mladn61/GETTY IMAGES • p. 154 ht g © François Bouchon/FIGARO PHOTO/T • p. 154 ht d © Sirtravelalot/SHUTTERSTOCK • p. 154 m © Monkey Business/SHUTTERSTOCK • p. 155 ht g © ETH-Bibliothek, ZURICH/Domaine public • p. 155 ht d © ETH-Bibliothek, ZURICH/Domaine public • p. 155 m © DWPhoto/Istock/GETTY IMAGES • p. 157 ht d © Warner Bros ®/Esperanto Filmoj/CHRISTOPHE L COLLECTION • p. 157 g © NASA • p. 157 bas d © ImageFlow/SHUTTERSTOCK • p. 158 ht g © Boris Horvat/AFP/T • p. 158 ht d © Toutenphoton/ADOBE STOCK PHOTO/T • p. 158 bas d © E Kinsman/SPL/COSMOS/T • p. 159 bas d © Asier Romero/SHUTTERSTOCK • p. 159 ht d © DWPhoto/Istock/GETTY IMAGES • p. 160 ht g © BIS / NASA-JPL Coll. Archives Sejer • p. 160 ht m © BIS / NASA Coll. Archives Sejer • p. 160 ht d © BIS / NASA jet propulsion laboratory (NASA-JPL) Coll. Archives Sejer • p. 160 m hd © Ihor1/SHUTTERSTOCK • p. 160 © mRGB/SHUTTERSTOCK • p. 160 © NASA • p. 161 ht g © DWPhoto/Istock/GETTY IMAGES • p. 161 ht d © Ihor1,/SHUTTERSTOCK • p. 161 m d © mRGB/SHUTTERSTOCK • p. 161 bas g © Asier Romero/SHUTTERSTOCK • p. 163 g © Vladimir Salman/SHUTTERSTOCK • p. 163 bas d © LuYago/SHUTTERSTOCK • p. 164 g © WorldHistory/ABACA PRESS • p. 164 ht d © BIS / NASA jet propulsion laboratory (NASA-JPL) Coll. Archives Sejer • p. 165 ht g © ARENA Creative/SHUTTERSTOCK • p. 165 bas g © Ella Hanochi/SHUTTERSTOCK • p. 165 bas d © Wellphoto/SHUTTERSTOCK • p. 166 © NASA • p. 167 ht g © Holbox/SHUTTERSTOCK • p. 167 bas d © JSC/NASA • p. 168 g © BIS/Ph Kerenby • p. 168 d © Inna Jacquemin/DEPOSITPHOTOS • p. 170 g © Coll. Jonas/KHARBINE-TAPABOR • p. 170 ht d © JSC/NASA • p. 170 bas d © Mladn61/GETTY IMAGES • p. 171 ht d © NASA • p. 171 bas d © JSC/NASA • p. 172 m g © National Maritime Museum/LEEMAGE • p. 172 bas g © JSC/NASA • p. 173 m d © Phovoir/DEPOSITPHOTOS • p. 173 bas g © Phovoir/DEPOSITPHOTOS • p. 174 bas g © Johan Swanepoel/ADOBE STOCK PHOTO • p. 175 ht © MAXPPP • p. 175 © Redbull Stratos/SIPA PRESS • p. 176 ht d © 3DMAVR/SHUTTERSTOCK • p. 176 ht g © Gouhier/Hahn/Nebinger/ABACA PRESS/T • p. 177 ht g © DPA/MAXPPP • p. 179 ht g © Sky Antonio/ADOBE STOCK PHOTO • p. 179 m g © NaDi/ADOBE STOCK PHOTO • p. 179 m © Freeefly/ADOBE STOCK PHOTO • p. 180 © Galina Barskaya/ADOBE STOCK PHOTO • p. 181 ht d © Mike & Valerie Mille/ ADOBE STOCK PHOTO • p. 181 bas d © Alessia Puzhausskaite/ADOBE STOCK PHOTO • p. 182 bas d © Brian Erler/The Image