

Collection

SIRIUS



2^{de}

ÉDITION 2014

Physique Chimie

**Livre
du professeur**

 Nathan

Schémas : Laurent Blondel (CORÉDOC)
Composition, mise en page : Linéale

Sommaire

LA SANTÉ

1. Extraction et séparation d'espèces chimiques	5
2. Principe actif, formulation, identification	9
3. Synthèse d'espèces chimiques	13
4. Signaux périodiques	19
5. Ondes et imagerie médicale	23
6. Solutions et concentration massique	31
7. La mole et la concentration molaire	39

L'UNIVERS

1. Description de l'Univers	47
2. Dispersion et réfraction de la lumière	53
3. Les spectres lumineux	59
4. Un modèle de l'atome	67
5. L'élément chimique	75
6. La classification périodique des éléments	83
7. Mouvements et forces	89
8. La gravitation universelle	97

LE SPORT

1. Mouvement et inertie	107
2. La réaction chimique	113
3. Les molécules : formules et groupes caractéristiques	117
4. Pression des gaz et sport en altitude	125
5. Pression dans les liquides et sport de plongée	131

Extraction et séparation d'espèces chimiques

> Manuel pages 14 à 29

Choix pédagogiques

Ce chapitre poursuit deux objectifs principaux :

- revoir et compléter une partie des caractéristiques physiques d'une espèce chimique ;
- utiliser ces caractéristiques (dans les activités pratiques et dans les exercices) pour réaliser et/ou expliquer une extraction d'espèce chimique.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Pharmacopée traditionnelle chinoise.

Les médicaments sont-ils des corps purs ou des mélanges ?

Cette première photo et cette question permettent d'abord de réactiver les connaissances des élèves sur les notions de corps purs et de mélanges (vues au collège), et de les questionner sur les médicaments, qui sont souvent pour eux des corps purs.

Le coquelicot contient de la papavérine, un antispasmodique (permet de lutter contre les spasmes musculaires).

Comment extraire l'espèce chimique à la vertu médicinale ?

Les élèves connaissent souvent des pratiques usuelles d'extraction ; cette photo et cette question permettent de faire un tour d'horizon de leurs connaissances et de mettre en place le vocabulaire scientifique approprié.

Vidéo Débat : Tour de neuf liquides de densités différentes.

Comment expliquer la position de ces différents liquides et objets ?

La vidéo et la question doivent orienter les élèves sur la densité et la notion de miscibilité (vues partiellement au collège) et sur la comparaison des valeurs de densité pour expliquer la place relative des liquides et objets.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

La nature inspire les hommes

Commentaires

La compétence attendue illustrée ici est « Extraire et exploiter des informations concernant la nature des espèces chimiques citées dans des contextes variés ».

Les contextes variés nous permettent de prendre des exemples dans le domaine de la santé (le thème) mais aussi dans des domaines culinaire ou artistique. L'activité permet aussi d'ouvrir sur un prochain chapitre : la synthèse d'une espèce chimique.

Réponses

1. ANALYSER

Objet naturel	Espèce chimique	Objet manufacturé
Lapis-lazuli	Lazurite	Tube de peinture
Écorce de quinquina	Quinine	Quinimax
Gousses de vanille	Vanilline	Glace
Porc	Insuline	Nécessaire à injection pour les diabétiques

2. VALIDER

L'écorce était broyée et mélangée à un liquide (extraction). *D'autres réponses sont envisageables.*

3. COMMUNIQUER

Techniques à illustrer : infusion, décoction, expression, macération, enfleurage...

4. VALIDER

Le chimiste a isolé et identifié l'espèce chimique qui permettait de soulager les malades. Il l'a ensuite copiée et parfois améliorée (synthèse).

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Caractériser une espèce chimique

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Extraction du diiode d'un antiseptique

Commentaires

Les compétences attendues sont des compétences expérimentales. L'activité doit permettre à l'élève d'utiliser ses connaissances sur les caractéristiques physiques d'une espèce chimique et de manipuler dans les conditions de sécurité les solvants organiques et l'ampoule à décanter.

Réponses

1. S'APPROPRIER

Dans le premier cas, on observe une phase, dans le second deux phases.

2. ANALYSER

L'eau est miscible avec l'éthanol et non miscible avec le cyclohexane. Le liquide dont la densité est la plus grande constitue la phase inférieure : l'eau a une densité plus grande que le cyclohexane, elle est donc dans la partie inférieure.

Pour confirmer, on peut ajouter de l'eau et on regarde quelle phase augmente de volume.

3. RÉALISER

Réalisation des expériences proposées.

4. ANALYSER

Avant agitation, la phase inférieure est orange, elle contient l'eau et le diiode, elle est qualifiée d'aqueuse. La phase supérieure est incolore, elle contient le cyclohexane, elle est qualifiée d'organique (position respective des phases vue à la question 2).

Après agitation, la phase inférieure est orange claire voire incolore, elle contient de l'eau et un peu de diiode. La phase supérieure est rose, elle contient le cyclohexane et le diiode. Le diiode est donc plus soluble dans le cyclohexane que dans l'eau.

5. VALIDER

Un solvant extracteur ne doit pas être miscible avec le solvant initial et l'espèce à extraire doit être plus soluble dans le solvant extracteur que dans le solvant initial.

4. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Extraction d'un acide gras

Commentaires

Les compétences attendues sont des compétences expérimentales. L'activité doit permettre à l'élève d'utiliser ses connaissances sur les caractéristiques physiques d'une espèce chimique et de manipuler dans les conditions de sécurité les solvants organiques et un appareil de chauffage. L'identification de la trimyristine peut être faite dans une activité expérimentale ultérieure, la température de fusion est 56-57 °C.

Réponses

1. S'APPROPRIER

À la lecture des pictogrammes de sécurité, l'expérimentateur doit manipuler avec une blouse, des gants, des lunettes et sous la hotte.

2. RÉALISER

Réalisation des expériences proposées.

3. S'APPROPRIER

a. phrase 2.a.

b. phrase 2.b.

4. ANALYSER

On chauffe pour favoriser l'extraction. La trimyristine est plus soluble dans le cyclohexane que dans l'eau.

5. COMMUNIQUER

À l'étape a, la trimyristine est présente dans la noix de muscade, donc dans un mélange. Puis elle est extraite grâce au cyclohexane. À la fin de l'étape b, elle est toujours dans un mélange car il y a du cyclohexane dans le filtrat. Une fois celui-ci éliminé (fin de l'étape c), la trimyristine devrait être un corps pur.

EXERCICES Appliquer le cours

Espèces chimiques, corps purs et mélanges

(§1 du cours)

17. Extraire des informations

a. Une espèce naturelle est issue de la nature : acide salicylique.

b. Une espèce synthétique est produite par l'homme : acide salicylique et l'aspirine.

18. Caractériser une espèce chimique

a. La crème est constituée de plusieurs espèces chimiques : c'est un mélange.

b. Exemples d'espèces chimiques : eau, alcool cétylique ou alcool stéarylique.

Caractéristiques physiques d'une espèce chimique

(§2 du cours)

19. Exploiter des informations

On peut dissoudre au maximum 700 g de glucose dans un litre de solution.

On peut dissoudre au maximum $700 \times 2 = 1,40 \times 10^3$ g de glucose dans deux litres de solution.

20. Utiliser des unités

$$\text{a. } \rho_{\text{acétone}} = \frac{m_{\text{acétone}}}{V_{\text{acétone}}}$$

$$\text{b. } \rho_{\text{acétone}} = \frac{31,6}{40,0} = 0,790 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

c. $\rho_{\text{acétone}} = 0,790 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 0,790 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

d. $m_{\text{acétone}} = \rho_{\text{acétone}} \times V_{\text{acétone}} = 0,790 \times 500 = 395 \text{ g}$

21. Utiliser les unités

$$V_{\text{toluène}} = \frac{m_{\text{toluène}}}{d_{\text{toluène}} \times \rho_{\text{eau}}} = \frac{50 \times 10^{-3}}{1,0 \times 0,87} = 5,7 \times 10^{-2} \text{ L} = 57 \text{ mL}$$

22. Analyser une expérience

On observe deux phases donc les liquides ne sont pas miscibles.

Lorsqu'on ajoute de l'eau, la phase inférieure augmente donc la densité de l'eau est supérieure à celle de l'heptane.

I Extraction et séparation (§3 du cours)

23. Connaître les règles de sécurité

a. pictogramme 1 : toxique

pictogramme 2 : dangereux pour l'environnement

b. Manipuler avec blouse, gants, lunettes, sous la hotte et ne pas jeter ce produit à l'évier.

24. Argumenter

On peut utiliser l'éther pour extraire l'acide benzoïque car l'eau et l'éther ne sont pas miscibles. Et l'acide benzoïque est plus soluble dans l'éther que dans l'eau.

25. Choisir un solvant extracteur

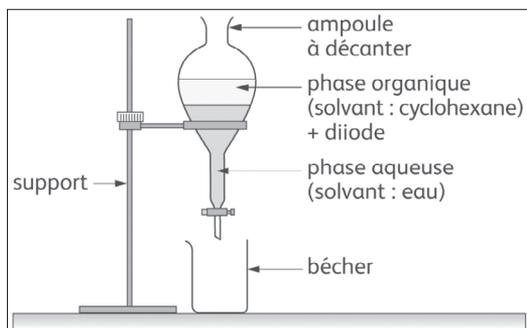
Le solvant extracteur ne doit pas être miscible avec le solvant initial : donc on choisit le toluène.

De plus l'espèce à extraire doit être plus soluble dans le solvant extracteur que dans le solvant initial ; ici la menthone est plus soluble dans le toluène que dans l'eau.

26. Réaliser un schéma

a. Le diiode est plus soluble dans le cyclohexane que dans l'eau. Donc après agitation, le diiode se trouve dans la phase organique.

b. Schéma :



c. Pour récupérer le diiode, il faut éliminer la phase inférieure, récupérer la phase supérieure et éliminer le cyclohexane.

27. Savoir utiliser une ampoule à décanter

a. Il faut agiter vigoureusement l'ampoule à décanter pour permettre l'extraction de l'espèce chimique.

b. Il faut laisser reposer pour avoir séparation des phases.

c. Il faut enlever le bouchon pour ne pas avoir de phénomène de surpression et pour faire couler la phase désirée.

EXERCICES S'entraîner

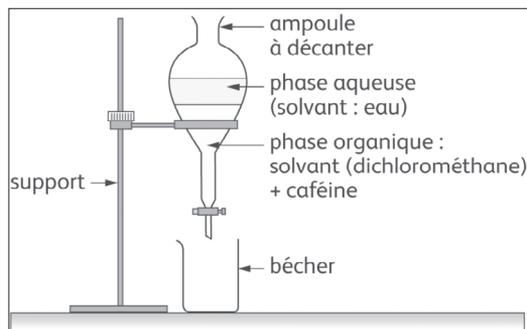
29. Extraction de la caféine

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, restituer.

a. On utilise comme solvant extracteur le dichlorométhane car ce dernier n'est pas miscible avec l'eau et la caféine est plus soluble dans le dichlorométhane que dans l'eau.

b. La densité du dichlorométhane est supérieure à celle de l'eau. La phase organique constitue la phase inférieure.

c. Schéma :



d. On récupère la phase inférieure et on élimine le dichlorométhane.

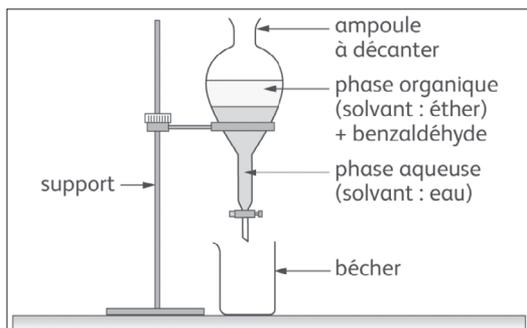
30. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, restituer.

a. Le benzaldéhyde est présent au départ dans l'eau, il doit être plus soluble dans le solvant extracteur (différent de l'eau), on peut choisir soit l'éthanol soit l'éther.

b. On choisit comme solvant extracteur celui qui n'est pas miscible avec l'eau : l'éther.

c. Schéma :



31. Extraction du limonène

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

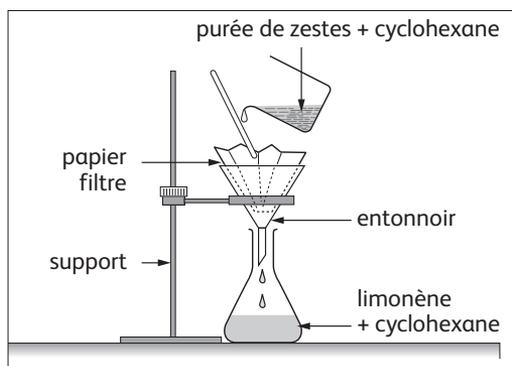
a. Le limonène est une espèce chimique de formule brute $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$; c'est un corps pur.

b. Le limonène est très soluble dans le cyclohexane (solvant extracteur).

c. La macération est l'étape d'extraction.

d. La filtration est l'étape de séparation.

e. Schéma :



32. In English Please

> COMPÉTENCES : Analyser, valider.

a. Liste du matériel de filtration 1 : béciers, baguette de verre, papier filtre, entonnoir, support.

Liste du matériel de filtration 2 : support, büchner + fiole à vide, papier filtre.

b. La première filtration nécessite du matériel simple mais la seconde filtration est souvent plus rapide et plus efficace.

33. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

★ L'estragol

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser.

a. Le solvant extracteur ne doit pas être miscible avec le solvant initial (eau) et l'estragol doit être plus soluble dans le solvant extracteur que dans l'eau. Ces critères permettent d'éliminer l'éthanol. Le cyclohexane et le dichlorométhane conviennent, mais en étudiant les fiches de données sécurité, on choisit le cyclohexane, le dichlorométhane étant un produit CMR.

Protocole : introduire 30 mL de distillat dans une ampoule à décanter et ajouter, en respectant les conditions de sécurité, 10 mL de cyclohexane prélevés avec une éprouvette graduée.

Agiter, dégazer et laisser reposer. Éliminer la phase aqueuse (inférieure) et récupérer la phase organique contenant du cyclohexane et de l'estragol.

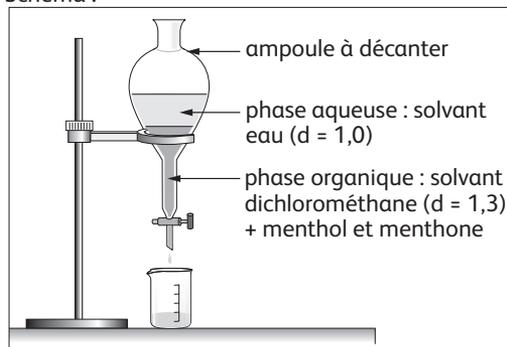
b. On peut éliminer le cyclohexane grâce à l'évaporateur rotatif, en chauffant et en ajustant la pression de façon à permettre l'ébullition à environ 40 °C.

34. ★ Hydrodistillation

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

a. Dans le réfrigérant, les vapeurs obtenues lors du chauffage passent à l'état liquide. On récupère ainsi le distillat.

b. Schéma :



c. Il faut récupérer la phase inférieure qui contient les espèces extraites.

35. RÉOLUTION DE PROBLÈME

★★ Solubilité de l'acide benzoïque

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser.

La solution saturée à 60 °C contient 15 g d'acide benzoïque. En abaissant la température à 35 °C, elle ne solubilise plus que 5 g d'acide benzoïque. Il y a donc 10 g qui se solidifient. Il suffit alors de filtrer le milieu et d'essorer le solide.

36. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

★ Le CO₂ supercritique

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

Éléments de correction :

- solvant non inflammable ;
- les conditions douces de température et de pression ;
- variation de la solubilité des espèces chimiques à extraire en jouant sur la densité du solvant, donc sur la température et la pression mais sur des plages très faibles ;
- facilité d'élimination du solvant ;
- solvant propre qui est un atout dans le cadre de la chimie verte.

37. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

Le parfum

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, communiquer.

L'enfleurage à chaud consiste à faire extraire les espèces odorantes grâce à des matières grasses, huiles ou graisses, préalablement chauffées. Les mélanges obtenus sont ensuite filtrés à travers des tissus afin d'obtenir des onguents parfumés. Le lavage mécanique à l'alcool de ces pommades parfumées permet ainsi de produire un extrait alcoolique parfumé.

Les fleurs les plus fragiles, comme le jasmin, ne supportent pas d'être chauffées, on utilise la technique de l'enfleurage à froid qui consiste à étaler une couche de graisse inodore sur les parois d'un châssis en verre que l'on recouvre ensuite de fleurs. Ces fleurs sont renouvelées jusqu'à ce que la graisse soit saturée de parfum. Traitées à l'alcool pour les décharger de leur graisse, ces pommades permettent d'obtenir après évaporation une absolue.

Principe actif, formulation, identification

> Manuel pages 30 à 45

Choix pédagogiques

Ce chapitre, s'articulant autour des médicaments, s'inscrit naturellement dans le thème de la Santé. Il met en place la notion de principe actif et d'excipient. Ensuite l'identification d'espèces chimiques est abordée dans le cadre défini par le chapitre en interprétant les informations provenant des notices puis en introduisant la technique de la chromatographie sur couche mince. Une autre caractéristique physique permet d'identifier une espèce chimique : les températures de changement d'état.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Les médicaments peuvent se présenter sous différentes formes.

Pour traiter un même symptôme, le mode d'administration du médicament est-il toujours le même ?

Ce questionnement fait appel aux connaissances acquises au chapitre précédent (les médicaments sont des mélanges). Mais surtout, il se positionne dans la vie courante.

La photo permet de discuter des différentes formes sous lesquelles peuvent se présenter les médicaments (on peut aussi envisager une *brainstorming* sur les différentes formes rencontrées par les élèves).

En recentrant sur un même symptôme (maux de tête par exemple), faire apparaître la notion de principe actif, soit en discutant sur les noms de médicaments (paracétamol, doliprane[®], etc.), soit en repartant sur la notion de mélanges et de formulation des médicaments.

Dessin humoristique mettant en évidence les craintes qu'inspirent les médicaments génériques.

Qu'est-ce qu'un médicament générique ?

La notion de principe actif (espèce chimique active) doit être mise en évidence. À partir de cette notion, en complétant avec les notices de médicaments ou avec l'expérience de la vie courante des élèves, une définition du médicament générique peut être donnée.

Il est important de faire réagir les élèves sur le dessin, pour faire ressortir les craintes des gens vis-à-vis des médicaments génériques. Il faut souligner les avantages de ce type de médicaments d'un point de vue économique et le devoir des pharmaciens de proposer un médicament générique.

Vidéo Débat : Inscription noire sur tissu blanc.

Pourquoi peut-on dire que l'inscription sur tissu blanc a été réalisée avec deux feutres noirs différents ?

Cette vidéo permet d'aborder la notion de chromatographie. L'observation du résultat final permet de montrer que cette technique permet de séparer certaines espèces chimiques contenues dans un mélange (ici l'encre du feutre).

On peut aussi se poser les questions du support (existe-t-il d'autres types de support ?), l'éluant (nature de l'éluant ? Quelles propriétés chimiques doit-il posséder ?)

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Un symptôme, plusieurs médicaments

Commentaires

Les compétences attendues illustrées ici sont : « Interpréter des informations provenant d'étiquettes » et « Analyser la formulation d'un médicament ».

La situation déclenchante est tirée de la vie courante et montre qu'il est nécessaire de lire les notices de médicaments avant toute prise. Un médicament contient au moins une substance active et peut engendrer des effets indésirables.

Réponses

1. S'APPROPRIER

a. Les trois médicaments présentés sont indiqués pour le traitement des douleurs et fièvres (maux de tête, états grippaux).

b. La substance active est :

- pour l'Advilcaps : l'ibuprofène ;
- pour le Doliprane[®] : le paracétamol ;
- pour le Paracétamol Biogaran[®] : le paracétamol.

2. ANALYSER

a. On peut substituer à un médicament un autre qui possède le même principe actif. Ici le Doliprane[®] peut être remplacé par le Paracétamol Biogaran[®].

b. On peut faire la liste des excipients pour chaque médicament. Ce qu'il faut remarquer, c'est que les excipients sont différents et dépendent de la formulation du médicament proposé.

c. Rubriques que l'on retrouve systématiquement sur les notices de médicaments : composition, indications thérapeutiques (contre-indications, mises en garde spéciales, excipients à effet notoire, précautions d'emploi, interactions médicamenteuses, grossesse-allaitement), comment utiliser le médicament (posologie, mode et voie d'administration, fréquence et moment d'administration, conduite à tenir en cas de surdosage), effets indésirables, conservation.

Remarque : le site www.sante.gouv.fr, dans l'onglet dossier à la lettre M pour la rubrique médicaments, met en ligne les notices complètes des médicaments.

d. Les médicaments qui peuvent être prescrits à une femme enceinte sont les deux qui contiennent comme principe actif du paracétamol.

e. Il faut toujours lire la notice d'un médicament avant de le prendre.

3. COMMUNIQUER

Le dialogue devra comporter une dizaine de lignes, débiter et se terminer par des formules de politesse classiques. Mélanie devra préciser ses symptômes, et sa grossesse (pas forcément détectable au premier coup d'œil !) devra être évoquée dans l'échange.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Absorption de l'aspirine

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site : www.nathan.fr/sirius2014.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Identification de différentes espèces

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site : www.nathan.fr/sirius2014.

4. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Identification de principes actifs

Commentaires

Cette activité expérimentale illustre la compétence « Réaliser et interpréter une chromatographie sur couche mince ». C'est la première fois que les élèves sont amenés à utiliser cette technique très fréquente en chimie. La réalisation d'une chromatographie sur couche mince devra suivre pas à pas la fiche méthode pour la réalisation du chromatogramme (p. 336).

La chromatographie sur couche mince est ici mise à profit pour identifier deux principes actifs de médicaments différents. La technique expérimentale proposée ici permet de valider des informations présentes sur la notice du médicament considéré.

Réponses

1. S'APPROPRIER

a. La lecture de la notice du médicament claradol® 500 mg caféine permet de dire que celui-ci contient deux principes actifs distincts : le paracétamol et la caféine. Le médicament paracétamol 500 mg est un médicament générique. Le nom du médicament précise le principe actif : ici donc le paracétamol.

b. On lit les excipients sur la notice.

2. RÉALISER

Les solutions sont réalisées après broyage des médicaments et mise en solution dans l'eau (solution à saturation dans l'eau).

La réalisation des différentes étapes de la chromatographie sur couche mince doit se faire avec la fiche méthode 7 page 336. La révélation du chromatogramme se fait sous lampe UV. Il est nécessaire de marquer au crayon noir les taches observées sous la lampe UV pour exploiter plus facilement le résultat.

3. S'APPROPRIER

Le document 3 est un chromatogramme révélé avec dans l'ordre des dépôts : solutions P, M et C.

On observe une seule tache pour les solutions P et C, et deux taches pour la solution M.

4. VALIDER

a. La caféine est une espèce chimique pure. La solution aqueuse C ne contient qu'une espèce chimique. On obtient une tache sur le chromatogramme.

Le médicament Paracétamol 500 mg est un mélange d'espèces chimiques (un principe actif et des excipients). Ce n'est pas une espèce chimique pure. Par contre, la solution aqueuse P de ce médicament ne fait apparaître qu'une seule tache, ce qui signifie que seule une espèce chimique est révélée sur le chromatogramme. En supposant que les conditions opératoires sont optimisées pour répondre à la question posée, *a priori*, la tache observée est attribuable au seul principe actif le paracétamol. Les excipients ne sont pas solubles en solution aqueuse.

Le médicament claradol® 500 mg caféine est un mélange d'espèces chimiques (deux principes actifs et des excipients). On observe deux taches sur le chromatogramme, donc le médicament contient au moins deux espèces chimiques distinctes.

b. Par comparaison de la position des taches, on peut dire que le médicament claradol® 500 mg caféine contient à la fois du paracétamol et de la caféine.

c. Le résultat trouvé est conforme à la notice. Les deux principes actifs ont été identifiés.

EXERCICES Appliquer le cours

I Médicaments (§1 du cours)

17. Remplacer un principe

L'antibiotique Augmentin® contient deux principes actifs : l'amoxicilline et l'acide clavulanique. On peut donc le remplacer par le médicament générique : amoxicilline-acide clavulanique Ratio® qui contient les mêmes principes actifs.

18. Identifier la forme galénique

Sirop, pommade, suppositoire, gélule, poudre, solution buvable (ampoule).

19. Lire une notice

- Ce médicament est préconisé dans le cadre de traitements de verrues.
- Ce médicament est une solution à appliquer directement sur les verrues.
- Il y a deux principes actifs : l'acide salicylique et l'acide lactique.
- Un excipient : le collodion.
- q.s.p : quantité suffisante pour.

II Identification d'espèces chimiques (§2 du cours)

20. Déterminer l'état physique d'une espèce chimique

- La température ambiante (25 °C) est comprise entre la température de fusion (-116 °C) et la température d'ébullition (34 °C). L'éther diéthylique est donc sous forme liquide à 25 °C.
- L'éther diéthylique doit être utilisé à l'hôpital sous forme liquide. Si la température ambiante est de 40 °C (supérieure à la température d'ébullition), l'espèce chimique est sous forme gazeuse et ne peut donc pas être utilisée à l'hôpital.

21. Exploiter un chromatogramme

- L'extrait (E) est un mélange car on voit deux taches sur le chromatogramme. Il contient au moins deux espèces chimiques.
- On compare la position des taches obtenues pour (E) avec la position de la tache obtenue pour l'espèce chimique naringine pure. L'extrait (E) contient donc de la naringine.

22. Schématiser une CCM

Schéma à reproduire :

- ligne de dépôt ; 2. cuve ; 3. plaque : phase fixe ; 4. dépôts ; 5. éluant.

Réaliser un schéma en cours d'éluion avec front de l'éluant.

23. Identifier un solide

- On mesure une température de fusion grâce à un banc Köfler.

b. La température de fusion est caractéristique d'une espèce chimique pure. Expérimentalement, on trouve : $T_{\text{fus mesurée}} = 56 \text{ °C}$ à comparer à la valeur pour la trimyristine pure (57 °C). L'écart de température obtenu est contenu dans l'erreur expérimentale : le but de l'activité expérimentale est atteint. On a bien extrait la trimyristine de la noix de muscade.

EXERCICES S'entraîner

25. Un médicament : le Fervex®

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, restituer.

- Ce médicament contient trois substances actives : paracétamol, vitamine C, maléate de phéniramine.
- Un excipient à effet notoire : aspartame. Mais il y a d'autres excipients. Pour les connaître, il faut lire la notice complète.
- Formulation du médicament : poudre présentée en sachet.
- Ce médicament est préconisé pour le traitement des rhumes, rhinites, rhinopharyngites et des états grippaux de l'adulte.
- Il faut éviter de conduire lorsque l'on prend ce médicament : sigle risques de somnolence.

26. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCE : Analyser.

- Lors d'une CCM, si le dépôt est composé d'une espèce chimique pure, on observe une seule tache révélée. Ici B est un produit commercial pur (1 tache). Pour le dépôt C qui correspond à la synthèse de l'acétate de linalyle, on n'observe qu'une seule tache : le produit est donc probablement pur. La synthèse chimique est satisfaisante, car *a priori*, on obtient un produit pur qui n'est pas le réactif de la synthèse.
- En CCM, lorsque le chromatogramme fait apparaître deux taches, c'est que le dépôt contient au moins deux espèces chimiques différentes. Ici, le dépôt A compte 4 taches, donc l'huile essentielle de lavande contient au moins 4 espèces chimiques.
- Par comparaison de la hauteur des taches, on peut dire que l'huile essentielle de lavande contient du linalol et de l'acétate de linalyle.

27. In English Please

> COMPÉTENCES : Analyser, restituer.

- À température ambiante et pression atmosphérique : F₂ et Cl₂ sont gazeux ; Br₂ est liquide et I₂ est solide.
- Sublimation : passage de l'état solide à l'état gazeux.

28. Oxygène liquide

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, valider.

- À pression atmosphérique à 25 °C, O₂ est gazeux.
- À pression atmosphérique pour obtenir O₂ liquide, il faut se placer entre T_{fus} et $T_{\text{éb}}$ c'est à dire [-219 °C ; -183 °C].

c. Cette valeur de température est très faible. On va jouer sur le paramètre pression pour obtenir O_2 liquide (on diminue la pression).

29. ✪ Menthol

> COMPÉTENCES : Réaliser, valider.

a. Faire un schéma à l'échelle du chromatogramme.

$$R_f(\text{menthol}) = \frac{d_4}{d_E}$$

$d_4 = 4$ cm. Faire apparaître le front de l'éluant $d_E = 8$ cm.

b. Le chromatogramme a mis en évidence *a priori* deux espèces chimiques pures (1 tache) : menthol et échantillon B.

c. Par comparaison des hauteurs de taches, on peut conclure que l'échantillon A contient deux espèces chimiques dont une au moins est du menthol. L'échantillon B ne contient pas de menthol.

30. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

✪✪ Colorants alimentaires

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

a. Protocole expérimental : réalisation d'une CCM selon la fiche méthode 7 page 336.

Éluant : citrate de sodium 5 %.

Dépôts : A = E131 ; B = E132 ; C = E133 ; X : solution de bonbon. On identifie par comparaison et on trouve E131. Préparation de la solution de bonbon X : un bonbon dans l'eau, on chauffe pour dissoudre le bonbon et on filtre (entonnoir + papier).

Discussion possible sur la nécessité ou non de couper la tête de couleur différente.

b. Par CCM, on identifie le colorant E131. Par spectrophotométrie, on détermine la masse de colorant dans un bonbon : $m_{E131 \text{ bonbon}} = 0,12$ mg. La dose journalière autorisée de colorant E131 pour un individu de 60 kg pour une journée de $2,5 \times 60 = 150$ mg, soit $\frac{150}{0,12} = 1250$ bonbons. On peut donc manger des bonbons mais attention au sucre !

REMARQUE : Sans faire la manipulation, le texte ne nous donne pas les moyens d'identifier le colorant utilisé dans les bonbons. Si l'on ne veut pas « prendre de risque », comme le suggère le texte, le calcul doit être fait avec le colorant qui fait apparaître le moins de bonbons à consommer, c'est-à-dire le colorant E131 !

31. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

✪ Une notice par médicament ?

> COMPÉTENCES : Analyser, restituer, communiquer.

Pistes :

Les deux médicaments contiennent la même substance active mais pas dosée de la même façon. Ces deux médicaments sont faits pour soigner les mêmes symptômes mais pas chez les mêmes patients (1 g : adultes ; 300 mg : enfants).

La notice des médicaments permet de savoir s'ils contiennent des excipients à effet notoire qui peuvent poser problème à des patients allergiques par exemple. Regarder les différentes rubriques sur les notices complètes : on retrouve toujours les mêmes rubriques (détailler en particulier les rubriques « Indications thérapeutiques » et « Comment utiliser le médicament »).

32. RÉOLUTION DE PROBLÈME

✪✪ Durée d'une transformation chimique

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, communiquer.

À la date $t = 0$:

Une seule tache sur le chromatogramme, on voit le réactif (ici l'alcool benzylique qui absorbe peu les UV).

À $t = 10$ min :

On voit deux taches sur le chromatogramme (une correspondant au réactif et une autre correspondant au produit attendu : le benzaldéhyde).

On observe la même chose à $t = 20$ min.

À $t = 30$ min, la tache correspondant au réactif a disparu, il ne reste que la tache correspondant au produit.

Au bout de 30 min, le réactif a entièrement réagi pour former le produit. La transformation peut alors être considérée comme terminée.

REMARQUE : L'intensité de la tache correspondant au produit augmente au cours de temps (le produit est en train de se former).

L'intensité de la tache correspondant au réactif diminue au cours de temps (le réactif est consommé lors de la transformation).

33. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✪ Élaboration d'un médicament

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

Pistes :

Il faut commenter le diagramme du circuit du médicament.

Remarquer la durée entre la découverte d'une molécule potentiellement active et son AMM.

Vente de médicaments : pharmacie, et aussi internet, mais attention !

REMARQUE : il existe un site du ministère de la Santé depuis le 1^{er} octobre 2013 pour informer les patients sur les différents médicaments et savoir si les médicaments sont autorisés à la vente en France.

Synthèse d'espèces chimiques

> Manuel pages 46 à 59

Choix pédagogiques

Après avoir travaillé sur l'extraction puis l'identification d'espèces chimiques, les élèves vont étudier une technique de synthèse organique, à savoir le chauffage à reflux. Des compétences acquises lors de ces deux précédents chapitres seront réinvesties dans les étapes de traitement et d'identification.

Ce chapitre poursuit deux objectifs principaux :

- comprendre le rôle de la chimie de synthèse ;
- mettre en œuvre une synthèse complète dont un chauffage à reflux.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Au Cameroun, un guérisseur pygmée soigne un enfant atteint de paludisme.

Pourquoi un guérisseur a-t-il parfois besoin de transformer la matière première trouvée dans la nature afin de préparer ses traitements ?

Pour beaucoup d'élèves (et de nos concitoyens), « synthèse chimique » est trop souvent opposée à « nature ». Cette première photo fournit un contre-exemple à cette idée reçue puisque le guérisseur pygmée n'utilise que des produits naturels ayant des vertus médicinales.

Puis la question posée apporte un argument contre ce préjugé étant donné que le guérisseur doit parfois transformer la matière première naturelle, afin de préparer des remèdes efficaces. Le guérisseur est donc amené à réaliser des synthèses chimiques.

Technicienne de laboratoire de recherche et d'enseignement.

Pourquoi notre société moderne a-t-elle besoin de tant de matériel sophistiqué pour synthétiser des espèces chimiques entrant dans la préparation de médicaments ?

Le débat se poursuit avec une image plus « classique » du travail d'un chimiste, qui contraste avec l'exemple précédent. Ce sont ces différences tant au niveau de leur environnement que des règles de sécurité à respecter par les personnes photographiées, qui doivent faire avancer le débat.

La question posée permet d'orienter les élèves sur la nécessité d'utiliser la chimie et les techniques expérimentales afin d'obtenir des principes actifs et des excipients indispensables à la production des médicaments. En outre, les élèves sont amenés à réfléchir sur le contraste entre médecine traditionnelle et médecine occidentale.

Vidéo Débat : Dans un laboratoire à Nancy, étude des plantes carnivores capables de produire des protéines à effet thérapeutique.

Pourquoi l'Homme a-t-il besoin de la chimie de synthèse ?

Cet extrait présente les recherches faites sur des plantes carnivores capables de synthétiser des substances intéressantes du point de vue médical.

La question posée permet de faire réfléchir sur les ressources naturelles disponibles pour le bien-être de l'Homme, et par conséquent sur la nécessité de synthétiser des espèces chimiques naturelles en vue de protéger la nature. Il serait intéressant de demander à des enseignants de français et de philosophie d'intervenir afin de discuter des rapports entre l'Homme et la Nature.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

L'aspirine, le médicament le plus consommé

Commentaires

Cette activité permet de « comprendre le rôle de la chimie de synthèse » – une des compétences attendues pour ce chapitre.

Elle s'appuie sur l'exemple de l'aspirine. Ce médicament a été choisi car il est le plus consommé au monde et parce qu'il est synthétique. Or, un certain nombre de personnes pense que l'aspirine est naturelle et qu'elle n'est donc pas « chimique ». Il est donc ici question de démêler ces confusions entre chimique, synthétique et naturel, ce que la situation déclenchante introduit. En conclusion de l'activité, les élèves sont invités à écrire un commentaire argumenté, proche de ce qui est demandé dans certaines épreuves du baccalauréat.

Cette activité peut tout à fait être préparée à la maison.

Réponses

1. S'APPROPRIER

a. L'acide salicylique est une espèce chimique naturelle car extraite de plantes. En revanche, l'acide acétylsalicylique est une espèce chimique synthétique obtenue à partir de l'acide salicylique.

b. L'aspirine et l'acide acétylsalicylique sont la même espèce chimique. Aspirin® est le nom commercial de l'acide acétylsalicylique. Voir ci-contre le complément qui détaille l'étymologie du mot « aspirine ».

2. ANALYSER

a. Si l'aspirine n'était pas synthétisée, il faudrait abattre plus de deux mille saules par heure. Par conséquent, il n'y aurait plus de saules à la surface de la Terre depuis bien longtemps ou bien une grande partie des forêts ne serait composée que de saules. Dans les deux cas, l'environnement en serait irrémédiablement affecté.

b. L'acide salicylique a des effets secondaires graves que l'acide acétylsalicylique n'a pas. D'où l'intérêt de prescrire cette dernière espèce chimique. On constate ainsi qu'un remède naturel n'est pas forcément la meilleure solution.

c. Les deux rôles de la synthèse chimique mis en évidence dans les réponses précédentes sont d'ordre environnemental (2.a.) et médical (2.b.). Le document 2 donne des informations sur le rôle économique de la synthèse chimique puisque l'aspirine a une valeur marchande ; sa production est réalisée dans des usines où travaillent de nombreuses personnes.

3. COMMUNIQUER

L'aspirine est une espèce chimique comme tous les médicaments « naturels », sauf que l'aspirine ne se trouve pas dans la nature mais est au contraire 100 % synthétique.

À la fin du XIX^e siècle, on la préparait à partir d'acide salicylique extrait de l'écorce de saules ou de reines des prés. En effet, les patients (puis les médecins) s'étaient rendus compte que l'acide salicylique entraînait de sévères brûlures d'estomac pouvant conduire à des lésions fatales. Des chimistes avaient donc travaillé pour trouver une espèce chimique proche de cet acide mais n'ayant pas ces effets secondaires funestes. Il s'avéra qu'un dérivé non naturel de l'acide salicylique avait toutes les qualités requises pour le remplacer ; c'était l'acide acétylsalicylique commercialisé sous le nom d'Aspirin® par l'entreprise allemande Bayer.

Rapidement, le problème d'approvisionnement en acide salicylique se posa. Il fallut trouver un procédé de synthèse de l'aspirine ne débutant pas par l'extraction de l'acide salicylique.

Ainsi, d'une part tous les médicaments sont constitués d'espèces chimiques, et d'autre part l'aspirine n'est pas naturelle du tout. De plus, certaines espèces chimiques naturelles ont des effets secondaires négatifs que n'ont pas certaines espèces chimiques synthétiques.

COMPLÉMENT :

Document supplémentaire sur l'étymologie du nom Aspirin®.

Ce nom est formé de trois parties :

– « A » comme acétylation, la réaction qui permet de transformer l'acide salicylique en acide acétylsalicylique.

– « SPIR » comme *spiraea ulmaria*, le nom scientifique de la reine des prés, autre matière première de l'acide salicylique.

– « IN » suffixe commun à la fin du XIX^e siècle pour désigner des substances actives.

Sources :

www.aspirin.com

<http://www.rhonealpes.fr/791-l-aspirine.htm>

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Synthèse de l'acide salicylique

Commentaires

Cette deuxième activité expérimentale invite les élèves à comprendre les rôles d'un chauffage à reflux et comment le mettre en œuvre. Il est ici proposé de synthétiser l'acide salicylique dont il a été question dans l'activité précédente. Le mode opératoire est très détaillé, le déroulé de la synthèse est précisé (document 1), les mesures de sécurité sont particulièrement soulignées par le document 2 et la photographie du montage de chauffage à reflux du document 3 aidera les élèves. Ceux-ci réinvestiront leurs connaissances acquises lors des deux chapitres précédents.

La synthèse est réalisable en une heure ; le compte-rendu est rédigé durant le reste de la séance d'activité expérimentale ou bien à la maison.

Réponses

1. À 3. RÉALISER

Réalisation du protocole précisément décrit sous forme des trois étapes d'une synthèse, à savoir : la transformation (1), le traitement (2) et l'identification (3).

4. ANALYSER

a. Ces gouttes sont constituées du mélange réactionnel, c'est-à-dire de salicylate de méthyle, du produit de la transformation et d'eau.

Remarque : les élèves écriront sans doute « acide salicylique » au lieu de « produit de la transformation » mais en fait, c'est du salicylate de sodium. C'est pourquoi il est nécessaire d'acidifier le mélange obtenu en fin de transformation afin d'obtenir l'acide salicylique.

b. Grâce aux deux montages supplémentaires décrits ci-dessous (voir le paragraphe « Compléments »), on conclut qu'un chauffage à reflux accélère une transformation et évite toute perte de matière.

c. L'interprétation dépendra du chromatogramme. Le rendement de la synthèse n'étant pas de 100 %, deux taches sont distinctement visibles pour le produit synthétisé : l'une a le même rapport frontal que l'acide sali-

cylique commercial, l'autre le même rapport frontal que le salicylate de méthyle.

5. VALIDER

La première étape de cette synthèse, la transformation, a nécessité un chauffage sinon elle aurait duré trop longtemps. Pour éviter les pertes de matière par évaporation du milieu réactionnel, il a fallu utiliser un chauffage à reflux avec réfrigérant à eau.

La deuxième étape, le traitement, a nécessité un filtre büchner car le produit était solide et qu'il fallait le séparer du liquide. La filtration simple aurait été trop longue. La troisième et dernière étape, l'identification, a été de réaliser une CCM car cette méthode était la plus simple à mettre en œuvre.

Remarque : si un banc Köfler est disponible, on peut demander aux élèves de mesurer la température de fusion du produit de leur synthèse. La température de fusion de l'acide salicylique est de 159 °C.

COMPLÉMENTS :

Les solutions et l'éluant requis pour la CCM sont à mettre à disposition des élèves. La CCM est révélée sous lumière UV.

Il serait opportun de montrer expérimentalement les deux rôles du chauffage à reflux, à savoir :

– accélérer la transformation chimique : demander à un groupe de préparer le même mélange réactionnel, de le mettre sous agitation sans le chauffer. Au bout de 15 minutes, de procéder au traitement sur le milieu réactionnel puis de réaliser la CCM. Chaque groupe comparera sa CCM avec celle de ce groupe et en conclura que le chauffage a accéléré la transformation ;

– il n'y a pas de perte de matière : sur une paille, faire bouillir de l'eau. Les élèves compareront ce montage avec le leur où aucune vapeur ne s'échappe du haut du réfrigérant. Ils en concluront que grâce au réfrigérant, il n'y a pas de perte de matière.

Si l'occasion se présente, on peut également montrer l'intérêt d'avoir un support élévateur assez haut, au cas où l'ébullition du mélange réactionnel serait trop lente.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Synthèse du savon

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

EXERCICES Appliquer le cours

I Rôles de la chimie de synthèse (§1 du cours)

15. Faire une recherche

Les espèces chimiques naturelles citées sont l'huile essentielle d'eucalyptus (b) et le sérum physiologique (c) Quant à l'espèce chimique synthétique, il s'agit de l'aspirine (a). Enfin, l'espèce chimique naturelle et synthétique est la vitamine C (d).

16. Comprendre le rôle d'une synthèse

Si la synthèse du taxol n'avait pas été élucidée, il n'y aurait plus d'ifs du Japon à la surface de la Terre et certains cancers ne pourraient être guéris du fait de cette pénurie. Le rôle de la synthèse chimique suggéré ici est celui de préserver l'environnement qui serait détruit par l'extraction intensive d'espèces chimiques naturelles.

17. Utiliser les pourcentages

$$1. \frac{(100 - 11)}{100} = 0,89.$$

89 % de la vanilline est synthétique.

$$2.a. \frac{1}{2,5 \times 10^{-2}} = 40.$$

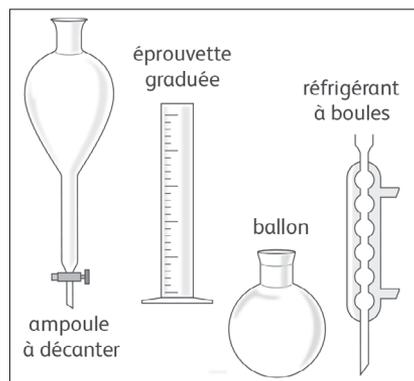
On extrait 1 kg de vanilline à partir de 40 kg de gousses.

2.b. Sans compter les coûts d'extraction, 1 kg de vanilline reviendrait à 80 euros (40 × 2), c'est-à-dire entre cinq et six fois plus cher qu'un kilogramme de vanilline synthétique. Il est donc plus économique pour le client d'acheter de la vanilline synthétique que de la vanilline naturelle.

II Étapes d'une synthèse (§2 du cours)

18. Identifier du matériel

a.



b. L'ampoule à décanter et l'éprouvette graduée ne sont pas utilisées lors d'un chauffage à reflux.

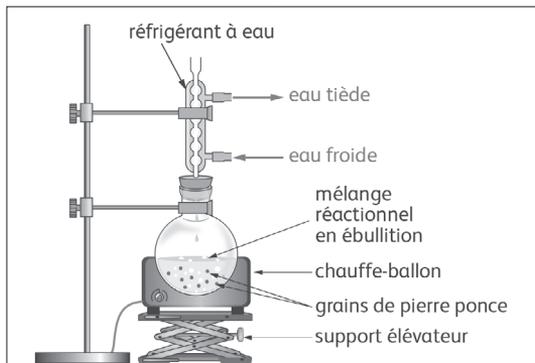
19. Compléter un organigramme

1 ^{re} étape Transformation	→	Montage à reflux par exemple
2 ^e étape Traitement	→	Extraction Filtration par exemple
3 ^e étape Identification	→	Aspect CCM Température d'ébullition Température de fusion

20. Identifier un montage

Le montage (d) est celui qui sera utilisé pour un chauffage à reflux. En effet, le montage (a), bien que complet, a pour défaut que l'eau circule de haut en bas. Au montage (b) manque le support élévateur. Enfin, au montage (c) manque le réfrigérant à eau.

21. Schématiser un montage



22. Corriger des erreurs

a. Il ne s'agit pas d'eau mais du liquide issu de la liquéfaction des vapeurs refroidies dans le réfrigérant. C'est d'ailleurs l'un des intérêts du chauffage à reflux de ne pas avoir de perte de matière.

b. Robbie doit absolument baisser le support élévateur afin de réduire l'ébullition du mélange réactionnel tellement violente que le réfrigérant est trop chaud pour permettre la liquéfaction des vapeurs qui s'en échappent par le haut.

EXERCICES S'entraîner

24. L'aspirine : un remède ancien

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, analyser.

a. $4\,560 \times \frac{50}{5} \times \frac{1}{23} = 1\,983$.

Il faudrait abattre 1 983 saules (soit près de 2 000 saules) par heure pour satisfaire la demande mondiale.

b. Ce serait alors un désastre environnemental que de ne s'approvisionner en acide salicylique que par le biais de

son extraction. D'où l'intérêt de synthétiser l'acide salicylique sans toucher aux saules.

25. Lutter contre les champignons cutanés

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer.

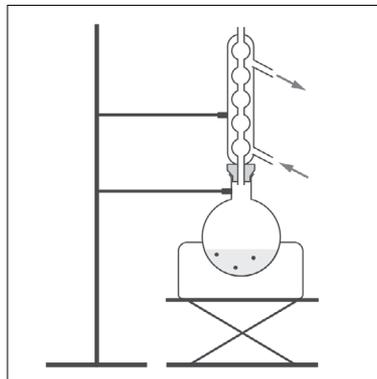
Les phrases qui se suivent dans l'ordre du protocole sont : f – g – c – d – e – a – b et h.

26. Apprendre à rédiger

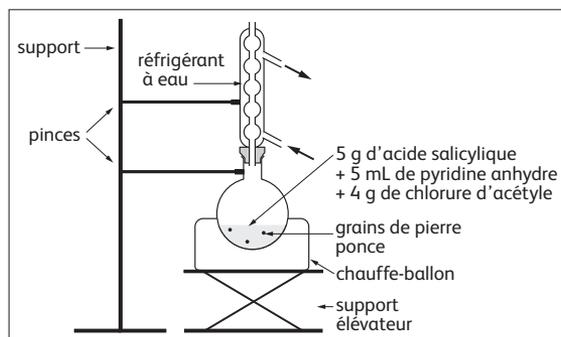
> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

a. Liste du matériel : ballon ; réfrigérant ; chauffe-ballon ; support élévateur ; deux pinces ; support.

Liste des espèces chimiques : acide salicylique ; pyridine anhydre ; chlorure d'acétyle ; grains de pierre ponce.



b.



27. In English Please

> COMPÉTENCES : Analyser, valider.

a. À l'origine, les balles de golf étaient fabriquées avec des matériaux naturels : bois puis cuir rempli de plumes et enfin « Gutty » c'est-à-dire du latex. Aujourd'hui, les balles de golf sont fabriquées avec des matières plastiques synthétiques. Comme la photo l'indique, différents plastiques sont utilisés.

b. La synthèse chimique permet de préserver l'environnement (*more durable*), d'abaisser les coûts de production et donc d'achat (*much cheaper*) et aussi de répondre aux besoins des hommes (la pratique du golf est aujourd'hui facilitée par l'utilisation des nouveaux matériaux).

28. ✪✪ Synthèse de l'allantoïne

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

Liste du matériel :

Pour la transformation : chauffage à reflux, à savoir ballon de 100 mL, chauffe-ballon, réfrigérant, support élévateur, deux pinces et un support.

Pour le traitement : bécher, baguette de verre, montage pour filtration sur büchner, à savoir papier filtre, entonnoir büchner, fiole à vide, fiole de garde, des pinces et des potences.

Pour l'identification : plaque CCM, révélateur, cuve à CCM ou bécher muni d'un couvercle, pince fine, lampe UV.

Liste des espèces chimiques : urée, acide glyoxylique, eau, acide sulfurique concentré ; eau glacée ; éthanol ; éluant (eau, acide méthanoïque, acétate d'éthyle) ; allantoïne commerciale (pour avoir un témoin à la CCM).

Protocole de l'étape de transformation :

Dans un ballon, introduire de l'urée, de l'acide glyoxylique et de l'eau. Ajouter très lentement quelques gouttes d'acide sulfurique et 3-4 grains de pierre ponce. Au ballon, adapter un réfrigérant à eau et placer le ballon dans un chauffe-ballon posé sur un support élévateur.

Un chauffage à reflux est maintenu pendant 45 minutes. *Remarque : on peut faire réagir 10 g d'urée avec 2 g d'acide glyoxylique et ajouter 10 mL d'eau.*

Protocole de l'étape de traitement :

Le chauffage est arrêté et le contenu du ballon refroidi à température ambiante.

Le ballon est ensuite placé dans un bain d'eau glacée. Un solide précipite.

Ce solide est filtré sur büchner, lavé avec un peu d'eau glacé puis essoré et mis à l'étuve.

Protocole de l'étape d'identification :

Sur une plaque CCM, on réalise quatre dépôts : urée, acide glyoxylique, allantoïne commerciale, solide recueilli après traitement, ces quatre échantillons ayant été préalablement dissous dans de l'éthanol. On dépose la plaque verticalement dans un bécher qui contient quelques millilitres d'éluant. Lorsque le front d'éluant est à environ 1 cm du haut de la plaque, on retire la plaque, on la sèche puis on révèle la plaque sous UV. Il faut ensuite interpréter le chromatogramme.

En complément :

www.olympiades-chimie.fr/National-2003_2004/2003/protocole03.pdf

et ansm.sante.fr/var/ansm_site/storage/original/application/9e6048cc05cdfd3190fb73fca2926333.pdf

29. ✪✪ Obtenir une huile essentielle

> COMPÉTENCES : Restituer, réaliser, communiquer.

Titre possible : Synthèse de l'acétate de linalyle

L'acétate de linalyle est utilisé pour ses propriétés apaisantes et antibactériennes. Cette espèce chimique peut être extraite de la lavande. Mais cette extraction est longue, très délicate et onéreuse ; de plus, elle nécessite de nombreuses étapes de séparation car l'huile essen-

tielle de lavande est constituée de plusieurs espèces chimiques. Pour des raisons écologiques et économiques, il est préférable de la synthétiser.

La synthèse chimique est constituée de trois étapes.

L'étape 1, la transformation, est réalisée en chauffant à reflux. Ainsi cette transformation est-elle accélérée (le chauffage ne dure que 30 minutes) et réalisée sans perte de matière.

L'étape 2, le traitement, fait appel à l'extraction à l'aide d'une ampoule à décanter puisque l'acétate d'éthyle est très peu miscible avec l'eau.

L'étape 3, l'identification, est faite par CCM. Le chromatogramme obtenu permet de conclure que le produit de la synthèse est bien de l'acétate de linalyle (tache C) pur, et que l'huile essentielle de lavande est un mélange qui en contient.

Pour présenter convenablement son travail, l'élève peut l'illustrer à l'aide de schémas (chauffage à reflux, étapes de l'extraction) et de photos en rapport avec l'acétate de linalyle.

30. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

Aspartame ou saccharose ?

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

Comme le patient souffre de diabète de type 2, il lui faut suivre un régime sans sucre et sans excès calorique.

Mais suivre un régime contraignant n'est pas évident surtout si le goût sucré est perdu.

L'aspartame peut être une solution car il n'a aucune influence sur la glycémie (ce qui est recherché quand on est diabétique), mais a un fort pouvoir sucrant. En effet, pour obtenir une même sensation de sucré, il suffit de consommer 200 fois moins d'aspartame que de saccharose ; l'apport calorique est donc 200 fois moindre.

31. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

✪✪ Un textile pour sportif

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, valider.

a. Le cyclohexane est moins dense que l'eau. Il faut donc ajouter la solution de chlorure d'hexanedioyle en second afin d'avoir une fibre qui ne se forme qu'à l'interface des deux phases. Pour obtenir une fibre relativement régulière, il faut verser très lentement cette solution le long d'une baguette de verre.

b. Ces élèves ont ajouté très rapidement la solution d'hexane-1,6-diamine à la solution moins dense.

c. Dans un bécher de 100 mL, verser 20 mL de solution d'hexane-1,6-diamine. Puis, très lentement, ajouter environ 20 mL de solution de chlorure d'hexanedioyle, en la versant le long d'une baguette de verre. À l'aide d'une pince fine, récupérer une extrémité de la fibre et l'enrouler autour d'une seconde baguette de verre. Continuer à tourner cette baguette tant que de la fibre est produite à l'interface des deux phases.

Mesures de sécurité : manipuler sous hotte, avec des gants et bien entendu porter lunettes et blouse.

32. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

La première synthèse totale

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, restituer, communiquer.

Mots-clefs pour décrire les difficultés techniques : œuf, électrodes distantes de quelques centimètres, chauffer le plus possible, charbon, courant de dihydrogène, échec, réussite, lentille à échelons, générateurs puissants, identifié.

Mots-clefs pour préciser les apports de cette expérience : première, synthèse, totale, cruciale, saluée par les plus grands chimistes, chimistes du monde entier, indispensable à notre quotidien.

Marcelin Berthelot travailla plusieurs années pour mettre au point la synthèse de l'acétylène à partir de carbone (charbon) et de dihydrogène. Ses recherches furent entravées par les conditions expérimentales très délicates à obtenir. Tout d'abord, le matériel : il lui fallut concevoir un récipient en verre résistant à la chaleur, qui permettait de placer deux électrodes face à face et à quelques centimètres l'une de l'autre. Berthelot trouva que la forme ovoïde répondait le mieux à ces contraintes, d'où le nom d'œuf donné à ce récipient. Ce paramètre ayant été fixé, Berthelot dut trouver un moyen pour porter le milieu réactionnel à des températures suffisamment élevées pour que la transformation se réalise à une vitesse satisfaisante. Après plusieurs échecs, il s'avéra que pour résoudre cet épineux problème en utilisant le matériel disponible en cette fin du XIX^e siècle, il fallait utiliser les

électrodes comme un arc électrique. Les étincelles ainsi obtenues permirent d'atteindre la température voulue. La synthèse de l'acétylène, la première synthèse totale, montra que l'Homme était capable de synthétiser une espèce chimique à partir d'espèces chimiques très simples, à savoir des atomes de carbone (C) et des molécules de dihydrogène (H₂). Cette découverte cruciale souleva des critiques et des controverses dans le milieu des chimistes de l'époque et ouvrit la voie à la recherche de nouvelles stratégies de synthèse en chimie. Les travaux postérieurs des chimistes permirent de mettre au point des techniques de synthèse toujours plus complexes.

33. RÉOLUTION DE PROBLÈME

✦ Chauffage à reflux maison

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider, communiquer.

Éléments de réponse à compléter avec des schémas suivant les tâtonnements de chacun :

Un chauffage à reflux permet d'accélérer une transformation chimique sans perte de matière. Ici, il s'agit de trouver un ustensile de cuisine qui pourrait jouer le rôle de réfrigérant et qui limiterait les pertes de chaleur (contrainte supplémentaire ajoutée lors de la leçon de Marie Curie).

Par conséquent, il faut que cet ustensile surmonte le récipient dont le contenu est chauffé et qu'il évite les pertes en vapeur d'eau (l'eau contenue dans les aliments se vaporise lors de la cuisson). Cet ustensile doit donc recouvrir le récipient et il s'agit d'un COUVERCLE.

Signaux périodiques

> Manuel pages 60 à 71

Choix pédagogiques

Avant de s'intéresser aux ondes et à leurs applications dans le domaine de l'imagerie médicale, ce premier chapitre de physique du thème « santé » permet d'aborder l'analyse de signaux donnant les éléments nécessaires pour établir un diagnostic. Une attention particulière est portée sur le caractère périodique ou non du signal étudié, sur la compréhension des notions de période et fréquence d'un signal et leur détermination sur un enregistrement ou un oscillogramme. Ce chapitre introductif donne ainsi l'occasion de réinvestir pleinement les connaissances et savoir-faire de la classe de troisième et de les consolider.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Mesure du pouls lors d'une course d'endurance.

Dans quelle unité se mesure le pouls, aussi appelé fréquence cardiaque ?

En EPS ou en SVT, les élèves ont certainement déjà mesuré leur rythme cardiaque.

Ils peuvent préciser les éléments qui indiquent sur la photographie que la sportive mesure son pouls.

Une réflexion peut alors s'articuler autour des différentes techniques de mesure du pouls en précisant en particulier les durées de comptage des battements cardiaques.

Sportif enregistrant un électrocardiogramme.

Comment est modifié l'électrocardiogramme (ECG) au cours d'un effort ?

Cette photographie permet de présenter en quoi consiste l'enregistrement d'un électrocardiogramme lors d'une épreuve d'effort. On peut faire remarquer aux élèves que le médecin écoute les battements cardiaques avec un stéthoscope et capte ainsi un signal périodique sonore. Le même phénomène périodique peut être enregistré à l'aide de capteurs placés sur le corps du sportif, le signal est alors électrique.

Les élèves peuvent aussi réfléchir à comment sont modifiés leurs battements cardiaques au cours d'un effort (amplitude et fréquence).

On peut leur donner un exemple d'électrocardiogramme d'un patient au repos et leur demander de dessiner l'électrocardiogramme attendu lors de l'effort.

Vidéo Débat : Un électrocardiogramme sur smartphone.

Comment peut-on enregistrer un ECG sur un smartphone ?

Cette vidéo permet de présenter une technologie mise au point pour enregistrer un électrocardiogramme sur smartphone. Le boîtier du smartphone est équipé de

capteurs permettant l'enregistrement du signal électrique associé aux battements cardiaques.

Cette vidéo peut permettre de faire le point sur les conditions d'enregistrement d'un signal : il faut une grandeur mesurable associée au phénomène que l'on veut étudier, un capteur et un appareil de mesure.

Certaines applications téléchargeables sur Internet utilisent la caméra du smartphone et ne nécessitent donc pas de capteurs supplémentaires.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Observer un phénomène périodique

Commentaires

La compétence attendue pour cette activité est : « Connaître et utiliser les définitions de la période et de la fréquence ».

La situation déclenchante a été choisie dans le quotidien des élèves afin de les intéresser.

Le premier document présente l'examen cardiologique d'électrocardiogramme, il est proposé à titre informatif. Le deuxième document présente les ECG d'un patient au repos et lors d'une épreuve d'effort sur lesquels les élèves devront réaliser des mesures.

Les questions posées permettent d'introduire les définitions de période et de fréquence et de les appliquer immédiatement par l'étude des documents.

Réponses

1. RÉALISER

a. Valeur de la période sur ECG 1 :

Échelle 0,5 cm pour 0,40 s.

On mesure 1,25 cm soit $T = \frac{1,25 \times 0,40}{0,5} = 1 \text{ s}$.

b. Fréquence cardiaque : $\frac{60}{1} = 60$ pulsations par minute.

c. L'ECG 1 a la plus grande période alors que l'ECG 2 a la plus grande fréquence.

2. VALIDER

Au repos, le cœur bat moins vite, donc l'ECG1 est celui réalisé au repos.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Étude d'un signal périodique

Commentaires

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

EXERCICES Appliquer le cours

I Phénomène périodique (§1 du cours)

14. Identifier un phénomène périodique

a. Exemples de phénomènes périodiques que l'on peut observer chez un être vivant : battement cardiaque, clignement des paupières, cycle menstruel, respiration.

b. Ordre de grandeur de la période du phénomène périodique : battement cardiaque : environ 1 s, clignement des paupières : quelques secondes, cycle menstruel : 28 jours, respiration : quelques secondes.

15. Analyser un enregistrement

a. La grandeur enregistrée au cours d'un EEG est la tension en mV.

b. Les capteurs utilisés sont des électrodes disposées sur le crâne du patient.

c. Sur la durée de l'enregistrement proposé, le signal n'est pas périodique, car il ne se reproduit pas identique à lui-même à intervalles de temps égaux.

II Caractéristiques d'un signal périodique

(§2 du cours)

16. Définir la période et la fréquence

a. Association : période T : ② – valeur maximale U_{\max} : ③ – valeur minimale U_{\min} : ①.

b. Relation pour calculer la fréquence f : $f = \frac{1}{T}$.

17. Utiliser les unités SI

Calcul de la valeur de la période correspondante aux valeurs de fréquence suivantes :

a. Limite inférieure des sons audibles 20 Hz :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{20} = 5,0 \times 10^{-2} \text{ s.}$$

b. Son le plus aigu d'un audiogramme :

$$15 \text{ kHz} : \frac{1}{f} = \frac{1}{15 \times 10^3} = 6,7 \times 10^{-5} \text{ s.}$$

c. Battements cardiaques d'un fœtus 0,40 Hz :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,40} = 2,5 \text{ s.}$$

18. Exploiter un oscillogramme

Détermination de :

la période du son : $T = b \times N_H = 0,5 \times 2,0 = 1,0 \text{ ms}$

la fréquence du son : $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,0 \times 10^{-3}} = 9,1 \times 10^2 \text{ Hz.}$

19. Exploiter un enregistrement

a. Durée Δt correspondant à quatre motifs élémentaires : $\Delta t = 0,20 \text{ s.}$

b. Valeur de la période T de la tension $u(t)$:

$$T = \frac{\Delta t}{4} = \frac{0,20}{4} = 0,050 \text{ s.}$$

c. Il est préférable de mesurer la durée de quatre motifs plutôt que la durée d'un seul car la précision du résultat est plus élevée.

d. $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,050} = 20 \text{ Hz.}$ La lampe clignote 20 fois par seconde, elle peut donc déclencher des crises d'épilepsie.

20. Utiliser une échelle

Détermination de la période des pulsations cardiaques :

Échelle du document : 1 cm correspond à 0,40 s.

On mesure 3 périodes : 5,0 cm soit $3T = 5,0 \times 0,40 = 2,0 \text{ s.}$

La période T des pulsations cardiaques est donc

$$T = \frac{2,0}{3} = 0,67 \text{ s.}$$

EXERCICES S'entraîner

22. Le cœur en observation

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser.

a. L'ECG du patient 2 est l'ECG a, car le cœur ne bat pas régulièrement.

b. Fréquence cardiaque du patient 1 en hertz :

Échelle : 0,5 cm correspondent à 0,30 s.

On mesure 4 périodes : 6,0 cm donc $4T = 6,0 \times \frac{0,30}{0,5} = 3,6 \text{ s}$

donc $T = \frac{3,6}{4} = 0,90 \text{ s.}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,90} = 1,1 \text{ Hz.}$$

c. Le patient 1 peut ressentir $N = 1,1 \times 60 = 66$ pulsations s'il prend son pouls pendant 1 minute.

d. *A priori*, il est au repos.

23. Un électrocardiogramme sur smartphone

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, valider.

a. L'ECG est périodique, car le signal se reproduit identique à lui-même à intervalles de temps égaux.

b. Valeur de la fréquence cardiaque (en pulsations par minute) indiquée sur l'écran du smartphone : 80 pulsations par seconde.

c. Vérification de la valeur de la fréquence cardiaque en utilisant l'enregistrement de l'ECG :

Caractéristique de l'enregistrement : 25 mm/s.

On mesure 2 périodes : 1,6 cm = 64 mm

$$2T = \frac{64}{25} = 2,6 \text{ s soit } T = \frac{2,6}{2} = 1,3 \text{ s}$$

$$f = \frac{60}{T} = \frac{60}{1,3} = 80 \text{ pulsations par minute.}$$

La valeur est proche de la valeur indiquée.

24. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Réaliser, valider, communiquer.

Détermination de la période T et la fréquence f de cette tension :

T correspond à $n_H = 2,8$ div.

$$T = b \times n_H = 2 \times 2,8 = 5,6 \text{ ms.}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5,6 \times 10^{-3}} = 1,8 \times 10^2 \text{ Hz.}$$

25. In English Please

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, valider.

a. Critère : 1 milliard de battements cardiaques dans une vie.

Vérification : espérance de vie (en min) \times fréquence cardiaque (battements pas minute).

Mammals	Rabbit	Cat	Horse	Elephant
Lifetime (years)	9	15	40	70
Heart rate (beats/min)	205	150	44	30
Lifetime \times heart rate	$9,7 \times 10^8$	$1,2 \times 10^9$	$9,3 \times 10^8$	$1,1 \times 10^9$

Tous les mammifères cités dans le tableau vérifient le critère.

b. Calcul de l'espérance de vie d'un Homme :

$$\frac{1,0 \times 10^9}{60} = 1,7 \times 10^7 \text{ min} = 32 \text{ ans.}$$

c. Ce critère n'est pas valable pour l'Homme puisque l'espérance de vie est bien plus élevée.

Les progrès de la médecine et le mode de vie ont permis d'allonger la durée de vie.

26. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPERIMENTALES

Audiogramme

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

a. Montage pour visualiser sur l'oscilloscope une tension sinusoïdale de fréquence 2000 Hz et écouter ce son dans un casque audio :

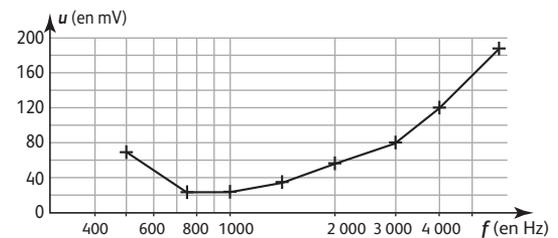
On relie le GBF à l'oscilloscope en faisant attention aux masses des deux appareils. Puis on règle le GBF en choisissant le type de signal (sinusoïdal), la fréquence (2000 Hz) et une amplitude moyenne.

On relie la borne de sortie du GBF à la résistance de 10 k Ω , puis au casque muni de l'adaptateur.

b. Pour tracer un audiogramme : on règle une des fréquences de l'audiogramme (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 750 Hz, 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz, 8000 Hz, 15000 Hz), on règle l'amplitude du signal au minimum, on augmente progressivement l'amplitude du signal, lorsque l'on perçoit le son, on lit alors la valeur de l'amplitude sur l'oscilloscope et on reporte sur le graphique la valeur de la tension associée à la valeur

de la fréquence étudiée. Cette étape est répétée pour chacune des valeurs de l'audiogramme.

Tracé d'un audiogramme



c. L'oreille testée est la plus sensible pour une fréquence de 800 Hz.

27. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

★ Boîtier anti-jeunes

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, communiquer.

Lors de manifestations, certains jeunes ont pu remarquer qu'ils entendaient les sons émis par les haut-parleurs des forces de l'ordre alors que les populations plus âgées ne percevaient aucun signal.

Le signal sonore des boîtiers anti-jeunes est un signal périodique de période :

$$T = b \times n_H = 20 \times 10^{-6} \times 3,2 = 6,4 \times 10^{-5} \text{ s}$$

$$\text{soit d'une fréquence } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{6,4 \times 10^{-5}} = 1,6 \times 10^4 \text{ Hz.}$$

Or à partir de 30 ans, les pertes en décibels sont de plus en plus importantes aux hautes fréquences.

Les professeurs plus âgés que les élèves n'entendent donc pas leur sonnerie.

28. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

★ Mesurer la masse d'un astronaute

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser.

Lors des missions spatiales, la masse des astronautes diminue. Afin d'envisager des vols d'une durée plus importante, la NASA a souhaité pouvoir surveiller la santé des astronautes en mesurant leur masse.

Les balances utilisées sur Terre ne peuvent pas être utilisées dans l'espace, les scientifiques ont donc mis au point une balance pouvant fonctionner dans l'espace : elle se compose d'une chaise oscillante sur laquelle l'astronaute s'assoit, la période des oscillations dépend de la masse de l'astronaute.

D'après l'enregistrement effectué, on observe des oscillations de période $5T = 12 \text{ s}$ soit $T = \frac{12}{5} = 2,4 \text{ s}$.

Pour déterminer la masse, on utilise la formule $T = 0,27\sqrt{(m + 25,2)}$.

$$\text{Soit } T^2 = 0,27^2 \times (m + 25,2) \text{ donc } \frac{T^2}{0,27^2} = m + 25,2$$

$$\frac{T^2}{0,27^2} - 25,2 = m = \frac{2,4^2}{0,27^2} - 25,2 = 54 \text{ kg.}$$

29. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

Monitoring

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, communiquer.

Lors d'un accouchement, le monitoring permet de suivre les battements cardiaques du bébé et les contractions utérines.

Les battements cardiaques du bébé doivent avoir une valeur de 130 à 140 battements par minute. D'après l'enregistrement proposé, on détermine la fréquence cardiaque du bébé :

Échelle : 1 cm correspond à 0,25 s.

On mesure $3T$: 5,0 cm donc $3T = 5,0 \times 0,25 = 1,3$ s soit

$$T = \frac{1,3}{3} = 0,43 \text{ s.}$$

La fréquence cardiaque est donc $f = \frac{60}{0,43} = 138$ battements par minute. Le rythme du bébé est donc normal.

Les contractions doivent devenir de plus en plus fréquentes et de plus en plus intenses.

On voit sur l'enregistrement que l'amplitude des contractions est de plus en plus grande, ce qui indique qu'elles sont plus intenses.

La périodicité des contractions est de 8 minutes en début d'enregistrement et de 5 minutes à la fin : les contractions s'accélèrent.

L'accouchement s'est donc déroulé sans problème.

30. RÉOLUTION DE PROBLÈME

✪✪ Mesure du pouls du professeur Tournesol

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

Période du pendule simple sur la Lune :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{0,16}{1,6}} = 2,0 \text{ s.}$$

Période du pendule simple sur la Terre : 0,80 s.

$$\frac{T(\text{Lune})}{T(\text{Terre})} = \frac{2,0}{0,80} = 2,5.$$

Le pendule oscille 2,5 fois moins vite sur la Lune que sur la Terre.

Tintin n'est donc pas malade, son cœur bat toujours à la même fréquence, c'est le pendule du professeur qui oscille plus lentement.

Ondes et imagerie médicale

> Manuel pages 72 à 87

Choix pédagogiques

Ce cinquième chapitre du thème « Santé » aborde l'étude des ondes et leur application pour établir un diagnostic médical.

Une première partie récapitule les connaissances utiles concernant les ondes employées dans le domaine médical. La deuxième partie présente les phénomènes propres aux ondes (absorption, réfraction, réflexion et réflexion totale) et leur associe une application concrète. La notion d'indice de réfraction et les lois de Snell-Descartes n'apparaissent pas nécessaires dans le cadre de ce chapitre et ne sont donc pas traitées ici. Elles seront l'un des objets d'étude du chapitre 2 concernant la dispersion et la réfraction de la lumière dans le thème « Univers ».

OUVERTURE DE CHAPITRE

Femme enceinte passant une échographie.

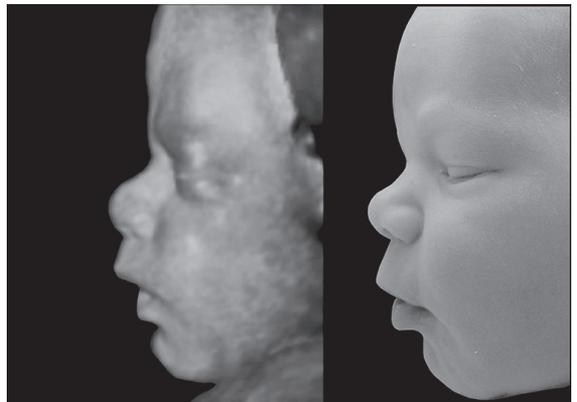
Quel point commun y a-t-il entre l'écho sonore audible en montagne et l'échographie médicale ?

Cette première photographie pose le problème de l'imagerie médicale à travers la technique d'échographie. Il s'agit de pouvoir représenter les parties d'un corps non visible à l'œil nu sans toutefois intervenir chirurgicalement en pratiquant une ouverture du ventre de la patiente.

L'échographie permet de discuter de la nature des ondes employées puisqu'elle fait appel à des ondes auxquelles nos oreilles pourraient être sensibles mais qui ne le sont pas du fait d'une fréquence trop élevée.

Le professeur peut rappeler que c'est souvent à partir d'observations faites dans la nature que l'Homme élabore et perfectionne des techniques courantes. La détection utilisant des ultrasons telle qu'elle est pratiquée en échographie peut être associée à celle réalisée par les dauphins ou les chauves-souris pour repérer une proie ou un obstacle sans le voir. L'occasion est donnée de discuter des phénomènes mis en jeu, notamment celui de réflexion des ultrasons, mais aussi de la manière de mesurer une distance qui nous sépare d'un obstacle en utilisant un écho.

Dans le cas de cette photographie, la mesure de la durée de propagation d'une impulsion ultrasonore pour parcourir un aller-retour sonde-foetus-sonde permet de déterminer la distance entre la sonde et le fœtus. Répétée dans trois directions différentes, cette mesure permet de situer le fœtus dans l'espace et d'en donner, dans le cadre d'examen pratiqués de nos jours, une image tridimensionnelle.



Les clichés obtenus en échographie 3D sont d'une grande précision, comme le montre la comparaison ci-dessus entre une échographie et une photo du visage d'un nouveau-né.

Première radiographie réalisée par Wilhelm Roentgen en 1895 : la main de sa femme.

Des tissus osseux ou musculaires, lesquels interagissent le plus avec les rayons X ?

Au travers de l'étude d'une technique courante d'imagerie médicale, la radiographie X, cette seconde photographie donne l'occasion de discuter de l'existence d'ondes de natures différentes de celle des sons ou des ultrasons : les ondes électromagnétiques. La différence de fréquence avec une onde lumineuse peut être également abordée.

Mais c'est l'interaction avec le milieu matériel que l'onde traverse qui constitue la préoccupation de la photographie à travers la question : « Des tissus osseux ou musculaires, lesquels interagissent le plus avec les rayons X ? »

En indiquant que la plaque photosensible noircit d'autant plus qu'elle subit un éclairage X important, le tissu osseux apparaît comme étant pratiquement opaque aux rayons X contrairement aux tissus musculaires plus transparents. La notion d'absorption, différente selon le milieu traversé, peut être ainsi évoquée.

En outre, l'histoire de la découverte des rayons X peut être mentionnée pour souligner, par exemple, que le hasard ne saurait être à l'origine de découverte sans la curiosité des scientifiques.

Exemple de texte retraçant l'histoire des rayons X.

- En 1895, le physicien Wilhelm Roentgen oriente ses recherches sur « les rayons cathodiques ». L'effet de leur passage dans un gaz raréfié est déjà bien connu : une lumière verte fascinante. Mais leur nature (faisceau d'électrons) est, à l'époque, indéterminée. Alors qu'il manipule le dispositif qui produit ces rayons, Roentgen constate qu'un écran fluorescent s'illumine.
- Cette lueur ne peut être due aux rayons cathodiques car ceux-ci sont absorbés par le verre ou l'air. Il interpose du papier, du bois, ... : le phénomène persiste. Il intercale alors sa main et voit bouger les os de ses doigts.
- Il vient de découvrir des rayons inconnus, qu'il nomme donc rayons X, capables de traverser la matière et d'impressionner les plaques photographiques. Leur utilisation pour réaliser des images médicales se répand dans le monde entier dès 1896.
- Pour les « services extraordinaires rendus possibles par sa découverte des rayons X », Roentgen se voit attribuer le premier prix Nobel de physique en 1901.

Vidéo Débat : Coupe horizontale d'une tête humaine vue par IRM.

Quelle est la nature de l'onde utilisée lors d'une IRM ?

Cette vidéo permet de présenter une technique d'imagerie courante en médecine : l'IRM. Si le principe de cette technique* ne fait pas l'objet du chapitre, la séquence filmée permet de l'aborder en termes simples mais surtout de faire le point sur la nature des ondes utilisées dans le domaine de l'imagerie (électromagnétique dans le cas de l'IRM).

L'analogie faite avec le phénomène de résonance dans le domaine des sons, et la confusion qui peut s'en suivre, donne l'occasion d'explicitier davantage la nature des ondes mises en jeu et leur domaine de fréquence en fonction de la technique utilisée.

* L'IRM est une technique radiologique récente, non invasive et sans effet secondaire connu, basée sur le phénomène physique de résonance magnétique nucléaire. Il s'agit simplement d'observer la résonance magnétique nucléaire (RMN) des noyaux des atomes d'hydrogène de l'eau contenus dans l'organisme, c'est-à-dire la réponse des noyaux, placés dans un champ magnétique extérieur, soumis à une excitation par une onde électromagnétique.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

La radiographie : une technique d'imagerie « par absorption d'onde »

Commentaires

Cette activité introductive permet d'apporter les premières connaissances, essentielles par la suite, concernant les ondes : ondes sonores, ondes électromagnétiques, domaine de fréquence, milieu de propagation et phénomène d'absorption.

En outre, elle permet de développer la capacité de l'élève à extraire des informations de différentes ressources et à les mettre en relation pour répondre à une question. Il ne s'agit donc pas simplement de rechercher un élément dans un document mais d'apprendre à construire progressivement une argumentation, objet essentiel d'activité à venir, en cycle terminal notamment.

Réponses

1. S'APPROPRIER

- a. Un téléphone portable émet des ondes électromagnétiques (radio) via son antenne et une onde acoustique (sonore) via son haut-parleur.
- b. Une onde électromagnétique ne se propage pas dans le vide contrairement à une onde acoustique.

2. ANALYSER

L'oreille est un récepteur d'onde acoustique (doc. 1 et doc. 4). Or les rayons X sont des ondes électromagnétiques (doc. 2) que les oreilles ne peuvent donc détecter. De plus, l'oreille est sensible à des ondes de fréquences (20 Hz à 20 kHz d'après le doc. 4) bien plus faibles que celles des rayons X (10^{16} Hz à 10^{20} Hz d'après le doc. 2). L'œil est un récepteur d'ondes électromagnétiques, ondes lumineuses (doc. 1 et 4), mais la fréquence des rayons X est bien trop élevée (10^{16} Hz à 10^{20} Hz d'après le doc. 2) pour que l'œil y soit sensible (10^{14} Hz d'après le doc. 4).

3. VALIDER

La radiographie X permet de donner une image de l'intérieur de l'organisme, ce que ne permet pas la lumière. On peut se demander comment cela est possible et plus précisément, « comment expliquer que l'on puisse observer l'intérieur du corps humain sur la photo du bas du document 3 et pas sur celle du haut ».

Le document 2 indique que l'image obtenue sur l'écran résulte du fait que l'onde l'atteigne ou non. Ainsi, sur l'écran du haut, la lumière n'atteint pas la région située derrière la tête du patient (zone d'ombre portée) alors que les rayons X peuvent l'atteindre sur la photo du bas en noircissant la plaque, notamment en traversant les chairs.

Bien sûr, la composition de la matière intervient puisque, comme l'indique le document 2, une onde électroma-

gnétique de fréquence donnée est absorbée de manière différente par les chairs ou les os. Mais il s'agit d'abord ici de rechercher un paramètre qui influe sur l'interaction entre la matière et une onde.

Le document 1 indique que les ondes lumineuses et les rayons X sont de même nature : ce sont des ondes électromagnétiques. L'hypothèse d'une différence d'interaction entre les tissus (os ou chair) constituant le patient et l'onde qui les traverse du fait d'une nature d'onde différente n'est donc pas valide.

Par contre, les fréquences des rayons X et celles des ondes lumineuses ont des ordres de grandeur très différents : 10^{16} Hz à 10^{20} Hz pour les rayons X d'après le document 2 contre 10^{14} Hz pour les ondes lumineuses d'après le document 4.

On peut donc formuler l'hypothèse suivante : la matière constituant l'organisme absorbe de manière différente l'onde électromagnétique qui la traverse selon la fréquence de cette onde.

Par exemple, en absorbant faiblement les rayons X, les chairs leur laissent atteindre l'écran alors que cette même matière est opaque à la lumière de fréquence plus faible.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

L'échographie : une technique d'imagerie « par réflexion d'onde »

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site : www.nathan.fr/sirius2014.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Modéliser l'échographie

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site : www.nathan.fr/sirius2014.

4. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

La fibroscopie médicale

Commentaires

Il s'agit ici de pratiquer une démarche expérimentale sur la réfraction et la réflexion totale pour en comprendre une application médicale : la fibroscopie.

Réponses

Pour faciliter la formulation des réponses dans la perspective des notions abordées en cours, le professeur peut reprendre le document 2 en début d'activité et le compléter en plaçant la normale (N) au dioptre ainsi que l'angle d'incidence qui permet de repérer la position du rayon incident.

1. RÉALISER

a. Après avoir atteint l'interface air-plexiglas, une partie du faisceau repart dans l'air, l'autre partie est transmise dans le plexiglas en étant éventuellement déviée. Les phénomènes sont donc respectivement : réflexion et réfraction des ondes lumineuses.

REMARQUE : Le rayon est transmis sans être dévié lorsque $i = 0^\circ$, donc lorsque le rayon incident (voir schéma) est perpendiculaire à l'interface.

b. Le rayon réfracté existe quel que soit l'angle d'incidence. Le rayon est en effet réfracté en se rapprochant de la normale au dioptre. Il ne peut se produire de réflexion totale.

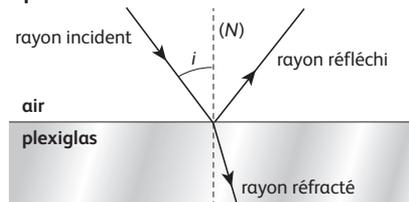
c. Pour un angle d'incidence petit, le faisceau est en partie réfléchi, l'autre partie est réfractée.

À la différence de l'expérience 1, le faisceau est réfracté en s'écartant de la normale (N) au dioptre.

Ainsi, pour un angle d'incidence suffisamment grand (supérieur à 42° dans le cas du dioptre plexiglas-air mis en place dans l'expérience 2), le rayon réfracté peut disparaître alors que le rayon réfléchi existe pour n'importe quelle valeur de i . Il y a réflexion totale.

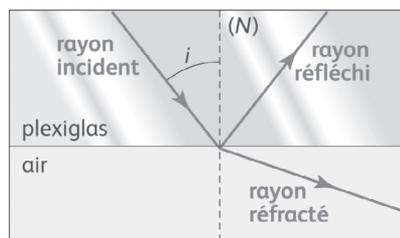
2. ANALYSER

Expérience 1

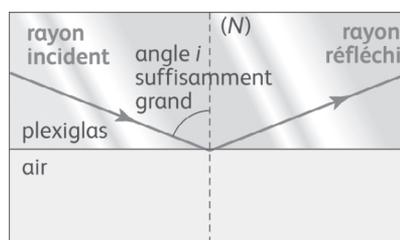


Expérience 2

Situation a



Situation b



Lorsqu'une onde atteint la surface séparant deux milieux transparents et qu'elle ne peut plus être réfractée, on dit qu'il y a réflexion totale.

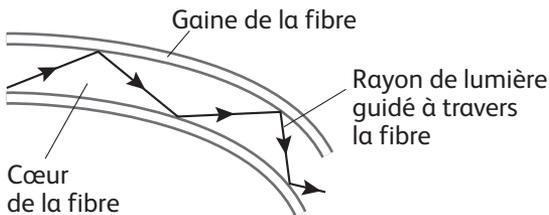
Cela nécessite que :

- dans le cas où il y a réfraction (angle d'incidence petit), le rayon soit réfracté en s'écartant de la normale au dioptre ;
- l'angle d'incidence soit suffisamment élevé.

3. VALIDER

a. La réflexion totale permet d'expliquer que la lumière puisse être guidée à travers une fibre optique. Comme dans la situation b, réflexion totale implique qu'il n'y a plus de rayon réfracté. L'intensité lumineuse réfléchie est alors maximale. En évitant la réfraction, on limite les pertes d'intensité lumineuse. Il est ainsi possible, par une succession de réflexions totales, de transmettre une information lumineuse dans le cœur d'une fibre optique de même courbe avec un minimum d'atténuation de l'intensité lumineuse. La fibroscopie utilise donc ce phénomène et permet d'observer par vision directe des zones situées à l'intérieur de l'organisme, de tuyaux, de conduites d'eau, d'instruments de musique, ... inaccessibles à l'œil nu.

b. Le schéma ci-dessous illustre la propagation de la lumière à l'intérieur de la fibre. On peut modéliser un examen de fibroscopie en mettant un objet (une balle par exemple pour faire office d'organe exploré) dans une boîte (organisme) percée d'un trou (orifice naturel : la bouche par exemple) dans lequel on insère un tube en verre coudé. La lumière émise par un laser à l'extrémité extérieure est guidée par le tube et atteint l'extrémité située à l'intérieur en minimisant les pertes.



La lumière émise par une source (ex. : laser) à l'extrémité extérieure d'une fibre optique est guidée à l'intérieur du cœur de la fibre en subissant une succession de réflexions totales, ce qui lui permet de suivre un parcours globalement non rectiligne jusqu'à l'autre extrémité en minimisant les pertes par absence de réfraction.

Il est ainsi possible par exemple d'éclairer un organe situé à l'intérieur d'un organisme vivant en utilisant les voies naturelles.

19. Extraire et classer des informations

Technique d'imagerie	Thermographie infrarouge	Scanner corporel à ondes T	Radiographie X
Nature des ondes mises en jeu	Électromagnétiques	Électromagnétiques	Électromagnétiques
Phénomènes mis en jeu	Émission par les corps selon leur température et la nature des milieux qui les composent	Absorption par les corps selon la nature des milieux qui les composent	Absorption par les corps selon la nature des milieux qui les composent
Domaine de fréquence	10^{12} Hz à 10^{14} Hz	De l'ordre de 10^{12} Hz	Supérieure à 10^{16} Hz
Effets des radiations sur la matière	Échauffement	Non ionisants	Ionisants

Un système de visualisation (lentilles ou plus couramment une caméra) permet d'en pratiquer l'observation.

EXERCICES Appliquer le cours

Ondes sonores et ondes électromagnétiques

(§1 du cours)

17. Calculer une durée de propagation

$$\Delta t = \frac{L}{v} = \frac{L}{\frac{c}{n}} = \frac{L}{c} n = \frac{4 \times 10^4 \times 10^3}{3 \times 10^8} \times 1,5 = 0,2 \text{ s}$$

18. Utiliser les unités SI

$2T$ correspond à 10,0 divisions soit :

$$T = b \times \frac{n}{2} = 500 \times \frac{10,0}{2} = 2,50 \times 10^3 \mu\text{s} = 2,50 \times 10^3 \times 10^{-6} \mu\text{s} = 2,50 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,50 \times 10^{-3}} = 400 \text{ Hz.}$$

$20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$: l'onde acoustique détectée est audible.

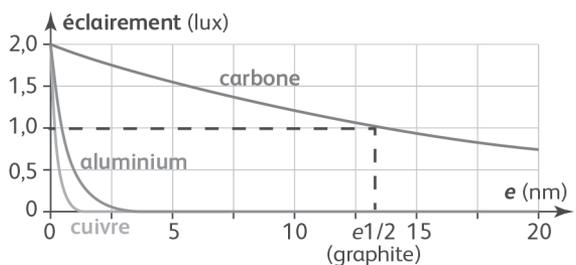
Ondes et imagerie médicale (§2 du cours)

20. Analyser un graphique

a. Un milieu de propagation absorbe une onde électromagnétique telle qu'un faisceau de rayons X.

b. Par effet croissant d'absorption des rayons X, on a le graphite, l'aluminium et le cuivre. La détermination graphique de l'épaisseur de chaque matériau, notée $e/2$, qui permet de diviser par deux la valeur de l'éclairement de la plaque, permet de justifier l'affirmation précédente puisque plus le matériau est absorbant, plus $e/2$ est faible.

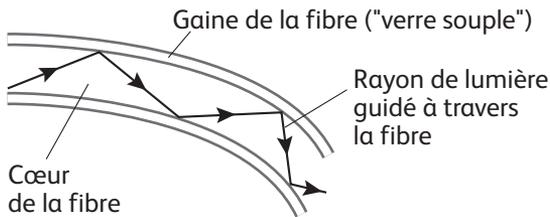
Matériau	Graphite	Aluminium	Cuivre
$e/2$ (mm)	14	0,5	0,2



c. On peut proposer l'hypothèse suivante : l'absorption des rayons X est d'autant plus importante que le numéro atomique des atomes qui constituent le matériau est élevé.

21. Argumenter à l'aide d'un schéma

Le schéma ci-dessous illustre la propagation de la lumière à l'intérieur de la fibre. La lumière émise à l'extrémité extérieure de la fibre est guidée en subissant une succession de réflexions totales ce qui permet à la lumière de suivre un parcours globalement non rectiligne en minimisant les pertes par absence de réfraction.



22. Confronter un modèle à la réalité

a. L'élément A simule le ventre de la patiente, B l'épiderme et C le fœtus.

b. Le récepteur (relié à l'oscilloscope) manque pour réaliser l'expérience. Il faut l'accoler et placer l'ensemble émetteur-récepteur face à A et contre B.

c. Exemple de protocole

Alimenter l'émetteur et le placer en mode « salves ».

Connecter l'émetteur E et le récepteur R à l'oscilloscope de manière à visualiser les signaux émis et reçus.

Effectuer les réglages de l'oscilloscope de manière à observer des signaux convenables lorsque E et R sont face à face à quelques centimètres de distance l'un de l'autre. Ajuster si besoin la fréquence de l'émetteur.

Introduire C dans A et recouvrir l'ouverture de A à l'aide de B. Accoler E et R et placer l'ensemble E-R face à A et contre B.

Déplacer E et R le long de B et repérer les variations de durée Δt entre le début de l'émission d'une impulsion ultrasonore et la réception de son écho qui indiquent une variation de distance D sonde-interface.

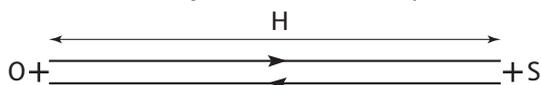
d. **Similitudes** : ondes utilisées (ultrasons) et principe physique (détermination de la durée du parcours séparant l'émission d'une impulsion ultrasonore de la réception de son écho réfléchi par une interface pour déterminer la distance sonde-interface).

Différences : fréquence des signaux, aspect de l'écran, vitesse de propagation du fait de milieux différents : eau à la place de l'air.

EXERCICES S'entraîner

24. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, communiquer.



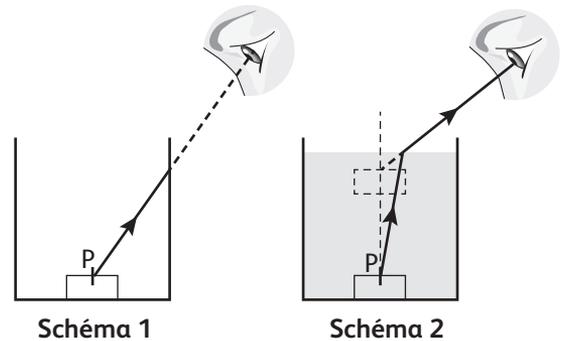
La distance parcourue pendant Δt est $d = 2H$.

$d = c \times \Delta t$ implique $2H = c \times \Delta t$.

Ainsi : $H = c \times \frac{\Delta t}{2} = 3,00 \times 10^8 \times \frac{8,87 \times 10^{-3}}{2} = 1,33 \times 10^6$ m.

25. ✪ Quand l'invisible devient visible...

> COMPÉTENCES : Analyser, valider.



En l'absence d'eau, aucun rayon issu de la pièce ne peut atteindre l'œil de l'observateur qui ne voit donc pas la pièce (schéma 1).

Lorsque le verre est rempli d'eau, des rayons comme celui issu de P peuvent être réfractés par l'eau en étant déviés vers l'œil. L'observateur interprétant la lumière comme se propageant en ligne droite perçoit l'image de la pièce au-dessus de la pièce elle-même (schéma 2).

26. Une « épine » dans le pied

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, valider.

a. Ondes électromagnétiques.

b. Fréquence.

c. L'agrafe chirurgicale apparaît blanche sur le cliché et les os gris. L'agrafe a absorbé davantage les rayons X qui n'ont pu atteindre la plaque. Or, les rayons X sont d'autant plus absorbés que les atomes sont lourds. L'agrafe est donc bien constituée d'alliage d'atomes (nickel, titane) plus lourds que ceux composant les os (ex : calcium).

27. In English Please

> COMPÉTENCE : Valider.

a. Les ondes citées dans le texte sont électromagnétiques (ondes radio).

b. Les ondes radio sont faiblement absorbées par l'eau.

c. Échographie.

L'IRM, la radiographie X et le scanner sont des techniques qui utilisent des ondes de même nature que celles citées dans la première phrase du texte.

28. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

✪ L'échographie : des ultrasons pour localiser

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

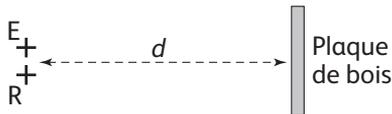
a. Exemple de protocole.

Alimenter l'émetteur et le placer en mode salve.

Connecter l'émetteur E et le récepteur R à l'oscilloscope de manière à visualiser les signaux émis et reçus.

Effectuer les réglages de l'oscilloscope de manière à observer des signaux convenables lorsque E et R sont face à face à quelques centimètres de distance l'un de l'autre. Ajuster si besoin la fréquence de l'émetteur. Accoler E et R et placer l'ensemble E-R face à la plaque en bois.

b. Mesurer la durée Δt entre le début de l'émission d'une impulsion ultrasonore et la réception de son écho et en déduire la distance d sonde-interface.



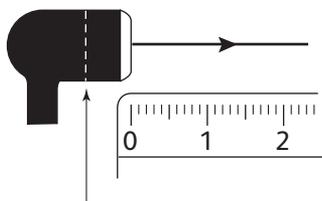
La durée que met l'impulsion à parcourir $2d$ (un aller-retour) est : Δt .

D'après l'oscillogramme : $\Delta t \leftrightarrow n_H = 5,0$ div donc $\Delta t = b \times n_H = 2 \times 1,0 = 2,0$ ms.

$$d = v \times \frac{\Delta t}{2} \text{ soit } d = 340 \times \frac{2,0 \times 10^{-3}}{2} = 0,34 \text{ m} = 34 \text{ cm.}$$

Des sources d'erreurs sont, par exemple :

- pointage et lecture sur l'axe horizontal gradué de l'écran de l'oscilloscope ou de la règle ;
- la température de la salle n'est pas de 16°C et donc v n'est pas égale à $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- une distance d parcourue par l'onde plus élevée que celle calculée ci-dessus, du fait d'un trajet non perpendiculaire à la plaque et d'une position de E et R en recul par rapport au boîtier.



Place réelle de l'émetteur

29. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

☆☆ Un modèle de l'échographie

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

a. Le récipient rempli d'eau + la plaque de plexiglas + l'objet réflecteur modélisent le corps humain dans sa globalité.

La plaque de plexiglas modélise un muscle et l'objet réflecteur un os.

La sonde de l'appareil reste en réalité en surface. Elle n'est pas introduite dans l'organisme.

b. La durée que met l'impulsion à parcourir $2D$ (un aller-retour) est t_R .

D'après l'oscillogramme de la figure 1 : $t_R \leftrightarrow n_H = 7,0$ div donc $t_R = b \times n_H = 20 \times 7,0 = 1,4 \times 10^2 \mu\text{s}$.

$$D = v \times \frac{t_R}{2} \text{ soit } D = 1500 \times \frac{1,4 \times 10^2 \times 10^{-6}}{2} = 0,11 \text{ m.}$$

c. D'après l'oscillogramme de la figure 2 :

$t'_R \leftrightarrow n'_H = 6,0$ div soit $n'_H < n_H$.

Ainsi, en présence de plexiglas, l'ultrason parcourt $2D$ en une durée plus petite qu'en son absence ($t'_R < t_R$). L'ultrason se propage plus vite dans le plexiglas que dans l'eau.

d. Au fur et à mesure que la sonde descend :

- t_A reste inchangé puisque l'interface eau-plexiglas occupe la même position ;
- t_B augmente car e augmente et la distance entre la sonde et l'interface plexiglas-eau augmente ;
- l'épaisseur du plexiglas traversée par l'ultrason augmente et celui-ci parcourt donc $2D$ de plus en plus vite : t'_R diminue donc.

30. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

☆☆ Fibroscopie

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, valider.

Le tableau en bas de page correspond au suivi de l'aide méthodologique proposée dans l'énoncé de l'exercice du manuel. Il permet de lister les différentes informations issues des documents et des connaissances, de mettre en relation (numéros entre parenthèses) les éléments pertinents, puis de construire un plan dans lequel chaque paragraphe soutient une idée et présente des informations issues des documents ou des connaissances, mises en relation par des connecteurs logiques (« parce que », « néanmoins », etc.).

Document 1	Document 2	Document 3	Connaissances
Lors de l'examen, la lumière ne se propage pas en ligne droite. (1)	À la traversée de l'interface séparant deux milieux la lumière peut être : - en partie transmise en étant déviée ; - en partie renvoyée dans le premier milieu. (3)	La fibre est constituée de plusieurs milieux, notamment le cœur et la gaine. (1)	Dans un milieu homogène et transparent, la lumière se propage en ligne droite. (1)
La lumière est guidée par la fibre. (2)	À la traversée de l'interface séparant deux milieux, la lumière peut être renvoyée complètement dans le 1 ^{er} milieu. (2)		Réfraction Réflexion (3)
			Réflexion totale La réflexion totale permet d'éviter les pertes de lumière du fait de l'absence de réfraction. (2)

31. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

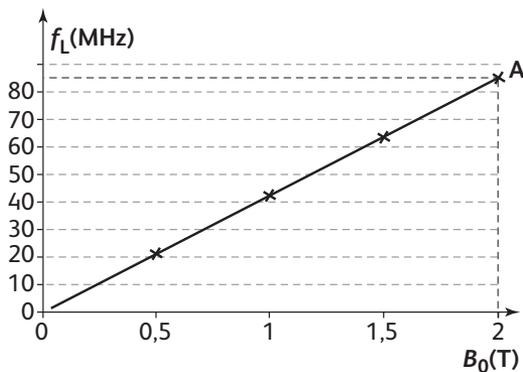
L'imagerie de résonance magnétique

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, valider.

a. Ondes électromagnétiques.

b.

Évolution de la fréquence de Larmor en fonction de la valeur du champ magnétique



Analyse graphique

La courbe obtenue est une droite passant par l'origine, ce qui confirme que f_L est proportionnelle à B_0 ce qui implique $f_L = K \times B_0$.

Or la relation (1) implique $f_L = \frac{\gamma}{2\pi} \times B_0$.

La relation (1) est donc compatible avec le graphe et $K = \frac{\gamma}{2\pi}$.

Détermination de γ

$$\gamma = 2\pi K.$$

Or K est le coefficient directeur de la droite :

$$K = \frac{f_L(A) - f_L(O)}{B_0(A) - B_0(O)} = \frac{81 - 0}{1,9 - 0} = 43 \text{ MHz} \cdot \text{T}^{-1}$$

$$\gamma = 2 \times \pi \times 43 = 2,7 \times 10^2 \text{ MHz} \cdot \text{T}^{-1}$$

c. Comme l'indique le document 1, l'espèce principale mise en évidence est l'eau. Les éléments de l'organisme analysés sont par exemple les tissus musculaires.

32. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✪✪ Écholocalisation et échographie

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, valider.

Le tableau en bas de page constitue une aide méthodologique.

Le candidat peut y consigner les différentes informations issues des documents et des connaissances, et mettre en relation les éléments pertinents afin de construire un plan dans lequel chaque paragraphe soutient une idée.

Éléments de correction

• Éléments scientifiques :

– complets, exacts, pertinents ;

– issus des documents et des connaissances.

Les éléments attendus sont ceux du tableau de l'aide méthodologique, correctement mis en relation.

Doc. 1	Doc. 2	Doc. 3	Doc. 4	Connaissances
<p>Chauve-souris et papillon (1)</p> <p>Les chauves-souris mesurent la durée séparant l'émission d'une impulsion ultrasonore de la réception de son écho réfléchi par la proie. (3)</p> <p>La fréquence des ultrasons utilisés par la chauve-souris est comprise entre 60 et 60,3 kilohertz. (2)</p>	<p>$d = 17 \text{ cm}$ (3)</p> <p>Éléments constituant le modèle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Toile - Boite en carton - Plateau surélevé - Émetteur-récepteur <p>(1)</p>	<p>Récepteur d'ultrasons (2)</p> <p>$4 T = 100 \mu\text{s}$ (2)</p>	<p>Récepteur et émetteur d'ultrasons (2)</p> <p>Durée séparant l'émission d'une impulsion ultrasonore de la réception de son écho est de 1,0 ms. (3)</p>	<p>La fréquence d'une onde ultrasonore est supérieure à 20 kHz. (2)</p> <p>La vitesse de propagation des ondes sonores et ultrasonores du son dans l'air est proche de $v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (3)</p> <p>Relation entre la distance parcourue par une onde et la durée du parcours $D = v \cdot \Delta t$ (3)</p>
<p>Les variations de fréquence de l'écho par rapport au son émis \Leftrightarrow la vitesse relative d'un insecte en vol et la fréquence du battement des ailes.</p> <p>Amplitude de l'écho + retard \Leftrightarrow taille de la proie.</p>	<p>Éléments qui ne sont pas forcément pertinents a priori puisque ils ne sont pas mis en relation avec d'autres informations. Ils peuvent être par contre utiles pour contextualiser la synthèse ou compléter la conclusion (ouverture).</p>			

- Organisation et exploitation

Un contexte court puis une problématique. *Exemple* : « Comment, dans l'obscurité, des animaux peuvent-ils détecter des proies invisibles à leurs yeux ? »

Exemple de plan pour organiser l'argumentaire :

1° Un modèle pour comprendre

Éléments notés (1) dans le tableau et correspondance :

Émetteur-récepteur ↔ chauve-souris

Toile ↔ le plafond

Boîte en carton ↔ grotte

Plateau ↔ papillon

2° Utilisation d'ultrasons

Éléments notés (2) dans le tableau et calcul de f dans le cas du doc. 3.

3° Détection par calcul de durée de parcours d'une impulsion

Éléments notés (3) dans le tableau et validation de d par calcul sur la base d'un schéma et des informations tirées du doc. 4 et des connaissances.

Conclusion qui répond à la problématique, et ouverture : généralisation à d'autres animaux (dauphins) et éléments du doc. 1 non placés dans l'argumentaire.

- Qualité de la synthèse

– Problématique : Le sujet est clairement présenté et compris.

– Mise en œuvre cohérente et apparente : développement organisé sous forme d'un argumentaire présentant les éléments de preuve avec usage de connecteurs logiques (« donc », « et », « ou », « parce que », etc.) et conclusion qui répond à la problématique.

– Expression écrite : qualité du texte (respect de l'émetteur et du récepteur, respect de la forme d'expression attendue), qualité de la rédaction (correction orthographique et grammaticale, argumentaire ou justification avec connecteur logique correctement employé), organisation du texte (une idée par paragraphe) .

– Qualité de la schématisation : schémas clairs, légendés et titrés.

Solutions et concentration massique

> Manuel pages 88 à 103

Choix pédagogiques

Nous avons choisi d'aborder les notions de solution, de concentration et de dilution en début d'année scolaire. Dans ce chapitre, la grandeur caractéristique d'une solution est la concentration massique, plus facile à appréhender par l'élève que la concentration molaire (introduite juste après dans le chapitre 7, avec la mole).

Nous notons c_m la concentration massique d'une solution. Les exemples choisis sont aussi bien des solutés ioniques que des solutés moléculaires. Dans le cas d'un solide ionique, nous nous intéressons à la masse de solide ionique dissous par litre de solution (qu'on appellera « concentration massique en solide ionique dissous »), même si la dissolution conduit à la dispersion des anions et des cations dans la solution et que la concentration massique de chacun des ions en solution diffère de la masse de solide dissous par litre de solution.

Les exemples des activités ont tous été choisis dans le domaine de la santé.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Dissolution d'un comprimé de vitamine C dans de l'eau.

Que deviennent les molécules de vitamine C lors de la dissolution du comprimé dans l'eau ?

Cette première photographie et cette première question ont un double objectif : rappeler l'étude de la dissolution (dans l'eau) menée en classe de cinquième, et susciter une réflexion sur l'aspect microscopique de ce phénomène (en s'appuyant sur la description moléculaire vue en quatrième). En faisant utiliser le vocabulaire spécifique de la dissolution (solvant, soluté, soluble, insoluble...), on peut faire remarquer que la masse totale (solvant + soluté) se conserve au cours de la dissolution. Ce retour sur ces connaissances du collège conduit naturellement à s'interroger sur le devenir des molécules présentes dans le comprimé de vitamine C au sein de l'eau : on se limite à la dispersion des molécules de soluté parmi celles de solvant, en faisant, par exemple – comme en quatrième – un parallèle entre la diffusion d'un gaz dans l'air et d'un soluté dans l'eau, et en l'illustrant éventuellement par un schéma simplifié.

REMARQUE : dans le cas de la plupart des médicaments, on n'obtient pas rigoureusement une solution aqueuse mais une suspension, plus trouble, lorsque les espèces présentes (principe actif et/ou excipients) sont peu solubles dans l'eau. Néanmoins, juste après agitation (ou juste après l'effervescence), on pourra considérer que les espèces sont réparties de façon homogène dans le solvant.

Analyses d'un prélèvement sanguin.

Que déterminent ces analyses de sang ? Pourquoi ?

Le tableau présente des résultats d'analyses (tels qu'ils sont envoyés aux patients) : une colonne pour l'espèce analysée, une autre pour la concentration massique cor-

respondante (on ne voit pas ici la dernière colonne, pour les valeurs dites normales).

La discussion peut porter sur le contenu de chaque colonne :

– Quelles espèces sont recherchées ici, et pourquoi ? On peut faire un lien avec la biologie (anémie, système immunitaire...).

– Quelles unités sont utilisées ?

Plusieurs unités sont utilisées selon ce qui est mesuré. On trouve ainsi une valeur en fL pour le volume moyen des globules rouges. On trouve aussi une masse en pg : c'est la masse moyenne d'hémoglobine dans un globule rouge. Pour les mesures permettant d'apprécier les caractéristiques d'un globule rouge (ou plutôt de la moyenne des globules rouges), on utilise une unité de masse ou de volume. Mais pour les mesures correspondant à l'ensemble de l'échantillon, les valeurs sont exprimées en « / unité de volume » (/mm³, /dL).

Quelle grandeur a été mesurée et figure dans la deuxième colonne pour chaque espèce ? Pour tenter de répondre, on peut s'intéresser à l'unité de cette grandeur. La notion de concentration massique a pu être abordée au collège ; si ce n'est pas le cas, l'unité « g/L » peut être analysée, comme unité d'une grandeur obtenue en divisant une masse par un volume : de quelle masse s'agit-il ? De quel volume s'agit-il ? Par exemple, ce n'est pas le nombre de leucocytes dans l'échantillon qui est intéressant (car ce nombre dépend du volume de l'échantillon), mais le nombre de leucocytes par mm³, c'est-à-dire leur concentration : la comparaison avec d'autres analyses de sang est ainsi aisée (ainsi qu'avec les valeurs dites normales). De même, ce n'est pas la masse d'hémoglobine dans l'échantillon analysé qui importe, mais la masse d'hémoglobine par décilitre de sang (concentration massique).