Bank/GETTY IMAGES • p. 185 ht g © JPL/NASA • p. 185 bas g © Nerthuz/ADOBE STOCK PHOTO • p. 185 bas d © plprod/ADOBE STOCK PHOTO • p. 186 © minicel73/ADOBE STOCK PHOTO • p. 187 bas d © Alban Pernet/REA • p. 188 © Patrick Piel/GAMMA RAPHO • p. 189 © Mauricio Graiki/SHUTTERSTOCK • p. 190 ht g © Index/LEEMAGE • p. 191 ht g © Ramil Sitdikov/Sputnik/RIA NOVOSTI • p. 192 g © ESA/NASA/AFP • p. 192 bas d © Redbull Stratos/SIPA PRESS • p. 193 © DR • p. 194 © Jean-Marc Favre/Nandystadt/REGARDS DU SPORT • p. 195 ht d © Bruno Levesque/IP3 PRESS • p. 195 m © Caspar Benson/GETTY IMAGES • p. 195 bas g © Image Source/BSIP • p. 196 © Kletr/SHUTTERSTOCK • p. 197 © Goddard Space Flight Center/NASA • p. 198 © German Aerospace Center/DLR • p. 200 bas g © Star Citizen/Droits Réservés • p. 200 bas d © Beth Ruggiero-York/SHUTTERSTOCK • p. 201 © Anna Om/SHUTTERSTOCK • p. 202 © Mffoto/SHUTTERSTOCK • p. 204 ht d © Spencer Grant/GETTY IMAGES • p. 204 g CC Acousticator/Wikimedia • p. 205 © De Visu/SHUTTERSTOCK • p. 206 Pixabay/Domaine public • p. 208 © JRJfin/SHUTTERSTOCK • p. 211 © LUCKY COMICS 2019 • p. 212 © Otnaydur/SHUTTERSTOCK • p. 213 © Andrey Popov/ADOBE STOCK PHOTO • p. 216 ht g © SPL/COSMOS • p. 216 ht g © SPL/COSMOS • p. 216 d © Costa/LEEMAGE • p. 217 © Bruel & Kjaer • p. 218 © Anna Om/SHUTTERSTOCK • p. 219 ht g © J-M Blondeau/UNISCIEL • p. 219 m © CNRI/COSMOS • p. 219 ht d © CNRI/COSMOS • p. 219 bas d © JUKIN MEDIA INC • p. 220 ht d © Billion Photos/SHUTTERSTOCK • p. 220 bas g © Thorsten Malinowski/ADOBE STOCK PHOTO • p. 221 ht © eduMedia • p. 221 m d © Gorodenkoff/SHUTTERSTOCK • p. 221 bas g © Wavebreaks Media/AGE FOTOSTOCK • p. 222 m d © Magann/ADOBE STOCK PHOTO • p. 222 bas d © Technor/GETTY IMAGES • p. 223 © Yahdi Bin Rus/SHUTTERSTOCK • p. 224 © Science Source/PHANIE • p. 225 © M. Thuel • p. 226 © Stéphane Baderot-Jacques • p. 227 © JEULIN Société • p. 228 © Magann/ADOBE STOCK PHOTO • p. 229 © Dorling Kindersley Ltd/Alamy/HEMIS • p. 230 © Jonas Hafner/EyeEm/GETTY IMAGES • p. 233 ht © JP Haignere,1999/CNES DIFFUSION • p. 233 bas d © Franck Chaput/HEMIS • p. 234 ht g © Victoria Kolsova/Istock/GETTY IMAGES • p. 234 ht d © Olga Popova/SHUTTERSTOCK • p. 234 m g © Science Source/PHANIE • p. 234 m d © Didier Salou/ADOBE STOCK PHOTO • p. 235 © Gameover2012/Istock/GETTY IMAGES • p. 236 © UNISCIEL • p. 237 ht © Tyler Olson/SHUTTERSTOCK • p. 237 bas d © Tonkid/SHUTTERSTOCK • p. 239 ht g © Courtoisie de Sen-video.com • p. 239 bas d © Lorenzo Buttitta/ADOBE STOCK PHOTO • p. 240 ht g © Garo/PHANIE • p. 240 bas d © Yahdi Bin Rus/SHUTTERSTOCK • p. 241 © Sunchan/GETTY IMAGES • p. 242 © Robsonphoto/ADOBE STOCK PHOTO • p. 243 ht © Rimon/SHUTTERSTOCK • p. 243 m © Stéphane Audras/REA • p. 243 bas g © Tyler Olson/SHUTTERSTOCK • p. 244 ht g © Silver Tiger/SHUTTERSTOCK • p. 244 ht d © Taffpixture/SHUTTERSTOCK • p. 244 m d © Shenki/Istock/GETTY IMAGES • p. 244 bas g © Science Faction/GETTY IMAGES • p. 245 © Mag_Mac/Istock/GETTY IMAGES • p. 246 m © JEULIN Société • p. 246 d © SPL/COSMOS • p. 247 ht d © SPL/COSMOS • p. 247 m d © Novapix/LEEMAGE • p. 249 ht © Gui00878/GETTY IMAGES • p. 249 m d © Sara Paola Weller/SHUTTERSTOCK • p. 249 bas d © Kenneth Libbrecht/SPL/COSMOS • p. 250 ht © August_0802/SHUTTERSTOCK • p. 250 bas m © EThamPhoto/Alamy/HEMIS • p. 250 bas d CC OOMLOUT/Flickr • p. 251 ht © Thanongsuk Harakuno/SHUTTERSTOCK • p. 251 ht d © Ian Cuming/GETTY IMAGES • p. 251 m d © Sciencephotos/Alamy/HEMIS • p. 252 bas d © Mike Mareen/SHUTTERSTOCK • p. 253 ht g © Princess_Anmitsu/SHUTTERSTOCK • p. 253 d © Raf Lehmann/SHUTTERSTOCK • p. 255 © Eduardo Daforno/INSTITUT POLAIRE FRANCAIS IPEV • p. 256 m © JEULIN Société • p. 256 g © JEULIN Société • p. 257 bas d © Jirsak/SHUTTERSTOCK • p. 261 ht g © ESA, NRAO/ AUI/ NSF and G. Dubner (University of Buenos Aires)/NASA • p. 261 d © JPL-Caltech/NASA • p. 262 ht g © Fotos593/SHUTTERSTOCK • p. 262 bas d © Mag-Mac/Istock/GETTY IMAGES • p. 264 m © JPL-Caltech/University of Arizona/NASA • p. 265 ht © ESO • p. 265 m © ZUMA/Alamy/HEMIS • p. 265 bas g © Patrick Dumas/LOOK AT SCIENCES • p. 268 © Volker Steger/SPL/COSMOS • p. 269 ht d © Dana Kenneth Johnson/DREAMSTIME • p. 282 bas g © Thermosoft/DR • p. 284 © Volker Steger/SPL/COSMOS • p. 287 ht © KTSDesign/SHUTTERSTOCK • p. 287 m © Kurhan/SHUTTERSTOCK • p. 287 bas © Andrey_Popov/SHUTTERSTOCK • p. 288 © Gabriel Barathieu/BIOSPHOTO • p. 289 ht d © Guschenkova/SHUTTERSTOCK • p. 289 m d © Liverani/ANDIA • p. 292 © Nicolas/Tavernier/REA/T • p. 293 © Frédéric Maigrot/REA/T • p. 294 m © Arduino/DR • p. 298 © TEXAS INSTRUMENTS • p. 299 © CASIO • p. 302 ht © Cseh Ioan/Alamy/HEMIS • p. 302 ht g © Vieyra Software • p. 302 m g © Sony Network Communications Inc • p. 302 bas g © Phyphox • p. 315 m g © Andrey Brusov/SHUTTERSTOCK • p. 328 © A and I Kruk/SHUTTERSTOCK.