REMARQUE : la concentration de leucocytes (6900 / mm³) peut aussi permettre d'introduire la notion de quantité de matière par volume (on peut aussi convertir en

nombre de leucocytes par litre pour se rendre compte qu'il n'est pas toujours judicieux de compter les entités d'espèce chimique une à une).

Vidéo Débat : Préparation d'un biberon.

Pourquoi doit-on verser un nombre donné de dosettes de lait en poudre dans la préparation d'un biberon de 120 mL ?

L'objectif est ici d'illustrer la notion de concentration (couramment utilisée dans la vie quotidienne) à partir d'une situation concrète.

Premier questionnement possible : pourquoi utilise-t-on des cuillères-doses et mesure-t-on un volume d'eau ?

Le biberon doit contenir un liquide ayant des qualités gustatives, nutritives et hydratantes bien déterminées. Pour obtenir le lait reconstitué, on ne peut donc pas introduire n'importe quelle quantité de lait en poudre dans n'importe quel volume d'eau (faire l'analogie avec la préparation d'un verre de sirop de menthe par exemple). Le volume d'eau est mesuré grâce aux graduations gravées sur le biberon (pour une bonne mesure du volume, l'œil doit être à la même hauteur que la graduation considérée) et la quantité de poudre introduite est mesurée en cuillères-doses : la vidéo précise que la cuillère doit être rase.

Deuxième questionnement possible : que penser des valeurs données dans la vidéo ? Que remarque-t-on ?

Le dosage indiqué est une dose rase pour 30 cL d'eau, et la vidéo indique qu'il faut 4 doses pour 120 mL d'eau. On remarque que ces deux informations ne sont pas cohérentes et que l'auteur de la vidéo a confondu les cL et les mL. Il ne s'agit pas de 30 cL (c'est-à-dire 300 mL), mais de 30 mL d'eau. Le rapport (nombre de doses / volume) doit toujours être le même : $\frac{1}{30} = \frac{4}{120}$. On peut demander aux élèves combien on devrait mettre de doses pour 60 mL, 150 mL, 180 mL, 210 mL, ou inversement quel volume d'eau on utilise pour 8 cuillères-doses par exemple. On peut également faire remarquer que l'utilisation de la cuillère-dose ne permet pas de donner n'importe quel volume d'eau (multiple de 30 mL).

Autres questions possibles : pourquoi la vidéo indique-t-elle qu'il faut mélanger le contenu du biberon ? Pourquoi fait-on rouler le biberon entre les mains pour mélanger ? Les élèves peuvent aussi remarquer que le volume du liquide obtenu n'est pas le volume d'eau de départ, ce qui peut amener à un autre questionnement : le lait reconstitué sera-t-il le même si on inverse les étapes de préparation (d'abord introduction de la poudre, puis de l'eau) ?

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Les solutions, de la vie quotidienne à la chimie

Commentaires

Pour introduire la notion de concentration massique, cette activité documentaire part d'un comportement courant de la vie quotidienne, qui consiste à mettre plus ou moins d'eau pour dissoudre un comprimé, et ainsi obtenir une solution au goût plus ou moins prononcé. Cette activité s'appuie sur des connaissances du collège : dissolution d'un solide dans un liquide, vocabulaire spécifique à la dissolution (solution, solvant, soluté...).

Réponses

1. S'APPROPRIER

À gauche, on s'apprête à introduire un comprimé dans un verre d'eau : il s'agit d'une dissolution. À droite, on introduit de l'eau dans une solution (colorée) : il s'agit d'une dilution, et la solution obtenue aura une teinte moins intense que celle de départ.

2. ANALYSER

Les solutés sont le sucre (saccharose) et les autres constituants du comprimé (autres excipients, et principe actif : vitamine C).

a. Si m augmente et si V ne change pas, la boisson obtenue a un goût plus sucré. De même, si m diminue et si V ne change pas, la préparation obtenue a un goût moins sucré.

b. Si V augmente et si m ne change pas, la préparation obtenue a un goût moins sucré.

c. $c_m = \frac{m}{V}$ (seule formule cohérente avec les réponses aux questions 2.a. et 2.b.).

d. La concentration massique peut s'exprimer en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (pour obtenir la concentration massique, on divise une masse, par exemple en gramme, par un volume, par exemple en litre).

3. RÉALISER

REMARQUE : $628 \text{ mg} = 0,628 \text{ g}$; $250 \text{ mL} = 0,25 \text{ L}$; en fait, la précision sur la mesure du volume (verre doseur) ne permet pas de mesurer le volume au mL près. On considère donc que le volume est connu avec deux chiffres significatifs (même chose avec le comprimé coupé en deux) : la valeur de la concentration massique est donc donnée avec deux chiffres significatifs.

	Préparation (a)	Préparation (b)	Préparation (c)
Concentration massique en saccharose	$\frac{(0,5 \times 0,628)}{0,10} = 3,1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	$\frac{(0,5 \times 0,628)}{0,25} = 1,3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	$\frac{0,628}{0,25} = 2,5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

4. VALIDER

Pour obtenir une boisson au goût peu prononcé, on introduira le comprimé dans un plus grand volume d'eau. Pour obtenir une boisson au goût plus prononcé (sucré autres), on introduira le comprimé dans un volume d'eau plus petit : par exemple, la préparation (a) a un goût plus prononcé que la préparation (b), ce qui est cohérent avec les valeurs de concentrations massiques trouvées à la question précédente, puisque la préparation (a) a une concentration massique en saccharose ($3,1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) supérieure à celle de la préparation (b) ($1,3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$). Si, après avoir goûté, on constate que le goût est trop fort, on peut ajouter de l'eau à la préparation.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Préparation par dissolution d'une solution à perfuser

Commentaires

Cette activité décrit le mode opératoire à suivre pour préparer avec précision une solution aqueuse de concentration massique donnée par dissolution d'une espèce solide. Les solutions préparées ici sont des solutions aqueuses glucosées : ce type de solutions est fréquemment administré par perfusion avant, pendant ou après une opération chirurgicale.

Réponses

1. RÉALISER

- a. L'œil doit être placé en face, au même niveau que le trait de jauge (ni au-dessous, ni au-dessus).
c. Les trois solutions sont incolores, donc paraissent identiques à l'œil nu : on ne peut pas dire si elles ont la même concentration ou non.

2. ANALYSER

- a. On récupère l'eau de rinçage de la coupelle lors de la préparation pour éviter de perdre du solide pesé.
b. Si le trait de jauge est dépassé, un prélèvement à la pipette du liquide excédentaire ne permet pas de rectifier l'erreur : un tel prélèvement contient aussi du soluté déjà dissous dans le solvant, la solution ainsi préparée aura donc une concentration massique inférieure à celle souhaitée.

3. VALIDER

Pour la solution 1, la concentration massique est :

$$c_{m,1} = \frac{2,5}{0,0250} = 1,0 \times 10^2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Pour la solution 2, la concentration massique est :

$$c_{m,2} = \frac{7,5}{0,0500} = 1,5 \times 10^2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Pour la solution 3, la concentration massique est :

$$c_{m,3} = \frac{5,0}{0,1000} = 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Les trois solutions préparées ne sont donc pas identiques, elles ont des concentrations massiques différentes, et c'est la solution 3 qui correspond à la solution utilisée dans la perfusion.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Préparation par dilution d'une solution antiseptique

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site : www.nathan.fr/sirius2014.

4. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Réaliser et utiliser une échelle de teintes

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site : www.nathan.fr/sirius2014.

EXERCICES Appliquer le cours

■ Que contient une solution ? (§1 du cours)

16. Connaître les constituants d'une solution

Le soluté est du chlorure de sodium (couramment appelé « sel », utilisé en cuisine) et le solvant est l'eau.

■ Concentration massique (§2 du cours)

17. Calculer une concentration massique

$$c_m = \frac{m}{V} \text{ avec } m = 0,3 \text{ g et } V = 0,100 \text{ L.}$$

$$\text{A.N. : } c_m = \frac{0,3}{0,100} = 3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

18. Utiliser une formule

$$m = c_m \times V$$

$$\text{A.N. : } m = 5,5 \times 10^2 \times 0,250 = 1,4 \times 10^2 \text{ g.}$$

19. Faire des conversions d'unités

$$V = 100 \text{ mL} = 100 \times 10^{-3} \text{ L} = 1,00 \times 10^{-1} \text{ L.}$$

$$m = 60 \text{ mg} = 60 \times 10^{-3} \text{ g} = 6,0 \times 10^{-2} \text{ g.}$$

La concentration massique du lait en vitamine A est

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

$$c_m = \frac{6,0 \times 10^{-2}}{(1,00 \times 10^{-1})} = 6,0 \times 10^{-1} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

20. Comparer à des valeurs de référence

La concentration massique en urée est $c_m = \frac{m}{V}$ avec $m = 5,0 \times 10^{-4} \text{ g}$ et $V = 2,0 \times 10^{-3} \text{ L}$.

A.N. : $c_m = \frac{(5,0 \times 10^{-4})}{(2,0 \times 10^{-3})} = 0,25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, ce qui est une valeur normale.

21. Reconnaître une technique de préparation

$$\text{a. } c_m = \frac{m}{V}, \text{ avec } V = 200 \text{ mL} = 0,200 \text{ L}$$

$$\text{et } m = 500 \text{ mg} = 0,500 \text{ g}$$

$$\text{A.N. : } c_m = \frac{0,500}{0,200} = 2,50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

b. En introduisant le paracétamol dans le verre d'eau, l'homme prépare une solution par dissolution (une agitation est nécessaire) ; en préparant sa solution pour bain de bouche, il effectue une dilution : il ajoute de l'eau à une solution aqueuse.

22. Déterminer une masse

$$m = c_m \times V$$

$$\text{A.N. : } m = 5,0 \times 10^{-3} \times 3,0 = 1,5 \times 10^{-2} \text{ g.}$$

23. Rédiger un protocole de dissolution

On pèse la masse $m = 500 \text{ mg} = 0,500 \text{ g}$ de saccharose dans une coupelle de pesée, et on introduit ce prélèvement dans une fiole jaugée de 100 mL.

On rince la coupelle avec de l'eau distillée, en récupérant l'eau de rinçage dans la fiole, qu'on remplit environ à moitié d'eau distillée.

On agite délicatement (latéralement) avant de compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, de boucher et d'homogénéiser vivement.

24. Calculer une masse d'espèce à dissoudre

Il faut peser une masse

$$m = c_m \times V = 9,00 \times 0,2500 = 2,25 \text{ g.}$$

Préparation d'une solution par dilution

(§3 du cours)

25. Nommer et schématiser la verrerie

On utilise une pipette jaugée de 10 mL (plus précise qu'une pipette graduée de 10 mL, et beaucoup plus précise qu'une éprouvette graduée). (Schéma par exemple dans le document 2 p. 92)

26. Calculer un volume de solution

Le volume de solution mère à prélever est :

$$V_0 = \left(\frac{c_m}{c_{m,0}} \right) \times V$$

$$\text{A.N. : } V_0 = \left(\frac{5,00 \times 10^{-1}}{2,50} \right) \times 5,00 \times 10^{-2} = 0,0100 \text{ L} = 10,0 \text{ mL.}$$

27. Rédiger un protocole de dilution

Le contenu de l'ampoule (volume $V_0 = 5,0 \text{ mL}$ de solution de vitamine C) est introduit dans une fiole jaugée de 250 mL.

On ajoute ensuite de l'eau distillée (jusqu'aux deux tiers environ), avant d'agiter délicatement (latéralement) la solution (sans projections de liquide au-dessus du trait de jauge).

On complète ensuite avec de l'eau distillée (on termine à la pipette Pasteur) jusqu'au trait de jauge, avant de boucher et d'homogénéiser vigoureusement la solution fille obtenue.

28. Utiliser la fiole jaugée

Lors de l'agitation pour faciliter la dissolution (la fiole n'étant pas complètement remplie), des gouttes de solution sont montées au-delà du trait de jauge (voire dans le bouchon) : on perd donc du soluté.

Il faut vérifier le bon ajustement du trait de jauge avant l'agitation vigoureuse de la solution.

Lorsque l'élève ajuste au trait de jauge en complétant avec de l'eau distillée, ses yeux ne sont pas du tout à la même hauteur que le ménisque et le trait de jauge : il ne peut donc voir si la fiole est effectivement bien remplie.

29. S'adapter aux notations de l'énoncé

Le volume de solution mère à prélever est :

$$V_1 = \left(\frac{c_{m,2}}{c_{m,1}} \right) \times V_2$$

$$\text{A.N. : } V_1 = \left(\frac{5,00 \times 10^{-3}}{1,0 \times 10^{-1}} \right) \times 100,0 \times 10^{-3} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ L} = 5,0 \text{ mL.}$$

EXERCICES S'entraîner

31. Concentrations en caféine

> COMPÉTENCES : Restituer, réaliser, valider.

a. $c_m = \frac{m}{V}$, avec $V = 200 \text{ mL} = 0,200 \text{ L}$

et $m = 50 \text{ mg} = 0,050 \text{ g}$.

$$\text{A.N. : } c_m = \frac{0,050}{0,200} = 0,25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

b. $c'_m = \frac{m'}{V'}$, avec $V = 30 \text{ mL} = 0,030 \text{ L}$

et $m' = 40 \text{ mg} = 0,040 \text{ g}$.

$$\text{A.N. : } c'_m = \frac{0,040}{0,030} = 1,3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

La concentration en caféine est donc plus grande dans un espresso que dans la solution obtenue par dissolution d'un comprimé de Guronsan®.

32. Masse volumique ou concentration massique ?

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser.

a. Masse volumique d'une solution : **masse de solution** divisée par le volume occupé par cette masse de solution :

$$\rho = \frac{m_{\text{solution}}}{V_{\text{solution}}}$$

b. Concentration massique d'une solution : **masse de soluté** divisée par le volume contenant cette masse de

$$\text{soluté : } c_m = \frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$$

c. Ces deux grandeurs sont obtenues en divisant une masse par un volume : elles peuvent donc être exprimées dans la même unité (par exemple en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$). Mais attention, dans le cas de la concentration massique, la masse figurant au numérateur est la **masse de soluté**, tandis que dans l'expression de la masse volumique, la masse au numérateur est la **masse de solution**.

d. Le sérum physiologique est une solution aqueuse de chlorure de sodium, la valeur $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ est sa concentration massique en chlorure de sodium. $1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ correspond à la masse volumique de l'eau purifiée.

33. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, réaliser.

a. Le volume de solution dans le flacon est :

$$V = 25 \text{ mL} = 0,025 \text{ L.}$$

La masse m de paclitaxel dans le flacon est donc :

$$m = c_m \times V, \text{ avec } c_m = 6,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

$$\text{A.N. : } m = 6,0 \times 0,025 = 0,15 \text{ g.}$$

b. La concentration massique de la solution souhaitée est $c'_m = 0,30 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1} = 0,30 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 0,30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. L'infirmière pourra en préparer le plus grand volume possible V' en utilisant toute la masse de paclitaxel m contenue dans le flacon.

$$\text{On en déduit } V' = \frac{m}{c'_m}.$$

$$\text{A.N. : } V' = \frac{0,15}{0,30} = 0,50 \text{ L.}$$

34. ⚡ Suspension buvable à l'ibuprofène

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, analyser.

$$\text{a. } c_m = 20 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1} = 20 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

b. Elle correspond à la masse (en mg) qui peut être absorbée par jour et par kg de masse corporelle.

c. En une prise, on peut absorber $\frac{30}{4} = 7,5 \text{ mg}$ d'ibuprofène par kg de masse corporelle.

$$\text{Donc } m = 7,5 \text{ mg} = 7,5 \times 10^{-3} \text{ g.}$$

$$\text{d. } V = \frac{m}{c_m} = \frac{(7,5 \times 10^{-3})}{20} = 3,8 \times 10^{-4} \text{ L} = 0,38 \text{ mL.}$$

35. In English Please

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

a. Un volume de 100 mL de la solution contient une masse de 850 mg de chlorure de sodium. Or 1,0 mL de cette solution pèse 1,0 g. On en déduit qu'une masse de 100 g de la solution contient une masse de 850 mg = 0,850 g de chlorure de sodium.

Pour trouver le pourcentage massique en chlorure de sodium, on divise la masse de chlorure de sodium par la masse de solution : $\frac{0,850}{100} = 0,00850$, soit 0,850 %.

b. Le pourcentage massique en peroxyde d'hydrogène est de 3,0 % : 100 g de solution (soit 100 mL de solution) contiennent 3,0 g de peroxyde d'hydrogène. La concentration massique en peroxyde d'hydrogène est donc :

$$c_m = \frac{3,0}{100} = 30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

36. ⚡ Perfusion intraveineuse

> COMPÉTENCES : Restituer, réaliser, analyser.

Chaque solution a une masse volumique $\rho = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$; une masse de 100 g de chacune occupe donc un volume $V = 100 \text{ mL} = 0,100 \text{ L}$.

La concentration massique de la solution à 5,0 % est donc $c_m = \frac{5,0}{0,100} = 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

La concentration massique de la solution à 10,0 % est donc $c'_m = \frac{10,0}{0,100} = 100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

37. ⚡ Vitamine D

> COMPÉTENCES : Restituer, réaliser, analyser.

$$\text{a. } c_m = 1500 \times 0,025 \times 10^{-6} = 3,8 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 3,8 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

b. Le volume de la dose n° 1 est $V = 0,67 \times 10^{-3} \text{ L}$.

$$m = c_m \times V.$$

$$\text{A.N. : } m = 3,8 \times 10^{-2} \times 0,67 \times 10^{-3} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ g} = 25 \text{ } \mu\text{g.}$$

38. ⚡ Traitement de l'asthme

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

$$\text{a. } c_m = \frac{0,050}{0,100} = 0,50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

$$\text{b. Le volume d'une goutte est } V = \frac{30 \times 10^{-3}}{1200} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ L;}$$

on en déduit la masse de substance active dans une goutte : $m = c_m \times V = 0,50 \times 2,5 \times 10^{-5} = 1,3 \times 10^{-5} \text{ g}$.

c. La masse de bétaméthasone délivrée à chaque prise est $40 \times m = 40 \times c_m \times V = 5,0 \times 10^{-4} \text{ g}$.

39. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

Eaux de différentes régions de la Terre

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

Pour répondre à la question, il faut comparer les valeurs de concentrations en différents ions de l'eau du lac Victoria (doc. 1) aux seuils des normes européennes pour la potabilité d'une eau (doc. 2).

Mais l'unité utilisée pour les concentrations massiques dans le document 1 ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) n'est pas la même que celle utilisée dans le document 2 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) pour les cinq ions étudiés. On convertit donc dans un premier temps les valeurs du document 1 en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$:

$$\text{Na}^+ : 10 ; \text{Mg}^{2+} : 6 ; \text{Ca}^{2+} : 10 ; \text{Cl}^- : 20 ; \text{SO}_4^{2-} : 2.$$

Chacune de ces valeurs est inférieure à la valeur maximale autorisée par les normes.

Si on s'intéresse uniquement à la teneur en ces cinq espèces (ou si on se limite aux ions chlorure Cl^- , sulfate SO_4^{2-} et calcium Ca^{2+}), on peut considérer que le scientifique peut boire cette eau.

Cependant les données du document 1 ne permettent pas de conclure, elles sont incomplètes. On ne connaît pas la concentration massique des autres ions, et si la teneur de l'eau en un ion dépasse le seuil correspondant, l'eau est non potable. Il faudrait aussi connaître le pH de l'eau du lac Victoria et sa teneur en pesticides pour conclure sur le caractère potable de l'eau d'un point de vue des espèces chimiques. Mais l'analyse des espèces chimiques ne suffirait pas, les paramètres biologiques sont évidemment à prendre en compte (présence de bactéries...).

40. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

⚡ Analyses sanguines d'un sportif

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, communiquer, valider.

D'après le document 2, l'hématocrite est le rapport du volume des globules rouges sur celui du sang contenant ces globules rouges.

Or la feuille d'analyses donne le nombre de globules rouges par mL de sang ($5,29 \times \frac{10^6 \text{ globules rouges}}{\text{mm}^3} = 5,29 \times \frac{10^9 \text{ globules rouges}}{\text{cm}^3} = 5,29 \times \frac{10^9 \text{ globules rouges}}{\text{mL}}$),

ainsi que le volume moyen d'un globule rouge ($106 \text{ fL} = 106 \times 10^{-15} \text{ L} = 106 \times 10^{-12} \text{ mL}$). On en déduit le volume des globules rouges dans 1 mL de sang :

$$5,29 \times 10^9 \times 106 \times 10^{-12} \text{ L} = 0,561 \text{ mL.}$$

On en déduit l'hématocrite : $\frac{0,561}{1} = 0,561$ soit 56,1 %.

Dans 1 mm³ de sang, il y a 5,29 millions de globules rouges.

$$100 \text{ mL} = 100 \text{ cm}^3 = 100 \times 10^3 \text{ mm}^3 = 10^5 \text{ mm}^3.$$

Dans 100 mL de sang, il y a donc $5,29 \times 10^6 \times 10^5 = 5,29 \times 10^{11}$ globules rouges.

D'après la feuille d'analyses, il y a 14,9 g d'hémoglobine dans 1 dL, soit 100 mL de sang.

La T.C.M.H. (masse moyenne d'hémoglobine dans un globule rouge) est donc $\frac{14,9}{(5,29 \times 10^{11})} = 2,82 \times 10^{-11} \text{ g} = 28,2 \text{ pg}$.

Plusieurs déterminations sont légèrement au-dessus des normes, mais c'est l'hématocrite qui s'en écarte le plus. Ce cycliste subira donc certainement des analyses plus poussées, pour confirmer ou infirmer son éventuel dopage. C'est l'hématocrite (ou taux d'hématocrite) qui a été choisie comme indicateur d'un éventuel dopage à l'EPO. Sa détermination expérimentale est relativement simple : après centrifugation d'un échantillon sanguin, les globules rouges se déposent au fond du tube, et la mesure de leur volume est ainsi réalisable. En divisant par la valeur du volume total de l'échantillon, on obtient la valeur du taux d'hématocrite. La simplicité de cette détermination est un avantage, permettant d'avoir rapidement une suspicion de dopage à l'EPO.

Mais le dopage à l'EPO n'est pas la seule cause d'une augmentation du taux d'hématocrite : d'après le document 3, l'entraînement des sportifs en altitude permet aussi une augmentation significative de l'hématocrite. Un taux d'hématocrite supérieur à 52 % n'est pas forcément la conséquence d'un dopage, mais peut être dû à des conditions d'entraînement particulières. Un taux d'hématocrite un peu supérieur à 52 % n'est donc pas un indicateur fiable pour convaincre un sportif de dopage.

41. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

☆ Utilisation d'une échelle de teintes

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

a. Chacune des solutions de l'échelle de teintes du document 3 a été préparée par dilution d'un volume V_0 de la solution mère de concentration $c_{m0} = 11,6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ dans une fiole jaugée de volume $V = 100 \text{ mL}$. Le volume de solution mère prélevé est indiqué dans le tableau ci-dessous. La concentration massique c_m de la solution obtenue est $c_m = \frac{(c_{m0} \times V_0)}{V}$.

Le volume V_0 de solution mère est prélevé à l'aide d'une pipette graduée de 10 mL (pour les volumes inférieurs à 10 mL) ou à l'aide de deux pipettes (une jaugée de 10 mL et une graduée de 10 mL) pour les volumes supérieurs à 10 mL. On introduit le volume prélevé dans

Tube n°	1	2	3	4	5	6
Concentration massique c_m de la solution fille (en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	$7,0 \times 10^{-4}$	$9,3 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-3}$
Volume V_0 de solution mère prélevé (en mL)	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0

une fiole jaugée de 100 mL et on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

La solution d'Alodont est versée dans un tube à essais de même diamètre que ceux de l'échelle de teintes. On compare alors la teinte de l'Alodont aux teintes de l'échelle de teintes.

b. La couleur de l'Alodont est comprise entre celles des tubes 3 et 4 ; la concentration massique en bleu patenté V de l'Alodont est donc comprise entre $1,2 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ et $1,4 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

c. Avantages de la méthode : cette méthode est rapide et ne nécessite pas de matériel sophistiqué.

Inconvénients : on obtient seulement un encadrement de la concentration cherchée, la détermination est donc peu précise. De plus, la comparaison visuelle peut être délicate.

REMARQUE : Les élèves pourraient aussi proposer de verser quelques mL d'Alodont dans les solutions de l'échelle de teintes pour voir si cela éclaircit, fonce ou laisse inchangée la solution. Cette idée est à rejeter car d'une part elle est destructive de l'échantillon, et une telle modification éventuelle de couleur est aussi difficile à percevoir à l'œil nu.

42. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

☆ Solutions de réhydratation

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

1. Il est préconisé de donner le même volume de l'une ou l'autre solution de réhydratation : 200 mL par kg et par 24 h (même posologie). Pour comparer les deux solutions, il suffit donc de calculer la concentration massique des différentes espèces qu'elles contiennent et de les comparer.

La solution fabriquée en urgence à domicile est une solution aqueuse contenant du chlorure de sodium et du saccharose.

La solution aqueuse vendue en pharmacie contient deux types de sucres (glucose et saccharose) et trois types d'ions : chlorure et sodium (présents aussi dans l'autre solution) et potassium.

2. Le document 3 donne le pourcentage en eau dans un organisme humain en fonction de l'âge de l'individu. On remarque que la proportion d'eau dans le corps d'un nouveau-né (75 %) ou d'un nourrisson (70 % à 3 mois) est beaucoup plus importante que dans le cas d'un adulte (50 % en moyenne) : la déshydratation (par exemple suite à des diarrhées importantes) aura donc des conséquences plus importantes au niveau du fonctionnement de l'organisme (appareil cardio-vasculaire ou rénal par exemple).

3. Calculons les concentrations massiques des différentes espèces pour chacune des solutions.

Solution fabriquée en urgence

Concentrations massiques en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

$$\text{Saccharose} : \frac{(4 \times 6,0)}{1,00} = 24$$

$$\text{Chlorure de sodium} : \frac{(2 \times 0,40)}{1,0} = 0,80$$

Solution pharmaceutique

Concentrations massiques en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

$$\text{Glucose} : \frac{2,65}{0,200} = 13,2$$

$$\text{Saccharose} : \frac{2,49}{0,200} = 12,5$$

$$\text{Sodium} : \frac{0,27}{0,200} = 1,4$$

$$\text{Potassium} : \frac{0,16}{0,200} = 0,80$$

$$\text{Chlorure} : \frac{0,21}{0,200} = 1,1$$

On remarque que la somme des concentrations massiques de glucose et de saccharose de la solution pharmaceutique ($13,2 + 12,5 = 25,5$) est du même ordre de grandeur que la concentration massique en saccharose de la solution fabriquée en urgence ($24 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$).

Par contre, la concentration en chlorure de sodium de la solution fabriquée en urgence est nettement inférieure à la somme des concentrations massiques en chlorure et sodium de la solution pharmaceutique.

On peut donc supposer que l'apport en sucre de la solution d'urgence est suffisant, mais que l'apport en ions est insuffisant.

REMARQUES : le document 2 donne seulement un extrait de la notice d'Adiaril, d'autres ions sont présents dans cette solution pharmaceutique.

Pour conclure il serait plus pertinent de raisonner en concentrations molaires et non en concentrations massiques, car l'effet biologique est dû à la quantité d'une espèce introduite par litre de solution (nombre de molécules ou d'ions par litre).

La mole et la concentration molaire

> Manuel pages 104 à 119

Choix pédagogiques

L'objectif de ce chapitre est de fournir aux élèves un outil fondamental pour observer quantitativement les transformations chimiques (qui sont vues dans le chapitre 2 du thème Sport).

OUVERTURE DE CHAPITRE

Échantillons de différents solides et de différents liquides.

▮ Tous ces échantillons ont un point commun : lequel ?

Quel est le point commun entre ces échantillons ?

En lisant approximativement les volumes des liquides dans les trois éprouvettes, on peut très rapidement conclure qu'ils sont différents.

Tous les échantillons présentés ont-ils la même masse ? Les trois liquides, incolores, sont difficiles à identifier aisément. Certains des solides peuvent cependant être reconnus : le sulfate de cuivre hydraté (bleu), le soufre (jaune), le carbone (charbon, noir), le cuivre (rouge métallique). La masse de ces échantillons n'est pas indiquée sur la photographie. Les élèves qui ont déjà manipulé ces espèces solides doivent par exemple trouver que la masse de sulfate de cuivre hydraté (249,6 g) est largement plus importante que les autres, ou que la masse de carbone (12,0 g) est inférieure aux autres (32,1 g de soufre, 63,5 g de cuivre). Si besoin, on peut peser en classe une masse identique de ces différentes espèces pour conclure que tous ces échantillons n'ont pas la même masse.

Si le point commun n'est ni la masse, ni le volume, quel est-il ? La discussion peut s'orienter vers la constitution des échantillons à l'échelle microscopique (atomes ou molécules), en utilisant des connaissances acquises au collège, puis vers le nombre de particules microscopiques (atomes ou molécules) dans chaque échantillon... et c'est effectivement le point commun entre ces échantillons : chacun contient une mole d'espèce (mais on ne peut introduire à ce stade l'unité de quantité de matière).

Analyse d'un prélèvement sanguin.

▮ Comment sont présentés les résultats de ces analyses ? Pourquoi ?

La présentation des analyses conduit à plusieurs observations :

– pour l'une des espèces recherchées, les valeurs sont données en mmol/L, et pour l'autre, en $\mu\text{g/L}$. Le $\mu\text{g/L}$ est un sous-multiple du g/L, unité de concentration massique. L'autre unité n'a pas encore été rencontrée : mmol/L. Elle s'obtient donc en divisant une grandeur en

mmol par un volume en L : c'est une nouvelle grandeur, une nouvelle unité qui sera vue dans ce chapitre, et qui permet de décrire les solutions.

– pour chaque espèce, deux colonnes sont remplies : l'une pour la valeur déterminée lors de ces analyses et l'autre pour les valeurs de référence dites normales. Si la valeur déterminée est comprise entre les valeurs seuils de référence, comme c'est le cas ici, il n'y a vraisemblablement pas de pathologie associée à ces analyses.

Vidéo Débat : Animation pour expliquer la définition de la mole.

▮ Qu'est-ce qu'une mole d'atomes ou de molécules ?

La vidéo commence par donner la définition internationale et officielle de la mole, unité de base du système international pour la quantité de matière (c'est-à-dire le nombre d'entités) : la mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires (atomes, molécules, ions...) qu'il y a d'atomes dans 12 g de carbone 12.

Mais la vidéo présente ensuite plus simplement la mole comme une unité de comptage comme la douzaine, la centaine. Mais au lieu de contenir 12 ou 100 unités, elle en contient beaucoup plus : $6,022 \times 10^{23}$ (soit environ 600 000 milliards de milliards d'unités et non 600 000 milliards d'unités, comme la vidéo l'indique par erreur : on peut stimuler l'esprit critique des élèves, pour leur faire trouver cette erreur...). On peut par exemple demander aux élèves de reformuler la définition de la mole à la lumière de cette analogie.

L'utilité de cette unité est d'exprimer des quantités en chimie ou en physique sans manipuler des nombres très grands (milliards de milliards).

La vidéo donne ensuite quelques analogies pour bien visualiser la différence d'échelle entre le niveau microscopique (celui des atomes ou des molécules) et le niveau macroscopique (celui de la mole d'atomes, c'est-à-dire l'échantillon couramment manipulé).

Les élèves peuvent choisir un des exemples proposés par la vidéo, et en utilisant les ordres de grandeur et des calculs simples, vérifier que l'affirmation correspondante est plausible : par exemple, que penser d'une mole de grains de maïs éclatés formant une couche d'épaisseur de 14 km sur les États-Unis ? Là aussi, c'est l'occasion de stimuler l'esprit critique des élèves face à des affirmations...

On peut aussi faire réfléchir les élèves sur les multiples et sous-multiples de la mole présentés dans la vidéo.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Apprendre à compter... en mole !

Commentaire

Cette activité documentaire s'appuie sur une situation concrète dans le domaine de la santé pour faire découvrir la quantité de matière et son unité, la mole. Pour prévoir l'effet d'un médicament, il faut connaître le nombre, c'est-à-dire la quantité, d'entités introduites dans l'organisme (et non leur masse), car ce sont bien les ions ou les molécules ingérés qui, par exemple, se fixent, un par un, sur des récepteurs présents à la surface de cellules.

Réponses

1. S'APPROPRIER

a. On connaît seulement la masse de principe actif dans chaque médicament, mais on ne connaît pas le nombre de molécules correspondant.

b. Pour calculer le nombre de molécules de principe actif dans un sachet d'Aspégic[®], il faut connaître la masse de principe actif dans le sachet (donnée dans le doc. 1) ainsi que la masse d'une molécule de principe actif (donnée dans le doc. 3).

Même chose pour le comprimé d'aspirine.

2. RÉALISER

a. Dans un comprimé d'aspirine,

$$N = \frac{\text{masse de principe actif}}{\text{masse de la molécule de principe actif}}$$

$$= \frac{(1\,000 \times 10^{-6})}{(2,99 \times 10^{-25})} = 3,34 \times 10^{21}$$

Dans un sachet d'Aspégic[®],

$$N' = \frac{(1\,800 \times 10^{-6})}{(5,41 \times 10^{-25})} = 3,33 \times 10^{21}$$

(on a converti la masse de principe actif en kg).

L'ordre de grandeur de ces nombres est très grand : on préfère utiliser en chimie la mole pour exprimer les quantités de matière (cf. vidéo débat de la double page d'ouverture et doc. 4).

On remarque que le nombre d'entités de principe actif est sensiblement le même dans un sachet d'Aspégic[®] et dans un comprimé d'aspirine.

b. Avec 240 œufs, on peut faire $\frac{240}{12} = 20$ douzaines d'œufs.

On peut constituer $\frac{10\,000}{500} = 20$ ramettes de 500 feuilles avec 10 000 feuilles de papier.

On utilise l'analogie du document 4, dans lequel la mole est définie comme un paquet de $6,02 \times 10^{23}$ molécules,

pour compléter le tableau (on divise le nombre de molécules par le nombre de molécules par paquet).

3. ANALYSER

a. La constante d'Avogadro doit être en mol⁻¹ : en multipliant la constante d'Avogadro en mol⁻¹ par une quantité de matière en mol, on trouve bien un nombre sans unité.

Autre raisonnement : $N_A = \frac{N}{n}$, où N n'a pas d'unité et n est en mol ; l'unité de la constante d'Avogadro est donc $\frac{1}{\text{mol}}$, soit mol⁻¹.

b. Pour des échantillons comme des comprimés (ou des échantillons utilisés en laboratoire de chimie), le fait d'exprimer la quantité de matière en mol permet de manipuler des nombres beaucoup moins grands que si les molécules étaient comptées une par une.

4. VALIDER

L'ion acétylsalicylate de l'Aspégic[®] est transformé en acide acétylsalicylique dans l'estomac : les 1 800 mg d'acétylsalicylate de lysine donnent 5,55 mmol d'ions acétylsalicylate et donc 5,55 mol d'acide acétylsalicylique dans l'estomac, comme les 1 000 mg d'acide acétylsalicylique du comprimé d'aspirine. L'indication « Quantité de matière correspondante en acide acétylsalicylique 1 000 mg) de la notice est donc bien cohérente avec les résultats obtenus à la question 2.b.

2. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

La masse molaire, une grandeur très utile

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Préparer une solution de concentration molaire donnée

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

4. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Dosage du glucose dans une solution aqueuse

Réponses

1. RÉALISER

Cette activité propose un dosage par comparaison pour déterminer la concentration de la solution préparée lors

	Comprimé d'aspirine 1000 mg	Sachet d'Aspégic [®] 1000 mg
Nombre d'atomes N	$3,34 \times 10^{21}$	$3,33 \times 10^{21}$
Nombre de moles n	$(3,34 \times 10^{21}) / (6,02 \times 10^{23}) = 5,55 \times 10^{-3}$	$(3,34 \times 10^{21}) / (6,02 \times 10^{23}) = 5,55 \times 10^{-3}$

de l'activité 3. Aucune connaissance sur les dosages n'est nécessaire. On réalise la même expérience deux fois :

– une première fois avec une solution de glucose de concentration connue ; on détermine quel volume de cette solution est nécessaire pour décolorer un volume donné de liqueur de Fehling.

– une deuxième fois avec la solution de glucose S' préparée lors de l'activité 3 ; on détermine quel volume de S' est nécessaire pour décolorer le même volume de liqueur de Fehling qu'à la première expérience.

Dans les deux cas, la quantité de matière de glucose versée est donc la même.

REMARQUES : si le temps disponible lors de la séance de TP paraît trop court, on peut répartir les élèves en deux groupes (l'un pour la première expérience, l'autre pour la deuxième).

Même si l'on ne dispose pas de plaques chauffantes, cette activité peut être réalisée en disposant un erlenmeyer sur un bec électrique (l'ébullition douce suffit à l'agitation, et là aussi une pince en bois est indispensable pour pouvoir observer correctement le contenu de l'erlenmeyer).

2. ANALYSER

Dès l'ajout des premières gouttes de la solution de glucose, un précipité rouge brique d'oxyde de cuivre se forme, mais la coloration bleue de la liqueur de Fehling reste visible ; lorsque tous les ions cuivre II ont réagi, on distingue une solution presque incolore dans laquelle se dépose le précipité.

REMARQUE : Pour constater la disparition effective de la coloration bleue, il ne suffit pas de laisser l'erlenmeyer sur la plaque chauffante (qui peut être trop foncée), il vaut mieux utiliser une pince en bois pour examiner de plus près le contenu de l'erlenmeyer.

3. RÉALISER

a. $n = c \times V$

b. $n' = c' \times V'$

c. On en déduit $c \times V = c' \times V'$

4. VALIDER

$$c' = c \times \frac{V}{V'}$$

Le dosage a été effectué comme dans le protocole proposé, sur un volume $V_F = 5,0$ mL de solution de liqueur de Fehling (préparée comme indiqué à la fin de la réponse). La décoloration a été observée pour un volume $V = 4,0$ mL de solution S de glucose de concentration c , et pour un volume $V' = 2,7$ mL de solution de glucose S' de concentration c' .

$$\text{On en déduit } c' = 20 \times \frac{4,0}{2,7} = 30 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Si la valeur est proche de la valeur attendue (écart relatif de moins de 10 %), on peut sans doute améliorer le soin lors de la préparation dans l'activité 3 :

– lors de la préparation de la solution de glucose par dissolution, ne pas oublier de récupérer l'eau de rinçage

de la coupelle de pesée ; bien veiller à l'ajustement des traits de jauge (œil au même niveau) ;

– lors de la préparation par dilution, veiller à l'ajustement des traits de jauge, faire attention en cas de pipette jaugée à deux traits...

– bien homogénéiser la solution en fin de préparation.

Si l'écart est plus grand, on peut vérifier les calculs qui ont été nécessaires à l'élaboration du mode opératoire (par exemple, calcul de la masse molaire).

Attention, l'écart peut aussi provenir de la manipulation de l'activité 4 (prélèvements peu précis, détermination visuelle de la décoloration anticipée...)

REMARQUE : pour éviter une perte de temps lors du chauffage de la liqueur de Fehling, on la mettra à chauffer un peu avant de commencer le dosage (au moment du remplissage de la burette par exemple, mais pas trop tôt non plus, sinon on observe un noircissement de la solution dans l'erlenmeyer).

L'observation demandée au début de la question 1.d. après l'ajout de quelques gouttes seulement de solution S_B ou S_B , vise à attirer l'attention des élèves sur le mode opératoire : on verse très très progressivement, presque goutte par goutte, la solution S_B ou S_B dans l'erlenmeyer.

Le dosage préalable avec une solution de glucose de concentration connue est ici nécessaire, car il n'existe pas de relation simple entre la quantité de matière de glucose versée à l'équivalence et la quantité de matière d'ions cuivre II dans le prélèvement de liqueur de Fehling (le ou les produit(s) de l'oxydation du glucose ne résulte(nt) sans doute pas de la seule oxydation de sa fonction aldéhyde).

Pour doser le glucose dans des solutions, les biologistes utilisent les tables de Bertrand : elles donnent la correspondance entre la masse de glucose nécessaire à la décoloration d'une solution de liqueur de Fehling contenant une certaine masse d'ions cuivre II. Ces tables permettent d'éviter le dosage avec la solution étalon de glucose, si la concentration en ions cuivre (II) de la liqueur de Fehling est connue avec précision.

Dans le volume V_F de la liqueur de Fehling utilisée, avec $[\text{Cu}^{2+}] = 9,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, la masse d'ions cuivre II est $m(\text{Cu}) = M(\text{Cu}) \times [\text{Cu}^{2+}] \times V_F = 63,5 \times 9,0 \cdot 10^{-2} \times 5,0 \times 10^{-3} = 29 \times 10^{-3} \text{ g} = 29 \text{ mg}$.

Dans le volume V de solution S étalon de glucose, la masse de glucose est $m(\text{glucose}) = M_{\text{glucose}} \times c \times V = 180 \times 2,0 \times 10^{-2} \times 4,0 \times 10^{-3} = 14 \times 10^{-3} \text{ g} = 14 \text{ mg}$.

La correspondance avec les tables de Bertrand est satisfaisante (cf. l'extrait donné page suivante) :

Préparation de la liqueur de Fehling : mélange $\frac{50}{50}$ des solutions A et B :

– solution A : 45 g de sulfate de cuivre pentahydraté $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$ pour 1 L de solution ;

– solution B : 200 g de tartrate double de sodium et de potassium (tétrahydraté), 150 g de soude et de l'eau qsp 1 L de solution.

masse glucose (mg)	masse cuivre (mg)
10	20,6
11	22,6
12	24,6
13	26,5
14	28,5
15	30,5
16	32,5
17	34,5
18	36,4
19	38,4
20	40,4
21	42,3
22	44,2
23	46,1
24	48,0
25	49,8
26	51,7
27	53,6
28	55,5
29	57,4
30	59,3

EXERCICES **Appliquer le cours**

I La mole (§1 du cours)

15. Calculer une quantité de matière

a. $n = \frac{N}{N_A}$; A.N. : $n = \frac{(6,02 \times 10^{23})}{(6,02 \times 10^{23})} = 1,00$ mol.

b. $n = \frac{N}{N_A}$; A.N. : $n = \frac{(3,01 \times 10^{23})}{(6,02 \times 10^{23})} = 0,500$ mol.

c. $n = \frac{N}{N_A}$; A.N. : $n = \frac{(4,1 \times 10^{21})}{(6,02 \times 10^{23})} = 6,8 \times 10^{-3}$ mol
= 6,8 mmol.

16. Calculer un nombre d'entités

a. $N = n \times N_A$; A.N. : $N = 4,5 \times 6,02 \times 10^{23} = 2,7 \times 10^{24}$.

b. $N = n \times N_A$; A.N. : $N = 4,5 \times 10^{-3} \times 6,02 \times 10^{23} = 2,7 \times 10^{21}$.

b. $N = n \times N_A$; A.N. : $N = 4,5 \times 10^{-6} \times 6,02 \times 10^{23} = 2,7 \times 10^{18}$.

17. Calculer avec les puissances de 10

a. $m = 500$ mg = 0,500 g = $5,00 \times 10^{-1}$ g;
 $m_a = 3,356 \times 10^{-25}$ kg = $3,356 \times 10^{-22}$ g.

b. $N = \frac{m}{m_a} = \frac{(5,00 \times 10^{-1})}{(3,356 \times 10^{-22})} = 1,49 \times 10^{21}$.

I Quantité de matière et masse (§2 du cours)

18. Calculer une quantité de matière

$$n = \frac{m}{M}$$

A.N. : $n = \frac{3,0}{131} = 2,3 \times 10^{-2}$ mol.

19. Manipuler les unités

La masse molaire du squalène est :

$$M = 30 \times M(C) + 50 \times M(H).$$

$$M = 30 \times 12,0 + 50 \times 1,0 = 410,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

$$n = \frac{m}{M}$$

A.N. : $n = \frac{10 \times 10^{-3}}{410} = 2,4 \times 10^{-5}$ mol.

20. Calculer une masse molaire moléculaire

La masse molaire moléculaire du carotène est

$$M_{\text{carotène}} = 40 \times M(C) + 56 \times M(H).$$

A.N. : $M_{\text{carotène}} = 40 \times 12,0 + 56 \times 1,0 = 536,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

21. Comprendre une unité

On calcule la masse de magnésium à peser :

$$m(\text{Mg}) = n(\text{Mg}) \times M(\text{Mg}).$$

A.N. : $m(\text{Mg}) = 2,5 \times 10^{-3} \times 24,3 = 0,061 \text{ g} = 61 \text{ mg}$.

En notant $\mu(\text{Mg})$ la masse linéique du ruban de magnésium, on en déduit la longueur de ruban à couper :

$$l = \frac{m(\text{Mg})}{\mu(\text{Mg})}$$

A.N. : $l = \frac{61}{8,0} = 7,6 \text{ cm}$.

I Cas des liquides (§3 du cours)

22. Calculer une quantité de matière de soluté

$$n = c \times V.$$

A.N. : $n = 5,0 \times 10^{-2} \times 0,50 = 2,5 \times 10^{-2}$ mol.

23. Calculer un volume

$$V = \frac{n}{c} = \frac{(2,0 \times 10^{-4})}{(1,0 \times 10^{-3})} = 0,20 \text{ L}.$$

24. Calculer une concentration molaire

La quantité de matière de paracétamol dissoute est :

$$n = \frac{m}{M}$$

On en déduit c : $c = \frac{n}{V} = \frac{M}{V}$.

A.N. : $c = \frac{0,100}{0,200} = 3,31 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

25. Préparer une solution par dissolution

$$m = n_{\text{glucose}} \times M = c \times V \times M.$$

A.N. : $m = 2,0 \times 10^{-2} \times 0,2500 \times 180 = 0,90 \text{ g}$.

26. Préparer une solution par dilution

a. La quantité de matière d'éthanol dans la solution fille est égale à la quantité de matière d'éthanol dans le prélèvement de solution mère : $n = c_1 \times V_1 = c_2 \times V_2$.

On en déduit le volume de solution S_1 à prélever :

$$V_1 = \frac{c_2 \times V_2}{c_1}$$

$$\text{A.N. : } V_1 = \frac{0,50 \times 100}{2,0} = 25 \text{ mL.}$$

b. On prélève 25 mL de solution S_1 avec une pipette jaugée de 25 mL. Ce prélèvement est versé dans une fiole jaugée de 100 mL, puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, avant de boucher et d'agiter.

EXERCICES S'entraîner

28. Dichlore

> COMPÉTENCES : Restituer, réaliser.

a. $M = 1585 \text{ kt} = 1585 \times 10^3 \text{ t} = 1585 \times 10^6 \text{ kg} = 1585 \times 10^9 \text{ g} = 1,585 \times 10^{12} \text{ g.}$

b. La masse molaire du dichlore est : $M = 2 \times M(\text{Cl})$

A.N. : $M = 2 \times 35,5 = 71,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$

c. On en déduit : $n = \frac{m}{M}.$

A.N. : $n = \frac{1,585 \times 10^{12}}{71,0} = 2,23 \times 10^{10} \text{ mol.}$

29. Des antioxydants contre le vieillissement

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, réaliser.

a. Dans $m = 100 \text{ g}$ d'oignons frais riches en quercétine, on a une masse $m' = 0,120 \text{ g}$

de quercétine, soit une quantité de matière $n = \frac{m}{M}$ avec $M = 15 \times M(\text{C}) + 10 \times M(\text{H}) + 7 \times M(\text{O}).$

A.N. : $n = \frac{0,120}{(15 \times 12,0 + 10 \times 1,0 + 7 \times 16,0)} = 3,97 \times 10^{-4} \text{ mol.}$

b. 100 g d'oignons apportent 0,120 g de quercétine. Pour ingérer 1 g de quercétine, il faut donc consommer $100 \times 1 / 0,120 = 833 \text{ g}$ d'oignons frais. Pour ingérer 1 g d'antioxydant, 100 g de kaki suffisent (mais il ne s'agit pas du même antioxydant que dans les oignons).

c. La masse molaire de la vitamine C est :

$$M' = 6 \times M(\text{C}) + 8 \times M(\text{H}) + 6 \times M(\text{O}).$$

La masse de vitamine C contenant une quantité de vitamine C égale à la quantité de quercétine dans 100 g d'oignons est donc $m' = n \times M'.$

A.N. : $m' = 3,97 \times 10^{-4} \times (6 \times 12,0 + 8 \times 1,0 + 6 \times 16,0) = 0,070 \text{ g} = 70 \text{ mg.}$

30. Synthèse d'un ester à odeur de banane

> COMPÉTENCES : Restituer, réaliser.

1.a. La masse volumique d'un corps est le rapport de la masse de ce corps sur le volume de ce corps : $\rho = \frac{m}{V}.$

b. La masse d'alcool isoamylique à prélever est

$$m_1 = n_1 \times M_1.$$

$$M_1 = 5 \times M(\text{C}) + 12 \times M(\text{H}) + M(\text{O}) = 5 \times 12,0 + 12 \times 1,0 + 16,0 = 88,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

$$\text{Donc } V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} = \frac{(n_1 \times M_1)}{\rho_1}.$$

A.N. : $V_1 = \frac{(0,50 \times 88,0)}{0,810} = 54 \text{ mL.}$

2.a. La densité d'un corps par rapport à l'eau est le rapport de sa masse volumique sur la masse volumique de l'eau : $d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}}.$

b. La masse d'acide acétique à prélever est $m_2 = n_2 \times M_2.$
 $M_2 = 2 \times M(\text{C}) + 4 \times M(\text{H}) + 2 \times M(\text{O}) = 2 \times 12,0 + 4 \times 1,0 + 2 \times 16,0 = 60,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$

$$\text{On en déduit } V_2 = \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{(n_2 \times M_2)}{(d_2 \times \rho_{\text{eau}})}.$$

A.N. : $V_2 = \frac{(0,10 \times 60)}{(1,05 \times 1,0)} = 5,7 \text{ mL.}$

31. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Restituer, réaliser, communiquer.

a. $V = 80 \mu\text{L} = 80 \times 10^{-6} \text{ L}$ et $\rho = 7,8 \times 10^2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}.$

La masse d'acétone prélevée est : $m = \rho \times V.$

A.N. : $m = 7,8 \times 10^2 \times 80 \times 10^{-6} = 0,062 \text{ g} = 6,2 \times 10^{-2} \text{ g} = 62 \text{ mg.}$

b. $M = 3 \times M(\text{C}) + 6 \times M(\text{H}) + M(\text{O}) = 3 \times 12,0 + 6 \times 1,0 + 16,0 = 58,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$

La quantité de matière d'acétone dans le prélèvement est $n = \frac{m}{M},$ avec $m = 0,062 \text{ g.}$

A.N. : $n = \frac{0,062}{58,0} = 1,1 \times 10^{-3} \text{ mol.}$

32. In English Please

> COMPÉTENCES : S'approprier, communiquer.

a.

Heure	Mois	Jour
06:02	10	23

On trouve ainsi une analogie avec la valeur de la constante d'Avogadro : $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$

b. *The unit called the "mole" can help you count very tiny things in very large amounts :* l'unité appelée "mole" permet de compter de très grandes quantités de choses minuscules.

c. *molar mass :* masse molaire ; *molar volume :* volume molaire ; *molarity :* concentration molaire (la signification du dernier terme étant moins intuitive...)

33. Prévention des erreurs médicamenteuses

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, analyser, valider.

Les données de la première ligne permettent de calculer les valeurs des autres grandeurs.

L'étiquette indique la masse m de chlorure de sodium dissous ($m = 1,0 \text{ g}$) et le volume V de la solution ($V = 10,0 \text{ mL}$).

La concentration massique est : $c_m = \frac{m}{V}.$

A.N. : $c_m = \frac{1,0}{10,0} = 0,10 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}.$

La concentration molaire est :

$$c = (m / M) / V = \frac{(1,0 / 58,5)}{10,0} = 1,71 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{mL}^{-1} = 1,71 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1}.$$

Un volume $V = 10,0 \text{ mL}$ de solution a une masse

$$m_0 = \rho \times V = 1,06 \times 10,0 = 10,6 \text{ g.}$$

Le pourcentage massique est donc $\frac{m}{m_0} = \frac{1,0}{10,6} = 0,094 = 9,4 \text{ \%}.$

La donnée en pourcentage n'est donc pas un pourcentage massique (rapport masse de soluté sur masse de solution, exprimé sous forme de pourcentage), mais un rapport masse de soluté sur volume de solution (exprimé en pourcentage, mais dont l'unité $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ a été omise).

34. ✪ Analyses urinaires

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, réaliser.

La masse molaire de la D-amphétamine est :

$$M = 9 \times M(C) + 13 \times M(H) + M(N).$$

$$\text{A.N. : } M = 9 \times 12,0 + 13 \times 1,0 + 14,0 = 135,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

La masse molaire de la D-métamphétamine est :

$$M' = 10 \times M(C) + 15 \times M(H) + M(N).$$

$$\text{A.N. : } M' = 10 \times 12,0 + 15 \times 1,0 + 14,0 = 149,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Le seuil de détection est $c_m = 1\,000 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1} = 1\,000 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 1\,000 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour la D-amphétamine. La concentration molaire correspondante est $c = \frac{c_m}{M}$.

$$\text{A.N. : } c = \frac{1\,000 \times 10^{-6}}{135,0} = 7,407 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Le seuil de détection est $c'_m = 20\,000 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1} = 20\,000 \times 10^{-9} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 20\,000 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour la D-métamphétamine. La concentration molaire correspondante est $c' = \frac{c'_m}{M'}$.

$$\text{A.N. : } c' = \frac{20\,000 \times 10^{-6}}{149,0} = 1,342 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

35. RÉOLUTION DE PROBLÈME

✪✪ Préparation d'une solution de bleu patenté V

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

On veut préparer un volume $V_0 = 1,0 \text{ L}$ de solution de bleu patenté de concentration c_0 .