Photographies non référencées :
Philippe Guignard / Air images-Contreforts Production.

Si malgré nos recherches il nous a été impossible de retrouver les ayants droits d'une image publiée, Sejer/Bordas s'engage à conserver durant trois ans un montant reversable à toute personne apportant la preuve qu'elle est dépositaire des droits usuels de ladite image. Nous nous excusons par avance des erreurs ou omissions involontaires.

Crédits vidéos p. 103 © Iter.org • p. 132 © ESRI • p. 157 © NASA • p. 172 © NASA • p. 241 © UNISCIEL Réalisation : SEMM Service Multimédia de l'université de Lille1- Auteurs : Jean-Marie Blondeau et Bernard Bonnel • p. 247 © Fabien Vol et Virginie Berger.

Remerciements
Les auteurs et les éditions Bordas remercient la société Jeulin pour le prêt de matériel de laboratoire. Ils remercient également Patrice Bousquet, proviseur du lycée Dhuoda à Nîmes, pour son accueil lors de la réalisation des photos d'expérience. David Dubus et Magali Luminati Laprerie sont remerciés pour leur précieuse collaboration.

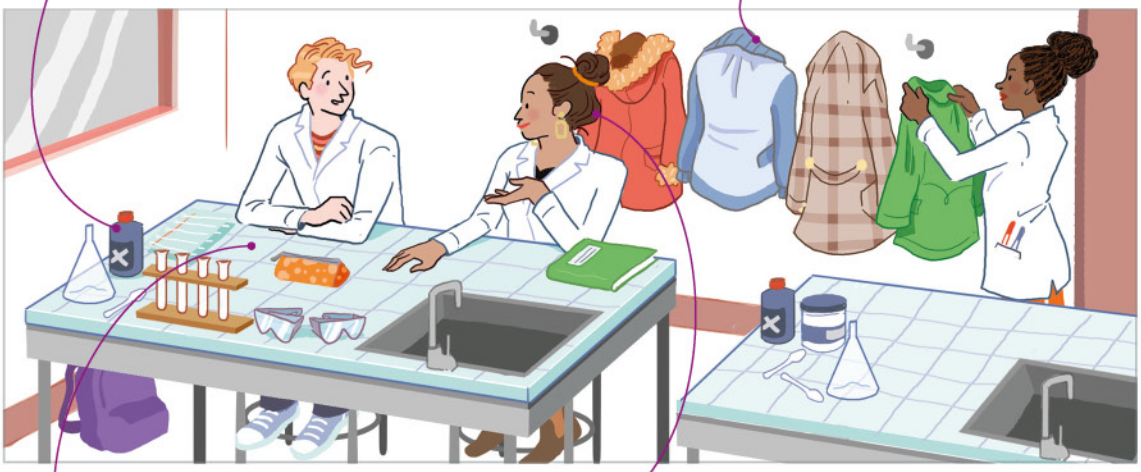
Direction éditoriale : Julien Barret
Responsable éditoriale : Christelle Lequesne
Édition : Souraya Maniouloux, Nathalie Brousse et Alexandre Sredojevic
Assistante d'édition : Régine Becker
Compogravure et schémas : STDI
Illustrations : Virginie Vidal

Conception graphique : Frédéric Jély et Delphine Guéchot
Iconographie : Nathalie Lasserre
Recherche des vidéos : Chloé Williamson
Coordination artistique : Pierre Taillemite
Fabrication : Jean-Philippe Dore
Couverture : Yann Collin

Se préparer à l'activité expérimentale

J'attends les indications du professeur
avant de toucher au matériel. Le matériel et les produits peuvent être fragiles ou dangereux.

Je protège les affaires.
Les affaires personnelles inutiles comme les blousons sont éloignées.



Je fais de la place.
Je dégage la paillasse pour pouvoir manipuler. Je range les sacs dessous pour ne pas gêner la circulation.

Je me protège.
Les cheveux longs sont attachés, les chaussures sont bien fermées. Je porte une blouse fermée en coton si le professeur l'estime nécessaire.

Les pictogrammes de sécurité

ANIMATION Pictogrammes de sécurité en chimie

Les 9 pictogrammes de sécurité en chimie permettent de connaître les risques des produits.



Corrosif
Peut provoquer brûlures de la peau et lésions oculaires



Nocif ou irritant
au contact de la peau, par ingestion ou inhalation



Toxique
au contact de la peau, par ingestion ou inhalation



Danger pour la santé
(cancérogène, mutagène...)



Inflammable



Comburant
Peut provoquer ou aggraver un incendie



Gaz sous pression
Peut exploser et provoquer des brûlures



Explosif



Dangereux
pour l'environnement

Il existe aussi des pictogrammes en physique



Attention ! Laser
Une exposition directe peut entraîner des lésions de la rétine

N TOUTE SÉCURITÉ

endant l'activité expérimentale

Je reste calme et attentif aux éventuelles indications données par le professeur.

Je porte les lunettes et/ou les gants de protection distribués par le professeur chaque fois que cela est nécessaire.



e signale out incident u professeur ris de verre, ontact avec n produit angereux...).

Je respecte le matériel.
Je manipule calmement et proprement.

Je manipule debout.
Je ne me déplace que sur autorisation du professeur.

e que je ne dois surtout pas faire !



Gaspiller inutilement les produits mis à disposition.



Goûter les produits (certains sont toxiques).



Sentir les produits (certains sont toxiques par inhalation).



Aspirer un liquide à la bouche (certains sont toxiques).



Diriger un tube à essais que l'on chauffe vers quelqu'un.



Agiter les tubes à essais en les bouchant avec les doigts.

A la fin de l'activité expérimentale

- Je suis les consignes du professeur pour me débarrasser des produits usagés.
- J'éteins les appareils électriques.
- Je range ma paillasse et le matériel utilisé.
- Je fais la vaisselle (si autorisation du professeur) en évitant toute projection.
- Je nettoie la paillasse.
- Je me lave les mains.

LES RELATIONS UTILES

Masse volumique

masse volumique (en **kg · m⁻³**) → $\rho = \frac{m}{V}$ ← masse de l'échantillon (en **kg**) ; ← volume de l'échantillon (en **m³**)

Concentration en masse

concentration en masse de soluté (en **g · L⁻¹**) → $c_m = \frac{m}{V}$ ← masse de soluté (en **g**) ; ← volume de la solution (en **L**)

Quantité de matière

quantité de matière (en **mol**) → $n = \frac{N}{N_A}$ ← nombre d'entités chimiques (**sans unité**) ; ← constante d'Avogadro (en **mol⁻¹**)

Transfert thermique

masse d'espèce chimique ayant changé d'état (en **kg**) → $Q = m \cdot L$ ← énergie massique de changement d'état (en **J · kg⁻¹**) ; ← transfert thermique mis en jeu lors du changement d'état (en **J**)

Vecteur vitesse

vecteur vitesse (en **m · s⁻¹**) → $\vec{v} = \frac{\overrightarrow{MM'}}{\Delta t}$ ← vecteur déplacement (en **m**) ; ← durée du parcours (en **s**)

Force d'interaction gravitationnelle

expressions vectorielles des forces modélisant l'interaction entre A et B (valeur de *F* en **N**)

masses de A et B (en **kg**)

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \cdot \vec{u}_{BA}$$

constante de gravitation universelle ($G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ **N · m² · kg⁻²**)

distance entre les centres de A et B (en **m**)

vecteur unitaire porté par la droite (AB), orienté de B vers A

Poids

expression vectorielle du poids d'un système (valeur de *P* en **N**) → $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$ ← masse du système (en **kg**) ; ← champ de pesanteur $\vec{g}$ (valeur de l'intensité de pesanteur *g* en **N · kg⁻¹**)

Fréquence d'un signal

fréquence (en **Hz**) → $f = \frac{1}{T}$ ← période (en **s**)

Vitesse de propagation d'un signal

vitesse de propagation du signal (en **m · s⁻¹**) → $v = \frac{d}{\Delta t}$ ← distance parcourue par le signal (en **m**) ; ← durée de propagation du signal (en **s**)

Loi de la réfraction de Snell-Descartes

indice du milieu 1 (**sans unité**) ; indice du milieu 2 (**sans unité**)

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

angle d'incidence (en °) ; angle de réflexion (en °)

Loi de la réflexion de Snell-Descartes

angle d'incidence (en °) → $i_1 = r$ ← angle de réflexion (en °)

Loi d'Ohm

résistance (en Ω)

tension (en **V**) → $U = R \cdot I$ ← intensité (en **A**)

Grandissement par une lentille

$\gamma = \frac{A'B'}{AB}$ ← taille de l'image de l'objet (en **m**) ; ← taille de l'objet (en **m**)

grandissement (**sans unité**)