La masse de bleu patenté présente dans un litre de solution est :

$$m_0 = c_0 \times V_0 \times M = 1,0 \times 10^{-5} \times 1,0 \times 1160 = 1,2 \times 10^{-2} \text{ g} = 0,012 \text{ g} = 12 \text{ mg}.$$

La précision de la balance étant de 10 mg, il est impossible au préparateur de peser précisément cette masse.

Le préparateur va donc dans un premier temps préparer une solution plus concentrée, puis il va la diluer pour obtenir un litre de solution à la concentration c_0 . Il peut par exemple choisir de préparer une solution de bleu patenté 100 fois plus concentrée (donc à la concentration $c = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$).

Pour préparer 1 L de cette solution plus concentrée, il doit donc peser une masse de soluté

$$m = c \times V_0 \times M = 1,0 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 1160 = 1,2 \text{ g}.$$

La précision de la balance est cette fois largement suffisante.

Il prélève ensuite un volume V de cette solution plus concentrée tel que $V = \left(\frac{c_0}{c}\right) \times V_0 = \left(\frac{1,0 \times 10^{-5}}{1,0 \times 10^{-3}}\right) \times 1,0 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ L} = 10 \text{ mL}$.

On prélève 10 mL de la solution de concentration c à l'aide d'une pipette jaugée de 10 mL.

Ce prélèvement est introduit dans une fiole jaugée de 1 L, qu'on complète ensuite environ à moitié avec de l'eau distillée.

On agite latéralement (en évitant les projections au-dessus du trait de jauge), avant de compléter jusqu'au trait de jauge (avec de l'eau distillée), de boucher et d'homogénéiser.

36. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✪ Course à pied

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

a. C'est la concentration molaire en ions lactate dans le sang.

b. L'axe des ordonnées représente la concentration molaire en ions lactate. La valeur de repos de la concentration molaire en lactate étant $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (cf. document 1), l'unité correspondant aux graduations est le mmol/L.

c. L'axe des abscisses représente la vitesse de course : par exemple en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ou $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$. La première unité semble improbable : à $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, un coureur parcourt 10 m en 1 s soit 100 m en 10 s : on n'est pas loin du record du cent mètres ! À $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, on parcourt 10 km en 1 heure, soit deux fois plus qu'un piéton : c'est plus plausible. L'axe des abscisses est donc vraisemblablement gradué en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

d. Une « augmentation d'intensité » est en fait une augmentation de la vitesse de course. L'athlète peut courir sur un tapis roulant qui va de plus en plus vite.

e. C'est pour une vitesse de course plus grande que pour le coureur non entraîné que la concentration en lactate sanguin du coureur entraîné augmente sensiblement, ce qui se traduit visuellement par un déplacement de la courbe représentant la lactatémie en fonction de la vitesse vers les grandes valeurs de vitesses, c'est-à-dire vers les plus grandes abscisses.

37. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

Concentration d'un sérum physiologique

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, analyser, valider.

a. Chacune des informations permet de calculer la concentration massique :

– solution de chlorure de sodium à 0,90 % : 100 g de solution, soit un volume $V = 100 \text{ mL}$ de solution (la masse volumique est de $1,0 \text{ g/mL}$) contient une masse $m = 0,90 \text{ g}$ de soluté. La concentration massique est donc :

$$c_m = \frac{m}{V} = \frac{0,90}{0,100} = 9,0 \text{ g/L}.$$

– composition unitaire : chlorure de sodium 0,045 g (masse m'), eau purifiée qsp 5,0 mL (V'). On en déduit la concentration massique $c'_m = \frac{0,045}{0,0050} = 9,0 \text{ g/L}$.

$c_m = c'_m$, les informations de l'emballage sont bien cohérentes.

b. La solution S_1 est obtenue en diluant deux fois la solution S_0 : on prélèvera donc 25 mL de la solution S_0 avec une pipette jaugée de 25 mL, et on introduira le prélèvement dans une fiole jaugée de 50 mL, avant d'ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge puis d'agiter.

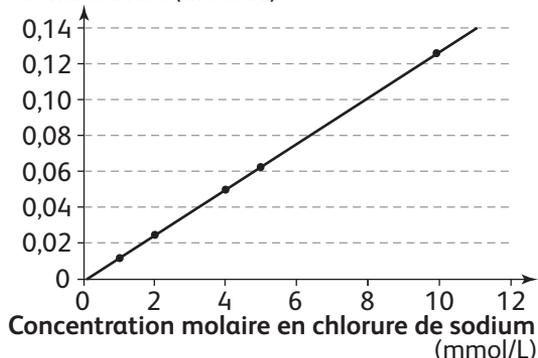
La solution S_2 est obtenue en diluant 2,5 fois la solution S_0 : on utilise la pipette jaugée de 20 mL et la fiole jaugée de 50 mL.

La solution S_3 est obtenue en diluant 5 fois la solution S_0 : on utilise la pipette jaugée de 10 mL et la fiole jaugée de 50 mL (ou la pipette jaugée de 20 mL et la fiole jaugée de 100 mL).

La solution S_4 est obtenue en diluant la solution S_0 10 fois : on utilise la pipette jaugée de 10 mL et la fiole jaugée de 100 mL.

c. Les points se situent au voisinage d'une droite.

Conductivité (unité SI)



d. La valeur de l'abscisse du point d'ordonnée 0,019 U.S.I. donne la valeur de la concentration molaire du sérum physiologique dilué 100 fois : $c = 1,5 \times 10^{-3}$ mol/L.

On en déduit la concentration molaire du sérum :

$$c_0 = 100 \times c = 0,15 \text{ mol/L.}$$

e. $M(\text{NaCl}) : 23,0 + 35,5 = 58,5$ g/mol. On en déduit la concentration massique du sérum déterminée par cette méthode expérimentale : $c_{m_0} = c_0 \times M = 0,15 \times 58,5 = 8,8$ g/L.

Il y a un écart relatif de $\frac{(9,0 - 8,8)}{9,0} = 2 \%$ entre la valeur attendue et la valeur obtenue.

Raisons possibles pour cet écart :

- mesure de la conductivité, précision de l'appareil mesurant la conductivité ;
- préparation des solutions (par exemple, trait de jauge mal ajusté).

38. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

☆☆ Dilution en homéopathie

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

1.a. Si l'on note V le volume de solution mère prélevé pour la dilution à 1 CH, on y ajoute un volume d'alcool à 70° égal à 99 V . Le volume de solution fille est donc :

$$V' = V + 99 V = 100 V.$$

La quantité de matière de principe actif apportée par le prélèvement de solution mère est :

$$n = c \times V.$$

$$\text{Donc } c_1 = \frac{n}{V'} = \frac{c \times V}{(100V)} = \frac{c}{100} \left(= \frac{c}{10^{2 \times 1}} \right).$$

La solution mère a donc été diluée 100 fois lors de la dilution à 1 CH.

b. Pour la dilution à 2 CH, on prélève un volume V de solution à 1 CH, c'est-à-dire de concentration $c_1 = \frac{c}{100}$. On y ajoute un volume d'alcool à 70° égal à 99 V . Le volume de solution fille à 2 CH est donc : $V' = V + 99 V = 100 V$.

La quantité de matière de principe actif apportée par le prélèvement de solution à 1 CH est :

$$n' = c_1 \times V = \left(\frac{c}{100} \right) \times V = \frac{(c \times V)}{100}.$$

$$\text{Donc } c_2 = \frac{n'}{V'} = \left[\frac{100}{(100V)} \right] = \frac{c}{100^2} = \frac{c}{10^4} \left(= \frac{c}{10^{2 \times 2}} \right).$$

La dilution à 30 CH permet donc d'obtenir une solution de concentration :

$$c_{30} = \frac{c}{10^{2 \times 30}} = \frac{c}{10^{60}} = \frac{1}{10^{60}}$$

$$c'_{10} = \frac{N_A}{V_0} = 1,66 \times 10^{-24} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ (avec } V_0 = 1 \text{ L).}$$

d. $\frac{c_0}{c'_{10}} = \frac{10}{(1,66 \times 10^{-24})} = 6,0 \times 10^{24}$. La solution a été diluée entre 10^{24} et 10^{26} fois, soit entre 12 et 13 CH.

2. À partir d'une solution de concentration en principe actif assez élevée (10 mol/L), une dilution entre 12 et 13 CH conduit à une solution contenant une molécule de principe actif par litre de solution. On est bien loin des dilutions effectuées (jusqu'à 30 CH : il y a alors largement moins d'une molécule de soluté par litre de solution fille). Les détracteurs de l'homéopathie utilisent souvent un tel raisonnement pour expliquer que l'homéopathie ne peut avoir un effet thérapeutique autre que l'effet placebo : il est en effet probable que dans certaines granules ingérées, il n'y ait aucune molécule de principe actif.

Description de l'Univers

> Manuel pages 124 à 139

Choix pédagogiques

Ce premier chapitre du thème « l'Univers » permet de reprendre et d'approfondir les notions abordées au collège. La description des objets qui composent l'Univers donne l'occasion d'insister sur le caractère lacunaire de la matière et de comprendre l'utilité de la notion d'ordre de grandeur.

Par ailleurs, l'observation des objets célestes permet :

- d'introduire l'année de lumière, qui est une unité de longueur adaptée à l'échelle cosmique ;
- de comprendre qu'au-delà d'une meilleure connaissance de l'Univers, l'intérêt d'observer loin est de remonter dans le temps, à l'origine même de l'Univers.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Photographie de la nébuleuse planétaire NGC 2818 prise par le télescope spatial Hubble.

La nébuleuse NGC 2818 étant très loin de nous, peut-on être sûr qu'elle existait encore lorsque Hubble l'a prise en photo ?

Cette photographie est le point de départ d'une réflexion sur l'observation d'objets très éloignés. On peut, pour guider un peu plus les élèves, leur demander d'exprimer, en fonction de la célérité c , la durée qu'il faut à la lumière pour parcourir une distance donnée (la relation $v = \frac{d}{t}$ étant vue au collège). À partir de là, on peut leur demander d'interpréter l'expression : « voir loin, c'est voir dans le passé ».

Tailles relatives des planètes du système solaire.

En respectant l'échelle du schéma, quel devrait être l'ordre de grandeur du diamètre du soleil pour compléter ce dessin ?

Afin de répondre à cette question, il faut inviter les élèves à regarder les rabats du manuel afin de trouver les valeurs de diamètres dont ils ont besoin. La détermination d'une échelle n'étant pas toujours évidente pour des élèves de seconde, cette activité permet en outre de faire des rappels mathématiques. À l'issue des calculs, on peut discuter des dimensions des objets qui composent l'Univers, et introduire la notion de l'infiniment grand. On peut également demander aux élèves s'ils savent ce qu'il y a entre les planètes du système solaire.

Vidéo Débat : De l'infiniment grand à l'infiniment petit en 44 images.

Pourquoi les scientifiques utilisent-ils les puissances de 10 pour exprimer les longueurs ?

Cette animation permet aux élèves de prendre conscience que l'Univers dans lequel nous évoluons est constitué d'objets de dimensions extrêmement diffé-

rentes. Par ailleurs, pour éviter d'exprimer ces dimensions (petites ou grandes) avec un trop grand nombre de zéros, le scientifique préfère utiliser une écriture simplifiée : les puissances de 10.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Un petit tour dans l'Univers

Commentaires

Cette activité correspond à une première approche de l'Univers à travers l'observation de photos ou de représentations et leur classement par taille. L'élève découvre également, au cours de cette activité, la notation scientifique.

La notion d'ordre de grandeur est également abordée au cours de cette activité ; cette notion ayant été rapidement vue au collège, il est alors conseillé de faire un rappel avec les élèves.

Réponses

1. S'APPROPRIER

- | | |
|---|------------------------------------|
| a6 Un pays | e9 Une galaxie |
| b7 Une fleur | f2 Un morceau d'une molécule d'ADN |
| c8 Des atomes observés au microscope électronique | g3 Un amas de galaxies |
| d4 Des cellules vivantes | h1 Une étoile |
| | i6 Une planète |

2. RÉALISER

- | | |
|--|--|
| a. Taille des objets | |
| a 970 km = $9,7 \times 10^5$ m | f 0,000 0024 mm = $2,4 \times 10^{-9}$ m |
| b 5 cm = 5×10^{-2} m | g 10^{23} m |
| c 0,000 000 1 mm = 1×10^{-10} m | h 1 392 000 km = $1,392 \times 10^9$ m |
| d 0,02 mm = 2×10^{-5} m | i 12 756 km = $1,275 6 \times 10^7$ m |
| e 10^{21} m | |

b. Classement dans l'ordre croissant de taille : **g, f, d, b, a, i, h, e, c**.

c. Ordres de grandeur

- a** 10^6 m **d** 10^{-5} m **g** 10^{23} m
b 10^{-1} m **e** 10^{21} m **h** 10^9 m
c 10^{-10} m **f** 10^9 m **i** 10^7 m

3. COMMUNIQUER

Lorsque le scientifique décrit l'Univers, il est amené à présenter des objets dont les dimensions sont très différentes les unes des autres. Cela peut aller du noyau de l'atome, dont le rayon est de l'ordre du milliardième de mètre, à notre Galaxie, dont le diamètre est estimé à un milliard de milliard de kilomètres !

Afin d'exprimer ces dimensions, qu'elles soient très grandes ou très petites, sans avoir à aligner un nombre important de zéros, le scientifique utilise les puissances de 10.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Vitesse de la lumière

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Les dimensions de l'Univers

Commentaires

Grâce au logiciel Celestia, les élèves peuvent découvrir de manière ludique l'Univers, et en particulier le système solaire. Il fournit en outre les caractéristiques des astres, et leur distance par rapport au Soleil. Les distances sont données en mètre, en ua et en a.l. On peut donc faire travailler les élèves sur les unités de distance, et les inviter à comparer ces distances par rapport aux dimensions des planètes.

Réponses

1. RÉALISER

a. b. c. d.

Astre étudié	Distance astre-Soleil	Distance astre-Soleil, en mètre
Mercure	0,46650 ua	$6,95 \times 10^{10}$
Vénus	0,72643 ua	$1,08 \times 10^{11}$
Terre	1,0155 ua	$1,51 \times 10^{11}$
Mars	1,5474 ua	$2,31 \times 10^{11}$
Jupiter	5,2503 ua	$7,82 \times 10^{11}$
Saturne	9,9141 ua	$1,48 \times 10^{12}$
Uranus	20,021 ua	$2,98 \times 10^{12}$
Neptune	29,974 ua	$4,47 \times 10^{12}$
51 Pegasi b	50,908 al	
Polaris	432,58 al	
Antares	553,76 al	
Sirius	8,5830 al	

e. Échelle choisie : 1 cm correspond à $1,08 \times 10^{11}$ m.

Distance astre-Soleil, en mètre	Distance astre-Soleil, en cm sur la feuille
$6,95 \times 10^{10}$	0,65
$1,08 \times 10^{11}$	1,0
$1,51 \times 10^{11}$	1,4
$2,31 \times 10^{11}$	2,1
$7,82 \times 10^{11}$	7,2
$1,48 \times 10^{12}$	13,7
$2,98 \times 10^{12}$	27,9
$4,47 \times 10^{12}$	41,4

2. ANALYSER

a. L'unité astronomique est la distance moyenne entre la Terre et le Soleil.

b. Le Soleil est l'astre le plus grand à représenter, avec un diamètre de $1,39 \times 10^9$ m. Si l'on considère Mercure (la planète la plus petite du système solaire), son diamètre est de $4,88 \times 10^6$ m. Compte tenu de l'échelle préalablement établie, le Soleil serait représenté par un cercle de 0,013 cm de diamètre et Mercure par un cercle de 0,000045 cm de diamètre ! Ce qui est difficile à réaliser pour des élèves qui ne disposent que de règles graduées au millimètre.

3. COMMUNIQUER

Les distances entre le Soleil et les planètes du système solaire sont très grandes devant les dimensions des planètes qui le constituent. Il en est de même si l'on considère les distances entre les étoiles de notre Galaxie et entre les galaxies elles-mêmes. On peut donc affirmer que l'Univers est essentiellement constitué de vide.

4. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Regarder loin, c'est regarder tôt

Commentaires

Cette activité propose de faire découvrir aux élèves l'année de lumière à travers un texte de vulgarisation scientifique.

Elle permet également de faire comprendre l'expression « voir loin, c'est voir dans le passé ».

Elle offre aussi la possibilité de débattre, avec les élèves, sur le caractère rapide ou lent de la lumière. Sa vitesse de propagation est très grande à notre échelle, mais elle est particulièrement faible à l'échelle de l'Univers.

Réponses

1. RÉALISER

Une vitesse est définie par le rapport : $v = \frac{\text{distance}}{\text{durée}}$.

Dans le cas de la vitesse de la lumière :

– distance = distance entre la Terre et la nébuleuse d'Orion ;

– durée = temps écoulé entre l'année 476 et l'année 2014.

Il ne faut pas oublier de mettre la durée en secondes.

$$c = \frac{1,3 \times 10^{19}}{(2014 - 476) \times 365,25 \times 24 \times 3600} = 2,7 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

2. VALIDER

Cette valeur est très proche de celle indiquée dans le texte : « Cela équivaut à une vitesse d'environ trois cent mille kilomètres par seconde. » La différence repose sur l'estimation qui est faite de la distance à laquelle se trouve la nébuleuse d'Orion, et de la date prise comme référence pour la fin de l'Empire romain.

3. ANALYSER

a. D'après le texte : « Certains quasars sont situés à douze milliards d'années-lumière. La lumière qui nous en arrive a voyagé pendant douze milliards d'années [...] » Compte tenu de cette affirmation, on peut indiquer qu'une année de lumière est la distance parcourue par la lumière, dans le vide, en une année.

b. Si les hypothétiques habitants répondent dès réception du message, nous recevons une réponse 50 000 ans après, c'est-à-dire en 51 974. Il faut en effet 25 000 années pour que le message arrive à l'amas d'Hercule, et 25 000 années supplémentaires pour faire le trajet en sens inverse.

4. COMMUNIQUER

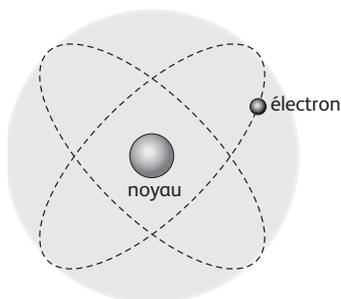
Si la lumière se déplaçait très rapidement à l'échelle astronomique, nous verrions les objets lointains tels qu'ils sont actuellement. Comme elle se propage lentement, nous voyons ces objets tels qu'ils étaient dans un passé lointain, pratiquement au début de l'Univers pour certains : « c'est la jeunesse du monde... » Cela nous permet d'étudier l'histoire et l'évolution de l'Univers. Toutefois, la faible vitesse de propagation de la lumière est un inconvénient dans la mesure où elle nous coupe de tout contact avec des objets (ou d'hypothétiques civilisations) un peu trop éloignés.

EXERCICES Appliquer le cours

I Description de l'Univers (§1 du cours)

20. Représenter l'atome

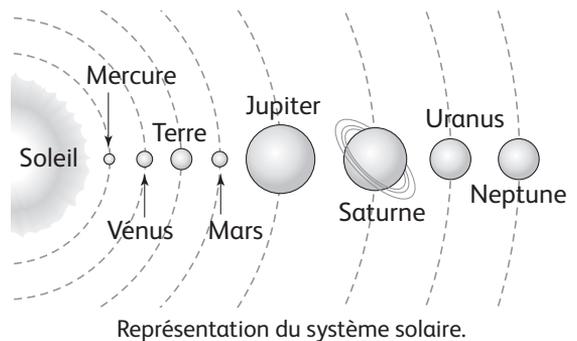
Un atome est constitué d'un noyau, autour duquel circulent un ou plusieurs électrons.



Un modèle de l'atome.

21. Représenter le système solaire

Le système solaire est constitué d'une étoile, le Soleil, autour de laquelle tournent huit planètes.



Représentation du système solaire.

22. Comparer des connaissances

	Atome	Système solaire
Objet au centre	Noyau	Soleil
Objet en périphérie	Électron	Planète
Entre le centre et la périphérie	Vide	Vide

23. Argumenter à partir de descriptions

La plus grande partie de l'atome est constituée de vide (entre le noyau et les électrons).

De même, la plus grande partie du système solaire est occupée par du vide (entre le Soleil et les planètes).

On peut ainsi affirmer que **la structure de l'Univers est lacunaire**, aussi bien au niveau de l'atome qu'à l'échelle cosmique.

II Longueurs dans l'Univers (§2 du cours)

24. Utiliser l'écriture scientifique

a. Longueur d'une cellule végétale : $100 \mu\text{m} = 1,00 \times 10^2 \mu\text{m}$.

b. Rayon de Jupiter : $71\,490 \text{ km} = 7,1490 \times 10^4 \text{ km}$.

c. Distance du Soleil à l'étoile la plus proche :

$41\,000$ milliards de kilomètres = $4,1000 \times 10^{13} \text{ km}$.

25. Attribuer une unité appropriée

Rayon de l'atome de carbone : $7,7 \times 10^{-11} \text{ m} = 77 \text{ pm}$.

Largeur de la molécule d'ADN : $24 \times 10^{-10} \text{ m} = 2,4 \text{ nm}$.

Rayon de la Terre : $638 \times 10^4 \text{ m} = 6,38 \times 10^3 \text{ km} = 6,38 \text{ Mm}$.

Diamètre du Soleil : $1,39 \times 10^9 \text{ m} = 1,39 \times 10^6 \text{ km}$

$= 1,39 \times 10^3 \text{ Mm}$.

26. Utiliser les puissances de 10

a. Rayon de l'atome d'argent : $144 \text{ pm} = 144 \times 10^{-12} \text{ m}$.

Rayon d'un électron : $28 \times 10^{-7} \text{ nm} = 28 \times 10^{-4} \text{ pm}$.

Distance Terre-Mars : $56 \times 10^9 \text{ m} = 56 \times 10^6 \text{ km}$.

b. Rayon de l'atome d'argent : $144 \times 10^{-12} \text{ m}$

$= 1,44 \times 10^{-10} \text{ m}$.

Rayon d'un électron : $28 \times 10^{-4} \text{ pm} = 2,8 \times 10^{-3} \text{ pm}$.

Distance Terre-Mars : $56 \times 10^6 \text{ km} = 5,6 \times 10^7 \text{ km}$.

27. Calculer un ordre de grandeur

a. Masse d'un électron : 10^{-30} kg .

b. Masse d'un atome d'oxygène : 10^{-26} kg .

- c. Masse d'un grain de sable : 10^{-9} kg.
 d. Masse de la fusée Ariane 5 : 10^6 kg.
 e. Masse de la Terre : 10^{25} kg.

I L'année de lumière (§3 du cours)

28. Utiliser le vocabulaire scientifique

Année de lumière : l'année de lumière est la distance parcourue par la lumière, dans le vide, pendant une année.

« Pour parvenir jusqu'à nous, la lumière issue de Proxima du Centaure effectue un trajet d'une distance de 4 années de lumière pendant une durée de 4 années. »

29. Déterminer la distance entre deux astres

La distance Terre-Jupiter d_{TJ} est donnée par la relation : $d_{TJ} = c \times \Delta t$.

Il faut penser à mettre la durée du trajet de la lumière en secondes.

$$d_{TJ} = c \times \Delta t = 3,00 \times 10^8 \times (33 \times 60) = 5,9 \times 10^{11} \text{ m.}$$

Le 21 septembre 2010, la Terre se trouvait à **$5,9 \times 10^8$ km de Jupiter.**

30. Utiliser l'année de lumière comme unité

a. Distance moyenne Terre-Soleil :

$$1,5 \times 10^8 \text{ km} = 1,6 \times 10^{-5} \text{ a.l.}$$

Diamètre du système solaire : $133 \text{ ua} = 2,11 \times 10^{-3} \text{ a.l.}$

Distance Soleil-Proxima du Centaure : $4,1 \times 10^{16} \text{ m} = 4,3 \text{ a.l.}$

Distance Terre-Lune : $384\,000 \text{ km} = 4,05 \times 10^{-8} \text{ a.l.}$

Rayon du Soleil : $7,0 \times 10^8 \text{ m} = 7,4 \times 10^{-8} \text{ a.l.}$

b. Les dimensions à l'intérieur du système solaire sont trop petites pour être exprimées en années de lumière. Cette unité (a.l.) n'est adaptée que pour des distances supérieures aux dimensions du système solaire.

31. Comprendre l'année de lumière

a. La distance entre l'exoplanète et la Terre est :

$$d_{ET} = 1,30 \times 10^8 \text{ a.l.}$$

$$b. d_{ET} = 1,30 \times 10^8 \times 9,5 \times 10^{15} = 1,2 \times 10^{24} \text{ m} = \mathbf{1,2 \times 10^{21} \text{ km.}}$$

EXERCICES S'entraîner

33. Vénus au radar

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, réaliser.

$$d_{TV} = \frac{c \times \Delta t}{2} = \frac{3,00 \times 10^8 \times 2,76 \times 10^2}{2} = \mathbf{4,14 \times 10^{10} \text{ m.}}$$

34. Coup de foudre

> COMPÉTENCES : Restituer, réaliser, valider.

a. La vitesse de propagation de la lumière dans le vide ou dans l'air est : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$b. \Delta t_1 = \frac{d}{c} = \frac{3 \times 10^3}{3,00 \times 10^8} = 1 \times 10^{-5} \text{ s.}$$

L'ordre de grandeur de la durée Δt_1 est 10^{-5} s.

$$c. \Delta t_2 = \frac{d}{v} = \frac{3 \times 10^3}{340} = 8,8 \text{ s.}$$

L'ordre de grandeur de la durée Δt_2 est 10^1 s.

d. La perception de l'éclair est quasi-instantanée (1 centième de milliseconde), alors que le tonnerre atteint Micaël en une dizaine de secondes après le coup de foudre.
 e. Pour estimer la distance d , en kilomètres, à laquelle se trouve un orage, on compte le nombre de secondes entre l'éclair et le tonnerre. Cette durée Δt correspond au temps qu'il faut au tonnerre pour aller du lieu de l'orage à nos oreilles (la perception de l'éclair étant quasi-instantanée). On applique ensuite la formule suivante : $d = v \times \Delta t$, où v est la vitesse de propagation du son dans l'air ($v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). **Attention** : il faut exprimer la vitesse du son en $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$\text{Ainsi : } d = v \times \Delta t = 0,340 \times \Delta t.$$

$$\text{Par ailleurs : } \frac{1}{3} \approx 0,33.$$

$$d = v \times \Delta t = 0,340 \times \Delta t \approx \frac{1}{3} \times \Delta t \approx \frac{\Delta t}{3}.$$

35. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, réaliser, communiquer.
 L'année de lumière est la distance parcourue par la lumière, dans le vide, en une année.

Pour connaître la valeur, en mètre, d'une année de lumière, il faut appliquer la formule $d = c \times \Delta t$, où Δt est une année à exprimer en secondes.

$$1,0 \text{ a.l.} = 3,0 \times 10^8 \times (365,25 \times 24 \times 3600) = 9,5 \times 10^{15} \text{ m.}$$

$9,5 \times 10^{15} \text{ m}$	1,0 a.l.
$4 \times 10^{18} \text{ m}$	d

$$\text{Ainsi : } d = \frac{1,0 \times 4 \times 10^{18}}{9,5 \times 10^{15}} = \mathbf{4 \times 10^2 \text{ a.l.}}$$

La durée qu'il faut à la lumière pour parvenir jusqu'à nous depuis l'étoile polaire est de **400 ans.**

36. Une explosion d'étoile

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, réaliser.

a. Le lieu de l'explosion se situe à une distance d de la Terre.

$$d = 1,7 \times 10^5 \text{ a.l.} = 1,7 \times 10^5 \times (3,0 \times 10^8 \times 365,25 \times 24 \times 3600) = 1,6 \times 10^{21} \text{ m} = \mathbf{1,6 \times 10^{18} \text{ km.}}$$

b. L'explosion a eu lieu **$1,7 \times 10^5$ ans** avant d'être observée sur Terre.

37. In English Please

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, s'approprier.

a. La distance entre le Soleil et Voyager 1 est : $d_{SV} = 121 \text{ u.a.} = 121 \times 1,5 \times 10^8 = \mathbf{1,8 \times 10^{10} \text{ km.}}$

$$b. v = \frac{d_{SV}}{\Delta t}$$

Δt est la durée qu'il a fallu à la sonde pour quitter le système solaire. Entre la date de lancement, en septembre 1977, et le moment où Voyager 1 a quitté le système solaire, en août 2012, il s'est écoulé 419 mois.

$$\text{Ainsi : } \Delta t = 419 \times 30 \times 24 = 301\,680 \text{ heures} = 3,0 \times 10^5 \text{ h.}$$

$$v = \frac{1,8 \times 10^{10}}{3,0 \times 10^5} = \mathbf{6,0 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}.$$

L'ordre de grandeur de la vitesse moyenne de Voyager 1 est $10^5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

c. Si Voyager 1 s'était déplacé à la vitesse c , alors :

$$\Delta t' = \frac{d_{SV}}{c} = \frac{1,8 \times 10^{13}}{3,0 \times 10^8} = 6,0 \times 10^4 \text{ s.}$$

$$\Delta t' = 17 \text{ h.}$$

Dans ce cas, la sonde Voyager 1 aurait quitté le système solaire **17 h après son lancement !**

38. ✪ Une autre unité astronomique : le parsec

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

a.

1°	3 600''
α	1''

$$\alpha = \frac{1 \times 1}{3\,600} = 2,8 \times 10^{-4} \text{°.}$$

$$\text{b. } \tan \alpha = \frac{ST}{SR}.$$

$$\text{c. } 1 \text{ pc} = SR = \frac{ST}{\tan \alpha} = \frac{d_{T-S}}{\tan \alpha} = \frac{1,5 \times 10^{11}}{\tan (2,8 \times 10^{-4})} = 3,1 \times 10^{16} \text{ m.}$$

$$\text{d. } 1 \text{ pc} = \frac{3,1 \times 10^{16}}{9,5 \times 10^{15}} = 3,2 \text{ a.l.}$$

39. ✪✪ Taille d'un atome

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, valider.

a. L'arête du cube est $a = 1 \text{ mm}$.

Le diamètre d'un atome est $d_{\text{atome}} = 0,25 \text{ nm} = 2,5 \times 10^{-7} \text{ mm}$.

Sur une arête, il y a donc :

$$N_{\text{arête}} = \frac{1}{2,5 \times 10^{-7}} = 4 \times 10^6 \text{ atomes.}$$

Dans le cube, il y a donc : $N_{\text{atome}} = N_{\text{arête}}^3 = (4 \times 10^6)^3 = 6,4 \times 10^{19} \text{ atomes.}$

L'ordre de grandeur du nombre d'atomes du cube est de 10^{20} atomes.

b. La longueur de la file est $L = N_{\text{atome}} \times d_{\text{atome}} = 6,4 \times 10^{19} \times 2,5 \times 10^{-10} = 1,6 \times 10^{10} \text{ m.}$

c. Au niveau de l'équateur, le périmètre de la Terre est : $P_{\text{Terre}} = 2 \times \pi \times R_{\text{Terre}} = 2 \times 3,14 \times 6,4 \times 10^6 = 4,0 \times 10^7 \text{ m.}$

$$N_{\text{tours}} = \frac{1,6 \times 10^{10}}{4,0 \times 10^7} = 400.$$

Avec le nombre d'atomes de cuivre présents dans un cube de 1 mm de côté, on peut faire **400 fois le tour de la Terre.**

d. Le nombre d'atomes contenus dans un échantillon de matière, même très petit à l'échelle humaine, est colossal.

40. ✪ Explosion dans la constellation d'Orion

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, communiquer.

a. Bellatrix disparaît du ciel vu depuis la Terre 243 années après son explosion, Bételgeuse 427 années après son explosion.

b. $2200 - 1500 = 700$.

Les étoiles que l'auteur aurait pu faire exploser sont les étoiles situées à plus de 700 a.l. de la Terre, à savoir : (3), (4), (5), (6) et (7).

41. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

✪✪ Éruptions solaires et télécommunications

> COMPÉTENCES : S'approprier, communiquer.

Éléments clés à présenter et à analyser :

- lancement de sondes spatiales pour observer le Soleil et prévoir les éruptions solaires ;
- émission de particules énergétiques qui modifient le champ magnétique terrestre ;
- perturbation des ondes radio, des satellites et des réseaux électriques.

42. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

✪ Vitesse de la lumière dans une fibre optique

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, valider.

a. Régler le GBF pour qu'il génère une tension crête à crête et le relier à la diode laser modulable. Brancher également le GBF sur la voie 1 de l'oscilloscope.

Relier une extrémité de la fibre optique à la sortie de la diode laser, et l'autre extrémité au capteur optique. Brancher ce dernier sur la voie 2 de l'oscilloscope.

Mesurer, sur l'écran de l'oscilloscope, la durée Δt séparant le début de deux signaux.

La vitesse de propagation de la lumière v dans la fibre est obtenue en faisant le calcul : $v = \frac{L}{\Delta t}$, où L est la longueur de la fibre optique.

$$\text{b. Variation relative} = \frac{c-v}{v} = \frac{3,0 \times 10^8 - 2,1 \times 10^8}{3,0 \times 10^8} = 0,30, \text{ soit } 30 \text{ \%.}$$

43. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✪✪ Calcul de la vitesse de la lumière

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

a. Il y a 1 440 secteurs angulaires sur la roue.

$$\alpha = \frac{360}{1\,440} = 2,50 \times 10^{-1} \text{ degré.}$$

Année	1600	1789	2014
Durée depuis l'explosion (en années)	100	289	514
Aspect du groupe d'étoiles vu depuis la Terre			

b. La vitesse de rotation de la roue est :

$$v_r = 12,6 \text{ tours} \cdot \text{s}^{-1}.$$

$$v_r = 12,6 \times 360 = 4536 \text{ degrés} \cdot \text{s}^{-1} = 4,54 \times 10^3 \text{ degrés} \cdot \text{s}^{-1}.$$

c.

1 s	$4,54 \times 10^3$ degrés
Δt	$\alpha = 2,50 \times 10^{-1}$ degré

$$\Delta t = \frac{2,50 \times 10^{-1} \times 1}{4,54 \times 10^3} = 5,51 \times 10^{-5} \text{ s}.$$

d. La durée Δt est la durée qu'il faut à la lumière pour parcourir un aller-retour entre Montmartre et le Mont Valérien.

$$c = \frac{2d}{\Delta t} = \frac{2 \times 8\,633}{5,51 \times 10^{-5}} = 3,13 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

2. La vitesse de propagation de la lumière dans l'air étant très grande, il est nécessaire de travailler sur de grandes distances afin d'être capable de mesurer la durée de parcours. Pour travailler sur des distances plus petites, il faudrait augmenter le nombre de dents et d'échancrures sur la roue et/ou augmenter la vitesse de rotation de la roue. Compte tenu des techniques utilisées au XIX^e siècle, il paraît très difficile d'augmenter le nombre de dents sur la roue. Par ailleurs, la mesure de la vitesse de rotation de la roue était très difficile à déterminer car cette dernière ne tournait pas toujours à vitesse constante.

Dispersion et réfraction de la lumière

> Manuel pages 140 à 155

Choix pédagogiques

Ce chapitre introduit les connaissances indispensables pour aborder l'étude des spectres d'émission et d'absorption dans le chapitre suivant.

La première activité permet d'établir un modèle pour la réfraction et de découvrir la loi de Snell-Descartes. Cette loi est réinvestie dans la deuxième activité où les élèves sont amenés à déterminer l'indice de réfraction d'un matériau transparent (le plexiglas). La dernière activité permet de comprendre la dispersion de la lumière blanche lors de l'étude de documents variés (texte, photographie, courbe, schéma).

OUVERTURE DE CHAPITRE

Arc-en-ciel circulaire à Victoria Falls.

Quel est le rôle des gouttes d'eau dans la formation d'un arc-en-ciel ?

Les élèves peuvent déjà commenter la forme particulière de cet arc-en-ciel, puis réfléchir sur les conditions nécessaires à l'observation de ce phénomène météorologique, en particulier la présence de soleil et de pluie simultanément.

L'étude de la photographie conduit à s'interroger sur la provenance des couleurs d'un arc-en-ciel et faire le point sur la lumière blanche.

Les gouttes d'eau sont à l'origine de la dispersion de la lumière blanche en multiples couleurs, mais la goutte d'eau se comporte-t-elle comme un prisme ou comme un réseau, deux systèmes dispersifs étudiés au collège ? Enfin les élèves peuvent se demander quelle particularité possède la goutte d'eau pour décomposer la lumière blanche.

Aurore boréale en Alaska.

Combien y a-t-il de couleurs dans une aurore polaire ?

L'observation de ce document doit amener l'élève à s'interroger sur la perception des couleurs.

Tout d'abord, il doit se rendre compte que ce n'est pas possible de compter les différentes nuances. Il peut toutefois essayer de les regrouper pour pouvoir dénombrer les couleurs dominantes.

L'énumération des multiples nuances associées à chacune des couleurs implique également la nécessité de définir une grandeur physique, la longueur d'onde, permettant aux scientifiques de se repérer.

Vidéo Débat : L'expérience historique d'Archimède.

Comment expliquer que la pièce soit devenue visible ?

Cette vidéo permet de mettre en évidence la réfraction, déviation de la lumière lors d'un changement de milieu.

Les élèves doivent d'abord s'interroger sur la raison pour laquelle la pièce n'est pas visible au début de l'expérience. Pour voir un objet, il faut que l'œil reçoive de la lumière de cet objet.

Les élèves doivent alors se demander comment l'eau agit sur la lumière pour que la pièce redevienne visible. On peut leur proposer de tracer un rayon lumineux issu de la pièce dans les deux cas.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Établir un modèle pour la réfraction

Commentaires

La compétence attendue pour cette activité est : « *Pratiquer une démarche expérimentale pour établir un modèle à partir d'une série de mesures* ».

La situation déclenchante fait référence à la réfraction des rayons lumineux dans les instruments d'optique à l'origine de la formation des images d'objets lointains, tels que les étoiles.

Les documents proposés permettent de simplifier rapidement cette étude puisque l'on étudie le phénomène de réfraction d'un unique rayon lumineux.

Cette activité est basée sur une étude historique de 3 modèles pouvant décrire le phénomène de réfraction, les élèves doivent proposer un protocole dans lequel ils sont amenés à mesurer l'angle d'incidence associé à un rayon incident et l'angle de réfraction du rayon réfracté correspondant. Le matériel mis à leur disposition est déjà connu puisqu'ils l'ont utilisé au cours d'une activité expérimentale sur la réflexion totale dans le thème précédent.

Pour justifier le choix du modèle le plus approprié pour décrire la réfraction, ils doivent tracer des représentations graphiques des points expérimentaux pour chacun des modèles.

Ils doivent, pour valider leur démarche, rédiger une synthèse dans laquelle ils justifient le choix du modèle le plus approprié.

Réponses

1. ANALYSER

La source lumineuse doit être alimentée et réglée de façon à émettre un fin faisceau de lumière.

On dispose sur la platine un hémicylindre en plexiglas tel que la surface de séparation air-plexiglas (le dioptre) soit sur la graduation 90° (la normale est alors suivant la direction 0°).

On envoie un fin faisceau de lumière sur le dioptre pour un angle de 0° , l'angle de réfraction doit alors prendre la valeur 0° .

On fait tourner la platine afin d'obtenir un angle d'incidence égal à 10° , on lit la valeur de l'angle de réfraction correspondant.

On recommence ces mesures pour les angles 20° , 30° , 40° , 50° , ..., 80° .

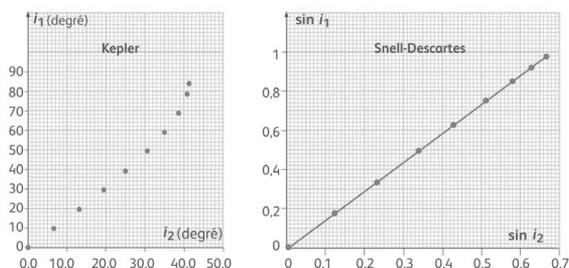
2. RÉALISER

a. Mesure de l'angle d'incidence i_1 et de l'angle de réfraction i_2 correspondant :

i_1 (degré)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
i_2 (degré)	0	6,5	13	19,5	25,5	30,5	35,5	39	41
$\sin i_1$	0	0,17	0,34	0,5	0,64	0,77	0,87	0,94	0,98
$\sin i_2$	0	0,11	0,22	0,33	0,43	0,51	0,58	0,63	0,66

b. En analysant les résultats expérimentaux, on peut immédiatement conclure que le modèle de Grosseteste n'est pas approprié pour décrire le phénomène de réfraction.

Les représentations graphiques des points expérimentaux pour les modèles de Kepler et Snell-Descartes sont données ci-dessous.



3. VALIDER

Cette étude sur la réfraction permet de conclure que le modèle de Grosseteste n'est pas approprié pour décrire ce phénomène.

Le modèle mathématique de Kepler est valide pour des valeurs d'angle d'incidence inférieures à 40° .

La représentation de $\sin i_1$ en fonction de $\sin i_2$ donne une droite passant par l'origine, il y a proportionnalité entre les deux grandeurs, ce qui permet de conclure que le modèle le plus approprié pour décrire le phénomène de réfraction est celui de Snell-Descartes.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Déterminer un indice de réfraction

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

3. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Comprendre la dispersion de la lumière blanche

Commentaires

Cette troisième activité est une étude documentaire dans laquelle les compétences « Savoir que la longueur d'onde caractérise dans l'air et dans le vide une radiation monochromatique » et « Interpréter qualitativement la dispersion de la lumière blanche par un prisme » sont attendues.

L'étude des couleurs de l'arc-en-ciel permet de contextualiser cette activité. Des références historiques sur les couleurs de l'arc-en-ciel montrent la difficulté à les dénombrer.

Les documents proposés pour répondre à la question posée sont nombreux et de différentes natures : texte, photographies d'expériences, schéma et représentation graphique.

Ainsi l'étude du texte du document 1 apporte un point de vue historique à la dispersion de la lumière blanche réalisée par Newton et permet de conclure que la lumière blanche est constituée de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. Le document 2 permet de différencier les lumières en 2 catégories, celles qui peuvent être décomposées et celles qui ne le sont pas. Le document 3 introduit les définitions de lumière polychromatique et monochromatique. Le document 4 montre que l'indice de réfraction d'un milieu transparent dépend de la longueur d'onde, donc de la couleur de la lumière qui le traverse. Le document 5 rappelle les notations utilisées pour la réfraction et la loi de Snell-Descartes.

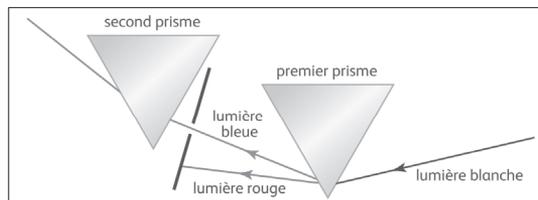
Le document 6 illustre la dispersion de la lumière blanche dans un prisme.

Les questions associées à ces documents vont permettre de comprendre la dispersion de la lumière blanche par un prisme en calculant les angles de réfraction pour les rayons rouge et bleu de la lumière blanche arrivant sur le prisme avec le même angle d'incidence.

Réponses

1. ANALYSER

a. Schéma légendé de l'expérience réalisée par Newton en 1666 :



b. La lumière jaune obtenue en utilisant un filtre et la lumière blanche sont des lumières polychromatiques, car elles sont composées de plusieurs radiations monochromatiques.

La lumière du laser et la lumière bleue isolées par Newton sont des lumières monochromatiques. La longueur d'onde associée à la lumière bleue est environ 450 nm et celle pour la lumière rouge de 750 nm.

c. Les radiations composant la lumière blanche ne sont pas toutes déviées de la même façon puisque le violet est plus dévié que le rouge.

d. L'indice de réfraction d'un milieu dépend de la longueur d'onde. Les valeurs n_{rouge} et n_{bleu} sont exactes.

2. RÉALISER

Calcul des valeurs des angles de réfraction :

Pour la radiation bleue :

$n_{\text{bleu}} \times \sin i_1 = n_{\text{air}} \times \sin i_{2,\text{bleu}}$ soit

$$\begin{aligned} \sin i_{2,\text{bleu}} &= n_{\text{bleu}} \times \frac{\sin i_1}{n_{\text{air}}} \\ &= 1,65 \times \frac{\sin 35}{1,00} = 0,95 \end{aligned}$$

$$i_{2,\text{bleu}} = \sin^{-1}(0,95) = 71^\circ$$

Pour la radiation rouge :

$$\sin i_{2,\text{rouge}} = \frac{n_{\text{rouge}} \times \sin i_1}{n_{\text{air}}} = \frac{1,62 \times \sin 35}{1,00} = 0,93$$

$$i_{2,\text{rouge}} = \sin^{-1}(0,93) = 68^\circ$$

3. VALIDER

a. La radiation bleue est plus déviée que la radiation rouge, car $71^\circ > 68^\circ$.

Ceci est cohérent avec les différents documents.

b. Les couleurs de l'arc-en-ciel proviennent de la dispersion de la lumière blanche par les gouttes d'eau. On observe donc une infinité de radiations monochromatiques que l'on peut regrouper en couleurs dominantes, c'est ainsi que les 7 couleurs de l'arc-en-ciel ont été définies.

EXERCICES Appliquer le cours

I Dispersion, lumières et radiations (§1 du cours)

16. Repérer une longueur d'onde

a. Les valeurs limites des longueurs d'onde des radiations visibles sont 400 nm (bleu) et 750 nm (rouge).

b. La lumière du laser utilisée par les astronomes est visible.

17. Illustrer la dispersion de la lumière blanche

Le phénomène météorologique de l'arc-en-ciel, l'arc-en-ciel sur une tache d'essence, l'arc-en-ciel formé à partir d'un CD sont des exemples de la vie quotidienne où l'on observe la dispersion de la lumière blanche.

18. Utiliser les puissances de 10

Couleur du filtre	Longueur d'onde (nm)	Longueur d'onde (m)
jaune	590 nm	$5,90 \times 10^{-7}$
orange	625 nm	$6,25 \times 10^{-7}$
bleu	530 nm	$5,30 \times 10^{-7}$
violet	450 nm	$4,50 \times 10^{-7}$

I Réfraction de la lumière (§2 du cours)

19. Utiliser la calculatrice

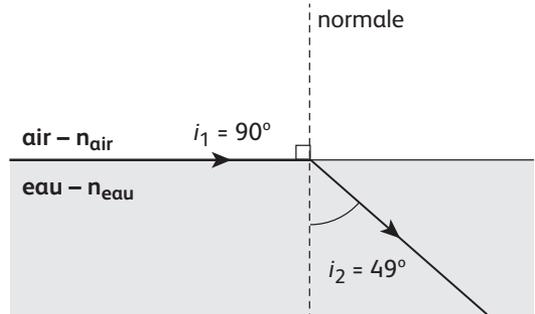
Direction dans laquelle le plongeur doit regarder pour observer le Soleil :

Le rayon provenant du Soleil rase la surface de séparation donc $i_1 = 90^\circ$.

D'après la loi de Descartes : $n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n_{\text{eau}} \times \sin i_2$

$$\text{Donc } \sin i_2 = \frac{n_{\text{air}} \times \sin i_1}{n_{\text{eau}}} = \frac{1,0 \times \sin 90}{1,33}$$

$$\sin i_2 = 0,75 \text{ soit } i_2 = \sin^{-1}(0,75) = 49^\circ$$



20. Utiliser un graphique

a. Coefficient directeur de la droite :

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta(\sin i_1)}{\Delta(\sin i_2)} = \frac{0,76}{0,56} = 1,36$$

b. D'après la deuxième loi de Descartes :

$n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n_s \times \sin i_2$ avec $n_{\text{air}} = 1,00$ donc

$$\sin i_1 = n_s \times \sin i_2$$

La courbe $\sin i_1 = f(\sin i_2)$ est une droite passant par l'origine dont l'équation est de la forme $y = a \times x$.

En ordonnée, $y = \sin i_1$, en abscisse $x = \sin i_2$ et le coefficient directeur de la droite est 1,36 donc l'équation de la droite est : $\sin i_1 = 1,36 \times \sin i_2$

En comparant les deux expressions, on en déduit que $n_s = 1,36$. L'indice de l'eau salée est presque égal à celui de l'eau douce.

I Le prisme, un milieu dispersif (§3 du cours)

21. Reconnaître un milieu dispersif

a. La couleur de chacune des radiations :

$$\lambda_A = 656 \text{ nm} \quad \text{orange}$$

$$\lambda_B = 589 \text{ nm} \quad \text{jaune}$$

$$\lambda_C = 486 \text{ nm} \quad \text{bleu}$$

b. Le verre est dit « dispersif », car son indice de réfraction dépend de la longueur d'onde dans le vide des radiations qui composent la lumière blanche.

EXERCICES S'entraîner

23. Newton et l'arc-en-ciel

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, valider.

a. Le rayon n'est pas dévié au passage air-verre au point I_1 car il arrive suivant la normale, l'angle d'incidence vaut alors 0° .

D'après la loi de Descartes :

$$n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n_{\text{verre}} \times \sin i_2$$

$$\text{soit } \sin i_2 = n_{\text{air}} \times \frac{\sin i_1}{n_{\text{verre}}}$$

$\sin i_2 = n_{\text{air}} \times \frac{\sin 0}{n_{\text{verre}}} = 0$ donc $i_2 = 0^\circ$. Le rayon réfracté ressort suivant la normale.

b. Dans le triangle AI_1I_2 , l'angle I_2 vaut $90 - 35 = 55^\circ$.

L'angle d'incidence vaut donc $90 - 55 = 35^\circ$.

c. Valeur de l'angle de réfraction pour la lumière bleue :

$$n_{\text{bleu}} \times \sin i_2 = n_{\text{air}} \times \sin i_{2,\text{bleu}} \text{ soit :}$$

$$\sin i_{2,\text{bleu}} = \frac{n_{\text{bleu}} \times \sin i_2}{n_{\text{air}}} = \frac{1,65 \times \sin 35}{1,00} = 0,95$$

$$\sin^{-1}(0,95) = 71^\circ$$

$$\sin i_{2,\text{rouge}} = \frac{n_{\text{rouge}} \times \sin i_2}{n_{\text{air}}} = \frac{1,62 \times \sin 35}{1,00} = 0,93$$

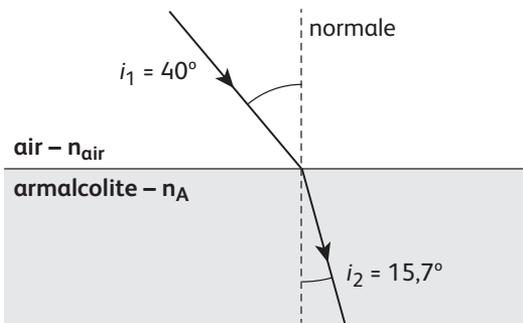
$$\sin^{-1}(0,93) = 68^\circ$$

d. La lumière bleue est la plus déviée. Le schéma est donc en accord avec la réponse.

24. Armalcolite

> COMPÉTENCE : Réaliser.

a. Schéma de la situation :



b. Calcul de l'indice de réfraction de l'armalcolite :

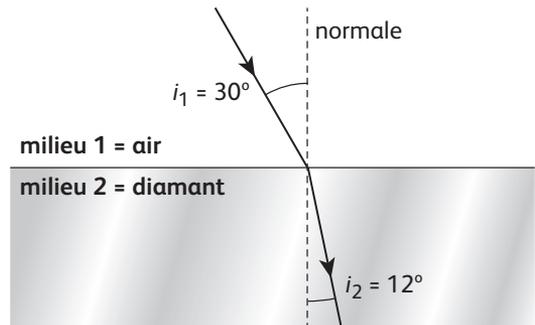
$$n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n_A \times \sin i_2 \text{ donc } n_A = \frac{n_{\text{air}} \times \sin i_1}{\sin i_2}$$

$$n_A = \frac{1,00 \times \sin 40,0}{\sin 15,7} = 2,38$$

25. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Réaliser, valider, communiquer.

a. Schéma de la situation :



b. Calcul de l'indice de réfraction du diamant :

$$n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2 \text{ donc } n_2 = \frac{n_{\text{air}} \times \sin i_1}{\sin i_2}$$

$$n_2 = \frac{1,00 \times \sin 30}{\sin 12} = 2,4$$

26. Étoile à travers une vitre

> COMPÉTENCES : Restituer, réaliser, valider.

a. Calcul de la valeur r de l'angle de réfraction du rayon réfracté en A :

$$n_{\text{air}} \times \sin i = n \times \sin r \text{ donc}$$

$$\sin r = \frac{n_{\text{air}} \times \sin i}{n} = \frac{1,0 \times \sin 50}{1,50} = 0,51$$

$$r = \sin^{-1}(0,51) = 31^\circ$$

b. Le rayon lumineux subit une deuxième réfraction lorsqu'il atteint le point B.

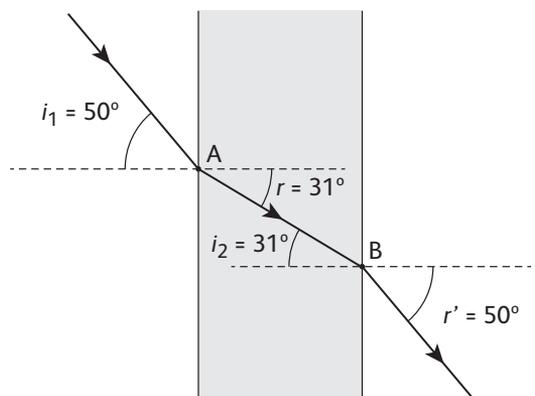
c. Valeur r' de l'angle de réfraction du rayon réfracté en B :

$$n \times \sin i_2 = n_{\text{air}} \times \sin r' \text{ donc}$$

$$\frac{n \times \sin i}{n_{\text{air}}} = \sin r' = \frac{1,50 \times \sin(31)}{1,00} = 0,77$$

$$r' = \sin^{-1}(0,77) = 50^\circ$$

d. Schéma :



La direction du rayon incident est la même que celle du rayon émergeant de la vitre.

27. In English Please

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser.

Calcul de r_o :

$$n_{\text{air}} \times \sin i = n_o \times \sin r_o \text{ donc}$$

$$\sin r_o = \frac{n_{\text{air}} \times \sin i}{n_o} = \frac{1,00 \times \sin 30}{1,658} = 0,30$$

$$r_o = \sin^{-1}(0,30) = 18^\circ$$

Calcul de r_E :

$$n_{\text{air}} \times \sin i = n_E \times \sin r_E \text{ donc}$$

$$\sin r_E = \frac{n_{\text{air}} \times \sin i}{n_E} = \frac{1,00 \times \sin 30}{1,486} = 0,34$$

$$r_E = \sin^{-1}(0,34) = 20^\circ$$

28. Fibre optique

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser.

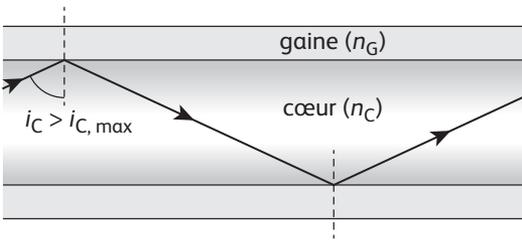
a. Valeur de l'angle d'incidence $i_{c,\text{max}}$ pour laquelle l'angle de réfraction i_G dans la gaine vaut 90° :

$$n_c \times \sin i_{c,\text{max}} = n_G \times \sin i_G \text{ soit :}$$

$$\sin i_{c,\text{max}} = \frac{n_G \times \sin i_G}{n_c} = \frac{1,48 \times \sin 90}{1,52} = 0,97$$

$$\sin^{-1}(0,97) = 77^\circ$$

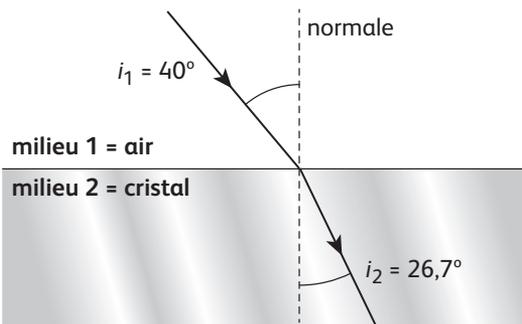
b. Schéma fibre optique :



29. Lentilles des lunettes astronomiques

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, valider.

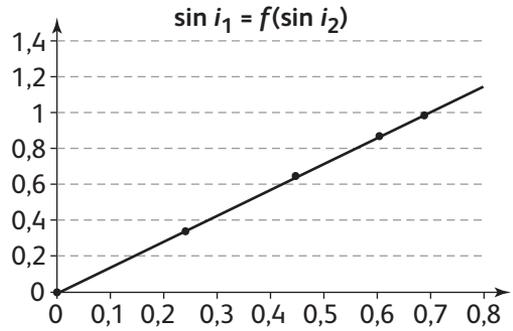
a. Schéma :



$$n_{\text{air}} \times \sin i_1 = n \times \sin i_2 \text{ soit } \sin i_1 = n \times \sin i_2$$

b. Tracé du graphique :

i_1	0	20,0	40,0	60,0	80,0
i_2	0	13,8	26,7	37,3	43,5
$\sin i_1$	0	0,342	0,643	0,866	0,985
$\sin i_2$	0	0,239	0,449	0,606	0,688



c. La courbe obtenue en reliant les points expérimentaux est une droite passant par l'origine dont l'équation est $\sin i_1 = a \times \sin i_2$.

$$\text{Calcul de } a = \frac{0,866 - 0}{0,606 - 0} = 1,43$$

$$\text{Soit } \sin i_1 = 1,43 \times \sin i_2$$

En comparant avec l'expression de la question a :

$$\sin i_1 = n \times \sin i_2, \text{ on en déduit que } n = 1,43.$$

d. Le cristal est de la fluorine pure, car $n = n_F$.

30. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

☆☆ Étoile ou planète ?

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

Pour différencier une étoile d'une planète, il faut regarder si le point lumineux observé dans le ciel étoilé scintille.

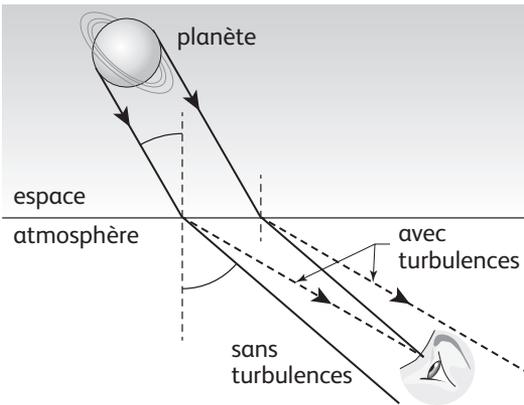
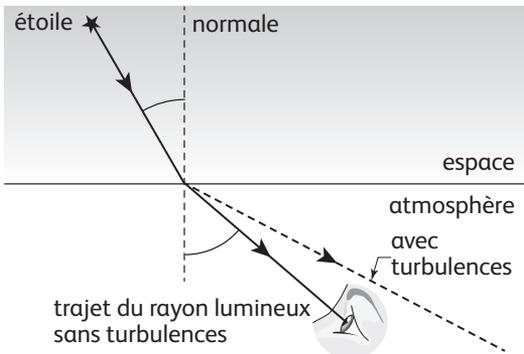
En effet, la lumière issue d'une étoile ou dispersée par une planète doit traverser l'atmosphère avant de pénétrer dans l'œil.

L'atmosphère est un milieu transparent dont la valeur de l'indice de réfraction dépend de la température et de la pression. Des turbulences provoquent alors la modification de la valeur de l'indice de réfraction de l'atmosphère.

La lumière est déviée lors de son passage d'une couche atmosphérique à une autre possédant un indice de réfraction différent.

La lumière provenant d'une étoile peut être considérée comme un unique rayon lumineux. Si celui-ci pénètre dans l'œil, on voit l'étoile. Si ce rayon est dévié, il ne pénètre pas dans l'œil : on ne voit plus l'étoile, d'où le scintillement.

La lumière provenant d'une planète correspond à un ensemble de rayons lumineux. Même si l'atmosphère est le siège de turbulences, les rayons pénétrant dans l'œil resteront suffisamment nombreux pour ne pas voir de variation d'intensité lumineuse. Le point lumineux ne scintillera pas.



31. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✦ Les mirages

> COMPÉTENCES : **S'approprier, réaliser, communiquer.**

Le document 2 permet de montrer que la lumière peut être courbée en traversant un milieu dans lequel l'indice de réfraction varie.

Cette courbure s'explique par des réfractations successives sur les différentes couches aux indices de réfraction différents. La courbure est dirigée vers le bas, car les indices de réfraction ont une valeur croissante vers le bas.

Dans l'air, l'indice de réfraction peut varier en fonction de la température. Plus la température augmente, plus l'indice de réfraction de l'air diminue.

L'air est plus froid au niveau de l'eau qu'au niveau supérieur, l'indice de réfraction de l'air est donc plus élevé au niveau de l'eau, la courbure du rayon lumineux se fait donc vers le bas.

Un observateur interprète la propagation de la lumière en ligne droite, la lumière courbée par les réfractations successives est donc interprétée par l'observateur comme provenant en ligne droite : le bateau semble alors voler au-dessus de l'eau.

32. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

✦ La mer Morte

> COMPÉTENCES : **Valider, analyser, réaliser.**

a. Protocole permettant de déterminer la concentration en chlorure de sodium de l'eau de la mer Morte :

On mesure pour différentes valeurs i_1 d'angle d'incidence, les valeurs i_2 des angles réfractés correspondants avec un demi-cylindre creux rempli de l'eau de la mer Morte (ou d'eau salée possédant la même concentration en chlorure de sodium).

On trace les points expérimentaux $\sin i_1 = f(\sin i_2)$, on détermine alors le coefficient directeur de la droite obtenue qui correspond à la valeur de l'indice de réfraction de l'eau de la mer Morte.

En effet $n_{\text{air}} \times \sin i = n \times \sin r$ avec n l'indice de réfraction de l'eau salée de la mer morte et $n_{\text{air}} = 1,00$ soit $\sin i = n \times \sin r$.

On reporte la valeur de n sur la courbe d'étalonnage et on en déduit la valeur de la concentration en chlorure de sodium de l'eau de la mer Morte.

b. Si $n = 1,375$ alors par lecture graphique, on déduit que $C_m = 275 \text{ g/L}$

Pour comparer à la valeur indiquée dans l'énoncé, on peut calculer un écart relatif :

$$C_{\text{m'énoncé}} = 275 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$e = \frac{|C_{\text{m'énoncé}} - C_m|}{C_{\text{m'énoncé}}} \times 100$$

33. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✦ La hauteur d'une étoile

> COMPÉTENCE : **Réaliser.**

Pour justifier qu'il vaut mieux ne pas viser des étoiles proches de l'horizon pour se repérer, nous allons calculer les valeurs des hauteurs apparentes d'une étoile proche de l'horizon et d'une autre plus haute dans le ciel. Nous comparerons ces hauteurs apparentes aux hauteurs réelles des étoiles.

On note α la hauteur réelle de l'étoile et α' la hauteur apparente de l'étoile.

Nous utilisons les lois de la réfraction :

$$\sin(90 - \alpha) \times n_{\text{vide}} = \sin(90 - \alpha') \times n_{\text{atm}}$$

$$\sin(90 - \alpha') = \frac{\sin(90 - \alpha) \times n_{\text{vide}}}{n_{\text{atm}}}$$

Nous réalisons l'application numérique pour l'étoile proche de l'horizon $\alpha_p = 5,0^\circ$.

$$\sin(90 - \alpha_p') = \frac{\sin 85,0}{1,000293} = 0,996$$

$$90 - \alpha_p' = \sin^{-1}(0,996) = 84,8^\circ \text{ soit } \alpha_p' = 5,2^\circ$$

Nous réalisons l'application numérique pour l'étoile haute dans le ciel $\alpha_H = 80,0^\circ$.

$$\sin(90 - \alpha_H') = \frac{\sin 10,0}{1,000293} = 0,174$$

$$90 - \alpha_H' = \sin^{-1}(0,174) = 10,0^\circ \text{ soit } \alpha_H' = 80,0^\circ$$

La hauteur apparente est égale à la valeur de la hauteur réelle pour l'étoile haute dans le ciel, il y a un écart entre ces deux valeurs pour l'étoile proche de l'horizon.

$$e = \frac{|\alpha_p - \alpha_p'|}{\alpha_p} \times 100 = \frac{|5,0 - 5,2|}{5,0} \times 100 = 4,0 \%$$

Les spectres lumineux

> Manuel pages 156 à 171

Choix pédagogiques

Ce chapitre a pour but de montrer que nos connaissances concernant les astres, bien que ces derniers ne soient pas atteignables, sont rendues possibles par l'analyse de la lumière qu'ils émettent.

On s'intéresse surtout à la comparaison de la température de surface d'étoiles et à la composition chimique de leurs atmosphères, mais, pour montrer que d'autres informations sont accessibles, un exercice de Résolution de problème (ex. 25) évoque la vitesse d'éloignement d'une galaxie (notion utile en terminale S).

Bien qu'ils ne soient pas explicitement évoqués par le programme, le choix a été fait de pouvoir aborder l'étude des profils spectraux. Ceux-ci sont en effet traités en première S et la plupart des lycées possèdent maintenant un spectromètre. Mais cette étude n'est pas imposée : elle ne concerne que quelques exercices et les activités 3 et 4 peuvent ou non les utiliser.

Pour aller plus loin, la loi de Wien (notion de 1re S) est présentée dans un exercice d'Analyse et synthèse de documents (ex. 24).

OUVERTURE DE CHAPITRE

NGC4565 ou Galaxie de l'aiguille.

L'analyse de la lumière de cette galaxie nous permet de savoir qu'elle s'éloigne de nous. Quelles autres informations peut apporter l'étude de la lumière d'un astre ?

On sait que la Galaxie de l'aiguille s'éloigne de nous en analysant sa lumière. À partir de cet exemple (remarque : l'exercice 25 propose de déterminer la distance nous séparant d'une galaxie et sa vitesse d'éloignement), l'élève est invité à s'interroger sur d'autres informations que peut révéler la lumière d'un astre.

Le but de la question est de faire émerger l'idée que des informations concernant la température et la composition chimique peuvent être révélées. Le questionnement pourra se prolonger avec l'activité 1.

On peut aussi profiter de cet exemple pour évoquer les informations qui peuvent être déduites de l'observation directe d'une galaxie : forme, concentration des étoiles, présence de nuages, etc. Par contre, du fait de leurs tailles et des distances qui nous séparent, on ne peut pas observer la surface d'une étoile autre que le Soleil, même avec les meilleurs télescopes actuels (remarque : on pourra faire remarquer que plus l'instrument d'observation est performant et plus une étoile nous paraît brillante mais petite !).

Le Soleil, Helios en grec.

L'atome d'hélium a été découvert à la fin du XIX^e siècle. Quelles observations sont à l'origine de sa découverte ?

L'étymologie commune du nom hélium et de celui du Soleil en grec montre que l'hélium a été découvert grâce au Soleil (le nom hélium a été proposé par Lockyer). C'est

l'analyse de la lumière solaire, à l'occasion d'une éclipse en 1868, qui a permis cette découverte. On peut supposer que cette découverte a été favorisée par l'abondance de l'hélium sur le Soleil. On l'a depuis aussi mis en évidence sur Terre.

On peut réfléchir à la manière de mettre en évidence la présence d'atomes au sein d'une étoile : intensité du rayonnement, couleur, particularités du spectre. Ce questionnement pourra se prolonger avec l'activité 1.

Vidéo Débat : Le lever d'Orion, constellation représentée par un chasseur.

Rigel et Bételgeuse sont deux étoiles qui émettent des lumières n'ayant pas la même couleur. Comment expliquer cette différence ?

L'animation commentée présente la constellation d'Orion et montre la différence entre les couleurs de certaines de ses étoiles dont les plus brillantes, Rigel et Bételgeuse. Le lien avec la température est indirectement évoqué par le commentaire de l'animation, ce qui suppose un questionnement de la part des élèves. Ce questionnement pourra se prolonger avec l'activité 1.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

La lumière des étoiles

Commentaires

Cette activité est une introduction au chapitre. Elle peut compléter ou remplacer les questionnements des pages d'ouverture du chapitre.

Le but de l'activité est d'évoquer deux renseignements qui peuvent être révélés par la lumière d'une étoile : sa température et sa composition chimique. L'élève doit

comprendre par quels signes ces messages sont portés : par la couleur du rayonnement de l'étoile ou par la présence de certaines raies sombres dans le spectre de la lumière de l'étoile. Ces notions seront approfondies par les autres activités :

- l'activité 2 montre que les raies sombres sont dues au phénomène d'absorption ;
- l'activité 3 précise le lien entre la couleur et la température de surface d'une étoile (on pourra montrer que la couleur est liée à la proportion des différentes radiations, ce qui se traduit par une certaine étendue du spectre de la lumière de l'étoile ou par une allure particulière du profil spectral de l'étoile) ;
- l'activité 4 détaille la mise en évidence d'atomes ou d'ions dans l'atmosphère du Soleil.

Réponses

1. ANALYSER

- a. La couleur d'une étoile est liée à sa température (plus exactement à la température de sa surface).
- b. On peut supposer que la présence ou l'intensité de certaines raies sombres placées à des endroits particuliers sur le spectre de la lumière d'une étoile peuvent nous renseigner sur la composition chimique de l'étoile.

2. COMMUNIQUER

Puisque l'on ne peut pas s'approcher des étoiles pour réaliser des mesures ou des prélèvements, l'analyse de la lumière d'une étoile est le seul moyen qu'a un astrophysicien pour :

- estimer la température de l'étoile en considérant la couleur de sa lumière ;
- connaître la composition de l'étoile en étudiant la position et l'intensité de raies sombres dans le spectre de sa lumière.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Observer des spectres lumineux

Commentaires

Cette activité concerne la compétence du programme « Utiliser un système dispersif pour visualiser des spectres d'émission et d'absorption et comparer ces spectres à celui de la lumière blanche ». Pour qu'elle soit facilement mise en œuvre et illustrée clairement, la notion d'absorption est découverte par l'effet de solutions colorées. Les spectres de bandes ne font toutefois pas partie des compétences attendues en seconde.

Réponses

1. RÉALISER

On peut réaliser un montage de dispersion au bureau pour commenter les spectres que les élèves ont observés. Le phénomène d'absorption par des solutions colorées peut être illustré par l'utilisation d'un rétroprojecteur muni d'un réseau : on obtient alors simultanément le spectre de la lumière traversant la solution et celui de la lumière blanche, ce qui facilite la comparaison.

2. ANALYSER

- a. Lumière solaire : spectre continu (les raies sombres évoquées en activité 1 ne sont pas visibles ici). Lumière d'une lampe à incandescence : spectre continu. Lampe spectrale : spectre de raies. Tube fluorescent : plutôt spectre de raies.
- b. Certaines parties (les bandes sombres) du spectre de la lumière blanche sont absentes des spectres obtenus.

3. COMMUNIQUER

En 1a., la lumière analysée est celle qui est émise par la source : les spectres qui en résultent sont des spectres d'émission.

En 1b., la lumière blanche émise a traversé la solution et une partie a été absorbée, ce qui se traduit sur les spectres par des bandes sombres : on parle de spectres d'absorption.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Température d'une étoile

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

4. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Composition du Soleil

Commentaires

On ne demande pas ici de tracer de courbe d'étalonnage, mais la linéarité de la dispersion est directement indiquée dans le document 1 : « Les distances séparant deux raies sur le spectre sont proportionnelles aux différences entre leurs longueurs d'onde. » Le travail de l'élève consiste d'abord à déterminer l'échelle du spectre en utilisant celui de l'hydrogène.

L'utilisation de *SalsaJ* est possible grâce à l'image numérique du document 1 disponible sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014. Sur cette dernière, le spectre est en nuances de gris afin d'obtenir un profil spectral correct si le professeur souhaite l'étudier (proportions des différentes radiations, estimation de la longueur d'onde au maximum d'émission,...). L'étude sous *SalsaJ* permet d'estimer la position des raies au dixième de nanomètre. Une fiche d'utilisation du logiciel est disponible sur le site www.nathan.fr/sirius2014.

Pour éventuellement réaliser cette étude plus rapidement, le profil spectral est consultable sur un fichier *Regressi* disponible sur le site www.nathan.fr/sirius2014 : le pointage sur le profil spectral est alors plus confortable (utilisation du réticule), mais le spectre n'est pas visible simultanément.

Réponses

1. S'APPROPRIER

Le spectre de la lumière solaire révèle la présence d'hydrogène sur le Soleil car des raies d'absorption sont pré-

sentes aux mêmes positions (mêmes longueurs d'onde) que les raies d'émission de l'hydrogène.

2. ANALYSER

Principe de la démarche

Méthode avec mesures à la règle sur le spectre du manuel :

- Déterminer l'échelle (en $\text{nm} \cdot \text{cm}^{-1}$) du spectre de la lumière solaire en utilisant le spectre de l'hydrogène.
- Repérer dans le document 3 les longueurs d'onde des raies qui doivent être présentes sur le spectre solaire si des atomes de Na ou de Mg sont présents dans l'atmosphère du Soleil. En utilisant l'échelle, calculer les positions des raies attendues sur le document.
- Vérifier la présence ou l'absence de raies sombres à ces positions et conclure.

Méthode avec l'image numérique, le logiciel SalsaJ 2.3 :

- Fixer l'échelle (en $\text{nm} \cdot \text{pixel}^{-1}$) de l'image numérique du spectre de la lumière solaire en utilisant le spectre de l'hydrogène.
- Repérer dans le document 3 les longueurs d'onde des raies qui doivent être présentes sur le spectre solaire si des atomes de Na ou de Mg sont présents dans l'atmosphère du Soleil.
- Réaliser le tracé du profil en intensité le long du spectre de la lumière solaire. Vérifier la présence ou l'absence de raies sombres aux longueurs d'onde attendues et conclure.

Échelle du spectre

À la gauche des spectres correspond la longueur d'onde 400,0 nm. À la raie située le plus à droite sur le spectre de l'hydrogène correspond la longueur d'onde 656,3 nm (document 3). Ainsi à la distance entre ces deux repères correspond une différence de longueur d'onde de $656,3 - 400,0 = 256,3$ nm.

REMARQUE : Les spectres sont tracés de 400,0 à 700,0 nm.

3. RÉALISER

a. *Méthode avec mesures à la règle sur le spectre du manuel*

- Mesurer à la règle la distance entre la gauche du spectre et la quatrième raie de l'hydrogène, de longueur d'onde 656,3 nm (document 3). En déduire l'échelle du document en $\text{nm} \cdot \text{cm}^{-1}$:
10,2(5) cm sur le document
 $656,3 - 400,0 = 256,3$ nm de différence en longueur d'onde

$$\text{échelle du spectre} : \frac{256,3}{10,2(5)} = 25,0 \text{ nm} \cdot \text{cm}^{-1}.$$

- Pour mettre en évidence la présence de Na, on doit repérer des raies aux longueurs d'onde 589,0 et 589,6 nm. Sur le document, elle doivent être situées à :

$$\frac{(589,0 - 400,0)}{25,0} = 7,56 \text{ cm et } \frac{(589,6 - 400,0)}{25,0} = 7,58 \text{ cm.}$$

Avec une règle, on ne peut pas dissocier les deux raies qui se situent à environ 7,6 cm.

Pour le magnésium, les raies se situent à :

$$\frac{(516,7 - 400,0)}{25,0} = 4,67 \text{ cm ; } \frac{(517,3 - 400,0)}{25,0} = 4,69 \text{ cm}$$

$$\text{et } \frac{(518,4 - 400,0)}{25,0} = 4,74 \text{ cm. Ces trois raies sont situées}$$

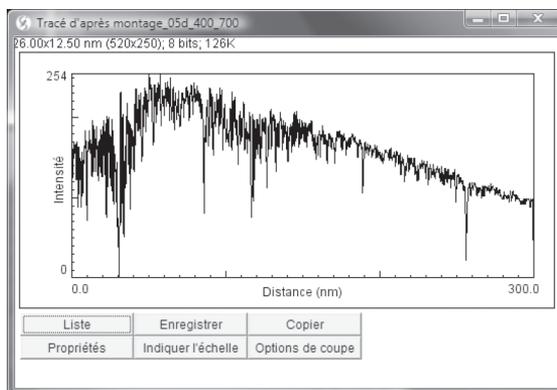
à environ 4,7 cm.

- On repère bien la présence de raies sombres à 7,6 cm et à 4,7 cm sur le document, donc les atomes de Na et Mg sont présents dans l'atmosphère du Soleil.

Méthode avec l'image numérique, le logiciel SalsaJ 2.3 et sa fiche d'utilisation

On suit les étapes de la fiche d'utilisation de SalsaJ (sur le site www.nathan.fr/sirius2014) :

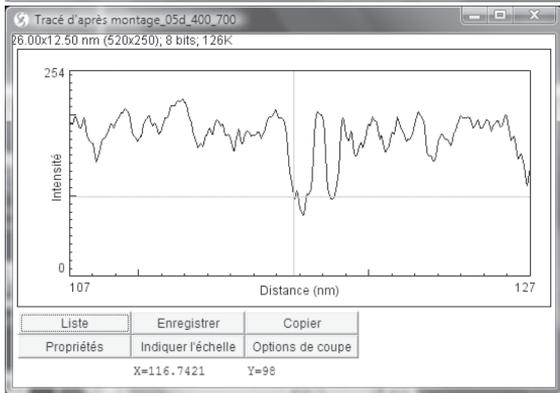
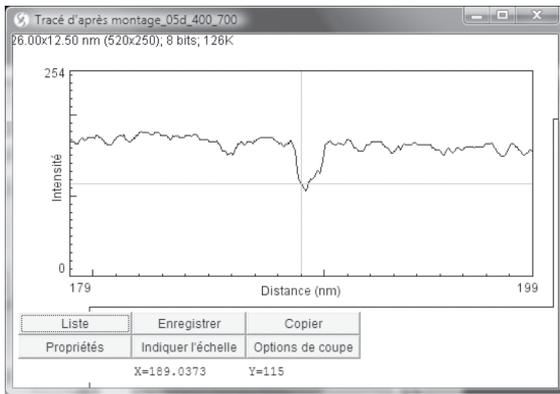
- Réaliser la sélection rectiligne de la gauche du spectre de l'hydrogène jusqu'à la raie colorée située la plus à droite sur ce même spectre. Faire un zoom pour améliorer la précision du pointage. Dans le menu analyse, préciser l'échelle ; distance réelle : 256,3 nm ; unité de mesure : nm ; cocher « global ».
- Réaliser la sélection rectiligne de la gauche du spectre de la lumière solaire vers la droite. Utiliser l'outil coupe de manière à tracer le profil en intensité le long des pixels de la sélection.



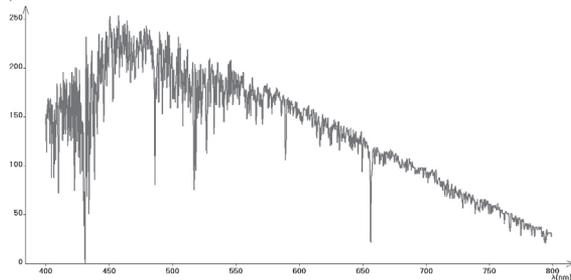
- Estimer la valeur en nm associée à la raie recherchée (il ne s'agit pas de la longueur d'onde car il faut ajouter 400,0 nm) : pour Na, on recherche des raies aux positions $589,0 - 400,0 = 189,0$ nm et $589,6 - 400,0 = 189,6$ nm ; pour Mg, on s'intéresse aux positions 116,7 nm, 117,3 nm et 118,4 nm.

- Dans les propriétés du profil (bouton sur la fenêtre du tracé), choisir les abscisses Xmin et Xmax pour encadrer de plus ou moins 10 nm la position qui nous intéresse.

- Pointer les positions déterminées précédemment : elles correspondent à des zones de faible intensité, donc les atomes de Na et Mg sont présents dans l'atmosphère du Soleil.



Méthode rapide avec profil spectral déjà tracé en fonction de la longueur d'onde : voir le fichier disponible sur le site www.nathan.fr/sirius2014.



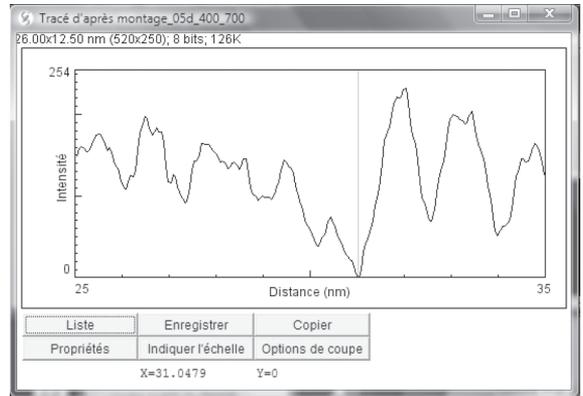
b. Méthode avec mesures à la règle sur le spectre du manuel :

- Mesurer à la règle la position de la raie sur le document : elle est située à 1,2 cm du début du spectre.
- En utilisant l'échelle du document ($25,0 \text{ nm} \cdot \text{cm}^{-1}$), déduire la longueur d'onde associée : on obtient $\lambda = 400,0 + 1,2 \times 25,0 = 430 \text{ nm}$, ce qui est compatible avec une raie du calcium Ca ou du fer Fe annoncées à 430,8 nm.

Méthode avec l'image numérique et le logiciel Salsa 2.3 :

- Sur le profil spectral, repérer la raie sombre par son intensité très petite.
- Estimer approximativement sa position (proche de 130 nm, donc correspondant à une longueur d'onde proche de 430 nm).

– Choisir les abscisses Xmin et Xmax pour encadrer de plus ou moins 10 nm cette position et réaliser une mesure plus précise : on détermine une assez large zone de faible intensité dont le minima d'intensité est situé à 431,0 nm, ce qui est compatible avec une raie du calcium Ca ou du fer Fe annoncées à 430,8 nm.



4. COMMUNIQUER

Le spectre de la lumière solaire est un spectre d'absorption de raies formé de raies sombres sur un fond coloré. Les raies sombres sont dues à l'absorption de certaines radiations par les gaz présents dans l'atmosphère du Soleil. Leur observation peut nous renseigner sur la composition chimique de l'atmosphère du Soleil car les radiations absorbées sont caractéristiques des gaz présents dans l'atmosphère. En effet, un gaz n'absorbe que les radiations qu'il est susceptible d'émettre, donc la lumière solaire révèle la présence d'atomes ou d'ions si les raies d'absorption sont présentes aux mêmes positions (mêmes longueurs d'onde) que les raies d'émission des gaz que l'on peut étudier par ailleurs au laboratoire.

EXERCICES Appliquer le cours

1. Spectres d'émission et d'absorption (§1 et §2 du cours)

13. Nommer des spectres

- 3.
- 1.
- 2.

14. Connaître le rayonnement thermique

- Les différences de couleur sont dues à la température de la lave.
- Plus la lave a une température importante et plus le spectre de sa lumière s'enrichit vers le violet. Les spectres, par ordre de température de la lave, sont donc les spectres B, C et A.
- Il s'agit de spectres d'émission continus.

15. Comparer des spectres

- Il s'agit d'un spectre d'émission de raies (raies colorées sur fond sombre).

b. Il faudrait placer, dans l'ordre : une source de lumière blanche, la fente, le prisme (ou un réseau), la lampe éteinte, l'écran.

c. Puisqu'un gaz n'est susceptible d'absorber que les radiations qu'il est aussi capable d'émettre, le spectre obtenu sera formé de raies sombres sur un fond coloré, situées aux mêmes positions que les raies du spectre de la question a.

La lumière, messagère des étoiles (§3 du cours)

16. Relier couleurs et spectres d'étoiles

a. De haut en bas sur les spectres, les proportions des radiations rouges diminuent et celles des radiations bleu-violet augmentent. On peut associer les spectres aux couleurs et donc aux étoiles étudiées :

A : Bételgeuse (rouge).

B : Aldébaran (orange).

C : Procyon (jaune).

D : Sirius (blanche).

E : Rigel (bleue).

b. Plus une étoile possède une température de surface importante et plus le spectre de sa lumière s'enrichit vers le bleu-violet, donc le classement par température croissante est : Bételgeuse, Aldébaran, Procyon, Sirius puis Rigel.

17. Identifier la présence d'une entité chimique

a. Sur le document, une distance $d = 5,0$ cm sépare les raies H β et H α dont la différence de longueur d'onde vaut $\lambda_{\beta} - \lambda_{\alpha} = 656 - 486 = 170$ nm. L'échelle du document correspond à la constante de proportionnalité

$$\frac{(\lambda_{\beta} - \lambda_{\alpha})}{d} = \frac{170}{5,0} = 34 \text{ nm} \cdot \text{cm}^{-1}.$$

b. $\lambda_A = \lambda_{\beta} + 34 \times 0,9 = 517$ nm et $\lambda_B = \lambda_{\beta} + 34 \times 1,2 = 527$ nm.

c. D'après les données, les raies A et B révèlent respectivement la présence de magnésium Mg et de fer Fe dans l'atmosphère du Soleil.

EXERCICES S'entraîner

19. Profil spectral du Soleil

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

a. Le spectre n'est coloré que pour les longueurs d'onde correspondant à la lumière visible, les autres radiations étant invisibles pour nos yeux.

b. Les brusques baisses d'intensité du profil spectral traduisent les raies sombres du spectre.

c. La courbe modèle s'identifie au fond continu du spectre.

d. La longueur d'onde correspondant au maximum d'émission vaut approximativement 500 nm.

20. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, communiquer.

Fraunhofer a représenté le spectre de la lumière solaire, qui se traduit par un fond continu sur lequel se superposent des raies sombres.

Le fond continu correspond au spectre de la lumière blanche indiqué par les couleurs du spectre en bas du document. Il correspond au spectre de la lumière émise par la surface (photosphère) du Soleil. L'étendue de ce fond continu nous renseigne sur la température de surface du Soleil : plus le spectre est riche en radiations vers le violet et plus l'étoile possède une température de surface importante. Ceci se traduit par des proportions des radiations du fond continu liées à la température de surface du Soleil. Ces proportions sont représentées par la courbe du haut de document.

Les « lignes sombres » visibles sur le spectre de bas de document sont aujourd'hui appelées « raies d'absorption ». Elles sont dues à l'absorption de certaines radiations par les gaz présents dans l'atmosphère du Soleil. Leur observation peut nous renseigner sur la composition chimique de l'atmosphère du Soleil car les radiations absorbées sont caractéristiques des gaz présents.

21. In English Please

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser.

a. Le profil spectral montre que le fond continu de l'étoile est riche en radiations bleu-violet (vers 400 nm), ce qui indique que ces radiations vont imposer une couleur plutôt bleue à l'étoile.

b. Le profil spectral montre la présence de fortes raies d'absorption (également visibles sur le spectre) dont les longueurs d'onde correspondent aux raies de l'hydrogène. Par contre, on ne remarque pas de raies importantes aux longueurs d'onde des raies de l'hélium. On déduit de l'énoncé que Castor est une étoile de classe A.

22. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

★ Mise en évidence d'un gaz dans une ampoule

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

a. Exemple de démarche :

– Fixer l'échelle (en nm·pixel⁻¹) de l'image numérique du second spectre en utilisant les première et cinquième raies du mercure, identifiables par comparaison avec le premier spectre.

– Réaliser le tracé du profil en intensité le long du spectre en débutant sur la première raie du mercure (raie la plus à gauche, de longueur d'onde 365 nm).

– Réaliser le pointage de chacune des raies, en utilisant le zoom pour une meilleure précision : on obtient des valeurs en nm auxquelles il faut ajouter 365 nm pour déterminer les longueurs d'onde des raies.

– Comparer les valeurs déterminées à celles du document 2 pour identifier la présence de cadmium dans la source étudiée.

b. On obtient les résultats suivants :

Raie	1	2	3	4	5
Longueur d'onde (nm)	365	405	436	546	466
Atome associé	Hg	Hg	Hg	Hg	Cd

Raie	6	7	8	9
Longueur d'onde (nm)	480	508	578	648
Atome associé	?	Cd	Hg	Cd

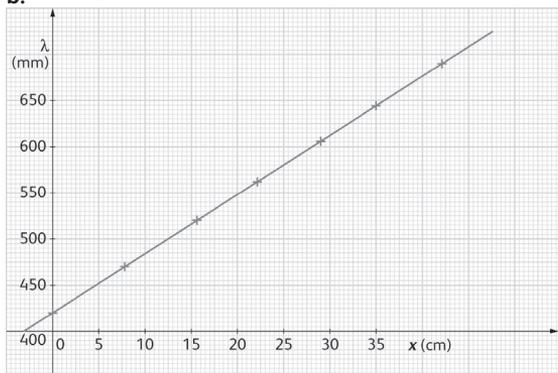
La présence de cadmium dans la seconde source est confirmée. Une raie d'émission n'a pas été identifiée : on peut supposer que le zinc en est l'origine.

23. ✪ Composition du Soleil

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser.

a. Le spectre de l'argon est un spectre d'émission (raies colorées sur fond noir). Le spectre de l'étoile est un spectre de raies d'absorption (raies sombres) superposé à un spectre continu coloré.

b.



c.

Raie	A	B	C	D	E	F	G
lambda (nm)	434	466	498	517	518	589	657

d. Hydrogène : A et G ; sodium : F ; magnésium : D et E ; titane : B et C.

e. Raie 410 nm : -1,5 cm ; raie 486,1 nm : 10,4 cm.

24. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✪ Du dioxygène dans le Soleil ?

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, communiquer.

Exemple de synthèse :

La raie intense à 687 nm dans le spectre du Soleil (document 1) semble montrer la présence de dioxygène dans son atmosphère (document 2). En effet, les gaz présents dans l'atmosphère d'une étoile absorbent certaines radiations émises par la surface de l'étoile, conduisant à la formation de raies sombres caractéristiques de la composition de l'atmosphère de l'étoile.

Par ailleurs, l'allure du profil spectral du Soleil montre que le fond continu de son rayonnement émet avec la plus grande intensité à une longueur d'onde $\lambda_m = 480$ nm

(document 3). L'utilisation de la loi de Wien (document 4) permet alors d'estimer la température de la surface du Soleil :

$$T = \frac{2,9 \times 10^6}{480} - 273 = 5800 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

On peut donc supposer que la température de l'atmosphère du Soleil est de l'ordre de plusieurs milliers de degrés Celsius. Or, le dioxygène n'existe pas pour ces températures car la liaison entre ses atomes se rompt alors (document 3).

Si le dioxygène n'est pas présent dans l'atmosphère du Soleil, il peut toutefois être présent n'importe où sur le trajet de la lumière étudiée. L'atmosphère terrestre, riche en dioxygène (c'est le deuxième gaz le plus présent, après le diazote) peut expliquer la présence de la raie à 687 nm si l'on forme le spectre de la lumière solaire depuis le sol terrestre, comme c'est le cas pour le document 1.

Ceci est confirmé par le spectre de la lumière solaire étudiée depuis un satellite en dehors de l'atmosphère terrestre : la raie intense à 587 nm n'est plus présente (document 5).

Au vu de ces informations, on peut dire que c'est l'atmosphère terrestre qui est responsable de la présence de la raie intense de dioxygène dans le spectre du Soleil et qu'apparemment le Soleil ne contient pas de dioxygène. REMARQUE : Des traces de dioxygène existent tout de même dans l'atmosphère du Soleil.

25. RÉOLUTION DE PROBLÈME

✪✪ Distance nous séparant d'une galaxie

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, communiquer.

Exemple de synthèse :

Le spectre, obtenu sur Terre, de la lumière de la galaxie NGC 34 (document 2), montre une raie brillante, due à la présence d'hydrogène, qui se situe à la longueur d'onde $\lambda = 668,9$ nm.

Or, une étude en laboratoire montre que l'hydrogène émet la raie H α à la longueur d'onde $\lambda_\alpha = 656,3$ nm (document 3).

Cette différence s'explique si l'on considère que la galaxie NGC 34 n'est pas fixe par rapport à nous. En effet, un mouvement de la galaxie engendre un décalage en longueur d'onde (document 4). La valeur de ce décalage est ici : $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_\alpha = 668,9 - 656,3 = 12,6$ nm. Il s'agit d'un « décalage vers le rouge » prouvant que la galaxie NGC 34 s'éloigne de nous (document 4). Le décalage étant lié à la vitesse v d'éloignement de la galaxie (document 4), il est possible de déterminer cette vitesse :

$$\Delta\lambda = \frac{v}{c} \times \lambda_\alpha ;$$

$$\text{donc : } v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_\alpha} ;$$

$$\text{A.N. : } v = 3,00 \times 10^8 \times \frac{12,6}{656,3} = 5,76 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Par ailleurs, la loi de Hubble (document 1) montre qu'il y a proportionnalité entre la vitesse v d'éloignement

de certaines galaxies et la distance D nous séparant d'elles, ce qui permet d'évaluer cette distance pour la galaxie NGC 34 :

$$v = H \times D ;$$

$$\text{donc : } D = \frac{v}{H} ; \text{A.N. : } D = \frac{5,76 \times 10^6}{2,5 \times 10^{-18}} = 2,3 \times 10^{24} \text{ m.}$$

On peut exprimer cette distance gigantesque en années-lumière :

$$D = \frac{2,3 \times 10^{24}}{9,47 \times 10^{15}} = 2,4 \times 10^8 \text{ a.l.}$$

Cette valeur est proche de celle admise par les astronomes de 260 millions d'années-lumière, montrant qu'il est possible d'estimer la distance d'une galaxie par l'étude de sa lumière.

26. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

☆ Catégories d'étoiles

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, communiquer.

Afin de déterminer la catégorie à laquelle le Soleil appartient, on cherche à connaître sa classe spectrale de manière à pouvoir placer le Soleil sur le diagramme Hertzsprung-Russel.

Il est possible de déterminer la classe spectrale du Soleil en identifiant les atomes ou les ions à l'origine des raies d'absorption les plus marquées du spectre de sa lumière (document 1).

On doit d'abord déterminer l'échelle du document 3 : à un écart de longueur d'onde de $600 - 400 = 200 \text{ nm}$ correspond une distance sur le document de $10,0 \text{ cm}$, d'où une échelle de $\frac{200}{10,0} = 20 \text{ nm} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Les mesures, à la règle, des distances séparant les raies les plus marquées du repère 400 nm permettent alors d'estimer les longueurs d'onde de ces raies puis d'associer à ces raies les atomes ou ions qui en sont l'origine (document 3 page 161) :

Raie	Distance (cm)	Longueur d'onde (nm)	Atome ou ion
1	- 0,3	$400 - 0,3 \times 20 = 394$	Ca ⁺
2	- 0,1	$400 - 0,1 \times 20 = 398$	Ca ⁺
3	1,5	$400 + 1,5 \times 20 = 430$	Ca
4	4,4	$400 + 4,3 \times 20 = 486$	H
5, 6, 7	5,8 / 5,9	$400 + 5,8 \times 20 = 516$ $/ 400 + 5,9 \times 20 = 518$	Mg
8	6,3	$400 + 6,3 \times 20 = 526$	Fe
9	9,5	$400 + 9,5 \times 20 = 590$	Na
10	12,8	$400 + 12,8 \times 20 = 656$	H

D'après les atomes ou ions repérés, on déduit que le Soleil est une étoile de classe spectrale G (document 1).

Ainsi, le Soleil peut être placé sur le diagramme Hertzsprung-Russel : sa classe spectrale est G et sa luminosité vaut 1, donc il appartient à la catégorie des « naines de la séquence principale » (document 2).

Un modèle de l'atome

> Manuel pages 172 à 185

Choix pédagogiques

En classe de 3^e la structure de l'atome a été abordée (noyau et électrons). Dans ce chapitre, premier de trois chapitres relatifs à la description et à la classification des éléments chimiques, une description plus détaillée des particules élémentaires qui constituent l'atome est proposée. La structure lacunaire de la matière est mise en évidence. Ce chapitre offre également l'occasion d'aborder la notion de modèle. On pourra alors montrer, au travers de l'exemple de l'atome, qu'en fonction des propriétés que l'on souhaite décrire ou étudier, un modèle peut être préférable à un autre.

Traité dans la partie Univers, ce chapitre peut exploiter les résultats de l'analyse spectroscopique abordée dans le chapitre précédent.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Les Dalton en train de casser des pierres.

Le mot « atome » vient du grec ancien ατομος [atomos], « qui ne peut être divisé ». Ce que vous savez de l'atome est-il compatible avec l'origine de ce mot ?

La question posée permet de réactiver les notions abordées en 3^e où les élèves ont appris que l'atome est constitué d'un noyau et d'électrons. À ce titre il peut donc être divisé puisqu'il est constitué de particules plus petites. Toutefois, l'atome est bien la brique élémentaire à partir de laquelle la matière est construite.

À travers cette question la notion de modèle peut déjà être abordée.

Vue d'artiste du système solaire.

L'un des modèles proposés pour décrire l'atome est dit planétaire. Dans ce modèle, que serait le « Soleil » de l'atome et que seraient les « planètes » ?

Cette question prolonge la précédente et permet de poursuivre la discussion sur la notion de modèle. Le modèle planétaire, proposé par Rutherford au début du xx^e siècle, donne une représentation imagée de l'atome, dont le lien avec le thème « Univers » est manifeste. La discussion permettra sûrement d'identifier le Soleil du modèle au noyau de l'atome et les planètes aux électrons. Le professeur pourra alors poursuivre le questionnement en interrogeant les élèves sur les raisons qui ont conduit Rutherford à proposer ce modèle. La structure lacunaire de la matière peut émerger de la discussion (une analyse documentaire construite sur l'expérience de Rutherford est proposée dans l'exercice 40 du chapitre).

Vidéo Débat : Micro-trottoir sur les Champs-Élysées en 1959 : « Qu'est-ce que l'atome ? »

Pourquoi le mot « atomique » faisait-il peur à la fin des années 1950 ?

La vidéo d'archives proposée date de 1959. Le journaliste interroge les passants sur ce qu'ils savent de l'atome. Les réponses sont disparates ; l'image de l'atome qui émerge de ce micro-trottoir est celle d'une découverte scientifique destructrice.

Il s'agit d'interroger les élèves sur le contexte historique (étudié en histoire en 3^e) : celui du début de la guerre froide où les deux blocs de l'Ouest et de l'Est, dotés d'armes nucléaires, se font face. L'adjectif « atomique » est alors associé à « bombe ». Les effets d'une bombe nucléaire sont connus du grand public.

La discussion peut être prolongée : pourquoi parle-t-on de bombe « nucléaire » ? Que signifient les mots « protons » et « neutrons » utilisés par le journaliste ?

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

L'évolution du modèle de l'atome

Commentaires

Cette activité documentaire permet d'aborder la notion de modèle de sa conception à son utilisation.

En général un modèle est construit à partir d'observations.

L'utilisation du modèle permet d'expliquer ou de prévoir certaines propriétés. Si les prévisions ou les observations ne sont plus en accord avec le modèle, un autre modèle est nécessaire.

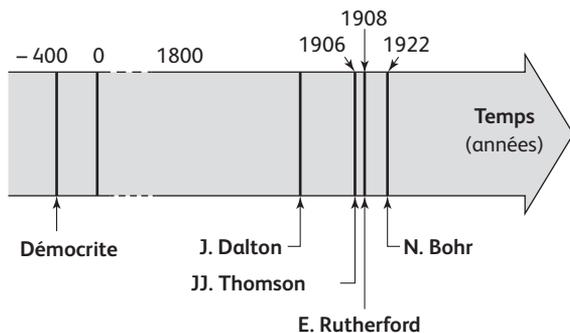
En fonction des applications un modèle plus ou moins complexe peut être utilisé.

Des activités documentaires sur l'expérience de Rutherford et le modèle de Niels Bohr (exercices 37 et 40) peuvent compléter cette activité.

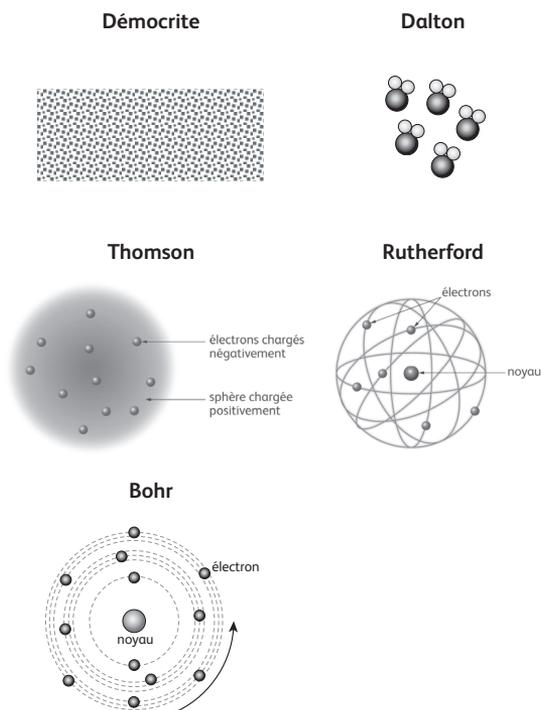
Réponses

1. RÉALISER

a.



b.



2. ANALYSER

a. D'après le document 1, les modèles de Démocrite et de J.J. Thomson sont des affirmations alors que ceux de J. Dalton, E. Rutherford et N. Bohr sont des modèles destinés à expliquer le résultat d'expériences.

b. Pour décrire l'organisation des atomes dans une molécule, le modèle de Dalton convient parfaitement. Les modèles moléculaires assimilent les atomes à des sphères dures de tailles différentes selon le type d'atome qu'elles représentent.

Pour interpréter le spectre de l'atome d'hydrogène, le modèle de Bohr convient : il a d'ailleurs été proposé par Bohr dans ce but.

Pour montrer que l'on peut arracher des électrons à un atome, il faut un modèle dans lequel les électrons sont apparents et dissociables de l'atome. Les modèles de Rutherford et de Bohr conviennent.

3. COMMUNIQUER

Les exemples d'utilisation des modèles donnés en 2b. montrent qu'en fonction de l'usage que l'on veut en faire, un modèle peut être plus adéquat qu'un autre. Il est donc intéressant de disposer de plusieurs modèles pour pouvoir choisir, pour chaque application, le modèle le plus simple qui permette de décrire et d'interpréter les phénomènes étudiés.

2. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Utiliser un modèle de l'atome

Commentaires

Cette activité permet d'aborder la structure lacunaire de la matière à partir d'une affirmation spectaculaire utilisée comme situation déclenchante.

Pour vérifier l'affirmation, plusieurs documents et un questionnement détaillé sont proposés.

Il est tout à fait envisageable d'utiliser cette même situation déclenchante pour construire une résolution de problème. Le questionnement détaillé est alors retiré (il pourra être utilisé comme aide) et les données ne sont fournies qu'à la demande des élèves.

Réponses

1. ANALYSER

a. D'après le document 1, la masse des électrons est très petite devant celle des nucléons.

$$\text{En effet : } \frac{m_{\text{électron}}}{m_{\text{nucléon}}} = \frac{9,1 \times 10^{-31}}{1,7 \times 10^{-27}} = 5 \times 10^{-4}.$$

De plus, d'après le document 2, les atomes possèdent un nombre de nucléons supérieur ou égal à leur nombre d'électrons. Par conséquent, on peut négliger la masse des électrons dans le calcul de la masse d'un atome et assimiler cette dernière à celle de son noyau.

b. Dans le document 3, pour calculer le volume du noyau d'un atome contenant A nucléons, on utilise la relation $V = AV_0$ où V_0 est le volume du noyau d'hydrogène, c'est-à-dire celui d'un seul proton. La relation suppose donc que tous les nucléons ont même volume et qu'ils sont serrés les uns contre les autres de manière à pouvoir négliger les volumes interstitiels.

2. RÉALISER

a. En assimilant un atome à une sphère de rayon R comme suggéré dans le document 1, son volume est :

$$V_{\text{atome}} = \frac{4}{3} \pi R^3$$

Si l'on suppose que toute la matière est concentrée dans le noyau, elle occupe un volume $V = AV_0$.

Le rapport, volume occupé par de la matière sur le volume de l'atome est :

$$\frac{V}{V_{\text{atome}}} = \frac{A \times V_0}{\frac{4}{3} \pi R^3} = A \times \frac{\frac{4}{3} \pi R_0^3}{\frac{4}{3} \pi R^3} = A \times \left(\frac{r_0}{R}\right)^3.$$

Dans le tableau en bas de page, on a calculé ce rapport pour les différents atomes décrits dans le document 2.

Dans tous les cas, le rapport $\frac{V}{V_{\text{atome}}}$ est de l'ordre de $10^{-13} \leq 1$, ce qui montre que l'atome est essentiellement constitué de vide.

b. Considérons un être humain de masse M .

Sa masse est très voisine de celle des noyaux des atomes qui le constituent, c'est-à-dire de tous les nucléons présents dans le corps humain. On peut simplement évaluer ce nombre N puisqu'on connaît la masse d'un nucléon

$$m_n : N_n = \frac{M}{m_n}$$

Si l'on supprime tout le vide du corps humain, le volume restant est celui des noyaux. Le document 3 suggère que le volume de N_n nucléons est égal $N_n V_0$.

D'où : $V = \frac{M}{m_n} \times V_0$. En prenant une masse moyenne de

$$60 \text{ kg} : v = \frac{60}{1,7 \times 10^{-27}} \times \frac{4}{3} \pi R^3 \times (1,2 \times 10^{-15})^3 \\ = 2,5 \times 10^{-16} \text{ m}^3$$

3. VALIDER

Pour vérifier l'assertion de la situation déclenchante, il faut évaluer le volume occupé par l'humanité toute entière, soit environ 7×10^9 Hommes :

$$V_{\text{humanité}} = 2,5 \times 10^{-16} \times 7 \times 10^9 = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Un dé à coudre a un volume de l'ordre de quelques cm^3 . Convertissons le résultat précédent en cm^3 :

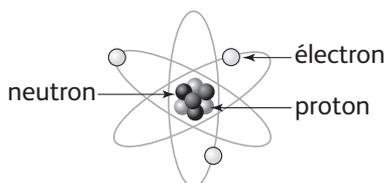
$$1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3, V_{\text{humanité}} = 2 \text{ cm}^3. \text{ L'assertion est bien vérifiée.}$$

EXERCICES Appliquer le cours

I Particules élémentaires de l'atome (§1 du cours)

17. Comprendre un modèle

Les sphères rassemblées au centre du modèle (la « planète ») sont les nucléons du noyau. Les sphères grises tournant autour du noyau (les « satellites » de la « planète ») représentent les électrons. Il y a autant de protons que d'électrons (ici 3), c'est pourquoi les sphères rouges (au nombre de 3) représentent les protons et les sphères bleues représentent les neutrons.



Dans cette représentation, les dimensions ne sont pas respectées : la distance entre le noyau et les électrons devrait être beaucoup plus grande (10^5 fois plus grande que la dimension du noyau).

18. Utiliser une représentation symbolique

Composition du noyau de fer ${}^{56}_{26}\text{Fe}$: $A = 56$ nucléons, $Z = 26$ protons donc $A - Z = 30$ neutrons.

Composition du noyau d'oxygène ${}^{16}_8\text{O}$: $A = 16$ nucléons, $Z = 8$ protons donc $A - Z = 8$ neutrons.

19. Exploiter des données

a. La charge positive du noyau est due à la présence de **protons** qui portent chacun une charge +e.

b. Le noyau possède Z neutrons. Sa charge q vérifie donc : $q = Z \times e$. Donc $Z = \frac{q}{e} = \frac{8,0}{1,6} = 5$.

c. Le noyau possède également des neutrons. Les nucléons (neutrons et protons) ont une masse voisine notée m_n . La masse m du noyau s'exprime donc en fonction de la masse m_n des nucléons et de leur nombre A par : $m = Am_n$. Donc $A = \frac{m}{m_n} = \frac{19}{1,7} = 11$. Le noyau de Bore possède donc $A - Z = 11 - 5 = 6$ neutrons.