CONVERSIONS D'UNITÉS

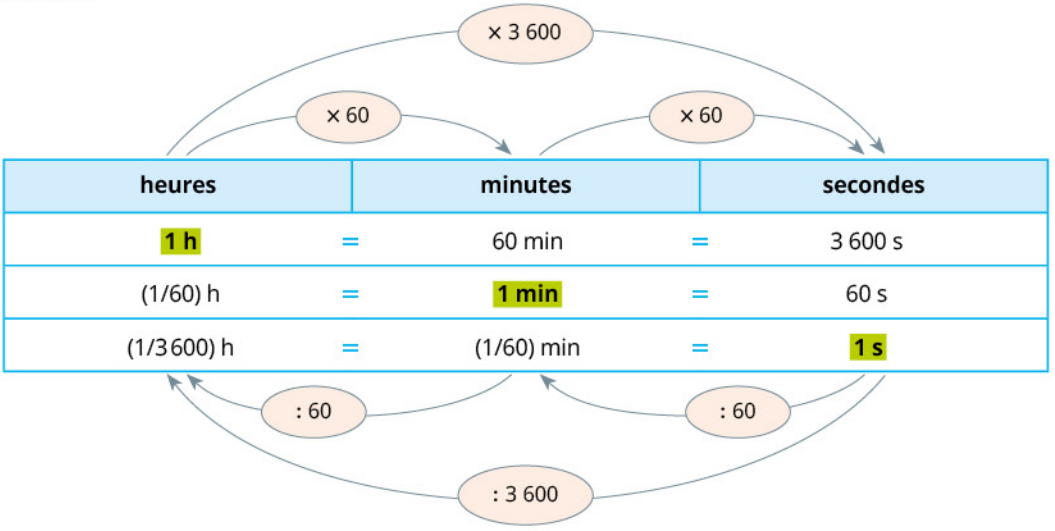
ANIMATION Conversions d'unités

Volumes

mètre cube			décimètre cube			centimètre cube			millimètre cube		
m^3			dm^3			cm^3			mm^3		
100	10	1	100	10	1	100	10	1	100	10	1
								1 000 mm^3	100 mm^3	10 mm^3	**1 mm^3**
					1 000 cm^3	100 cm^3	10 cm^3	**1 cm^3**	0,1 cm^3	0,01 cm^3	0,001 cm^3
		1 000 dm^3	100 dm^3	10 dm^3	**1 dm^3**	0,1 dm^3	0,01 dm^3	0,001 dm^3			
100 m^3	10 m^3	**1 m^3**	0,1 m^3	0,01 m^3	0,001 m^3						

			hectolitre	décalitre	litre	décilitre	centilitre	millilitre			
			hL	daL	L	dL	cL	mL			
			100 L	10 L	**1 L**	0,1 L	0,01 L	0,001 L			

Durées



heures		minutes		secondes
1 h	=	60 min	=	3 600 s
(1/60) h	=	**1 min**	=	60 s
(1/3 600) h	=	(1/60) min	=	**1 s**