20. Raisonner sans calcul

Les atomes sont produits du plus léger au plus lourd, leur ordre d'apparition est donc l'ordre croissant de leurs masses. La masse d'un atome est presque égale à la masse de son noyau, d'autant plus lourd qu'il possède de nucléons. L'ordre d'apparition des éléments dans les étoiles est donc l'ordre croissant de leur nombre A de nucléons :

${}^{12}_6\text{C}$ ($A = 12$) puis ${}^{16}_8\text{O}$ ($A = 16$) puis ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ ($A = 20$) puis ${}^{24}_{12}\text{Mg}$ ($A = 24$).

21. Déterminer une notation symbolique

a. D'après l'énoncé, le nombre de nucléons A du phosphore est 31 et son nombre de protons Z est 15. La notation symbolique du noyau est donc ${}^{31}_{15}\text{P}$.

b. Le nombre de neutrons du noyau est $A - Z = 31 - 15 = 16$.

22. Utiliser une notation symbolique

a. La notation symbolique d'un noyau est ${}^A_Z\text{X}$ où X est le symbole de l'atome, A son nombre de nucléons et Z son nombre de protons.

Tableau de la question 2.a. de l'activité 2

atome	H	C	N	O
$\frac{V}{V_{\text{atome}}}$	$1 \times \left(\frac{1,2 \times 10^{-15}}{25 \times 10^{-12}}\right)^3 = \left(\frac{1,2}{25}\right)^3 \times 10^{-9}$ $= 1,1 \times 10^{-13}$	$12 \times \left(\frac{1,2}{70}\right)^3 \times 10^{-9}$ $= 6,0 \times 10^{-14}$	$14 \times \left(\frac{1,2}{65}\right)^3 \times 10^{-9}$ $= 8,8 \times 10^{-14}$	$16 \times \left(\frac{1,2}{60}\right)^3 \times 10^{-9}$ $= 1,3 \times 10^{-14}$

b.

Nom et symbole	Nombre de protons	Nombre de neutrons	Nombre de nucléons	Notation symbolique
Azote, N	7	7	14	${}^{14}_7\text{N}$
Oxygène, O	8	8	16	${}^{16}_8\text{O}$
Argon, Ar	28	12	40	${}^{40}_{28}\text{Ar}$

Un modèle de l'atome (§2 du cours)

23. Établir des structures électroniques

H : (K)¹ ; C : (K)² (L)⁴ ; N : (K)² (L)⁵ ; O : (K)² (L)⁶ ;

S : (K)² (L)⁸ (M)⁶

24. Analyser des structures électroniques

N : (K)² (L)⁵ ; Mg : (K)² (L)⁸ (M)² ; Si : (K)² (L)⁸ (M)⁴ ;

S : (K)² (L)⁸ (M)⁶

Masse et dimensions de l'atome (§3 du cours)

25. Convertir les unités

a. $r_{\text{atome}} = 53 \times 10^{-12} \text{ m} = 5,3 \times 10^{-11} \text{ m}$;

$r_{\text{noyau}} = 1,2 \times 10^{-15} \text{ m}$

b. $\frac{r_{\text{atome}}}{r_{\text{noyau}}} = \frac{5,3 \times 10^{-11}}{1,2 \times 10^{-15}} = 4,4 \times 10^4$.

L'atome a une structure lacunaire : il est essentiellement constitué de vide.

26. Mettre à l'échelle

Le rayon de l'atome d'hydrogène est environ 10^5 fois plus grand que celui de son noyau.

Si l'on représente le noyau par une tête d'épingle de 1 mm de rayon, l'atome devrait être représenté par une sphère de rayon $10^5 \times 10^{-3} \text{ m} = 100 \text{ m}$.

EXERCICES S'entraîner

28. Atmosphère terrestre

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

Les conclusions suivantes permettent de compléter le tableau.

- Le nombre de nucléons A des noyaux d'hélium et de néon vérifie d'après les données $A = 2Z$ où Z est le nombre de protons. Ces noyaux ont donc un nombre de neutrons $A - Z = 2Z - Z = Z$. Ils ont autant de neutrons que de protons.

- Les atomes sont électriquement neutres : leur nombre Z de protons de charge $+e$ est donc égal à leur nombre d'électrons de charge $-e$.

- La donnée « le noyau d'argon est deux fois plus lourd que le noyau de néon » permet de conclure que le noyau d'argon a deux fois plus de nucléons que le noyau de néon puisque tous les nucléons (neutrons et protons) ont des masses voisines.

Nom et symbole	Nombre de nucléons	Nombre de protons	Nombre de neutrons	Nombre d'électrons
Hélium, He	4	2	2	2
Néon, Ne	20	10	10	10
Argon, Ar	40	18	22	18

29. Un exploit technique sans précédent

> COMPÉTENCES : Réaliser, analyser, valider.

a. Le héros du film mesure environ « 30 molécules de monoxyde de carbone ». En considérant qu'un atome a un diamètre de l'ordre de 100 pm, la taille du héros est donc $30 \times 2 \times 100 \text{ pm} = 6 \text{ nm}$, de l'ordre du nm.

b. Agrandie 100 millions de fois, cette taille devient de l'ordre de $100 \times 10^6 \times 10^{-9} = 10^{-1} \text{ m}$, c'est-à-dire de l'ordre du dm, ce qui correspond bien à ce que l'on voit à l'écran.

30. In English Please

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer.

Le rayon d'un atome est de l'ordre de 10^{-10} m . Son diamètre est donc voisin de $2 \times 10^{-10} \text{ m}$.

Sur la figure on compte 11 atomes de cuivre (pics rouges) sur une distance de 9 mm, ce qui donne un ordre de grandeur de 1 mm par atome. Le grandissement est

donc de l'ordre de $\frac{1 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-10}} = 5 \times 10^6$.

31. Au cœur des planètes telluriques

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, réaliser.

a. Le noyau possède A nucléons de même masse m_n . La masse m du noyau est donc $m = Am_n = 56 \times 1,7 \times 10^{-27} = 9,5 \times 10^{-26} \text{ kg}$.

b. Le noyau est assimilé à une sphère de rayon R . Son volume V vérifie :

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi \times (5,4 \times 10^{-15})^3 = 6,6 \times 10^{-43} \text{ m}^3.$$

c. La masse volumique est la masse d'un corps de volume unité. La masse volumique ρ du noyau se calcule à partir de sa masse m et de son volume V par :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{9,5 \times 10^{-26}}{6,6 \times 10^{-43}} = 1,4 \times 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

d. La masse d'un atome est très voisine de celle de son noyau. La masse m_a de l'atome de fer est donc celle de son noyau $m_a = 9,5 \times 10^{-26} \text{ kg}$.

Le volume V_a de l'atome de fer assimilé à une sphère de rayon r_a est $V_a = \frac{4}{3} \pi r_a^3 = \frac{4}{3} \pi \times (1,5 \times 10^{-10})^3 = 1,4 \times 10^{-29} \text{ m}^3$.

La masse volumique ρ_a de l'atome de fer est donc :

$$\rho_a = \frac{m_a}{V_a} = \frac{9,5 \times 10^{-26}}{1,4 \times 10^{-29}} = 6,7 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

e. Le rapport des masses volumiques du noyau et de l'atome est $\frac{\rho}{\rho_a} = \frac{1,4 \times 10^{17}}{6,7 \times 10^3} = 2 \times 10^{13}$.

Le noyau est donc 2×10^{13} fois plus dense que l'atome : l'atome est essentiellement constitué de vide, sa structure est lacunaire.

32. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

a. La notation symbolique d'un atome est A_ZX où A est le nombre de nucléons et Z le nombre de protons. Un atome est électriquement neutre. Il possède autant de protons que d'électrons. On déduit des données que :

• pour Na : $A = 23$ et $Z = 11$, d'où sa notation symbolique ${}^{23}_{11}\text{Na}$;

• pour Cl : $A = 35$ et $Z = 17$, d'où sa notation symbolique ${}^{35}_{17}\text{Cl}$.

b. La masse d'un atome est pratiquement égale à celle de son noyau. De plus, les masses des protons et des neutrons sont très voisines. La masse d'un atome de nombre de nucléons A est donc $m_{\text{atome}} = A \times m_n$.

D'où : $m_{\text{Na}} = 23 \times 1,7 \times 10^{-27} = 3,9 \times 10^{-26}$ kg

et $m_{\text{Cl}} = 35 \times 1,7 \times 10^{-27} = 6,0 \times 10^{-26}$ kg

33. ✪ Écrire dans l'espace

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, analyser.

a. En comparant la notation du noyau de carbone ${}^{12}_6\text{C}$ à la notation symbolique A_ZX , on déduit que le nombre A de nucléons du noyau est 12 et que son nombre Z de protons est 6.

b. Un atome est électriquement neutre : il possède autant d'électrons de charge $-e$ que de protons de charge $+e$. L'atome de carbone possède donc 6 électrons à répartir dans les couches électroniques. Sa structure électronique est donc $(K)^2(L)^4$.

c. Si les atomes de carbone étaient serrés les uns contre les autres, la distance entre deux taches serait égale au diamètre de l'atome soit $2 \times 70 = 140$ pm. Or ils sont réellement distants de $2,46 \times 10^{-10}$ m = 246 pm > 140 pm. Les atomes de carbone ne sont donc pas serrés les uns contre les autres.

34. ✪ Le zinc en tant qu'oligoélément

> COMPÉTENCES : Restituer, réaliser.

a. En comparant la notation ${}^{64}_{30}\text{Zn}$ du noyau de zinc à la notation symbolique générique d'un noyau A_ZX , on en déduit que le nombre de protons du noyau de zinc est $Z = 30$ et son nombre de neutrons $A - Z = 64 - 30 = 34$. L'atome est électriquement neutre, il possède autant d'électrons que de protons soit 30 électrons. L'atome a donc **30 protons, 34 neutrons et 30 électrons**.

b. La masse m d'un atome de zinc est assimilable à celle de son noyau puisque la masse des électrons est négligeable devant celle des nucléons. Protons et neutrons ont des masses voisines m_n donc $m = A \times m_n$
 $= 64 \times 1,7 \times 10^{-27} = 1,1 \times 10^{-25}$ kg.

c. Il est recommandé de consommer une masse $M = 10$ mg de zinc par jour, ce qui correspond à un nombre d'atomes de zinc $N \times \frac{M}{m} = \frac{1 \times 10^{-3}}{1,1 \times 10^{-25}}$
 $= 9,2 \times 10^{21}$ atomes.

d. Le noyau est assimilé à une sphère de rayon R . Son volume V vérifie :

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi \times (5,4 \times 10^{-15})^3 = 6,6 \times 10^{-43} \text{ m}^3.$$

e. La masse volumique est la masse d'un corps de volume unité. La masse volumique ρ du noyau se calcule à partir de sa masse m et de son volume V par :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{9,5 \times 10^{-26}}{6,6 \times 10^{-43}} = 1,4 \times 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

35. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

✪✪ Ordre de grandeur d'un rayon atomique

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, valider.

a. b. En mesurant la masse m d'un morceau de cuivre, on peut déterminer le nombre d'atomes N qu'il contient puisqu'on connaît la masse m_{Cu} d'un atome : $N = \frac{m}{m_{\text{Cu}}}$.

Puis, si l'on connaît le volume V du morceau de cuivre, on peut déterminer le volume V_{Cu} d'un atome de cuivre en utilisant le modèle suivant : les atomes de cuivre sont serrés les uns contre les autres dans le morceau de cuivre et les interstices entre les atomes occupent un volume négligeable devant le volume occupé par les atomes.

$$\text{Alors : } V_{\text{Cu}} = \frac{V}{N}.$$

Enfin, en assimilant les atomes de cuivre à des sphères de rayon r_{Cu} , on peut déduire r_{Cu} de la relation :

$$V_{\text{Cu}} = \frac{4}{3} \pi r_{\text{Cu}}^3, \text{ d'où } V_{\text{Cu}} = \frac{4}{3} \pi r_{\text{Cu}}^3 = 3 \sqrt{\frac{3}{4\pi}} V_{\text{Cu}}.$$

Pour mesurer la masse du morceau de cuivre, il suffit d'utiliser une balance. Pour mesurer son volume, on peut remplir en partie une éprouvette graduée d'eau et mesurer son volume V_1 , y plonger le morceau de cuivre de sorte qu'il soit complètement immergé. L'eau monte dans l'éprouvette et la hauteur atteinte permet de mesurer un nouveau volume V_2 . Le volume du morceau de cuivre est $V = V_2 - V_1$.

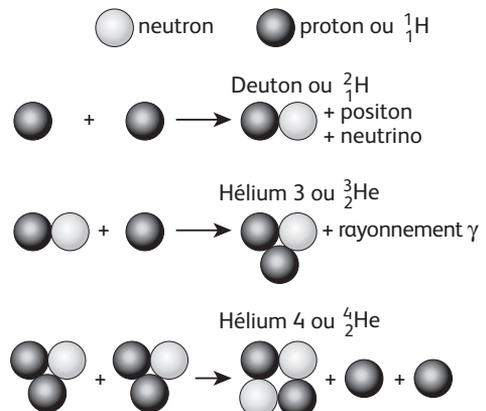
d. La différence peut provenir du modèle utilisé : les atomes de cuivre ne sont pas serrés et/ou le volume des interstices n'est pas négligeable.

36. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

✪✪ Transformation de l'hydrogène en hélium dans le soleil

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

a.



b. Proposition de scénario : 6 enfants. Des bonnets rouges (protons) et bleus (neutrons). 3 balles de tennis (positon) et 3 balles de ping-pong (neutrino). 6 serpents (rayons γ).

Au départ les 6 enfants ont des bonnets rouges et chacun a une balle. 4 d'entre eux s'associent deux par deux avec des balles différentes, et lorsqu'ils se donnent la main, ils lancent leur balle. L'un d'eux échange son bonnet rouge contre un bleu. Chaque paire s'associe avec un enfant au bonnet rouge restant. Lorsqu'ils s'associent, ils lancent tous leur serpent (rayon γ). Puis les deux groupes s'assemblent en éjectant du groupe deux enfants au bonnet rouge.

37. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✪✪ Le modèle de Niels Bohr

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

a. Calculons λ pour les différents couples (n, n') suggérés par l'énoncé :

$$n = 2 \text{ et } n' = 3 : \lambda = \frac{1}{1,1 \times 10^{-7} \left| \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right|} = 6,5 \times 10^{-7} \text{ m} = 6,5 \times 10^2 \text{ nm.}$$

$$n = 2 \text{ et } n' = 4 : \lambda = \frac{1}{1,1 \times 10^{-7} \left| \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right|} = 4,8 \times 10^{-7} \text{ m} = 4,8 \times 10^2 \text{ nm.}$$

$$n = 2 \text{ et } n' = 5 : \lambda = \frac{1}{1,1 \times 10^{-7} \left| \frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right|} = 4,3 \times 10^{-7} \text{ m} = 4,3 \times 10^2 \text{ nm.}$$

$$n = 2 \text{ et } n' = 6 : \lambda = \frac{1}{1,1 \times 10^{-7} \left| \frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2} \right|} = 4,1 \times 10^{-7} \text{ m} = 4,1 \times 10^2 \text{ nm.}$$

On retrouve bien les longueurs d'onde du tableau du doc. 2.

b. Dans le modèle de Bohr, l'électron de l'atome d'hydrogène est en mouvement sur une orbite circulaire caractérisée par un nombre entier n (doc. 3). Il peut passer à une autre orbite caractérisée par un autre entier à condition d'émettre ou d'absorber un rayonnement lumineux dont la longueur d'onde dépend des valeurs de n et n' (doc. 4).

Ce modèle permet de justifier le fait que les spectres de l'atome d'hydrogène soient des spectres de raies (doc. 1). En effet ce type de spectre montre que l'atome d'hydrogène ne peut émettre ou absorber que certaines radiations monochromatiques. Seules sont observées dans le spectre les longueurs d'onde λ qui vérifient la relation

$$\lambda = \frac{1}{1,1 \times 10^{-7} \left| \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right|} \text{ pour un couple d'entiers } (n, n').$$

Les calculs effectués en a. valident cette expression pour les raies du spectre visible de l'hydrogène puisque nous avons trouvé les couples (n, n') qui correspondent aux valeurs de λ observées.

Nous observons sur le doc. 1 que les longueurs d'onde du spectre d'émission sont les mêmes que celles du spectre d'absorption. L'émission d'une radiation est observée lorsque l'électron passe d'une orbite n à une orbite $n' < n$ et l'absorption lorsque $n' > n$. La relation

$$\lambda = \frac{1}{1,1 \times 10^{-7} \left| \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right|} \text{ conduit au même résultat que } n$$

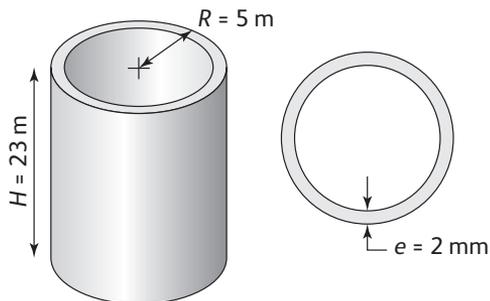
soit supérieur ou inférieur à n' , c'est-à-dire qu'il s'agisse d'une absorption ou d'une émission, d'où la similitude des deux types de spectres.

38. RÉOLUTION DE PROBLÈME

✪✪ Ariane 5

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser.

Schématisation de la situation :



On peut envisager plusieurs méthodes de résolution.

Méthode 1

Soit M la masse du réservoir et m_{Al} la masse d'un atome d'aluminium. Le nombre N d'atomes d'aluminium est :

$$N = \frac{M}{m_{\text{Al}}}. \text{ Il nous faut exprimer } M \text{ et } m_{\text{Al}}.$$

Si on connaît la masse volumique ρ_{Al} de l'aluminium on peut déterminer la masse du réservoir à partir de son volume : $M = \rho_{\text{Al}} \times V$.

Or le volume du réservoir peut être calculé à partir de ses dimensions. On peut proposer deux relations :

$$V = V_{\text{cylindre rayon } R} - V_{\text{cylindre rayon } R-e} = \pi R^2 H - \pi (R-e)^2 H \text{ ou, puisque } e \ll R : V = 2 \pi R H e \text{ (on calcule le volume d'un parallélépipède de dimensions } H \times 2 \pi R \times e).$$

D'après la représentation symbolique ${}^{27}_{13}\text{Al}$, l'atome d'aluminium possède 27 nucléons. En supposant que la masse d'un atome d'aluminium est celle de son noyau, on peut évaluer sa masse grâce à $m_{\text{Al}} = 27 m_n$ où m_n est la masse d'un nucléon.

La relation permettant de calculer N est donc :

$$N = \frac{\rho_{\text{Al}} \times \pi \times H \times (R^2 - (R-e)^2)}{27 \times m_n} \text{ ou}$$

$$N = \frac{\rho_{\text{Al}} \times 2 \pi \times H \times R \times e}{27 \times m_n}$$

Pour réaliser l'application numérique, l'élève doit donc demander au professeur (ou rechercher) :

– la masse volumique de l'aluminium :

$$\rho_{\text{Al}} = 2,7 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3};$$

– la masse d'un nucléon : $m_n = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Application numérique :

$$N = \frac{2,7 \times 10^3 \times \pi \times 23 \times (5^2 - (5 - 2 \times 10^{-3})^2)}{27 \times 1,7 \times 10^{-27}} \text{ ou}$$

$$N = \frac{2,7 \times 10^3 \times 2\pi \times 23 \times 5 \times 2 \times 10^{-3}}{27 \times 1,7 \times 10^{-27}} = 9 \times 10^{28}$$

Méthode 2

Soit V le volume du réservoir et V_{Al} le volume d'un atome d'aluminium. Le nombre N d'atomes d'aluminium est

$$N = \frac{V}{V_{\text{Al}}}, \text{ si l'on suppose que tous les atomes d'aluminium}$$

sont serrés les uns contre les autres et si l'on néglige le volume interstitiel. Il nous faut exprimer V et V_{Al} . En assimilant les atomes d'aluminium à des sphères de

$$\text{rayon } r_{\text{Al}} : \frac{4}{3} r_{\text{Al}}^3.$$

Le volume du cylindre peut être calculé comme précédemment : $V = \pi \times H \times (R^2 - (R - e)^2)$ ou $V = 2\pi H R e$

La relation permettant de calculer N est donc :

$$N = \frac{\pi \times H \times (R^2 - (R - e)^2)}{\frac{4}{3} r_{\text{Al}}^3} \Rightarrow N = \frac{3}{4} \times \frac{H \times R \times (R^2 - (R - e)^2)}{r_{\text{Al}}^3}$$

$$\text{ou } N = \frac{2\pi \times H \times R \times e}{\frac{4}{3} r_{\text{Al}}^3} \Rightarrow \frac{3}{2} \times \frac{H \times R \times e}{r_{\text{Al}}^3}$$

Pour réaliser l'application numérique, l'élève doit donc demander au professeur (ou rechercher) le rayon atomique de l'aluminium : $r_{\text{Al}} = 120 \text{ pm}$.

Application numérique :

$$N = \frac{3}{2} \times \frac{23 \times 5 \times 2 \times 10^{-3}}{(120 \times 10^{-12})^3} = 2 \times 10^{29}$$

Les deux méthodes conduisent au même ordre de grandeur : 10^{29} atomes.

39. RÉOLUTION DE PROBLÈME

☆☆ Le téflon

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

Considérons un échantillon de téflon de masse m .

La proportion massique de fluor dans le téflon est définie

par $P_F = \frac{m_F}{m}$ où m_F est la masse de fluor dans l'échantillon.

Il nous faut exprimer m et m_F .

Le téflon ne contient que du carbone et du fluor. Soient N_1 le nombre d'atomes de fluor de l'échantillon et N_2 le nombre d'atomes de carbone.

Donc $m = N_1 m_1 + N_2 m_2$ et $m_F = N_1 m_1$ où m_1 et m_2 sont respectivement les masses des atomes de fluor et de carbone.

D'après la représentation symbolique des deux atomes $^{19}_9\text{F}$ et $^{12}_6\text{C}$, l'atome de fluor possède 19 nucléons et l'atome de carbone 12. En supposant que la masse d'un atome est celle de son noyau, on peut évaluer les masses m_1 et m_2 grâce à $m_1 = 19m_n$ et $m_2 = 12m_n$ où m_n est la masse d'un nucléon.

Enfin, l'énoncé précise que le téflon contient 4 atomes de fluor pour 2 atomes de carbone : donc $N_1 = 2N_2$.

$$\begin{aligned} \text{D'où : } P_F &= \frac{N_1 \times 19 \times m_n}{N_1 \times 19 \times m_n + N_2 \times 12 \times m_n} \\ &= \frac{2N_2 \times 19}{2N_2 \times 19 + N_2 \times 12} = \frac{38}{38 + 12} = \frac{38}{50} = 76 \% \end{aligned}$$

40. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

☆☆ L'expérience de Rutherford

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

Présentation de l'expérience :

Un faisceau de particules α est émis par une source de radium (doc. 2). Il est dirigé vers une mince feuille d'or placée perpendiculairement au faisceau (doc. 2). Un dispositif permet de détecter les particules α après leur interaction avec la feuille d'or. Sur le schéma du doc. 2 il s'agit d'un écran fluorescent placé tout autour de la feuille et permettant de détecter par scintillement des particules α dans toutes les directions. Dans l'expérience du palais de la découverte (doc. 1), deux capteurs, permettant de compter les particules α , sont utilisés : l'un (D_1) est situé dans la direction du faisceau incident, l'autre (D_2) est orienté dans une direction différente.

Résultats de l'expérience

Les capteurs enregistrent une quantité importante de particules α dans la direction incidente : la plupart des particules α ont donc traversé la feuille.

Toutefois, certaines d'entre elles ont été déviées, ce qui conduit à un décompte non nul des particules α par le détecteur D_2 .

Interprétation

Le modèle de l'atome proposé doit permettre de justifier les deux observations. Les particules α sont de petite taille et chargées positivement.

Le modèle des sphères denses de Thomson (doc. 4) ne permet pas d'expliquer que les particules α puissent traverser la feuille d'or : elles devraient être repoussées majoritairement même si certaines d'entre elles pourraient passer entre les atomes.

Le modèle lacunaire de Rutherford (doc. 4) permet de justifier que la plupart des particules α traversent la feuille d'or, puisqu'elles ne rencontrent pas d'obstacle. Il permet de justifier la première observation.

Les particules α sont chargées positivement (doc. 2). Lorsqu'elles s'approchent près d'un noyau d'or, chargé lui aussi positivement, elles sont repoussées (doc. 2) (si le noyau d'or ne bouge pas c'est parce qu'il doit être beaucoup plus gros). Dans ce cas, leur trajectoire est modifiée et les particules sont déviées dans une autre direction. Le modèle de Rutherford permet donc aussi de justifier la deuxième observation.

L'animation du doc. 3 permet d'observer la trajectoire d'une particule α déviée ou non déviée par les noyaux d'or. Elle s'appuie sur le modèle de Rutherford.

L'élément chimique

> Manuel pages 186 à 201

Choix pédagogiques

Les élèves vont réinvestir ce qu'ils ont travaillé lors du chapitre précédent, c'est-à-dire la composition d'un atome et l'écriture de structures électroniques.

Ce chapitre poursuit deux objectifs principaux :

- comprendre comment est défini un élément chimique ;
- appliquer deux règles pour écrire la formule de certains ions monoatomiques.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Affiche du film de Luc Besson, *Le Cinquième Élément*.

Durant plus de vingt siècles, l'air, la terre, le feu et l'eau ont été considérés comme les quatre éléments à partir desquels toute chose était conçue. Quels sont les éléments que vous connaissez ?

Le film de Luc Besson a connu un grand succès. Par le biais de cette affiche, les élèves sont invités à aborder la définition d'élément chimique. Dans le langage courant, on qualifie confusément des objets (dont l'air, la terre, le feu et l'eau) comme des éléments proches de la chimie. Ce document permet de faire la différence entre le sens courant du mot « élément » et la définition en chimie, en amenant les élèves à citer des exemples d'éléments.

Roche lunaire. Roches volcaniques terrestres (Cantal).

Les éléments sont-ils identiques dans tout l'Univers ?

Afin de répondre par l'affirmative à cette question, les deux photographies montrent deux roches d'aspects similaires qui sont dans des environnements totalement différents.

Vidéo Débat : *The Elements song*, Tom Lehrer, 1959.

Comment différencier les éléments chimiques ?

Cette chanson, composée et interprétée avec humour par le professeur Tom Lehrer, avait connu un franc succès à la fin des années 1950. Au cours de cette chanson, les noms des éléments sont énumérés sur un rythme assez soutenu. À la question posée, les élèves répondront certainement que les éléments chimiques se distinguent par leur aspect ou leurs utilisations.

Grâce à ces trois exemples, les élèves devraient un peu mieux appréhender la définition de la notion d'élément chimique.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Où trouve-t-on les éléments chimiques ?

Commentaires

Cette première activité permet de faire le point sur ce que les élèves savent des éléments chimiques et de leurs symboles alors qu'ils ne connaissent pas encore la définition de cette notion. En effet, depuis le primaire, les élèves sont a priori sensibilisés au fait que la chimie est tout autour d'eux et aussi à l'intérieur d'eux-mêmes. Par ailleurs, ils sont censés connaître quelques symboles et formules d'espèces chimiques.

Pour rendre l'élève pleinement acteur dans l'acquisition de connaissances, un QCM est d'abord proposé ; pour y répondre l'élève aura besoin de ses connaissances en chimie et fera appel à son bon sens. Chacun est ensuite invité à rechercher des informations afin de valider ou de corriger ses réponses ; ainsi l'élève aura-t-il l'opportunité de mieux enregistrer les informations. Enfin, il est demandé aux élèves de s'approprier leur cours en l'illustrant de photos ou de dessins pour montrer la diversité des éléments chimiques qui nous forment et nous entourent ; des idées sont données dans le document 1. Il serait intéressant de reprendre chaque proposition avec la classe afin de donner quelques pistes de culture scientifique et de culture générale (voir les compléments suggérés à la page suivante).

Réponses

1. S'APPROPRIER

- a. juste après le big bang.
- b. est constituée des éléments chimiques hydrogène et oxygène ; est une espèce chimique.
- c. dans les êtres vivants ; partout.
- d. combiné à d'autres éléments ; sous forme atomique (Cu) ou ionique (Cu²⁺).
- e. les trois propositions sont exactes.
- f. numéro atomique.

Quelques compléments

a. La première question ancre ce chapitre dans le thème de l'Univers. Cette question permet également d'aborder plusieurs thèmes, à savoir :

– le modèle du big bang, à partir duquel on pourra faire le lien avec l'exercice 32 ;

– l'évolution des techniques du travail des métaux en reprenant les différentes époques de la Préhistoire ; on peut aussi donner la composition de certains alliages pour montrer leurs spécificités ; enfin, on pourra faire le lien avec l'aspect économique de la métallurgie régionale ;

– réinvestir ce qui a été vu au chapitre précédent sur la composition d'un atome ; en outre, cette question permet de discuter très succinctement de la radioactivité, du nucléaire et donc de la non-conservation des éléments chimiques lors d'une réaction nucléaire.

b. Cette question b permet d'amener la notion d'élément chimique. Les élèves sont censés connaître la signification des symboles H et O depuis le collège ; il leur est demandé de réinvestir leurs connaissances. On peut aussi indiquer que le « vocabulaire » des chimistes, formé de symboles, est unique dans le monde entier et que la « syntaxe » utilisée dans ce langage sera vue dans le chapitre consacré à la réaction chimique. S'il y a assez de temps, on peut donner quelques pistes sur l'origine des symboles chimiques.

c. Cette question c reprend la problématique de naturel versus chimique. On peut ici faire le lien avec les Sciences de la Vie et de la Terre rappelant que nos cellules sont constituées d'éléments chimiques.

d. Cette question d apporte plus d'informations sur la définition d'un élément chimique, en cela qu'un élément chimique est caractérisé par un symbole unique et qu'il peut se présenter sous la forme d'atomes (chapitre précédent) et d'ions (notion vue au collège). Enfin, l'élève est invité à réfléchir sur la combinaison de plusieurs éléments chimiques dont la formule de l'eau (question b) est un exemple.

e. La question e est proche de la question b et apporte une difficulté supplémentaire puisque le nom usuel de l'espèce chimique n'est pas écrit. Les élèves sont censés avoir déjà travaillé avec le chlorure de sodium et connaître les symboles Na et Cl.

f. La question f est un réinvestissement de l'une des définitions apprises lors du chapitre précédent.

2. VALIDER

Chacun fait des recherches et valide ou corrige ses réponses.

3. COMMUNIQUER

La réponse aux questions précédentes et la recherche d'informations permettent ensuite de sélectionner des illustrations pertinentes afin de rendre plus visuelle la diversité des éléments qui constituent l'Univers.

2. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Comment déterminer la charge d'un ion ?

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Transformation et conservation

Commentaires

Cette activité expérimentale a pour but de montrer que les éléments chimiques se conservent au cours d'une transformation. C'est le fer qui a été choisi comme élément chimique du fait des expériences faciles et peu onéreuses à mettre en œuvre. Le document 1 illustre les trois formes de l'élément fer. Le document 2 montre une étape du protocole et la schématisation de l'expérience ; il constitue ainsi un exemple pour la suite de l'activité. Le document 3 précise les tests d'identification des ions fer (II) et fer (III), témoins utiles pour la suite.

Chaque étape du protocole est décrite. Pour chacune, il est demandé d'écrire un bilan en espèces chimiques afin de se rendre compte qu'il y a conservation en éléments chimiques. Un cycle de l'élément fer est ensuite à compléter avant de conclure.

En complément, il serait souhaitable de signaler aux élèves que les ions sulfate SO_4^{2-} et sodium Na^+ ne réagissent pas. Les formules du sulfate de cuivre et de l'hydroxyde de sodium doivent être écrites sur les flacons qui les contiennent. Il faudrait également prévenir les élèves qu'ils ne pourront peut-être pas écrire un bilan complet d'espèces chimiques pour les étapes 1 à 3 (il leur faudrait d'abord réaliser les étapes 4 et 5). Mais les élèves qui auront correctement lu la page 190 comprendront qu'il s'agit d'un ion de l'élément fer.

Réponses

1. RÉALISER

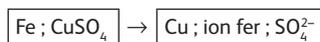
Étape 1

a. Milieu avant transformation : fer (poudre grise) et solution de sulfate de cuivre (liquide bleu).

Milieu après transformation et filtration : poudre avec des reflets rouges (Cu) et solution légèrement verte (l'ion responsable de cette couleur sera identifié plus tard).

b. Voir le schéma du document 2 page 190.

c.

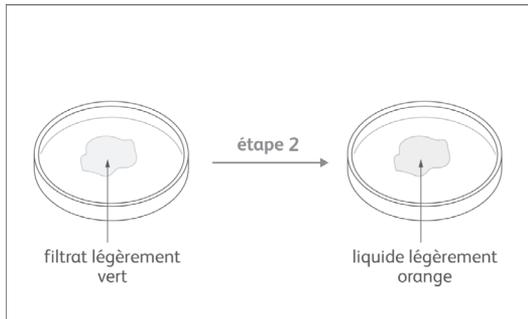


Étape 2

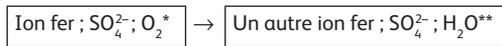
a. Milieu avant transformation : solution légèrement verte et air.

Milieu après transformation : solution légèrement orangée (l'ion responsable de cette couleur sera identifié plus tard).

b.



c.



*Les élèves auront tendance à écrire « air » au lieu de O_2 ; il faut alors les faire réfléchir sur la composition de l'air.

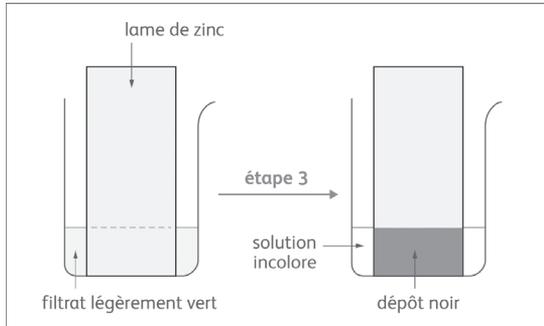
**Il faut préciser que cette transformation conduit à la production d'eau.

Étape 3

a. Milieu avant transformation : solution légèrement verte et plaque de zinc (métal gris).

Milieu après transformation : solution moins colorée et dépôt sombre sur la plaque.

b.



c.



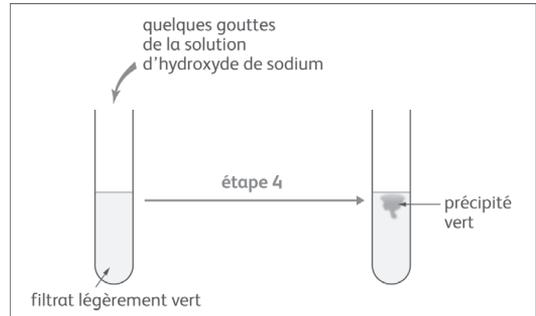
*Les élèves auront certainement besoin d'aide.

Étape 4

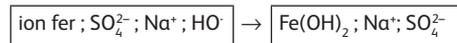
a. Milieu avant transformation : solution légèrement verte (ion fer et SO_4^{2-}) et solution incolore d'hydroxyde de sodium.

Milieu après transformation : précipité vert.

b.



c.

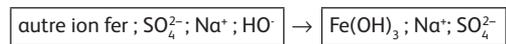
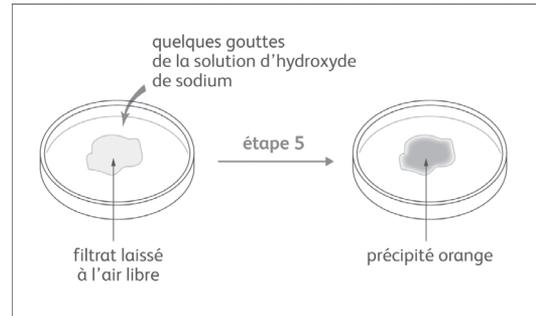


Étape 5

a. Milieu avant transformation : solution légèrement orangée (autre ion fer ; SO_4^{2-}) et solution incolore d'hydroxyde de sodium.

Milieu après transformation : précipité rouge-orangé.

b.

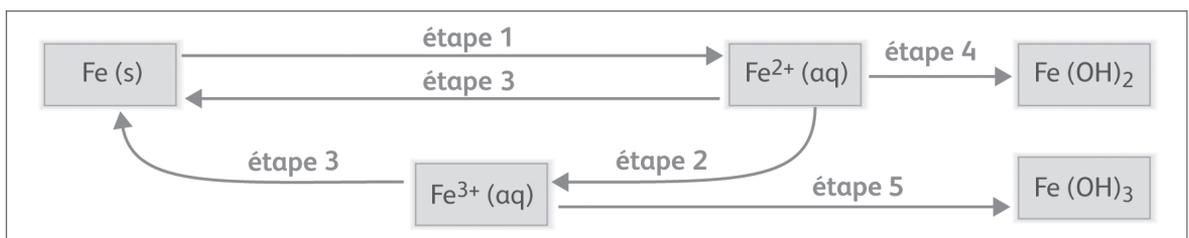


2. ANALYSER

a. L'ion Fe^{2+} a été identifié lors de l'étape 4. On en conclut que des atomes de fer Fe ont été transformés en ions Fe^{2+} .

b. L'ion Fe^{3+} a été identifié lors de l'étape 5. On en conclut que des ions Fe^{2+} ont été transformés en ions Fe^{3+} .

c. Schéma ci-dessous.



3. VALIDER

Lors d'une transformation chimique, les éléments se conservent.

EXERCICES Appliquer le cours

I L'élément chimique (§1 du cours)

17. Connaître des symboles

Nom	Oxygène	Hydrogène	Carbone	Azote	Fer
Symbole	O	H	C	N	Fe

18. Identifier les éléments chimiques

a. Les espèces constituées d'un seul élément chimique sont le diazote et le dioxygène. En effet, dans ces deux cas, la formule chimique n'est écrite qu'avec un seul symbole. Comme chaque élément chimique est représenté par un symbole et un seul. Par exemple N symbolise l'élément azote ; le diazote, N_2 , n'est constitué que d'élément azote.

Les autres espèces chimiques sont constituées de plusieurs éléments chimiques, à savoir le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau, le monoxyde de carbone, le chlorure d'hydrogène, le sulfure d'hydrogène, l'acide sulfurique. En effet, dans ces cas-ci, les formules sont écrites avec plusieurs symboles qui correspondent chacun à un élément chimique. Par exemple, le dioxyde de carbone est constitué d'élément carbone et d'élément oxygène.

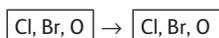
b. Les deux éléments chimiques qui reviennent le plus souvent ont pour symbole : O et H.

19. Définir un élément chimique

Symbole de l'élément	Na	Br	Fe
Numéro atomique de l'atome	11	35	26
Symbole des ions	Na^+	Br^-	Fe^{2+} ; Fe^{3+}
Numéro atomique des ions	11	35	26

20. Appliquer la règle de conservation des éléments chimiques

Bilan des éléments au début et à la fin des transformations :



De ce bilan des éléments, on déduit que les éléments chlore, brome et oxygène ont bien été conservés.

I Différentes formes d'un élément (§2 du cours)

21. Appliquer une définition

a. $^{12}_6C$, $^{13}_6C$ et $^{14}_6C$ sont des isotopes du même élément chimique car ces noyaux ont le même numéro atomique (6) mais pas le même nombre de nucléons (respectivement 12, 13 et 14).

$^{13}_7N$ et $^{14}_7N$ sont des isotopes pour les mêmes raisons.

b. Notation symbolique des noyaux isotopes du silicium Si : $^{28}_{14}Si$, $^{29}_{14}Si$, $^{30}_{14}Si$ et $^{31}_{14}Si$.

22. Écrire la formule d'un ion

Formule de l'atome	Mg	S	Fe
Perd/gagne des électrons	Perd	Gagne	Perd
Nombre d'électrons perdus ou gagnés	2	2	3
Formule de l'ion	Mg^{2+}	S^{2-}	Fe^{3+}
Nature	Cation	Anion	Cation

I Les règles du « duet » et de l'octet (§3 du cours)

23. Écrire la formule d'un ion

a. Voir le cours.

b. Afin de satisfaire la règle de l'octet, la structure électronique de l'ion sodium s'écrit soit $(K)^2(L)^8$ soit $(K)^2(L)^8(M)^8$. Dans la première hypothèse, l'atome de sodium aurait perdu l'électron qui était sur la couche (M). Dans la seconde, l'atome de sodium aurait gagné sept électrons sur sa couche (M). Or, il est plus facile à un atome de sodium de perdre un électron que d'en gagner sept. On opte donc pour la première hypothèse et on conclut que la formule de l'ion sodium s'écrit Na^+ .

c. La structure électronique de l'atome de chlore s'écrit : $(K)^2(L)^8(M)^7$. Afin de satisfaire la règle de l'octet, l'atome de chlore soit perd sept électrons soit en gagne un. Comme il est plus facile à un atome de chlore de gagner un électron que d'en perdre sept, on en déduit que l'ion chlorure a pour formule Cl^- .

24. Appliquer les règles du « duet » et de l'octet

Pour chaque ion, il faut écrire la structure électronique des atomes et appliquer les règles du « duet » et de l'octet.

On peut présenter le résultat sous forme de tableau puisque les trois raisonnements sont identiques.

Symbole / Z	O / 8	Al / 13	Be / 4
Structure électronique de l'atome	$(K)^2(L)^6$	$(K)^2(L)^8(M)^3$	$(K)^2(L)^2$
Règle à satisfaire	Octet	Octet	« duet »
Nombre d'électrons perdus ou gagnés	2 électrons gagnés	3 électrons perdus	2 électrons perdus
Formule de l'ion	O^{2-}	Al^{3+}	Be^{2+}

Le raisonnement permettant d'écrire la formule de l'ion oxyde (élément oxygène) est le suivant : le numéro atomique de l'élément oxygène n'est pas voisin de 2, il faut donc appliquer la règle de l'octet. On en déduit que la structure électronique de l'ion oxyde s'écrit $(K)^2(L)^8$, c'est-à-dire que deux électrons ont été gagnés par la couche (L). On conclut que la formule de l'ion oxyde s'écrit O^{2-} .

25. Trouver la structure électronique d'un atome

L'atome de lithium, Li, a un électron en plus qu'un ion Li^+ . Comme la structure électronique de l'ion Li^+ s'écrit $(K)^2$ et que la couche (K) est saturée, l'électron supplémentaire vient sur la couche (L). La structure électronique de l'atome de lithium s'écrit donc $(K)^2(L)^1$.

L'ion F^- a un électron supplémentaire par rapport à l'atome de fluor F. Cet électron ne peut se trouver que sur la couche (L) de l'ion. La structure électronique de l'atome de fluor s'écrit donc : $(K)^2(L)^7$.

EXERCICES S'entraîner

27. Co ou CO ?

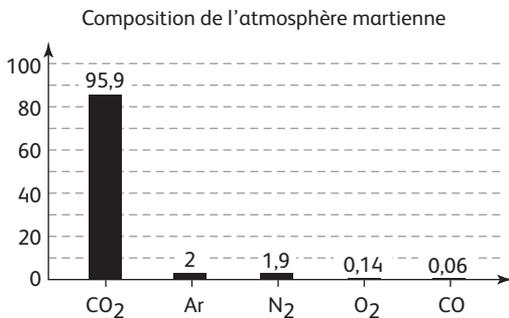
> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer.

- Co est le symbole d'un élément chimique car il n'est écrit qu'avec une seule majuscule.
- CO est constitué de l'élément carbone et de l'élément oxygène.
- Si on écrit « Co » au lieu de « CO » ou réciproquement, on risque de confondre ces deux espèces chimiques qui ont des propriétés chimiques, physiques et toxicologiques très différentes. Mal écrire une formule chimique peut entraîner de lourdes conséquences notamment au niveau de la santé (CO est très toxique par exemple).

28. ☼ Atmosphère martienne

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, valider.

a.



b. En comparant les deux diagrammes, on constate que les deux atmosphères sont totalement différentes. Contrairement à l'atmosphère terrestre, l'atmosphère martienne n'est composée que de très peu de dioxygène (respectivement environ 21 % et 0,14 %). Or, nous vivons grâce au dioxygène. L'Homme ne pourrait donc pas respirer sur Mars.

29. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Analyser, restituer, réaliser, communiquer.

- 6 désigne le numéro atomique de l'élément chimique carbone. Celui-ci est symbolisé par C. Le noyau de carbone considéré contient 12 nucléons.
- Le fluor 19 a une abondance relative de 100 %. Par conséquent, l'élément fluor ne présente qu'un seul isotope.
- La somme des abondances relatives est égale à 100 %. Pour l'élément oxygène, si on note x l'abondance relative en oxygène 18, on peut écrire l'équation mathématique suivante : $99,8 + x = 100$. Sa solution est $x = 0,2$. On en conclut que l'abondance relative en oxygène 18 est de 0,2 %.

30. In English Please

> COMPÉTENCES : Analyser, restituer.

1				A	N	I	O	N		
2			C	A	T	I	O	N		
3			I	S	O	T	O	P	E	S
4			A	T	O	M				
5	C	A	L	C	I	U	M			
6					C	O	P	P	E	R
7					I	R	O	N		
8					N	E	U	T	R	O
9					E	L	E	M	E	N
10					C	A	R	B	O	N
11	C	O	N	S	E	R	V	A	T	I
12					H	Y	D	R	O	G

An element is defined by its **atomic number**.

31. ☼ Les apports des ions métalliques

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, communiquer.

- Le calcium est présent dans notre corps sous la forme ionique. Il fait partie des éléments essentiels pour le corps humain et est fourni par l'alimentation. Le calcium est avant tout un composant essentiel des os puisque 99 % du calcium ingéré sert à fortifier le squelette. Le calcium intervient également dans de nombreux processus biologiques comme la digestion et la coagulation. Puisque le squelette grandit beaucoup lors de l'adolescence, le besoin journalier en calcium d'un adolescent est important, d'environ 1 200 mg (à comparer avec les enfants de 1 à 3 ans pour qui le besoin journalier n'est que de 500 mg).
- Pour satisfaire la règle de l'octet, deux électrons doivent être perdus par l'atome de calcium. La formule de l'ion calcium s'écrit donc Ca^{2+} .
- Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs de la masse moyenne de calcium contenue dans du lait.

	1 verre de lait (150 mL)			
Type de lait	Écrémé	Demi-écrémé	Entier	De chèvre
Masse de calcium (mg)	173	176	183	186
Volume à boire	1,04 L	1,02 L	983 mL	968 mL

Calcul pour le lait écrémé : $\frac{1200 \times 150}{173} = 1040 \text{ mL} = 1,04 \text{ L}$

REMARQUE : attention au nombre de chiffres significatifs, 3 ici.

d. Les réponses précédentes permettent de rédiger une carte d'identité de l'élément calcium, regroupant toutes les informations demandées.

e. L'ion calcium a pour formule Ca^{2+} et porte donc deux charges positives. L'ion carbonate porte deux charges négatives. Ainsi la charge d'un cation compense-t-elle la charge d'un anion. La formule du carbonate de calcium ne compte donc qu'un cation et qu'un anion. Par conséquent, sa formule s'écrit $CaCO_3$.

32. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

Un modèle de la genèse des éléments

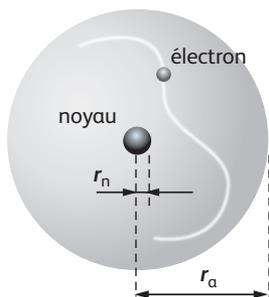
> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, restituer, communiquer.

1.a. Hubert Reeves nous invite au spectacle de la naissance de l'Univers et donc aux naissances des éléments chimiques.

b. Dans l'ordre chronologique de leur apparition, les éléments chimiques sont : l'hydrogène, l'hélium, le carbone et l'oxygène.

c. Comme il n'y a pas conservation des éléments chimiques lors de ces transformations, celles-ci ne peuvent pas être chimiques. Il s'agit en fait de transformations nucléaires.

2. Hubert Reeves décrit un atome comme un noyau entouré d'électrons.

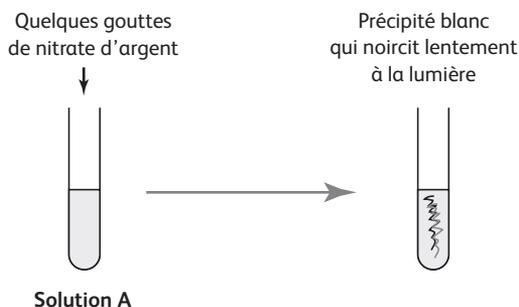


33. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

✦ Tests d'identification

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, valider.

a. Dans un tube à essais, on verse quelques millilitres de la solution contenue dans le flacon A. On ajoute quelques gouttes de nitrate d'argent à cet échantillon. On agite doucement le tube à essais. On repose le tube à essais sur le portoir et on le laisse à la lumière.



b. Le tableau ci-dessous regroupe les observations qui ont permis d'identifier les anions en comparant les résultats des tests (document 1) avec les témoins (document 2).

Flacon	A	B	C
Couleur du précipité (document 1)	Blanc	Jaune	Blanc
Le précipité noircit (document 1)	rapidement	non	lentement

Numéro du tube-témoin (document 2)	1	3	2
Nom de l'anion (document 2)	Chlorure	Iodure	Bromure

34. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

✦ L'eau, un élément chimique ?

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

L'eau, l'un des quatre éléments premiers

Le philosophe grec Aristote avait imaginé une théorie pour expliquer le monde qui l'entourait. Elle consistait notamment à dire que toute chose était conçue à partir de quatre éléments premiers : la terre, l'air, le feu et l'eau. Du fait de l'influence de la philosophie aristotélicienne en Europe, la théorie des quatre éléments perdura jusqu'au XVIII^e siècle.

Prévoir des photos d'une sculpture d'Aristote, de terre, de feu, d'air et d'eau.

L'eau n'est pas un élément chimique

Dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, des chimistes pour la plupart français et anglais, menèrent des expériences sur l'eau. Ils montrèrent qu'il était possible de synthétiser l'eau en faisant réagir du dihydrogène et du dioxygène.

Prévoir la représentation de l'expérience de Sigaud de Lafond et de Macquer, à légénder.

Lavoisier, le « père de la chimie moderne »

Pendant plusieurs années, Lavoisier se consacra entre autres au cas de l'eau. Dans un ballon spécialement conçu pour cette expérience, Lavoisier réalisa la synthèse de l'eau en mesurant les masses de gaz introduits et produits. Il effectua les mêmes mesures lors d'expériences de décomposition de l'eau. Il montra que la masse d'eau est égale à la somme des masses en dioxygène et dihydrogène.

Prévoir une photo d'un portrait de Lavoisier et de son ballon.

L'eau, H₂O

On sait maintenant que l'eau est formée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène.

35. RÉOLUTION DE PROBLÈME

✦ La chimie au secours de l'art

> COMPÉTENCES : Analyser, valider, communiquer.

Les analyses des verres et des colorants ont permis de comparer la composition de l'objet étudié à d'autres objets dont on est certain qu'ils ont été fabriqués par des artisans égyptiens du XIV^e siècle av. J.-C.

Il apparaît que certains éléments chimiques sont communs, comme le silicium, l'oxygène ou encore le cobalt. Mais de fortes différences dans les compositions ont été relevées. Par exemple, certains éléments font partie des colorants utilisés par les Égyptiens mais ne se retrouvent pas dans l'objet analysé, tels que le cuivre ou le manganèse ; de même pour les verres. De plus, certains éléments sont communs mais en proportions différentes comme le plomb dans les verres.

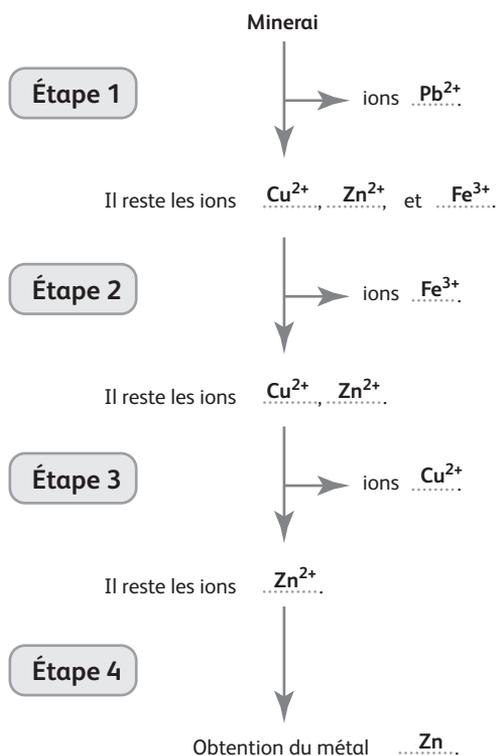
On conclut de ces analyses que la tête en verre bleu est en fait un faux.

36. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

☆☆ Élaboration du zinc

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

Les minerais dont on extrait le zinc contiennent d'autres éléments chimiques qu'il faut séparer du zinc. Quatre étapes sont nécessaires pour obtenir ce métal ; elles sont résumées par l'organigramme ci-dessous.



Afin de savoir quels ions sont présents avec le zinc en fin de chaque étape (de 1 à 3), on procède à des tests caractéristiques. Par exemple, à la fin de l'étape 1, le seul test négatif doit être celui des ions plomb (Pb^{2+}) ; sinon, il faut poursuivre cette étape. De même jusqu'à l'étape 3 incluse.

La classification périodique des éléments

> Manuel pages 202 à 217

Choix pédagogiques

L'objectif de ce chapitre est de savoir utiliser la classification. Pour cela, il est important que l'élève se familiarise avec un certain nombre d'éléments qu'il aura l'occasion de rencontrer dans la vie courante et au cours de ses études secondaires.

À partir de cette bibliothèque d'éléments connus, l'élève devrait être capable de prévoir le comportement d'autres éléments d'après leur situation dans la classification.

Pour être en conformité avec le programme, nous n'avons pas évoqué le nombre de liaisons covalentes que forme un élément.

OUVERTURE DE CHAPITRE

La classification périodique qui sert de rideau de douche à Sheldon et Leonard dans la série *The Big Bang Theory*.

Quelle est l'utilité de la classification périodique des éléments pour les chimistes ?

Cette première photographie et cette première question ont un double objectif :

– insister sur le caractère universel de la classification périodique : elle se trouve sur les murs de toutes les salles de sciences dans le monde. Elle est même, comme ici, détournée pour son caractère symbolique de l'univers de la chimie ;

– susciter une discussion sur l'utilité de ce classement : aux murs des salles de classe, le rôle de la classification n'est ni décoratif ni fonctionnel. En revenant sur ce qu'est une démarche scientifique, on peut s'attendre à ce que les élèves proposent que la classification permet aux chimistes de faire des prévisions.

Installation de Gabriel Orozco au musée Guggenheim de Berlin.

Peut-on regrouper les éléments chimiques par famille comme le sont les objets dans cette œuvre ?

Sur la photographie, on peut attirer l'attention des élèves sur l'organisation de Gabriel Orozco : les objets sont regroupés en famille, selon un critère commun. Par exemple, une famille de bouteilles vertes, ou bien une famille de bouteilles brunes ou encore une famille de flotteurs. On remarque que les individus d'une famille ne sont pas tous identiques et que leurs caractéristiques varient.

La question permet ensuite de réfléchir sur le cas des éléments chimiques étudiés dans le chapitre précédent. On peut s'attendre à ce que les élèves proposent une organisation en fonction des couches électroniques : regrouper les éléments ayant :

– la même couche de valence (K), (L) ou (M) ;

– le même nombre d'électrons sur leurs couches de valence.

Il est peu probable que les élèves pensent spontanément à une analogie de propriétés chimiques, à moins que l'enseignant n'oriente le questionnement.

Vidéo Débat : Les chimistes de l'émission « On n'est pas que des cobayes » étudiant la réaction entre le sodium et l'eau.

|| Selon l'expression, peut-on mettre le feu au lac ?

La vidéo permet tout d'abord de présenter un protocole expérimental aux élèves. On peut leur demander d'être critiques quant aux conditions de sécurité : doit-on utiliser des gants de caoutchouc lorsqu'on manipule une flamme ?

On peut ensuite, à partir de la vidéo, émettre une hypothèse concernant les produits de la transformation et travailler la démarche scientifique avec les élèves selon deux axes :

– quel est le rôle de la phénolphthaléine dans cette expérience ?

– comment identifier les produits formés afin de valider les hypothèses ?

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Découverte et classification des éléments

Commentaires

Pour introduire les critères historiques de classification utilisés par Mendeleïev, cette activité documentaire ne nécessite pas de pré-requis disciplinaires. Les documents écrits permettent une approche de l'histoire des sciences ; c'est un exemple pertinent de démarche scientifique, Mendeleïev et ses contemporains élaborent des classifications selon des critères issus d'expériences (poids atomique et propriétés chimiques). Partant du modèle obtenu, Mendeleïev formule de nouvelles hypothèses (existence de l'éka-aluminium par exemple) qui

seront ultérieurement confirmées par de nouvelles expériences.

Réponses

1. S'APPROPRIER

a. Historiquement, le premier critère de classification des éléments est l'analogie de propriétés chimiques (triades de Döbereiner).

b. Mendeleïev classe les éléments par poids atomique croissant et aussi par propriétés chimiques.

c. Les éléments de symbole F, Cl, Br et I sont classés dans une même colonne de la classification périodique ; dans la classification de Mendeleïev, ils sont situés sur une même ligne.

Même chose pour les éléments de symbole Li, Na, K, Rb et Cs.

2. ANALYSER

Les éléments situés sur une même ligne de cette classification ont des propriétés chimiques voisines ; les propriétés se modifient peu lorsqu'on passe d'un élément à l'autre.

3. VALIDER

Dans la classification de Mendeleïev, l'éka-aluminium de poids moléculaire 68 est situé juste après l'aluminium dans une même ligne.

Dans la classification actuelle, l'élément situé juste après l'aluminium dans une même colonne est le gallium. Sa masse molaire est $M = 67,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, valeur que l'on peut identifier au poids atomique 68 prévu par Mendeleïev.

2. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

La classification aujourd'hui

Commentaire

Cette activité doit permettre de répondre à la problématique de la première photo d'ouverture. Elle permet de décrire la structure de la classification actuelle puis de découvrir comment elle s'utilise.

Réponses

1. S'APPROPRIER

a. Le lithium et le sodium sont des éléments de la première colonne, situés l'un au-dessus de l'autre.

b. Le fluor et le chlore sont des éléments de l'avant-dernière colonne, situés l'un au-dessus de l'autre.

2. RÉALISER

Li: $Z = 3$ (K)²(L)¹

F: $Z = 9$ (K)²(L)⁷

Na: $Z = 11$ (K)²(L)⁸(M)¹

Cl: $Z = 17$ (K)²(L)⁸(M)⁷

3. ANALYSER

a. Les éléments situés dans une même ligne ont les mêmes couches électroniques occupées.

b. Les éléments situés dans une même colonne ont le même nombre d'électrons sur leur couche électronique externe.

c. D'après la règle du duet, pour le lithium de numéro atomique voisin de 2, l'atome évolue de manière à avoir deux électrons sur la couche (K). Pour ce faire, il perd l'électron situé dans la couche (L), et forme facilement l'ion Li⁺.

D'après la règle de l'octet, pour les autres éléments, l'atome évolue de manière à avoir huit électrons sur la couche (L) ou (M). Pour ce faire :

– le sodium perd l'électron situé dans la couche (M), et forme facilement l'ion Na⁺ ;

– le fluor gagne un électron pour sa couche (L), et forme facilement l'ion F⁻ ;

– le chlore gagne un électron pour sa couche (M), et forme facilement l'ion Cl⁻.

d. Les éléments de numéro atomique $Z = 2, 8, 10$ ont un nombre particulier d'électrons sur leur couche externe, tel que celle-ci soit saturée ; ceci explique leur inertie chimique et donc le fait qu'il ait été malaisé de les mettre en évidence par des transformations chimiques.

4. RÉALISER

Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl ₂ O ₇
0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5

L'évolution est monotone de gauche à droite dans le tableau. Les éléments Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl appartiennent tous à la troisième ligne de la classification et sont rangés dans cet ordre-là.

5. COMMUNIQUER

Dans une même ligne de la classification périodique, les atomes des éléments ont les mêmes couches électroniques occupées.

Dans une même colonne, les atomes des éléments ont le même nombre d'électrons sur leur couche externe.

Des éléments d'une même colonne ont des propriétés chimiques similaires (formation des ions).

Les propriétés chimiques évoluent de façon monotone le long d'une ligne de la classification périodique.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Familles d'éléments

Commentaire

Cette activité illustre les analogies de propriétés chimiques. Le choix des éléments à tester s'est porté sur la famille des halogènes, pour des raisons historiques et aussi parce qu'il existe une variété intéressante de tests à réaliser pour cette famille.

Réponses

1. S'APPROPRIER

Le chlore, le brome et l'iode sont des éléments de l'avant-dernière colonne, situés l'un au-dessus de l'autre.

2. RÉALISER

La densité du cyclohexane est inférieure à celle de l'eau, donc la phase organique est située au-dessus de la phase aqueuse ; on observe :

	Chlore	Brome	Iode
Phase organique	jaune pâle	jaune	orange
Phase aqueuse	incolore	incolore	incolore

3. ANALYSER

Cl_2 , Br_2 et I_2 sont plus solubles dans le cyclohexane que dans l'eau.

4. RÉALISER

a : $\text{K}^+ + \text{Cl}^-$	b : $\text{K}^+ + \text{Br}^-$	c : $\text{K}^+ + \text{I}^-$	d : $\text{K}^+ + \text{NO}_3^-$
précipité blanc	précipité blanc	précipité jaune clair	rien

5. ANALYSER

a. Le tube d est un tube témoin, il permet de vérifier que ce ne sont pas les ions K^+ qui réagissent dans les tubes a à c.

b. Comme les ions K^+ ne réagissent pas, ce sont donc les ions Cl^- , Br^- et I^- qui forment les précipités.

Un précipité est une espèce électriquement neutre, il se forme à partir d'un anion et d'un cation : c'est donc le cation Ag^+ (et non l'anion NO_3^-) qui réagit avec l'anion présent dans chacun des tubes.

c. a : AgCl b : AgBr c : AgI

d. Les composés formés par les anions Cl^- , Br^- et I^- avec le cation Ag^+ sont tous des composés insolubles dans l'eau.

6. COMMUNIQUER

Les expériences réalisées ont permis de mettre en évidence une analogie de propriétés chimiques pour les éléments $\text{X} = \text{Cl}$, Br et I que ce soit sous forme moléculaire X_2 ou ionique X^- .

Des éléments d'une même colonne de la classification périodique ont des propriétés chimiques similaires. On dit qu'ils forment une famille.

En vertu de cette analogie de propriétés chimiques, il est vraisemblable de supposer qu'on peut utiliser indifféremment le brome ou l'iode dans les lampes halogène.

4. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Familles d'éléments

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

EXERCICES Appliquer le cours

La classification périodique des éléments

(§1 du cours)

17. Rechercher un élément

a. Po.

b. Le polonium et l'oxygène se trouvent dans la même colonne de la classification périodique, ils possèdent donc le même nombre d'électrons sur leur couche électronique externe : ainsi, le polonium possède 6 électrons sur sa couche externe.

18. Retrouver un numéro atomique

a. Première période : 2 éléments ; deuxième période : 8 éléments ; troisième période : 8 éléments.

b. $8 + 8 + 2 = 18$.

Le dernier élément de la troisième période correspond donc à $Z = 18$.

Utilisation de la classification périodique

(§2 du cours)

19. Lire horizontalement la classification périodique

a. L'élément de numéro atomique $Z = 14$ est le silicium.

b. Il appartient à la troisième période, sa couche électronique externe est la couche (M).

c. Il appartient à la quatorzième colonne ; il possède 4 électrons sur cette couche externe : $(\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^4$.

d. S'ils sont situés à droite de l'élément supplémentaire, ils possèdent des électrons supplémentaires :

P : $(\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^5$

S : $(\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^6$

Cl : $(\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^7$

Ar : $(\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^8$

20. Déterminer une configuration électronique

L'atome de soufre S possède la même structure électronique externe que l'atome d'oxygène O puisqu'il appartient à la même colonne.

Il possède une couche supplémentaire puisqu'il appartient à la ligne en dessous.

Sa configuration électronique est donc : $(\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^6$.

21. Retrouver une configuration électronique

Symbole	Si	S	Li	F	Na
N° période	3	3	2	2	3
N° colonne	14	16	1	17	1
Z	14	16	3	9	11
Structure	$(\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^4$	$(\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^6$	$(\text{K})^2(\text{L})^1$	$(\text{K})^2(\text{L})^7$	$(\text{K})^2(\text{L})^8(\text{M})^1$

22. Déterminer la charge d'un ion

a. Pour aboutir à la configuration électronique $(\text{K})^2(\text{L})^8$, le sodium perd facilement un électron. Il conduit donc facilement à l'ion Na^+ .

b. Par analogie de propriétés chimiques, les éléments de la même colonne forment ainsi Li^+ , K^+ et Cs^+ .

23. Lire verticalement la classification périodique

a. Le symbole du béryllium est Be, celui du magnésium est Mg.

b. Be : $(K)^2(L)^2$. La couche externe est la couche L, elle contient 2 électrons.

Mg : $(K)^2(L)^8(M)^2$. La couche externe est la couche M, elle contient 2 électrons.

c. Be : $Z = 4$: il appartient à la deuxième période et à la deuxième colonne. Or la première période contient deux éléments. On a bien $Z = 2 + 2$.

Mg : $Z = 12$: il appartient à la troisième période et à la deuxième colonne. Or la deuxième période contient huit éléments. On a bien $Z = 2 + 8 + 2$.

d. Les piles contiennent du magnésium.

I Quelques familles chimiques (§3 du cours)

24. Identifier une famille

a. Le fluor et le chlore sont des halogènes.

b. Le chlore appartient à la même colonne de la classification que le fluor, il possède donc le même nombre d'électrons sur sa couche externe, soit 7.

D'autre part, il est situé une ligne en dessous, il a donc une couche électronique supplémentaire : il s'agit de la couche M. Sa configuration électronique est donc : $(K)^2(L)^8(M)^7$

25. Identifier les éléments d'une famille

Sur l'étiquette d'une bouteille d'eau minérale, on trouve les ions Na^+ et K^+ , qui sont des ions d'alcalins.

26. Exploiter les informations d'un texte

a. Or de symbole Au

b. Chlore de symbole Cl

c. Iode de symbole I

d. Gallium de symbole Ga

EXERCICES S'entraîner

28. Molécule anti-transpirante

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, valider.

a. Al : 3^e ligne – 13^e colonne $\Rightarrow (K)^2(L)^8(M)^3$

Cl : 3^e ligne – 17^e colonne $\Rightarrow (K)^2(L)^8(M)^7$

b. Pour saturer leurs couches électroniques, Al et Cl vont respectivement perdre 3 électrons et en gagner 1 ; on obtient les ions Al^{3+} et Cl^- .

c. Pour que l'espèce chimique soit globalement neutre, il faut donc 3 Cl pour 1 Al d'où $AlCl_3$.

d. Le bore et l'aluminium appartiennent à la même colonne de la classification périodique, ils ont donc des propriétés chimiques semblables ; les espèces qu'ils forment avec le chlore ont donc probablement la même formule chimique.

29. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

a. Mg appartient à la 2^e colonne et à la 3^e ligne de la classification ; la 3^e ligne correspond à la couche (M).

Le remplissage progressif d'une ligne correspond au remplissage progressif d'une couche électronique.

Ici la couche (M) possède donc deux électrons et les couches précédentes sont saturées.

La configuration électronique du magnésium est $(K)^2(L)^8(M)^2$.

b. Au cours de leurs transformations chimiques, les atomes et les ions évoluent de manière à avoir 8 électrons sur leur couche externe : ici le magnésium va évoluer de façon à perdre les électrons de la couche (M). Il se forme facilement l'ion Mg^{2+} .

30. 🌍 Sels de magnésium et de lithium

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser.

a. La première colonne de la classification périodique rassemble les éléments de la famille des alcalins ; le lithium possède un électron sur sa couche externe. Il appartient à la deuxième période, cette couche externe est donc une couche (L).

b. Le brome est un halogène, il appartient à l'avant-dernière colonne de la classification et possède 7 électrons sur sa couche externe.

c. Pour vérifier la règle de l'octet, Li forme facilement Li^+ et Br forme facilement Br^- .

d. Pour former l'ion Mg^{2+} , le magnésium perd facilement 2 électrons ; il appartient donc à la 2^e colonne de la classification périodique.

e. Un halogène est un élément de l'avant-dernière colonne de la classification ; il possède 7 électrons sur sa couche externe et forme donc facilement l'ion Cl^- .

f. Pour former une espèce électriquement neutre à partir de chlore et de magnésium, il faut deux fois plus de chlore que de magnésium. L'espèce a donc pour formule $MgCl_2$.

Pour former une espèce électriquement neutre à partir de brome et de lithium, il faut autant de brome que de lithium. L'espèce a donc pour formule $LiBr$.

g. Par analogie des propriétés chimiques du chlore et du brome, éléments de la même colonne de la classification périodique, on peut envisager une espèce chimique formée de lithium et de chlore ; elle aurait pour formule $LiCl$. Ainsi qu'une espèce formée de magnésium et de brome, de formule $MgBr_2$.

31. In English Please

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser.

a. Nitrogen : azote N

Oxygen : oxygène O

b. Les gaz nobles appartiennent à la dernière colonne de la classification ; leurs couches électroniques sont saturées, ils n'ont pas tendance à réagir pour vérifier la règle de l'octet contrairement aux autres éléments de la classification.

32. ✪ Évaporation de l'eau de mer

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

a. La structure électronique de l'atome de chlore est la suivante : $(K)^2(L)^8(M)^7$.

b. Le brome appartient à la même famille que le chlore, il contient donc 7 électrons sur sa couche externe.

c. Cl forme facilement Cl^- ; par analogie de propriétés chimiques, Br forme facilement Br^- .

d. Na forme Na^+ , c'est un alcalin.

e. K est également un alcalin, il forme K^+ .

33. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

✪ Le dopage des semi-conducteurs

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

Le silicium Si est un semi-conducteur dont on peut contrôler la conductivité, soit en l'enrichissant en électrons, soit en l'appauvrissant.

Le phosphore P est l'élément situé juste après le silicium dans la classification, il possède un électron de plus dans sa couche électronique externe. Ainsi, par rapport à un matériau uniquement constitué de silicium, un matériau contenant du phosphore est enrichi en électrons.

De la même manière, l'aluminium Al est l'élément situé juste avant le silicium dans la classification, il possède un électron de moins dans sa couche électronique externe. Ainsi par rapport à un matériau uniquement constitué de silicium, un matériau contenant de l'aluminium est appauvri en électrons.

34. Science-fiction

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser.

a. Le silicium est l'élément situé au-dessous du carbone dans la classification périodique ; ils appartiennent tous deux à la 14^e colonne.

b. Des éléments qui appartiennent à la même colonne ont des propriétés chimiques semblables. Par analogie, on peut supposer que la molécule rejetée serait SiO_2 .

c. Cette molécule est bien de l'oxyde de silicium, l'épisode est donc cohérent de ce point de vue.

35. RÉOLUTION DE PROBLÈME

Constituant principal du corindon

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser.

La charge d'un électron est $e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; le nuage électronique de l'ion possède donc 10 électrons.

L'espèce X_2O_3 globalement neutre est constituée d'ions O^{2-} et X^{3+} .

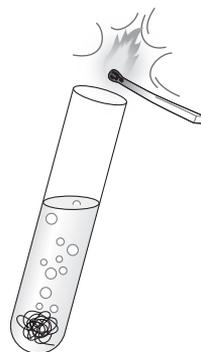
L'atome de l'élément X possède donc 13 électrons dans son nuage électronique d'où $Z = 13$; il s'agit de l'aluminium.

36. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

Une famille d'éléments

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider, communiquer.

a.



b. Consignes de sécurité :

– porter une blouse et des lunettes de sécurité

– pour manipuler l'acide chlorhydrique porter des gants, les retirer pour enflammer l'allumette et la présenter à l'extrémité du tube.

c. Les contenus des tubes n° 1 et n° 3 se comportent de la même manière lors des expériences d'identification ; les éléments chimiques qu'ils contiennent ont donc des propriétés chimiques analogues, les éléments appartiennent à la même famille.

37. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

Salsola kali

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, communiquer.

D'après l'Académie des sciences, alcali est composé de « kali » ou « qaly » qui est le nom arabe donné à une plante appelée « soude » en français.

Ainsi les alcalis partagent des propriétés chimiques analogues à celles de la soude (Académie des sciences, 1835), donc des propriétés basiques, utiles lors de la fabrication des savons. Aujourd'hui, ce terme désigne plus spécifiquement un hydroxyde d'un métal alcalin ou bien l'hydroxyde d'ammonium qui partagent ces mêmes propriétés.

Dans les piles alcalines, l'électrolyte est constitué de potasse ou hydroxyde de potassium (voir document 2). Le potassium (symbole K, $Z = 19$) appartient à la première colonne de la classification périodique, c'est un métal alcalin ; la potasse est donc bien un alcali, d'où l'appellation de ces piles.

Le produit de nettoyage est composé d'ammoniaque, jadis appelé alcali volatil et qui garde cette appellation dans les milieux du bâtiment et de l'artisanat.

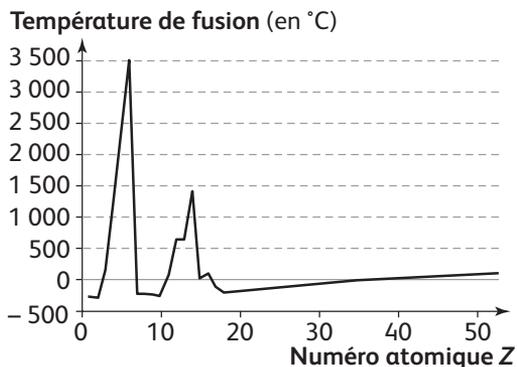
Alcalin peut donc être considéré comme synonyme de basique, c'est le cas lorsque l'on parle du pH sanguin.

38. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✪ Évolution des propriétés physiques

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

On représente ci-dessous l'évolution de la température de fusion en fonction du numéro atomique :



Il y a une évolution globale et deux accidents :

– en ce qui concerne l'évolution globale, la température de fusion est une fonction croissante du numéro atomique – ceci signifie donc qu'elle croît le long d'une ligne ;

– le premier accident a lieu entre les éléments de numéro atomique $Z = 6$ (C) et $Z = 7$ (N) ;

– le second accident a lieu entre les éléments de numéro atomique $Z = 14$ (Si) et $Z = 15$ (P).

Les deux maxima de cette courbe correspondent respectivement aux éléments C et Si, éléments de la même colonne.

Ainsi la température de fusion décroît le long d'une colonne et augmente le long d'une ligne, sauf entre les colonnes 14 et 15.

De même l'observation du document 1 permet d'affirmer que :

– le rayon atomique décroît le long d'une ligne : Li et F appartiennent à la 1^{re} période, Na et Cl à la deuxième ;

– le rayon atomique croît le long d'une ligne : Li, Na et K appartiennent à la famille des alcalins, F, Cl et Br à celle des halogènes.

De même l'observation du document 2 permet d'affirmer que :

– l'énergie molaire de première ionisation croît le long d'une ligne : Li et F appartiennent à la 1^{re} période, Na et Cl à la deuxième ;

– l'énergie molaire de première ionisation décroît faiblement le long d'une ligne : Li, Na et K appartiennent à la famille des alcalins, F, Cl et Br à celle des halogènes.

Mouvements et forces

> Manuel pages 218 à 231

Choix pédagogiques

Pour les élèves qui traitent le thème de l'Univers avant celui de la Pratique du sport, ce chapitre est le premier contact avec la mécanique.

Indispensable avant d'aborder la gravitation, il poursuit deux objectifs principaux :

- montrer que le mouvement d'un corps n'est pas absolu et qu'il dépend du référentiel dans lequel on l'observe ;
- définir l'action mécanique à partir de la modification du mouvement et modéliser cette action mécanique par une force.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Mars et ses satellites naturels Phobos et Déimos.

Comment modéliser l'action de Mars sur ses satellites ?

Mars est la planète du système solaire la plus connue des élèves. En revanche, les élèves ne savent pas forcément qu'elle a comme la Terre des satellites naturels.

Cette première photo permet d'abord de parler de la gravitation, seule interaction connue des élèves (elle a été vue partiellement en classe de troisième).

Puis la question posée évoque la notion de modélisation. Comment passe-t-on du monde réel des objets et de leurs mouvements à celui plus abstrait des lois physiques qui permettent de comprendre et de calculer... la trajectoire de la sonde spatiale Voyager 1, présentée sur la deuxième photo ? Toute la physique est là !

La sonde spatiale Voyager 1.

Comment modifier la direction du mouvement de la sonde Voyager 1 au cours de son exploration spatiale ?

Plus de trente ans après son lancement, après avoir observé de très nombreux astres, Voyager 1 est le premier objet fabriqué par l'Homme à être sorti du système solaire en 2012. Avant de répondre à la question posée, les élèves doivent réfléchir à l'exploit réalisé pour envoyer cette sonde spatiale.

De plus, pour observer les planètes comme Saturne par exemple, comment cette sonde a-t-elle fait pour se retrouver au bon moment, au bon endroit, alors que tous les autres sont en mouvement dans le système solaire ? La question posée va dans le même sens en demandant comment modifier la direction de la sonde Voyager 1 au cours de son exploration spatiale sans carburant disponible.

Enfin, les élèves peuvent se demander comment les informations recueillies par Voyager 1 ont fait pour voyager dans l'espace et revenir sur la Terre.

Vidéo Débat : Extrait du film *Gravity* réalisé par Alfonso Cuarón (2013).

Quel est le mouvement de l'astronaute au premier plan ?

Le film *Gravity* est le film phénomène en 3D de 2013. Il permet de vivre une véritable immersion dans l'espace en racontant l'errance d'astronautes dans l'espace après la destruction de leur navette spatiale par des débris spatiaux.

D'après la photo extraite de ce film, on peut considérer que l'astronaute :

- est en mouvement par rapport à la Terre ;
- est en mouvement par rapport à la station spatiale ;
- est quasiment immobile par rapport à l'astronaute au deuxième plan.

Cela permet donc de faire lien avec la notion de relativité du mouvement, déjà vue au collègue.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Trajectoires de Mars dans différents référentiels

Commentaires

Dans le thème Univers, une des compétences attendues de la partie consacrée au système solaire est : « *Mettre en œuvre une démarche d'expérimentation utilisant des techniques d'enregistrement pour comprendre la nature des mouvements observés dans le système solaire.* »

Comme il n'est pas possible avec une classe d'observer réellement le mouvement des planètes, sauf dans de très rares cas comme le passage de Vénus devant le Soleil par exemple, nous utilisons le logiciel Stellarium pour observer depuis la Terre la rétrogradation de la planète Mars pendant l'hiver 2009-2010. La vidéo est réalisée à partir d'une vingtaine de « photographies » (des copies d'écran) prises à intervalles d'une semaine environ et représentant toujours la même portion du ciel.

Pour contextualiser ce travail, il est également demandé aux élèves une réflexion sur l'histoire des sciences

en réfléchissant sur la définition et l'étymologie du mot planète.

Réponses

1. S'APPROPRIER

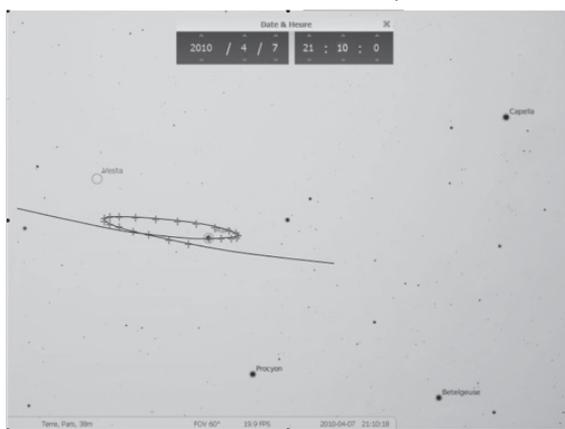
D'après le document 2, la trajectoire de Mars par rapport au Soleil est un cercle.

2. ANALYSER

D'après le document 1, le mot « planète » signifie « vagabond » (en grec) et désigne des « astres errants » dans le ciel terrestre, la trajectoire circulaire de Mars par rapport au Soleil ne permet donc pas d'expliquer pourquoi Mars a été appelée une planète.

3. RÉALISER

Voici ci-dessous le document obtenu à partir de la vidéo.



4. VALIDER

a. Vue depuis la Terre, Mars décrit une boucle : cette planète avance de droite à gauche, semble s'arrêter (23 décembre 2009), puis repartir en sens inverse. Après quelques semaines, elle s'arrête à nouveau (15 mars 2010), puis reprend sa course dans le sens initial. Cela permet d'expliquer le nom de « planète » donné dans l'Antiquité à Mars car cet astre fait des allers-retours dans le ciel terrestre.

b. On parle de rétrogradation de la planète dans le ciel terrestre car cet astre semble reculer dans le ciel terrestre.

c. Il y a une rétrogradation de la planète uniquement dans le ciel terrestre. Par rapport au Soleil, la trajectoire de Mars est quasi-circulaire et Mars ne semble pas reculer.

d. Le mouvement de Mars est différent dans le référentiel lié à la Terre et dans le référentiel lié au Soleil : il semble reculer dans un référentiel et pas dans l'autre. Le mouvement de Mars est plus simple dans le référentiel lié au Soleil. Il faut donc préciser le référentiel choisi lorsqu'on étudie un mouvement et choisir si possible le référentiel dans lequel le mouvement est le plus simple à décrire.

REMARQUE : En choisissant soigneusement l'heure d'observation pour que les étoiles occupent toujours la même

position dans le ciel lorsqu'on observe Mars, on se place sans le dire dans le référentiel géocentrique, puisque cela revient à supprimer la rotation de la Terre sur elle-même. Il est trop tôt dans cette activité pour parler de ce référentiel puisque l'activité vient en introduction du cours et que la notion de référentiel n'a pas encore été abordée. C'est pourquoi on utilise le vocabulaire « référentiel lié à la Terre ».

5. ANALYSER

Voici par exemple un protocole expérimental réalisable en classe permettant de montrer que la nature du mouvement d'un objet observé dépend du référentiel choisi :

- placer deux élèves côte à côte sur deux chaises à roulettes derrière lesquelles un drap blanc est étendu ;
- fixer une caméra sur un des deux élèves de telle sorte qu'elle filme le deuxième élève ;
- fixer une deuxième caméra sur une table de telle sorte qu'elle filme les deux élèves ;
- pousser les deux élèves de la même façon de telle sorte qu'ils restent toujours côte à côte et filmer leurs mouvements avec les deux caméras ;
- analyser les vidéos et montrer que le deuxième élève est immobile dans un référentiel et en mouvement dans l'autre.

REMARQUE : Il est possible de réaliser le protocole expérimental proposé lors du prochain TP.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Modélisation d'interactions

Commentaires

Cette deuxième activité expérimentale introduit la notion d'interaction, d'action mécanique et leur modélisation à partir de l'exemple du mouvement de la sonde spatiale Voyager. Puis elle permet d'étudier, toujours de façon expérimentale, les effets d'une force s'exerçant sur un corps avant de faire travailler aux élèves la compétence « Communiquer (à l'oral) » en leur demandant de présenter à l'ensemble de la classe une des expériences réalisées.

Réponses

1. ANALYSER

Voici quelques exemples d'expériences mettant en jeu des interactions entre différents objets présents dans une salle :

- une trousse posée sur une table ;
- une chaise poussée par un élève ; etc.

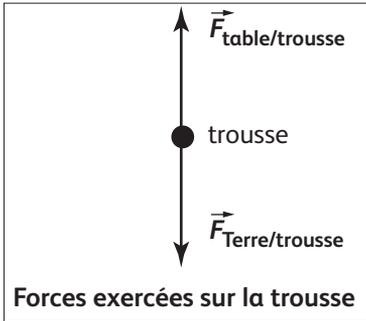
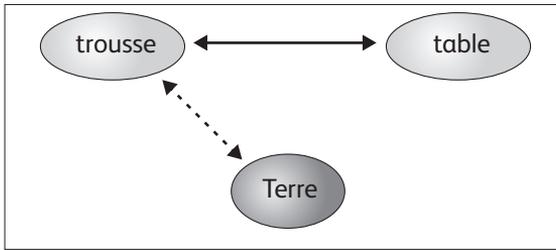
REMARQUE : Pour les élèves, il n'est pas forcément évident de considérer les êtres humains (ou la Terre) comme des objets. Il est donc important ici de bien expliquer le sens du mot « objet » en physique et dire qu'on peut utiliser également le mot « corps ».

2. RÉALISER

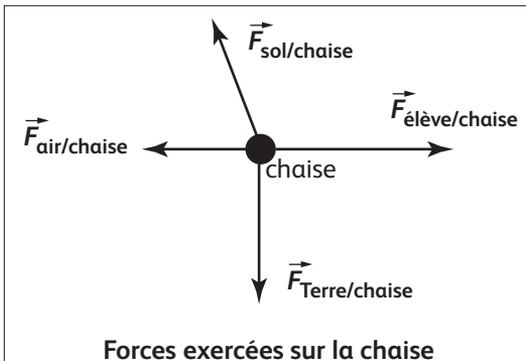
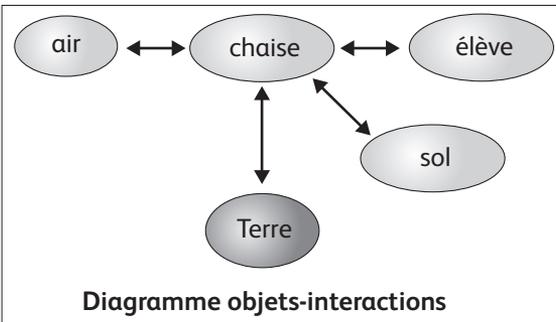
Réalisation des expériences proposées précédemment.

3. VALIDER

a. Si on s'intéresse à une trousse posée sur une table :



Si on s'intéresse à une chaise poussée par un élève :



b. En effectuant d'autres expériences permettant de modifier un paramètre à la fois (comme la masse de l'objet ou la valeur d'une des forces exercées sur l'objet), on peut conclure que :

- il y a modification du mouvement d'un corps lorsqu'une force s'exerce sur lui ;
- la modification du mouvement du corps est d'autant plus importante que la masse du corps est faible.

4. COMMUNIQUER

La communication orale s'effectue par groupes et chaque élève de ce groupe peut présenter une partie de l'exposé, comme par exemple :

- présentation de l'expérience étudiée et réalisation de l'expérience ;
- présentation des interactions en jeu dans cette expérience ;
- modélisation de ces interactions en forces ;
- réponse à la question « quels sont les effets d'une force s'exerçant sur un corps ? » en s'appuyant éventuellement sur d'autres expériences ;
- réponse à la question « les effets d'une force s'exerçant sur un corps dépendent-ils de la masse de ce corps ? » en s'appuyant éventuellement sur d'autres expériences.

EXERCICES Appliquer le cours

I Relativité du mouvement (§1 du cours)

14. Identifier un référentiel

Thalès pense que la Terre est immobile, il décrit donc le mouvement des étoiles dans le référentiel terrestre.

15. Définir un référentiel

Titan est un satellite de Saturne. Il décrit un mouvement pratiquement circulaire dans le référentiel saturno-centrique.

16. Étudier des trajectoires

- Les trajectoires des trois astres dessinées par Tamila sont représentées dans le référentiel héliocentrique étant donné que le Soleil est immobile.
- La trajectoire dessinée en bleu est un cercle, elle correspond en première approximation à la trajectoire de la Terre dans le référentiel héliocentrique.
- La trajectoire dessinée en rouge est la trajectoire de la Lune dans le référentiel héliocentrique.
- La trajectoire de la Lune dans le référentiel géocentrique est un cercle.
- La trajectoire du Soleil dans le référentiel géocentrique est un cercle.

17. Calculer la valeur d'une vitesse moyenne

a. La valeur de la vitesse moyenne de la fusée dans le référentiel terrestre est égale à : $v_m = \frac{d}{\Delta t}$.

APPLICATION NUMÉRIQUE : $v_m = \frac{120}{6} = 2 \times 10^1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

b. La valeur de la vitesse moyenne de la fusée dans le référentiel lié à l'astronaute, assis dans la fusée, est nulle.

18. Déterminer une trajectoire

a. La Lune présente toujours la même face à la Terre. Cela signifie que depuis la face de la Lune visible depuis la Terre, la Terre semble ne pas se déplacer. Le centre de la Terre est donc immobile dans le référentiel lunaire.

b. La Terre tournant sur elle-même en 24 h, un point de l'équateur décrit une trajectoire circulaire. Il effectue un tour complet en 24 h.

REMARQUE : de la Lune, cette trajectoire circulaire dans le référentiel lunaire sera vue sous un angle qui dépend des positions relatives des deux astres. En général, l'observation donnerait une demi-ellipse. Encore faut-il que l'observateur soit du bon côté de la Lune !

19. Utiliser les unités du SI

La valeur de la vitesse moyenne des astronautes dans l'espace est égale à : $v_m = \frac{d}{\Delta t}$.

APPLICATIONS NUMERIQUES :

$$v_m = \frac{100}{30} = 3,3 \text{ km} \cdot \text{min}^{-1}$$

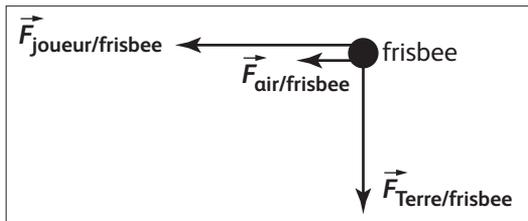
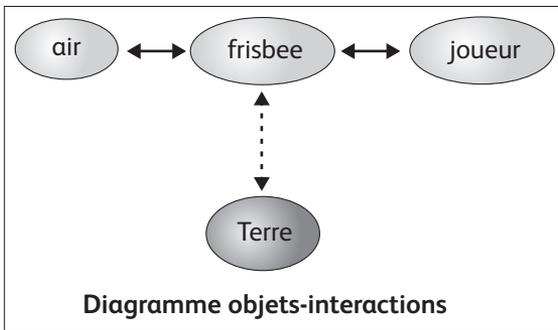
$$v_m = 3,3 \times 60 = 2,0 \times 10^1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$v_m = \frac{2,0 \times 10^1}{3,6} = 56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Les forces (§2 du cours)

20. Nommer des forces

Les forces exercées sur un frisbee lorsqu'il est attrapé par un joueur sont les suivantes :



21. Construire un diagramme objets-interactions

a. Quand une sonde spatiale voyage dans le système solaire, elle n'est soumise qu'à l'attraction gravitationnelle du Soleil, le diagramme objets-interactions correspondant est le suivant :



Dans le système solaire, lorsque qu'une sonde spatiale se rapproche d'une planète, l'attraction gravitationnelle de la planète s'ajoute à celle du Soleil :



b. Quand une sonde spatiale s'approche d'une planète, il y a une force supplémentaire (la modélisation de l'action mécanique exercée par la planète sur la sonde), qui s'exerce sur la sonde. Cela explique la modification du mouvement de la sonde.

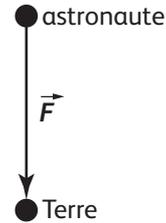
22. Représenter un vecteur force

La Terre exerce une force de valeur $F = 8,6 \times 10^2 \text{ N}$ sur un astronaute.

Avec l'échelle 1,0 cm pour $2,0 \times 10^2 \text{ N}$, cette force est

représentée par un vecteur de longueur

$$\frac{1 \times (8,6 \times 10^6)}{2,0 \times 10^2} = 4,3 \text{ cm} :$$



23. Comprendre l'influence de la masse

Lors d'une mission spatiale loin de tout astre attracteur, les mêmes forces de propulsion sont exercées sur deux sondes de masse différente se déplaçant initialement à la même vitesse.

Étant donné que leurs masses sont différentes, les effets d'une même force de propulsion sont différents : les deux sondes ne continueront donc pas à se déplacer à la même vitesse.

EXERCICES S'entraîner

25. Accident spatial

> COMPÉTENCE : Analyser.

a. Lorsque Ryan Stone est amarrée au bras télécommandé de la navette, les forces qui s'exercent sur elle sont :

- la force exercée par le bras télécommandé ;
- la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre.

b. Lorsque Ryan Stone se dirige vers l'ISS, les forces qui s'exercent sur elle sont :

- la force exercée par le câble ;
- la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre.

c. Les forces exercées sur Ryan Stone ne dépendent pas du référentiel choisi.

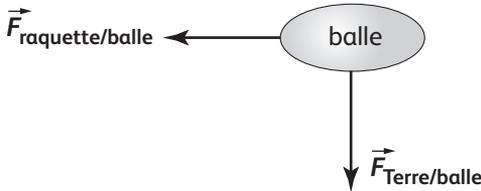
26. Tennis et forces

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

a. Lorsque Tsonga sert, les forces exercées sur la balle de tennis sont :

– la force exercée par la Terre sur la balle de tennis $\vec{F}_{\text{Terre/balle}}$ (appelée aussi en première approximation le poids de la balle de tennis) ;

– la force exercée par le tamis de la raquette sur la balle $\vec{F}_{\text{raquette/balle}}$.



Forces exercées sur la balle de tennis

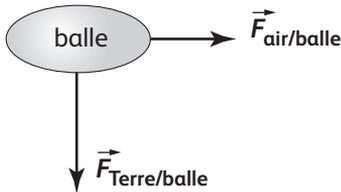
b. Lorsque la balle servie par Tsonga se trouve au-dessus du filet, les forces exercées sur la balle de tennis sont :

– la force exercée par la Terre sur la balle de tennis

$\vec{F}_{\text{Terre/balle}}$;

– la force de frottements exercée par l'air sur la balle

$\vec{F}_{\text{air/balle}}$.



Forces exercées sur la balle de tennis

c. Lorsque Tsonga sert, la valeur de la force exercée par la raquette de Tsonga sur la balle est égale à la valeur de la force exercée par la balle sur la raquette de Tsonga.

d. Lorsque Tsonga sert, c'est la balle qui se déplace dans le référentiel terrestre et très peu Tsonga car la masse de la balle est beaucoup plus faible que la masse de Tsonga.

27. Satellite Météosat

> COMPÉTENCE : Analyser.

a. Dans le référentiel terrestre, le satellite Météosat, géostationnaire, est immobile.

b. Dans le référentiel géocentrique, la trajectoire de ce satellite est circulaire.

28. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser, valider.

a. L'énoncé indique la vitesse de la Terre par rapport au Soleil. La vitesse est donc mesurée dans le référentiel héliocentrique.

b. La distance d parcourue par la Terre dépend de la durée du parcours ($\Delta t = 1$ an) et de sa vitesse moyenne

$$V_m : d = V_m \times \Delta t.$$

La vitesse est donnée en $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$. Il faut donc exprimer la durée Δt en secondes.

$$d = 29,9 \times (1 \times 365,25 \times 86\,400) = 943\,572\,240 \text{ km.}$$

La vitesse est donnée avec trois chiffres significatifs. Il ne faut garder que trois chiffres significatifs dans le résultat final : $d = 9,44 \times 10^8 \text{ km.}$

c. La distance d parcourue par la Terre en un an correspond au périmètre du cercle représentant la trajectoire de la Terre dans le référentiel héliocentrique (le rayon R de ce cercle correspondant à la distance Terre-Soleil).

$$\text{Ainsi : } d = 2\pi R \text{ et } R = \frac{d}{2\pi} = \frac{9,44 \times 10^8}{2\pi} = 1,50 \times 10^8 \text{ km.}$$

d. Le rabat de la couverture indique :

$1 \text{ UA} = 1,4959787061 \times 10^{11} \text{ m.}$ En exprimant ce résultat en km et en ne gardant que trois chiffres significatifs, on trouve le même résultat que dans la question précédente.

29. Forces exercées sur une sonde

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser.

a. Si le segment fléché qui représente le vecteur \vec{F}_1 de valeur F_1 , a une longueur de 1,5 cm :

$$1,5 \text{ cm} \rightarrow 900 \text{ N}$$

$$1,0 \text{ cm} \rightarrow x = \frac{900 \times 1}{1,5} = 600 \text{ N}$$

L'échelle de représentation est 1 cm pour 600 N.

b. Le segment fléché qui représente le vecteur \vec{F}_2 a une longueur de 1,0 cm, ce qui représente pour la force une valeur $F_2 = 1,0 \times 600 = 600 \text{ N.}$

30. In English Please

> COMPÉTENCES : Restituer, s'approprier, réaliser.

La valeur de la vitesse moyenne de la sonde spatiale Voyager 1 dans le référentiel héliocentrique depuis son lancement en 1977 est égale à : $v_m = \frac{d}{\Delta t}$.

$$\text{APPLICATION NUMÉRIQUE : } v_m = \frac{19 \times 10^9}{36 \times 365 \times 24} = 6,0 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}.$$

(1 billion se traduit par 1 milliard en français.)

31. Entraînement des astronautes

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

a. Les forces qui s'exercent sur l'astronaute utilisant le tabouret tournant sont :

– la force exercée par la Terre sur l'astronaute $\vec{F}_{\text{Terre/astronaute}}$ (appelée aussi en première approximation le poids de l'astronaute) ;

– la force exercée par la chaise tournante sur l'astronaute $\vec{F}_{\text{chaise/astronaute}}$;

– la force de frottements exercée par l'air sur l'astronaute $\vec{F}_{\text{air/astronaute}}$.

b. La « force » centrifuge n'est pas une force car ce n'est pas la modélisation d'une action mécanique.

32. ✪ Assistance gravitationnelle

> COMPÉTENCES : Restituer, valider, communiquer.

Si la vitesse d'une sonde spatiale est modifiée par assistance gravitationnelle, la vitesse de la planète à l'origine de cette assistance gravitationnelle est elle aussi modifiée.

En effet, il y a une interaction gravitationnelle entre la sonde spatiale et la planète, et la force exercée par la sonde spatiale sur la planète modifie le mouvement de la planète. Cependant cette modification est extrêmement faible car la masse de la planète est très grande et car les effets d'une force exercée sur un corps sont d'autant plus faibles que la masse de ce corps est grande.

33. ✪✪ Propulsion d'une fusée

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, analyser, communiquer.

a. La force exercée par les gaz sur la fusée a une direction verticale et un sens vers le haut.

b. La force exercée par la fusée sur les gaz a une direction verticale et un sens vers le bas.

c. La valeur de la force exercée par les gaz sur la fusée est égale à la valeur de la force exercée par la fusée sur les gaz.

d. Dans le référentiel terrestre, la valeur de la vitesse des gaz est supérieure à la valeur de la vitesse de la fusée car la masse des gaz est beaucoup plus faible que la masse de la fusée et les effets d'une force exercée sur un corps sont d'autant plus grands que la masse du corps est faible.

34. ✪✪ Mouvements de Mars

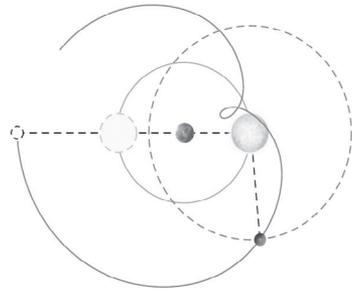
> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, valider.

1. Puisque la Terre et Mars décrivent des mouvements circulaires centrés sur le centre du Soleil, les distances Soleil-Terre et Soleil-Mars sont constantes et égales aux rayons respectifs des orbites.

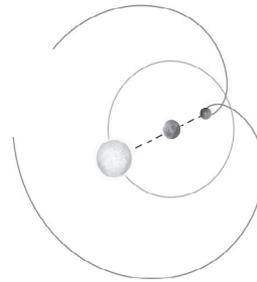
Au contraire, la distance Terre-Mars varie car les vitesses des planètes sont différentes : quand la Terre a fait un tour autour du Soleil, elle est revenue à la même position dans le référentiel héliocentrique alors que Mars n'a fait qu'un peu plus d'un demi-tour.

2.a. Pour retrouver la position de Mars, il faut commencer par placer le Soleil à sa nouvelle position. Puisqu'il a effectué un demi-tour, il est diamétralement opposé à sa position initiale.

À l'aide d'un compas, on mesure la distance Soleil-Mars, puis on trace un arc de cercle en prenant la nouvelle position du Soleil comme centre. Cet arc de cercle coupe la trajectoire de Mars en deux points. On sait que Mars a effectué un peu plus du quart de sa trajectoire, ce qui permet d'éliminer le point supérieur pour ne garder que celui qui est en dessous.



- b. Non, puisque la distance Soleil-Mars reste constante.
c. En utilisant la même méthode qu'au 2.a. mais en commençant par placer Mars au plus proche de la Terre, le compas permet de déterminer la place du Soleil : Mars, la Terre et le Soleil sont alors alignés.



35. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✪✪ Pluton : une planète ?

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, analyser, valider, communiquer.

Réponses aux questions préliminaires

a. Les premiers astronomes ont compté sept planètes : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, le Soleil et la Lune.

b. Les premiers astronomes ne considéraient pas que la Terre était une planète car ils pensaient qu'elle était immobile au centre de l'Univers : ce n'était donc pas un astre errant.

c. Les astronomes comptent huit planètes depuis le 24 août 2006 : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune.

d. La planète Neptune a été découverte en 1846 indépendamment par l'astronome allemand Johann Gottfried Galle et par les astronomes français et anglais Urbain Le Verrier et John Couch Adams qui avaient prévu par calcul la région de l'espace où on pourrait la trouver. Elle a été découverte beaucoup plus tardivement que Mars par exemple car cette planète n'est pas visible à l'œil nu : elle nécessite l'utilisation d'un télescope (dans lequel elle apparaît comme un disque bleu-vert).

e. Les astronomes modernes ne considèrent plus le Soleil comme une planète car c'est une étoile qui produit sa propre lumière (on dit que c'est une source de lumière primaire). Or, les astronomes appellent planètes aujourd'hui uniquement des astres qui ne produisent pas eux-mêmes leur lumière (on dit que ce sont des sources de lumières diffusantes).

De plus, les astronomes modernes ne considèrent plus non plus la Lune comme une planète car la Lune tourne autour de la Terre (c'est le satellite naturel de la Terre). Or, les astronomes appellent planètes aujourd'hui uniquement des astres tournant autour du Soleil.

f. Depuis le 24 août 2006, les astronomes ne considèrent plus Pluton comme une planète car elle est de trop petite taille (et de masse trop faible), de telle sorte qu'elle n'a pas éliminé tous les corps célestes susceptibles de se déplacer sur une trajectoire proche de la sienne. Elle appartient depuis cette date à la catégorie des planètes naines.

g. Certains Américains souhaitaient que Pluton garde son statut de planète car c'était la seule planète qu'un de leur compatriote avait découverte.

h. André Brahic est un astrophysicien né en 1942 à Paris. Il a découvert les anneaux de Neptune en 1984. C'est l'un des plus grands experts mondiaux de la formation du système solaire. Aujourd'hui astrophysicien au CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives), professeur à l'université de Paris VII depuis 1978 et directeur du laboratoire Gamma-gravitation, on lui doit des travaux sur la théorie du chaos, sur la dynamique des galaxies, sur les anneaux planétaires et aussi sur les supernovae. En 1990, l'astéroïde (3488) Brahic a été baptisé en son honneur.

Les réunions de la communauté scientifique ayant débouché sur les modifications du statut de Pluton et de la définition du mot « planète » ont eu lieu à Paris et comprenaient trois Américains, un Anglais, un Japonais et un Français (André Brahic). Les participants n'étaient pas du tout d'accord au départ sur la nouvelle définition à donner au mot « planète » mais ils ont finalement trouvé un compromis, notamment grâce à la bonne gastronomie française qui a amené chaque participant à se détendre et à écouter davantage les arguments de chacun.

i. Il est possible (et même fort probable) que les astronomes découvrent à l'avenir d'autres planètes naines dans notre système solaire car la technologie est de plus en plus performante et elle permet de détecter de plus en plus de corps célestes dont certains seront peut-être catalogués comme des planètes naines.

La réponse à ces questions préliminaires permet ensuite de réaliser facilement un poster décrivant l'évolution du mot « planète » au cours du temps.

36. 🌟🌟 Mouvements d'un point à la surface de la Terre

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, restituer, valider.

a. Le mouvement d'un point E de l'équateur dans ce référentiel est circulaire.

b. La valeur de la vitesse moyenne de ce point E dans le référentiel géocentrique est égale à :

$$v_m = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2\pi R}{\Delta t}$$

APPLICATION NUMÉRIQUE : $v_m = \frac{2\pi \times 6,38 \times 10^6}{24 \times 3\,600} = 4,6 \times 10^2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

($v_m = 464 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ avec 3 chiffres significatifs.)

c. Les deux points de la surface de la Terre immobiles dans le référentiel géocentrique sont les pôles Nord et Sud.

d. La valeur de la vitesse moyenne de ce point E dans le référentiel terrestre est nulle.

e. Le référentiel choisi a une influence sur la valeur de la vitesse du point E .

37. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

★ Décollage d'une fusée

> COMPÉTENCE : Analyser.

Le protocole expérimental permettant de faire une expérience analogue à celle du décollage d'une fusée peut être le suivant :

- remplir à moitié une bouteille d'un mélange d'eau et de jus de citron (acide) ;
- envelopper deux cuillères à soupe de bicarbonate de soude dans une serviette en papier ;
- mettre le bicarbonate de soude dans la bouteille posée sur le sol ;
- placer rapidement un bouchon de liège sur le goulot et reculer de quelques pas.

La transformation chimique entre le bicarbonate et l'eau acide produit alors du gaz (du dioxyde de carbone) dans la bouteille et le bouchon est éjecté dans les airs.

On peut comparer cette expérience au décollage d'une fusée. En effet, une fusée spatiale décolle car les gaz propulsés exercent une force vers le haut sur la fusée et le bouchon en liège est éjecté dans les airs car le gaz créé par la transformation chimique exerce une force vers le haut sur le bouchon. Les différences entre un bouchon de liège et une fusée sont cependant assez nombreuses. Par exemple :

- la masse : la fusée est beaucoup plus lourde que le bouchon ;
- la production des gaz, extérieure au bouchon de liège alors qu'ils sont émis par la fusée.

38. RÉOLUTION DE PROBLÈME

★ Vitesse moyenne de la Lune

> COMPÉTENCES : Analyser, restituer, réaliser.

Dans le référentiel géocentrique, la Lune tourne autour de la Terre à une distance moyenne :

$$d = 3,84 \times 10^5 \text{ km} = 3,84 \times 10^8 \text{ m}.$$

Elle effectue un tour complet pendant une durée $\Delta t = 27 \text{ j } 7 \text{ h } 43 \text{ min}$.

$$\Delta t = (27 \times 24 \times 60 \times 60) + (7 \times 60 \times 60) + (43 \times 60) = 2,4 \times 10^6 \text{ s}.$$

La valeur de la vitesse moyenne de la Lune dans le référentiel géocentrique vaut donc : $v_m = \frac{2\pi d}{\Delta t}$.

APPLICATION NUMÉRIQUE : $v_m = \frac{2\pi \times 3,84 \times 10^8}{2,4 \times 10^6} = 1,0 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

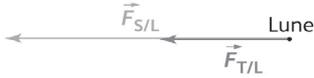
39. ⚡⚡ Forces exercées sur la Lune

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser.

a. Puisqu'on néglige les interactions avec les autres planètes, la Lune est en interaction avec la Terre et avec le Soleil.



b. Dans les trois cas, la longueur du segment fléché représentant la force exercée par le Soleil sur la Lune est 2,2 fois plus grande que celle représentant la force exercée par la Terre. À la pleine Lune, la Terre et le Soleil sont du même côté de la Lune.



Au premier quartier, l'énoncé indique que la Lune est au sommet d'un angle droit formé par les directions Terre-Lune et Soleil-Lune.