Vitesses

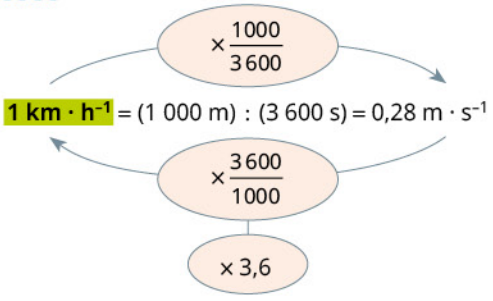
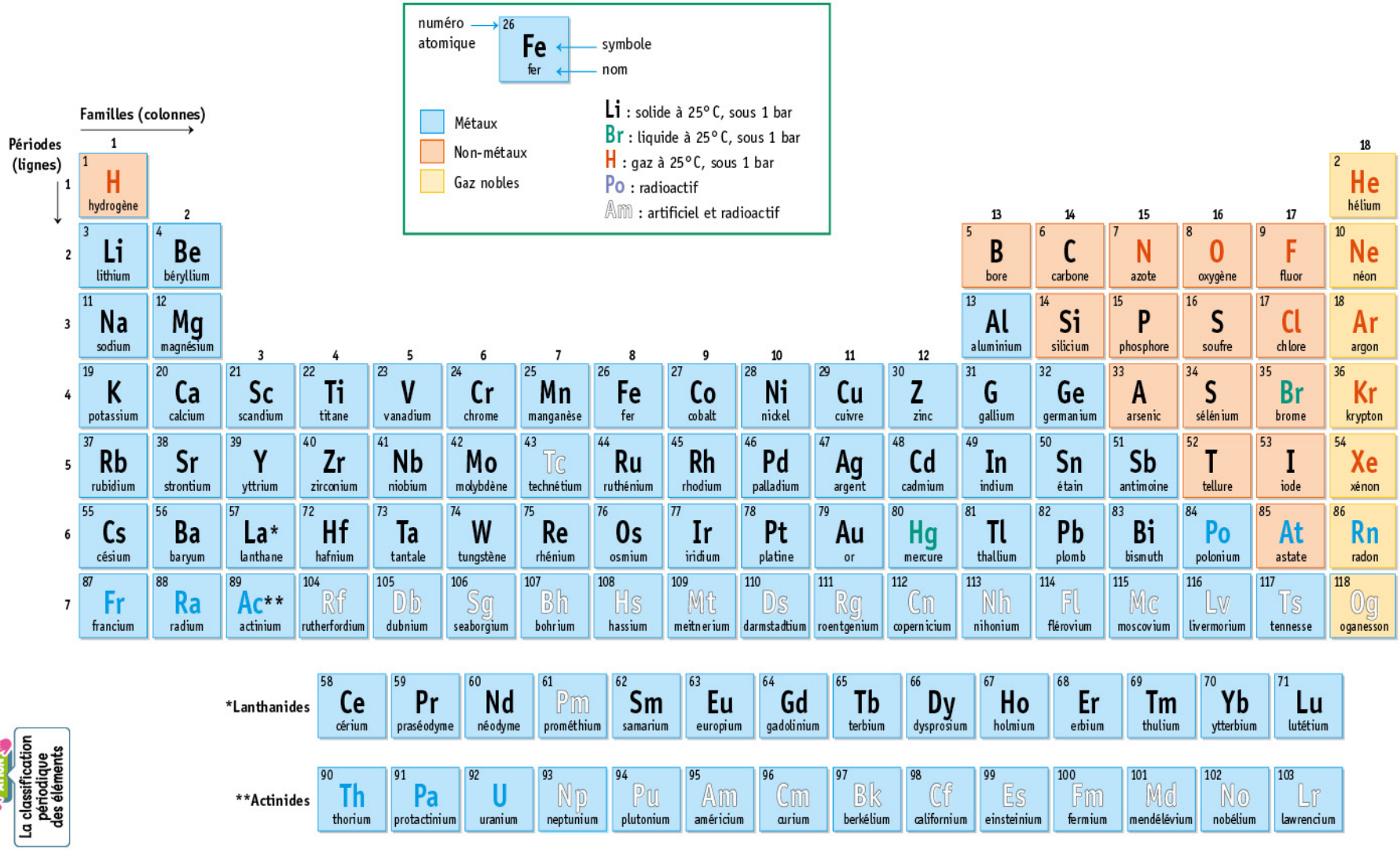


TABLEAU PÉRIODIQUE



ANIMATION La classification périodique des éléments

PAGE Flashable

POUR RÉVISER ET VOUS ENTRAÎNER, DANS VOTRE MANUEL

- Les **révisions** indispensables en début de chaque chapitre
- Un **cours** complet et une **fiche de cours**
- Des exercices avec **conseils de résolution** ; des QCM et des **exercices corrigés** signalés
- De nombreuses **fiches pratiques** et de **méthode**

Découvrez également des **métiers** et des **applications des sciences** dans chaque chapitre !

bordas Flash PAGE

CE MANUEL EST AUGMENTÉ :
une application gratuite, pour un accès facile et rapide aux ressources numériques du manuel papier !

• Les cours en podcast • Des animations • Des vidéos • Des QCM interactifs • Les corrections détaillées des exercices corrigés du manuel • Des fichiers Arduino et Python

Si vous n'avez pas de smartphone, certaines de ces ressources sont disponibles sur le **site élève** lycee.editions-bordas.fr



ET POUR ALLÉGER VOTRE SAC, CE MANUEL EXISTE AU FORMAT NUMÉRIQUE !

Pour en savoir plus, **editions-bordas.fr**

Pour vous entraîner et réviser à la maison

Le Tout en un : toutes les matières en un seul ouvrage



ISBN 978-2-04-733678-6

9 782047 336786

bordas éditeur

FSC www.fsc.org MIXTE Papier issu de sources responsables FSC® C022030

Bordas est un éditeur qui s'engage pour la préservation de l'environnement et qui utilise du papier fabriqué à partir de bois provenant de forêts gérées de manière responsable.