À la nouvelle lune, le Soleil et la Terre sont de part et d'autre de la Lune.



40. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

⚡⚡ Représentations de l'Univers

> COMPÉTENCES : Restituer, s'approprier, analyser, communiquer.

Si on pouvait observer Vénus en pleine nuit, Vénus serait à l'opposé du Soleil par rapport à la Terre. C'est ce qu'on peut observer dans la représentation grecque de l'Univers.

Or, les Égyptiens se sont aperçus très vite qu'on ne voit en réalité Vénus que le soir après le coucher du Soleil ou le matin avant son lever, mais jamais en pleine nuit. En effet, la trajectoire de Vénus étant située à l'intérieur de celle de la Terre, cette configuration est impossible. Vue depuis la Terre, la direction de Vénus s'écarte au maximum d'un angle α par rapport à celle du Soleil.

En faisant tourner Vénus et Mercure autour du Soleil, les Égyptiens ont donc bien représenté ce qu'ils ont observé, contrairement aux Grecs.

La gravitation universelle

> Manuel pages 232 à 247

Choix pédagogiques

Les élèves ont déjà étudié la gravitation comme une interaction attractive entre deux corps ayant une masse. Dans la première partie de ce chapitre, nous précisons la loi et les caractéristiques des forces d'attraction gravitationnelle. Le poids d'un objet est identifié à la force gravitationnelle exercée par la Terre sur cet objet.

Cette identification est inexacte en toute rigueur, mais les justifications sont trop complexes pour un élève de Seconde et ne sont pas au programme.

Nous avons ensuite repris des notions vues au collège sur la différence entre le poids et la masse ainsi que sur la comparaison entre poids terrestre et poids lunaire.

Dans le contexte de ce chapitre, nous avons également choisi de nous intéresser aux moyens spatiaux d'observation et d'étude de la Terre et de l'Univers.

OUVERTURE DE CHAPITRE

La station spatiale internationale (en anglais *International Space Station* ou *ISS*) en orbite autour de la Terre.

La gravitation universelle a-t-elle un effet sur le mouvement de la station spatiale internationale ?

La question posée a pour objectif de rappeler le contexte de l'étude de la gravitation faite en classe de troisième et de faire appel aux connaissances des élèves. Ce document permet également d'introduire le caractère universel de la gravitation, et de souligner que cette notion ne concerne pas uniquement les objets massifs tels que les astres et les satellites.

On peut aussi utiliser la photographie pour rappeler la présence humaine sur l'orbite terrestre et expliquer l'intérêt des missions de la station spatiale internationale.

La comète Ison, âgée de 4,5 milliards d'années, s'est désintégrée en s'approchant du Soleil en novembre 2013.

Quelles informations a pu nous apporter l'observation de la comète Ison avant sa destruction ?

Depuis sa découverte en septembre 2012 par des astronomes russes jusqu'à sa destruction par l'intensité des radiations du Soleil en novembre 2013, Ison a mobilisé la communauté astronomique car elle remonte aux origines du système solaire il y a 4,5 milliards d'années. Elle s'est échappée, il y a environ trois millions d'années, du nuage d'Oort, une sorte de « parking » de comètes aux confins du système solaire situé à mi-chemin entre le Soleil et la prochaine étoile. C'est donc une relique de la formation du système solaire, dont l'observation a été extrêmement intéressante, notamment car les planètes se sont formées avec des comètes qui ont notamment apporté l'eau.

Ison ayant été détectée très loin dans le système solaire avant sa destruction, les astronomes ont eu plus d'un an pour l'observer avec des instruments depuis le sol terrestre mais aussi depuis l'espace, ce qui leur a permis d'avoir une meilleure idée de la structure et de la composition des comètes.

Vidéo Débat : Astronautes confrontés à la faible pesanteur lunaire, extrait du documentaire *Ils ont marché sur la lune, 1969*.

Pourquoi les astronautes sautent-ils aussi facilement sur la Lune ?

La vidéo d'astronautes sur la Lune a pour objectif d'interroger les connaissances des élèves sur la différence entre poids terrestre et poids lunaire. Elle permet de faire le lien avec la partie correspondante du cours.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Newton et la gravitation

Commentaires

Dans le texte du document 1, Newton présente le concept de gravitation en développant le parallèle entre le mouvement de la Lune par rapport à la Terre et le mouvement d'un projectile au voisinage de celle-ci.

La difficulté du texte est liée à la fois au vocabulaire utilisé et aux tournures désuètes de certaines phrases. Toutefois, on y repère des termes qui ont conservé le même sens ou que les élèves, ayant déjà abordé la gravitation, peuvent interpréter (orbite, force de la gravité) : la démonstration de Newton, même si elle paraît difficile après une première lecture, devient intelligible avec une analyse guidée.

Ce texte, associé aux questions de la quatrième partie, permet de travailler avec les élèves autour de la problématique de l'évolution des idées en sciences.

Réponses

1. S'APPROPRIER

a. Les deux conditions qu'indique Newton pour que le projectile se déplace « en ligne droite dans les cieux avec un mouvement uniforme » sont les suivantes :

- le projectile n'est pas « animé par la force de la gravité », à traduire par : « il ne s'exerce pas de force de gravitation sur le projectile » ;
- « la résistance de l'air [est] nulle ».

b. S'il n'était pas soumis à la « force de gravité », la trajectoire du projectile serait une ligne droite et le projectile ne retomberait jamais sur le sol.

c. Si la Lune n'était pas soumise à la « force de sa gravité », elle irait en ligne droite : « il se peut faire que la Lune par la force de sa gravité [...] soit détournée à tout moment de la ligne droite ».

L'effet de cette force est de faire déplacer la Lune le long d'une courbe : son orbite autour de la Terre.

2. RESTITUER

a. Pour un projectile au voisinage de la Terre, la « force de la gravité » est appelée aujourd'hui le « poids du projectile ».

b. Lorsqu'on étudie le mouvement de la Lune autour de la Terre, on appelle la force exercée par la Terre sur la Lune la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur la Lune.

c. Cette « force de gravité » résulte de l'interaction gravitationnelle (à distance) entre la Terre et le projectile.

3. VALIDER

a. On dit que cette « force de gravité » est universelle. Cela signifie qu'elle s'exerce sur tous les objets ayant une masse (que cette masse soit grande ou petite).

b. D'après la légende, Newton aurait commencé à élaborer sa théorie sur le mouvement de la Lune après avoir reçu sur la tête une pomme tombée d'un arbre. En effet, il a compris que la force exercée par la Terre sur la pomme est le même type de force que la force exercée par la Terre sur la Lune.

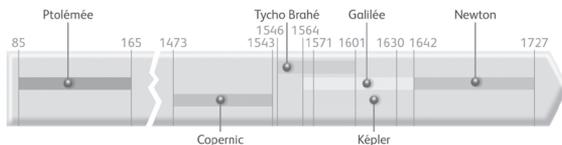
4. COMMUNIQUER

Nous avons fait le choix de limiter l'étude à quelques savants dont les théories et/ou les réalisations sont reconnues comme des étapes-clés dans l'évolution des idées en cosmologie. Nous n'envisageons pas de demander à des élèves de Seconde des développements importants sur les théories de Ptolémée et de Copernic, mais simplement qu'ils fassent apparaître les changements de point de vue. Une telle étude peut faire l'objet d'un travail interdisciplinaire avec le professeur d'Histoire.

Outre de nombreuses publications et le site proposé dans l'activité (<http://www.astrofiles.net>), il existe de nombreux autres sites qui peuvent permettre aux élèves de trouver les réponses aux questions de cette dernière partie, par exemple :

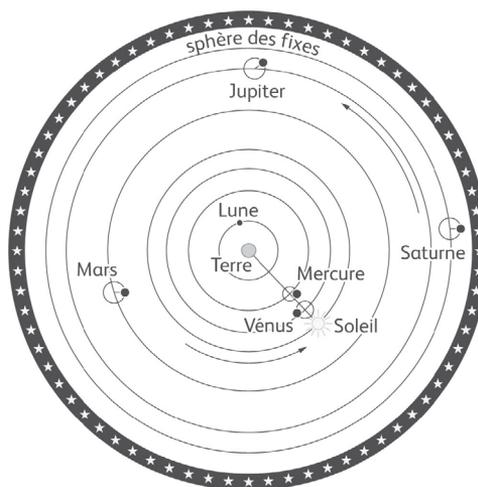
<http://www.palais-decouverte.fr/index.php?id=287> ou

<http://expositions.bnf.fr/ciel/index.htm>



Ptolémée	Copernic	Tycho Brahé	Galilée	Kepler	Newton
Grec d'Alexandrie	Polonais	Danois	Italien	Allemand	Anglais

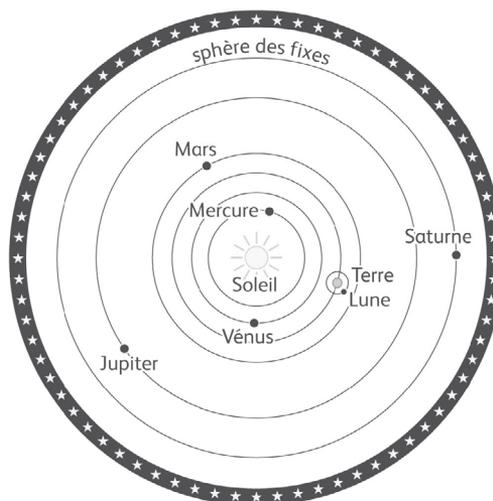
Système solaire de Ptolémée



Le système solaire de Ptolémée, qui a été accepté jusqu'au xvi^e siècle, est géocentrique : la Terre est le point central immobile de ce système. La Lune, Mercure, Vénus, le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne tournent autour de la Terre au sein de sphères solides.

Les étoiles appartiennent à la sphère des fixes qui tourne autour de la Terre en entraînant toutes les autres sphères.

Système solaire de Copernic



Dans le système de Copernic, la Terre tourne autour de son axe en un jour et tourne autour du Soleil en un an. Le système solaire de Copernic est donc héliocentrique : il a pour centre le Soleil, point immobile de ce système.

Les planètes (dont la Terre) tournent autour du Soleil sur des orbites circulaires. Du système de Ptolémée, Copernic a conservé la sphère des fixes (étoiles), et les sphères solides pour les planètes.

Le modèle de Copernic, contrairement à celui de Ptolémée, permet de rendre compte des mouvements célestes de façon satisfaisante et simple.

Observations de Tycho Brahé

Tycho Brahé fonde le premier observatoire européen à Uraniborg, d'où il fera des observations du ciel et obtiendra des mesures ayant une précision inégalée à son époque.

Il observe en 1572 l'apparition d'une nouvelle « étoile » (en réalité une supernova) et de cinq comètes. Ses mesures lui permettent de montrer que les comètes appartiennent au monde céleste et ne sont pas des phénomènes météorologiques comme on le croyait alors. Ses observations et ses mesures permettront à Kepler de découvrir le mouvement elliptique des planètes.

Travaux de Kepler

Kepler exploite les mesures et observations de Tycho Brahé et établit que les trajectoires des planètes ne sont pas des cercles comme l'avait imaginé Copernic, mais des ellipses dont le Soleil est l'un des foyers.

À travers trois lois (dites de Kepler), il donne les caractéristiques du mouvement des planètes et montre que leur déplacement sur leur orbite n'est pas uniforme.

Travaux de Galilée

Galilée a amélioré les lunettes astronomiques et réalisé de nombreuses observations de la Lune et de son relief, des phases de Vénus. Il a découvert des étoiles dans la Voie lactée, quatre satellites de Jupiter entraînés avec la planète dans son mouvement (comme la Lune autour de la Terre). Ses découvertes l'amènent à s'engager sur le modèle héliocentrique proposé par Copernic.

Apport de Newton à l'étude de l'astronomie

Newton a développé une théorie, la gravitation universelle. Les lois appelées « lois de Newton » sont l'expression mathématique de sa théorie. L'application de ces lois a ensuite permis d'expliquer et de justifier les données astronomiques nouvelles recueillies sur les planètes, les comètes et de faire des prévisions : retour de la comète de Halley, aplatissement de la Terre aux pôles, et même découverte de nouvelles planètes dans le système solaire. Ainsi, pour expliquer le mouvement d'Uranus, découvert en 1781 par W. Herschel, il était nécessaire d'imaginer un autre centre attracteur pour expliquer les petites perturbations par rapport au résultat donné par l'application des lois de Newton. C'est ainsi que fut découverte par Johann Galle en 1846 la dernière planète du système solaire, Neptune.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Mouvements sur Terre et dans l'espace

Commentaires

Cette deuxième activité permet de comparer le poids d'un même corps sur la Terre, dans la station spatiale internationale (ISS) et sur la Lune.

Elle permet également de faire une nouvelle fois la différence entre la masse et le poids en s'intéressant aux effets d'une différence de poids et/ou de masse sur le mouvement de différents objets.

Réponses

1. S'APPROPRIER

Les êtres humains ressentent une « impression de légèreté » sur la Lune car leur poids sur la Lune est plus faible que leur poids sur la Terre.

2. ANALYSER

Les mouvements dans l'ISS des deux balles en bois et en cuivre seront une ligne droite après que Pedro Duque a soufflé sur elles. Cependant leurs vitesses seront différentes car leurs masses sont différentes. Étant donné que la masse de la balle en cuivre est plus grande que celle de la balle en bois, la balle en bois aura une valeur de vitesse supérieure à celle de la balle en cuivre.

3. RÉALISER

Sur Terre comme dans l'ISS, la balle en bois a une valeur de vitesse supérieure à celle de la balle en cuivre.

4. VALIDER

a. Les mouvements des deux balles sont similaires sur Terre comme dans l'ISS car les masses des balles ne varient pas sur Terre ou dans l'ISS.

Cela valide donc l'hypothèse exprimée dans la question 2.

b. La phrase surlignée dans le document 1 est scientifiquement incorrecte. Il faudrait écrire :

« Un homme qui, sur Terre, avait un poids qui dépassait les 900 N, avait l'heureuse surprise d'avoir un poids d'uniquement 150 N sur la Lune. »

5. COMMUNIQUER

« L'impression de légèreté » ressentie par les êtres humains sur la Lune est due à la différence de leur poids sur Terre ou sur la Lune.

En revanche, dès lors qu'ils tournent ou lorsqu'ils s'arrêtent, ce n'est plus leur poids mais leur masse qui influe sur la valeur de la force à exercer pour modifier leur trajectoire. Or, leur masse reste la même sur Terre ou sur la Lune : cette « impression de légèreté » disparaît donc.

3. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Observer Titan

Commentaires

L'objectif de cette activité est double :

- montrer comment la force d'attraction gravitationnelle est utilisée lors de voyages interplanétaires, avec l'exemple de la sonde Cassini-Huygens ;
- s'informer des données scientifiques actuellement connues sur Titan et étudier des hypothèses publiées par des scientifiques sur l'atmosphère et les étendues liquides de Titan.

Après avoir étudié l'évolution des idées sur des références historiques avec l'activité 1, l'élève est ici témoin de l'élaboration en cours d'une interprétation scientifique.

Pour prolonger cette activité, il est possible d'étudier des extraits vidéo et audio qui explicitent le voyage d'une sonde spatiale et plus précisément celui de Cassini-Huygens.

Réponses

1. S'APPROPRIER

La sonde Cassini-Huygens a effectué deux tours autour du Soleil avant d'atteindre Saturne.

2. RESTITUER

a. On n'a pas utilisé les moteurs de la sonde pour suivre une trajectoire plus directe vers Saturne car le survol de plusieurs planètes et du Soleil permet de n'utiliser les moteurs que pendant des durées très courtes (on économise ainsi de l'énergie à la fois pendant le voyage et au moment du lancement et la durée de vie des sondes peut être ainsi beaucoup plus longue).

b. C'est l'interaction gravitationnelle entre une planète et la sonde spatiale qui provoque les modifications de trajectoire de la sonde.

La valeur de la force exercée par la planète sur la sonde dépend de la distance d entre le centre de la planète et la sonde spatiale : $F = G \frac{m_{\text{sonde}} \cdot m_{\text{planète}}}{d^2}$. Quand la sonde se rapproche de la planète, la distance d diminue et la valeur de la force F augmente rapidement, comme l'inverse de d^2 . Ainsi, cette interaction gravitationnelle se manifeste (et n'est pas négligeable) surtout lorsque la sonde est proche de la planète.

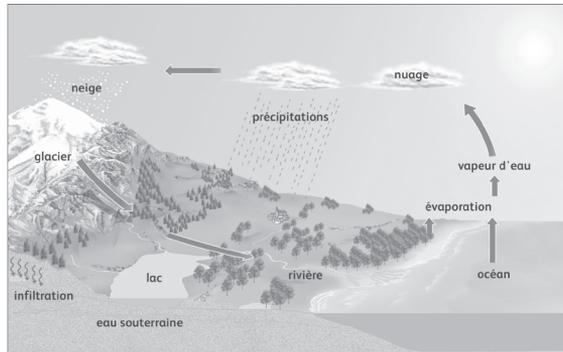
3. ANALYSER

Pour comprendre les caractéristiques de Titan, des chercheurs ont proposé dans la revue *Nature* une hypothèse : il existerait un cycle du méthane sur Titan. L'espèce chimique qui joue ce rôle sur la Terre est l'eau.

Différences et similitudes entre Titan et la Terre :

- Sur Titan, on trouve du méthane sous la forme de gaz dans son atmosphère et à l'état liquide dans les lacs. Il forme des nuages, des précipitations. On a ainsi un cycle entre le méthane gazeux de l'atmosphère et le méthane liquide des lacs par l'évaporation et la condensation (nuages et précipitations).

- Sur Terre, le cycle de l'eau est comparable à celui du méthane sur Titan : le stockage d'eau se fait dans l'atmosphère, dans les lacs et océans et dans la glace et la neige, et les transferts se font par évaporation et précipitations.



On trouve aussi des différences entre le cycle du méthane sur Titan et le cycle de l'eau sur Terre :

- on n'a pas trouvé de méthane à l'état solide à la surface de Titan ;
- sur Titan, une partie du méthane se transforme chimiquement pour donner de nouveaux composés organiques (dont de l'éthane). Il en disparaît donc au cours du cycle. De plus, les scientifiques font l'hypothèse qu'il y a des émissions de méthane d'origine volcanique dans l'atmosphère de Titan.

4. COMMUNIQUER

Cartes d'identités comparées de Titan (données trouvées sur Wikipedia) et de la Terre (données du rabat du manuel) :

	Titan	Terre	Rapport
Masse	$1,34 \times 10^{23}$ kg	$5,97 \times 10^{24}$ kg	$\frac{m_{\text{Terre}}}{m_{\text{Titan}}} \approx 45$
Diamètre	$15,15 \times 10^3$ km	$1,28 \times 10^4$ km	$\frac{D_{\text{Terre}}}{D_{\text{Titan}}} \approx 2,5$
Rayon de l'orbite	Autour de Saturne $1,2 \times 10^6$ km	Autour du Soleil 150×10^6 km	$\frac{R_{\text{Terre-Soleil}}}{R_{\text{Titan-Saturne}}} \approx 125$
Période T	≈ 16 jours	365 jours	$\frac{T_{\text{Terre}}}{T_{\text{Titan}}} \approx 23$
Intensité de la pesanteur à la surface	$1,4 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$	$9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\frac{g_{\text{Terre}}}{g_{\text{Titan}}} \approx 7$

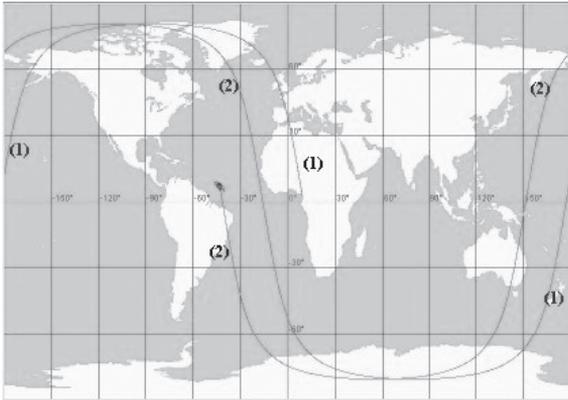
REMARQUE : d'après le site <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/4352-titan-un-an-plus-tard.php>, l'atmosphère de Titan est composée de diazote (95 %), de méthane (1,5 % à 5 % selon l'altitude) et de traces de nombreux autres composés organiques comme l'éthane (mais pas de dioxygène comme sur Terre).

EXERCICES Appliquer le cours

I Observation de la Terre et de l'Univers (§1 du cours)

14. Dessiner une trajectoire

a. Le dessin demandé se fait en utilisant les figures (a) et (b) et en reportant sur la carte du monde les points de passage du satellite. Il correspond à la ligne (1) ci-dessous :



b. Un satellite NOAA ne survole pas toujours les mêmes régions de la Terre lors de ses rotations successives. En effet, pendant que le satellite fait une révolution autour de la Terre, celle-ci tourne autour de son axe d'Ouest en Est : la deuxième trace est donc décalée vers l'Ouest par rapport à la première (voir à la ligne (2) ci-dessus représentant la trace du satellite sur le sol au cours de la révolution suivante).

REMARQUES :

– Le logiciel Solstice (téléchargeable à l'adresse : <http://eduscol.education.fr/orbito/orb/logiciel/logi11.htm>) permet de simuler la trajectoire du satellite NOAA 16 même si, selon l'heure et le jour, la simulation ne reproduit pas exactement le passage décrit précédemment. Sur l'écran, on peut trouver la valeur de la période de révolution du satellite et son altitude au-dessus de la Terre.
– Les images satellitaires de Meteosat (satellite géostationnaire) et de NOAA sont disponibles sur le site : <http://www.meteo-paris.com/france/suivi-nuages.html>.

I Gravitation universelle (§2 du cours)

15. Utiliser une relation littérale

La valeur F de la force d'attraction gravitationnelle entre une comète et une planète distantes de d :

- diminue si la masse de la comète diminue alors que la masse de la planète et la distance d ne sont pas modifiées ;
- diminue si la distance d augmente alors que les masses de la comète et de la planète ne sont pas modifiées.

16. Déterminer les caractéristiques d'une force

La valeur de la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite TerreStar-1 est égale à :

$$F = G \frac{m_{\text{TerreStar}} \times M_T}{(M_T + h)^2}$$

APPLICATION NUMÉRIQUE :

$$F = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{6,99 \times 10^3 \times 6,0 \cdot 10^{24}}{(6,38 \times 10^6 + 36\,000 \times 10^3)^2} = 1,6 \times 10^3 \text{ N.}$$

La valeur de la force d'interaction gravitationnelle exercée par le satellite TerreStar-1 sur la Terre est égale à la valeur de la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite TerreStar-1. Elle vaut donc : $1,6 \times 10^3 \text{ N}$.

Ces deux forces d'interaction gravitationnelle ont pour :

- direction : la droite reliant le centre de la Terre au centre du satellite ;
- sens : vers le satellite pour la force d'interaction gravitationnelle exercée par le satellite TerreStar-1 sur la Terre ; vers la Terre pour la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite ;
- point d'application : la Terre pour la force d'interaction gravitationnelle exercée par le satellite TerreStar-1 sur la Terre ; le satellite pour la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite.

I Poids et force d'attraction gravitationnelle

(§3 du cours)

17. Utiliser les unités du système international

a. La valeur du poids d'un javelot est égale à : $P = m \times g$.

APPLICATION NUMÉRIQUE : $P = 0,800 \times 9,81 = 7,85 \text{ N}$.

b. La valeur du poids du toit du stade de France est égale à : $P = m \times g$

APPLICATION NUMÉRIQUE :

$$P = 13\,000 \times 10^3 \times 9,81 = 1,28 \times 10^8 \text{ N.}$$

18. Définir le poids d'un corps

a. En première approximation, le poids d'une fusée sur Terre correspond à la force exercée par la Terre sur la fusée.

b. La valeur du poids d'une fusée diminue lors de son décollage car sa masse m diminue et car la valeur du poids est égale à $P = m \times g$ (avec la valeur de l'intensité de pesanteur g que l'on peut considérer comme constante lors du décollage).

19. Distinguer poids et masse

a. La masse de la combinaison spatiale à la surface de la Lune est égale à 106,5 kg car la masse d'un objet ne varie pas suivant sa position.

b. La valeur du poids P de la combinaison spatiale à la surface de la Lune est égale à : $P = m \times g_L$ avec g_L la valeur de l'intensité de pesanteur à la surface de la Lune.

APPLICATION NUMÉRIQUE : $P = 106,5 \times 1,6 = 1,7 \times 10^2 \text{ N}$.

c. La combinaison spatiale était plus facile à porter à la surface de la Lune qu'à la surface de la Terre car son poids était plus faible.

20. Comparer les valeurs de plusieurs forces

a. L'expression littérale de la valeur des forces gravitationnelles s'exerçant entre les deux spationautes est : $G \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$ avec G la constante de gravitation universelle, m_1 et m_2 les masses des deux spationautes et d la distance séparant les deux spationautes.

APPLICATION NUMÉRIQUE :

$$F = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{80 \times 80}{1^2} = 4,2 \times 10^{-7} \text{ N.}$$

b. L'expression littérale de la valeur du poids de chaque spationaute sur Terre est : $P = m_1 \times g = m_2 \times g$ (car $m_1 = m_2$)

APPLICATION NUMÉRIQUE : $P = 80 \times 9,8 = 7,8 \times 10^2 \text{ N.}$

c. La valeur des forces gravitationnelles calculées dans la question a. est très faible par rapport à la valeur du poids des spationautes, c'est pourquoi on considère toujours que les forces gravitationnelles s'exerçant entre les deux spationautes sont négligeables devant leur poids.

22. Attraction terrestre

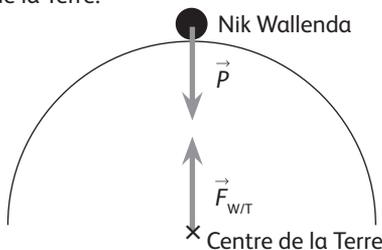
> COMPÉTENCES : Réaliser, restituer, valider.

a. La valeur du poids de Nik Wallenda est égale à : $P = m \times g$

APPLICATION NUMÉRIQUE : $P = 75 \times 9,8 = 7,4 \times 10^2 \text{ N.}$

En utilisant l'échelle $1 \text{ cm} \Leftrightarrow 3,7 \times 10^2 \text{ N}$, on représente le poids \vec{P} de Nik Wallenda par un vecteur de 2 cm, vertical vers le bas, et ayant comme point d'application un point modélisant le funambule (comme sur le schéma de la question b.).

b. La force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}_{\text{W/T}}$ exercée par Nik Wallenda sur la Terre a, en première approximation, la même valeur, la même direction, et un sens opposé au poids de Nik Wallenda. Son point d'application est le centre de la Terre.



c. Le funambule subit davantage cette interaction gravitationnelle que la Terre car sa masse est plus faible que celle de la Terre.

23. Force d'attraction gravitationnelle exercée par le Soleil

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, réaliser.

a. La valeur de la force $\vec{F}_{\text{S/T}}$ s'écrit en fonction de la masse M_s du Soleil, de la masse M_T de la Terre et de la distance d entre le centre du Soleil et le centre de la Terre :

$$F_{\text{S/T}} = G \frac{M_s \times M_T}{d^2}.$$

b. D'après le tableau du rabat I du manuel :

$$M_s = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$d = 149,6 \times 10^9 \text{ m}$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ SI}$$

Ainsi la valeur de la force $\vec{F}_{\text{S/T}}$ vaut :

$$F_{\text{S/T}} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,99 \times 10^{30} \times 5,67 \times 10^{24}}{(149,6 \times 10^9)^2} = 3,36 \times 10^{22} \text{ N}$$

c. La masse d'un objet situé à la surface de la Terre qui exercerait une attraction gravitationnelle de même valeur que $\vec{F}_{\text{S/T}}$ vaudrait : $m = \frac{P}{g} = \frac{F_{\text{S/T}}}{g}$ (en première approximation, $P = F_{\text{S/T}}$).

APPLICATION NUMÉRIQUE :

$$m = \frac{3,36 \times 10^{22}}{9,8} = 3,4 \times 10^{21} \text{ kg.}$$

Cette masse est plus de 100 millions de fois plus faible que la masse du Soleil car cet objet est beaucoup plus proche du centre de la Terre que le Soleil.

24. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

a. L'intensité de pesanteur g à la surface de Ganymède vaut : $g = \frac{M}{R^2}$.

APPLICATION NUMÉRIQUE :

$$g = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,48 \times 10^{23}}{(2\,634 \times 10^3)^2} = 1,42 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

(Le résultat est donné avec trois chiffres significatifs car la donnée la moins précise est exprimée avec trois chiffres significatifs.)

b. La valeur du poids d'un corps de masse $m = 10,0 \text{ kg}$ à la surface de Ganymède est égale à : $P_G = m \times g$.

APPLICATION NUMÉRIQUE : $P_G = 10,0 \times 1,42 = 14,2 \text{ N}$

(Le résultat est donné avec trois chiffres significatifs car la donnée la moins précise est exprimée avec trois chiffres significatifs.)

c. À la surface de la Terre, la valeur de son poids est : $P = m \times g = 10,0 \times 9,8 = 98 \text{ N.}$

La valeur de son poids est donc différente à la surface de la Terre et à la surface de Ganymède.

25. Sonde spatiale Rosetta

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser.

a. L'intérêt scientifique de la mission Rosetta est d'étudier la composition de la comète. En effet, sa composition est la même que celle du système solaire à ses débuts. Cela permet de comprendre l'origine et l'évolution du système solaire.

b. L'âge du système solaire est de 4 600 millions d'années.

c. Avant d'approcher la comète, la sonde a fait quatre fois le tour du Soleil.

d. La sonde s'est mise en orbite autour du noyau de la comète et a envoyé un atterrisseur se poser sur son noyau.

26. In English Please

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

Lors de leur voyage vers la Lune, le capitaine Haddock et Milou flottent dans la fusée spatiale. En effet, ils se déplacent à la même vitesse que la fusée qui est leur seul repère dans l'espace.

27. ⚡ Attraction gravitationnelle exercée par Jupiter

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, analyser, réaliser.

a. Comparaison des masses

Sur le rabat, on lit : masse de Jupiter, $M_J = 1,90 \times 10^3 \times 10^{24}$ kg. On retrouve bien la valeur indiquée dans le texte : $M_J = 1,9 \times 10^{27}$ kg.

La masse de Jupiter est-elle égale à 318 fois la masse de la Terre, notée M_T ?

$M_T = 5,97 \times 10^{24}$ kg, et donc : $318 M_T = 318 \times 5,97 \times 10^{24} = 1,90 \times 10^{27}$ kg.

On retrouve bien $M_J = 318 M_T$.

Comparaison des volumes

Calculons le volume V_J de Jupiter, planète de rayon R_J :

$$R_J = \frac{142\,984}{2} = 71\,492 \text{ km.}$$

Volume de Jupiter : $V_J = \left(\frac{4}{3}\right) \pi R_J^3$, avec R_J en m.

APPLICATION NUMÉRIQUE : $V_J = \left(\frac{4}{3}\right) \pi \times (71\,492 \times 10^3)^3$.

Calculons le volume V_T de la Terre de rayon $R_T = 6,38 \times 10^6$ m.

Volume de la Terre : $V_T = \left(\frac{4}{3}\right) \pi R_T^3$.

APPLICATION NUMÉRIQUE : $V_T = \left(\frac{4}{3}\right) \pi \times (6,38 \times 10^6)^3$.

Calculons le rapport : $\left(\frac{V_J}{V_T}\right) = \left(\frac{71\,492 \times 10^3}{6,38 \times 10^6}\right)^3 = 1\,400$

On obtient $V_J = 1\,400 V_T$. Ce résultat est en accord avec l'indication : « elle (Jupiter) pourrait contenir un bon millier de Terre ».

b. La valeur de la force d'attraction exercée par Jupiter sur un corps de masse m placé à sa surface (donc à une distance R_J de son centre) est : $F = G \frac{m \times M_J}{R_J^2}$ avec $m = 1$ kg.

APPLICATION NUMÉRIQUE :

$$F_{S/T} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,9 \times 10^{27} \times 1}{(71\,492 \times 10^3)^2} = 2 \times 10^1 \text{ N.}$$

28. ⚡ Titan, un satellite de Saturne

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, réaliser.

a. La valeur F des forces d'interaction gravitationnelle s'exerçant entre Titan et Saturne est égale à :

$$F = G \frac{M_T \times M_S}{D_{S-T}^2}$$

APPLICATION NUMÉRIQUE :

$$F = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,31 \times 10^{23} \times 568 \times 10^{24}}{(1,2 \times 10^9)^2} = 3,45 \times 10^{21} \text{ N.}$$

b. La force d'interaction gravitationnelle \vec{F}_1 exercée par Titan sur Saturne a :

– pour direction : la droite reliant le centre de Titan et le centre de Saturne ;

– pour sens : vers Titan ;

– pour point d'application : le centre de Saturne.

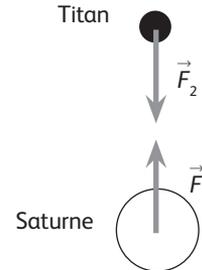
La force d'interaction gravitationnelle \vec{F}_2 exercée par Saturne sur Titan a :

– pour direction : la droite reliant le centre de Titan et le centre de Saturne ;

– pour sens : vers Saturne ;

– pour point d'application : le centre de Titan.

En utilisant l'échelle 1 cm \Leftrightarrow 3,45 \times 10²¹ N, on représente ces deux forces par des vecteurs de 1 cm, comme ci-dessous :



c. La valeur du poids d'un objet de masse $m = 5,00$ kg à la surface de Titan vaut, en première approximation :

$$P = G \frac{M_T \times M}{R_T^2}$$

APPLICATION NUMÉRIQUE :

$$F_{S/T} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,31 \times 10^{23} \times 5,00}{(2,58 \times 10^6)^2} = 6,56 \text{ N.}$$

d. La masse de ce corps à la surface de la Terre est : 5,00 kg.

e. La valeur du poids de ce corps à la surface de la Terre est égale à : $P = m \times g = 5,00 \times 9,8 = 49 \text{ N.}$

29. ⚡ Station spatiale internationale (ISS)

> COMPÉTENCES : Analyser, restituer, réaliser, valider, communiquer.

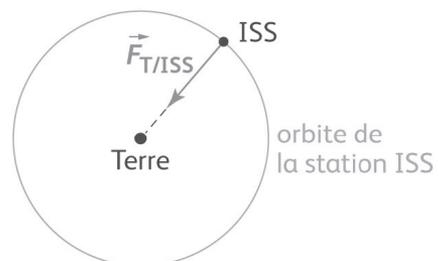
1.a. Dans le référentiel géocentrique, l'altitude de la station au-dessus de la Terre restant constante, la trajectoire est un cercle dont le centre est celui de la Terre.

b. $F_{T/ISS} = G \frac{m \times M}{R^2}$ avec m la masse de la station spatiale, M_T la masse de la Terre et R le rayon de l'orbite de la station.

APPLICATION NUMÉRIQUE :

$$F_{S/T} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{455 \times 10^3 \times 5,97 \times 10^{24}}{((6\,380 + 370) \times 10^3)^2} = 3,97 \times 10^6 \text{ N.}$$

c.



Pour connaître les missions de l'ISS, les conditions de vie, on peut consulter le site : <http://esamultimedia.esa.int/docs/isseducit/fr/html/t0106r1.html>.

Pour suivre en temps réel la position de la station spatiale, on peut consulter les sites :

<http://www.n2yo.com/?s=25544> et <http://science.nasa.gov/realtime/>.

d. L'expression littérale de la valeur $F_{T/\text{astronaute}}$ de la force gravitationnelle exercée par la Terre sur un astronaute, Pedro Duque, de masse $m = 80$ kg, présent dans l'ISS est : $F_{T/\text{astronaute}} = G \frac{m \times M_T}{R^2}$.

APPLICATION NUMÉRIQUE :

$$F_{T/\text{astronaute}} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{80 \times 5,97 \times 10^{24}}{((6\,380 + 370) \times 10^3)^2} = 7,0 \times 10^5 \text{ N.}$$

2. Dans l'ISS, l'astronaute Pedro Duque est en impesanteur car il flotte dans la station spatiale et il a la sensation de ne pas ressentir la pesanteur (alors qu'il est tout de même attiré par la Terre).

Il est possible d'être en situation d'impesanteur ailleurs que dans une station spatiale en orbite autour de la Terre. Par exemple, il est possible d'être en impesanteur dans un avion en chute libre.

REMARQUE : pour se préparer à la sensation d'impesanteur, les astronautes s'entraînent également dans une piscine, immergés avec leur scaphandre. Cependant les astronautes à l'entraînement dans une piscine contiennent à distinguer le haut du bas, ce qui n'est plus le cas dans l'espace.

30. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

★ La chute des corps

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

Pour Alexandre, la durée de la chute d'un objet sur Terre ne dépend pas de la forme de l'objet. En revanche, pour Julie, la durée de la chute d'un objet sur Terre dépend de la forme de l'objet.

Le protocole expérimental permettant de déterminer si Alexandre ou Julie a raison est le suivant :

- froisser une feuille de papier afin d'en faire une boule ;
- lâcher sans vitesse initiale au même instant la boule de papier et une feuille de papier non froissée de même masse ;
- mesurer la durée de la chute de ces feuilles jusqu'au sol.

La réalisation de cette expérience montre que la boule de papier tombe plus rapidement que la feuille de papier non froissée.

Étant donné que la forme de la feuille est le seul paramètre ayant varié entre les deux objets, on peut en conclure que la forme de l'objet influe sur la chute d'un corps à la surface de la Terre : Julie a donc raison !

31. ★★ Étoile Sirius B

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

En traduisant mathématiquement les données du texte :

$$1. F_{\text{Sirius}/O} = 350\,000 \times F_{\text{Terre}/O} ;$$

$$2. M_{\text{Sirius}} = (98 / 100) \times M_{\text{Soleil}} ;$$

$$3. M_{\text{Terre}} = 3 \times 10^{-6} \times M_{\text{Soleil}} ;$$

a. Force de gravitation exercée par Sirius sur O situé à la surface de Sirius B :

$$F_{\text{Sirius}/O} = G \frac{M_{\text{Sirius}} \times m}{R_S^2} \text{ avec } R_S \text{ rayon de Sirius.}$$

Force de gravitation exercée par la Terre sur O situé à la surface de la Terre :

$$F_{\text{Terre}/O} = G \frac{M_{\text{Terre}} \times m}{R_T^2} \text{ avec } R_T \text{ rayon de la Terre.}$$

b. On remplace les expressions des forces dans la relation 1. :

$$G \frac{M_{\text{Sirius}} \times m}{R_S^2} = 3,5 \times 10^5 \times G \frac{M_{\text{Terre}} \times m}{R_T^2}$$

En utilisant 2. et 3. :

$$G \frac{98}{100} \times M_{\text{Soleil}} \times m}{R_S^2} = 3,5 \times 10^5 \times G \times \frac{3 \times 10^{-6} \times M_{\text{Soleil}} \times m}{R_T^2}$$

Soit, après simplification :

$$\frac{98}{100} \times \frac{1}{R_S^2} = 3,5 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-6} \times \frac{1}{R_T^2}$$

$$\text{Soit : } \frac{R_S^2}{R_T^2} = 0,93.$$

On a donc $R_S = 0,97 R_T$, soit $R_S \approx R_T$.

La diamètre de Sirius B est pratiquement égal à celui de la Terre.

32. ★ Poids terrestre, poids martien

> COMPÉTENCES : Restituer, valider, s'approprier, réaliser.

a. L'expression de la valeur F de la force d'attraction gravitationnelle qu'exerce Mars sur Phoenix est :

$$F = G \frac{M_M \times m}{R_T^2} \text{ avec } M_M \text{ la masse de Mars et } R_M \text{ son rayon.}$$

$$b. F = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{0,642 \times 10^{24} \times 500}{(3,40 \times 10^6)^2} = 1,85 \times 10^3 \text{ N.}$$

c. La valeur P_M du poids martien du robot Phoenix est égale en première approximation à la valeur F de la force d'attraction gravitationnelle qu'exerce Mars sur Phoenix : $P_M = 1,85 \times 10^3$ N.

Le poids terrestre du robot Phoenix vaut :

$$P_T = m \times g = 500 \times 9,8 = 4,9 \times 10^3 \text{ N.}$$

$$\text{Ainsi : } P_T / P_M = 2,6.$$

33. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

★★ Les sondes spatiales Voyager 1 et 2

> COMPÉTENCES : Analyser, restituer, réaliser, valider, communiquer.

Réponses aux questions préliminaires se trouvant dans le dossier :

a. En 1977, le présentateur Jean-Claude Bourret parlait de la sonde *Voyager 1* comme « d'une bouteille dans l'espace » car elle transportait des messages enregistrés notamment par plusieurs chefs d'État et destinés à d'éventuels extraterrestres.

Cette « bouteille dans l'espace » pourrait trouver son destinataire dans quelques dizaines ou centaines de mil-

liers d'années. Cette durée est très grande car nous savons qu'il n'y a pas de civilisation extraterrestre proche de nous. Si une telle civilisation existe, elle est très loin de nous et la durée du trajet de la sonde avant qu'elle soit interceptée par une éventuelle civilisation extraterrestre sera donc forcément très grande.

b. Le principal intérêt de cette mission spatiale n'est pas d'envoyer une « bouteille dans l'espace ». L'intérêt principal est d'observer beaucoup plus précisément les astres du système solaire.

c. Les sondes *Voyager* sont de « véritables machines à remonter le temps » car plus on observe des objets éloignés, plus la durée du trajet parcouru par la lumière est longue et plus nous observons dans le passé (voir le chapitre 1 du thème « Univers »).

d. Les sondes *Voyager* sont alimentées à l'énergie atomique.

e. En 1977, on pensait garder le contact avec les sondes *Voyager* pendant 10 ans. Finalement, on reçoit encore aujourd'hui des informations des sondes *Voyager*, plus de trente ans après leur lancement, notamment parce qu'on a stoppé certaines fonctionnalités de ces sondes afin de préserver leur énergie et aussi peut-être car on a mieux profité de l'assistance gravitationnelle des astres que prévu (ou car la durée de vie des générateurs est plus longue que prévue).

De plus, depuis 1977, les astronautes de la Nasa ont développé sur Terre des récepteurs et des émetteurs de plus en plus puissants et précis qui parviennent encore à capter les signaux de plus en plus faibles que la sonde émet et à lui envoyer des ordres.

f. Les sondes *Voyager* reprenaient de la vitesse lorsqu'elles survolaient les planètes du système solaire grâce à l'assistance gravitationnelle (voir le chapitre 7 du thème « Univers » pour plus d'explications).

g. Les informations envoyées par les sondes *Voyager* en 1987 mettaient plus de trois heures pour parvenir jusqu'à la Terre car, même si elles se propagent à la célérité de la lumière ($3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), la distance à parcourir est si grande qu'il faut plus de trois heures pour qu'elles effectuent le trajet *Voyager*-Terre.

h. Certains pensent que la sonde *Voyager* a quitté le système solaire depuis 2003 mais les scientifiques ont décidé que la sortie du système solaire a eu lieu uniquement en août 2012. Cette date ne fait cependant pas encore l'unanimité dans la communauté scientifique à cause des observations trop imprécises de la sonde *Voyager* (car l'instrument de la sonde qui aurait permis une détection claire de ce passage ne fonctionne plus).

i. Les informations recueillies aujourd'hui par les sondes *Voyager* intéressent encore les scientifiques, notamment pour l'étude du vent solaire et l'observation des champs magnétiques induits.

La réponse à ces questions préliminaires permet ensuite de rédiger facilement un texte d'une dizaine de lignes expliquant comment les sondes spatiales *Voyager 1* et *Voyager 2* peuvent se déplacer sur de si grandes dis-

tances depuis leur lancement en 1977 et l'intérêt de telles missions spatiales.

34. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

Superman

> COMPÉTENCES : **S'appropriier, analyser, restituer, réaliser.**

a. Sur Krypton, les capacités physiques de Superman lui permettaient de sauter 2 m en hauteur.

Sur Terre, ses capacités physiques lui permettent de sauter 60 m en hauteur.

Sachant que la performance, hauteur ou longueur d'un saut est en pratique inversement proportionnelle à l'intensité de la pesanteur, on trouve que l'intensité de la pesanteur à la surface de Krypton est égale à :

$$g_K = \frac{60}{2} g_T = 3 \times 10^1 \times 9,8 = 3 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

b. À la surface de la Lune, l'intensité de la pesanteur est égale à : $g_L = 1,6 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Ainsi, les capacités physiques de Superman lui permettent de sauter une hauteur h égale à :

$$h = \frac{g_K}{g_L} \times 2 = \frac{3 \times 10^2}{1,6} \times 2 = 4 \times 10^2 \text{ m (environ 400 m !)}.$$

35. 🌟 Satellites géostationnaires

> COMPÉTENCES : **Analyser, réaliser.**

a. On observe le mouvement circulaire des satellites géostationnaires dans le référentiel géocentrique (ils apparaissent immobiles dans le référentiel terrestre).

b. La période de révolution du satellite doit être la même que celle de la Terre autour de l'axe des pôles, soit 23 h 56 min.

c. La distance parcourue est :

$$D = 40\,400 + 38\,400 = 78\,800 \text{ km}.$$

La durée de la transmission est $\Delta t = \frac{D}{c}$, où c représente la célérité des ondes électromagnétiques dans le vide.

$$\text{On trouve : } \Delta t = \frac{78\,800}{3,00 \times 10^5} = 0,263 \text{ s}.$$

36. RÉOLUTION DE PROBLÈME

🌟🌟 Attraction solaire

> COMPÉTENCES : **Restituer, analyser, réaliser.**

La valeur de la force gravitationnelle exercée par le Soleil

$$\text{sur la Terre est égale à : } F_{\text{Soleil/Terre}} = \frac{G \times m_{\text{Soleil}} \times m_{\text{Terre}}}{(d_{\text{Terre-Soleil}})^2}.$$

La valeur de la force gravitationnelle exercée par le Soleil

$$\text{sur Jupiter est égale à : } F_{\text{Soleil/Jupiter}} = \frac{G \times m_{\text{Soleil}} \times m_{\text{Jupiter}}}{(d_{\text{Jupiter-Soleil}})^2}.$$

Comme, d'après les données, $d_{\text{Jupiter-Soleil}} = 5,2 \times d_{\text{Terre-Soleil}}$ et $m_{\text{Jupiter}} = 318 \times m_{\text{Terre}}$

$$\begin{aligned} F_{\text{Soleil/Jupiter}} &= \frac{318}{5,2^2} \times \frac{G \times m_{\text{Soleil}} \times m_{\text{Terre}}}{(d_{\text{Terre-Soleil}})^2} \\ &= 12 \times \frac{G \times m_{\text{Soleil}} \times m_{\text{Terre}}}{(d_{\text{Terre-Soleil}})^2} = 12 \times F_{\text{Soleil/Terre}} \end{aligned}$$

Bien que Jupiter soit plus éloignée du Soleil que la Terre, la valeur de la force exercée par le Soleil sur Jupiter est 12 fois plus importante que la valeur de la force que le Soleil exerce sur la Terre. Ceci est dû à la très grande masse de Jupiter par rapport à celle de la Terre.

37. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

🌐 L'homme de Mars

> COMPÉTENCES : **S'approprier, réaliser, valider, communiquer.**
 Deux notes de bas de page seraient ajoutées à l'extrait de *L'homme de Mars* pour préciser ou rectifier les données scientifiques concernant les notions de poids et de masse présentes dans ce document.

• La première note de bas de page serait placée à la fin de la phrase « ce travail est infiniment plus aisé sur Mars que sur la terre, puisque [...] l'intensité de la pesanteur y atteint à peine le 37^e de la nôtre ». Il pourrait être écrit dans cette note :

« Comme le poids \vec{P} d'un objet à la surface de Mars correspond en première approximation à la force d'attraction gravitationnelle $F_{\text{Mars/Objet}}$ exercée par Mars sur cet objet, on considère que les valeurs de ces deux forces sont égales : $P = F_{\text{Mars/Objet}}$ »

Or : $P = m \times g_M$ (avec m la masse de l'objet)

$$\text{et } F_{\text{Mars/Objet}} = G \times \frac{m \times m_M}{R_M^2}.$$

$$\text{Ainsi : } m \times g_M = G \times \frac{m \times m_M}{R_M^2}.$$

En simplifiant par m , on trouve que l'intensité de la pesanteur sur le sol de Mars g_M est égale à : $g_M = G \times \frac{m_M}{R_M^2}$.

L'intensité de la pesanteur sur le sol de Mars est égale à :

$$g_M = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{0,642 \times 10^{24}}{(3,40 \times 10^6)^2} = 3,70 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

$$\text{Ainsi : } \frac{g_M}{g_T} = \frac{3,70}{9,8} = 0,38 : \text{l'intensité de la pesanteur sur}$$

Mars y atteint bien à peu près le 37^e de la nôtre. »

• La deuxième note de bas de page serait placée à la fin de la phrase « Un kilogramme d'eau n'y pèse que 370 g. » Il pourrait être écrit dans cette note :

« La masse d'un objet ne varie pas suivant la position de cet objet (sur Mars, sur Terre ou sur toute autre planète). Un kilogramme d'eau sur Terre a donc également une masse d'un kilogramme sur Mars.

Contrairement à la masse, le poids d'un objet varie suivant la planète sur laquelle il se trouve. Il conviendrait donc d'écrire, en utilisant un vocabulaire scientifique rigoureux : « *Le poids d'une masse d'eau de 1,0 kg n'est que de 3,7 N à la surface de Mars (au lieu de 9,8 N à la surface de la Terre).* » »

Mouvement et inertie

> Manuel pages 252 à 265

Choix pédagogiques

Ce chapitre est le premier chapitre du thème consacré à la pratique du sport. Pour les professeurs qui suivent l'ordre du manuel, c'est aussi le troisième chapitre de mécanique après les deux chapitres du thème « Univers ».

Ce chapitre est donc un prolongement du chapitre 7, « Mouvements et forces », qu'il complète. Il aborde le rôle de la masse lors de la modification du mouvement et le principe d'inertie qu'il était difficile de traiter dans le chapitre 13, les objets dans l'espace n'étant en général soumis qu'à une seule force d'origine gravitationnelle.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Sebastian Vettel au grand prix de Monaco.

Pourquoi les voitures de course sont-elles fabriquées avec des matériaux très légers ?

Le grand prix de Monaco ! Il est bien connu pour ses nombreux virages : accélérations, freinages, changements de direction, les voitures sont soumises à rude épreuve !

Cette première photographie et la question qui l'accompagne sont destinées à faire réfléchir les élèves sur le rôle que peut jouer la masse lors de ces modifications du mouvement. Les élèves sont bien conscients qu'il est plus facile de mettre en mouvement un objet léger (adjectif volontairement utilisé dans la question) qu'un objet lourd mais derrière ces deux mots, c'est le poids de l'objet auquel ils font référence : un objet plus lourd est un objet qui a un poids plus grand. Toute la difficulté est donc de faire comprendre aux élèves qu'indépendamment du poids, la masse intervient comme grandeur caractérisant l'inertie d'un corps. L'activité 2, qui se termine par une vidéo en impesanteur, poursuit cet objectif.

Coureur en plein effort lors d'une course contre la montre.

Que devient le mouvement du vélo lorsque le coureur cesse de pédaler ?

La réponse à cette question ne fait aucun doute : pour tous les élèves, le vélo s'arrête plus ou moins rapidement. La vraie question est : « Pourquoi le vélo s'arrête-t-il alors qu'il roule sur une route horizontale ? » Les réponses à cette question seront certainement très nombreuses et variées. De quoi lancer le débat entre ceux qui pensent qu'il faut une force motrice pour avancer (représentée ici par le coureur) et ceux qui pensent que les frottements arrêtent le vélo.

Ce débat constitue une bonne introduction à l'activité 3 dont l'objectif est de montrer que le mouvement est rectiligne uniforme lorsque les forces exercées sur le système se compensent.

L'absence d'une force motrice exercée sur la pierre du curling entraîne dans ce cas l'absence de frottement, mais ce n'est qu'un cas particulier simple.

Une fois le principe d'inertie étudié, on peut revenir sur la photo et affirmer que si le vélo décrit un mouvement rectiligne uniforme, c'est que la force motrice compense les frottements.

Vidéo Débat : Parcours de luge à foin au tournoi de Gorzderette.

Est-il plus facile de diriger une luge à foin lorsqu'elle est chargée ou lorsqu'elle est vide ?

Quelle idée que ce tournoi de luge à foin ! Épreuve traditionnelle de la Gorzderette où deux équipiers doivent pousser et tirer la luge à foin sur un parcours fait de virages à négocier et de buttes à passer. Est-ce la masse ou le poids du foin qui rend les manœuvres plus difficiles ? Contrairement aux voitures de course, la luge traditionnelle ne semble pas être fabriquée avec des matériaux légers et la masse du foin ne doit pas modifier beaucoup la masse de l'ensemble.

Le débat est le même que celui du grand prix de Monaco. Cette vidéo attrayante peut d'ailleurs servir de point de départ à la discussion ou relancer celle engagée à partir de la première photo.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Précision d'une mesure

Commentaire

Peut-on mesurer manuellement une durée au 1/100^e de seconde avec un chronomètre au 1/100^e de seconde ? La réponse est bien évidemment non mais les élèves n'en sont généralement pas convaincus car ils confondent la précision de l'instrument de mesure avec la précision du résultat de la mesure. Cette activité a pour but de faire acquérir aux élèves la compétence « Porter un regard critique sur un protocole de mesure d'une durée en fonction de la précision attendue. »

Réponses

1. ANALYSER

a. Le document 6 donne une « précision » de ± 15 s par mois. On peut donc admettre que dans des conditions normales d'utilisation, la montre ne dérive pas de plus de $\frac{15}{30} = 0,5$ s par jour.

b. On ne peut pas mesurer une durée de 24 h au $1/100^{\text{e}}$ de seconde, la dérive pouvant atteindre $\pm 0,5$ s.

c. En admettant que la dérive de la montre est constante, ce qui est vérifié dans la pratique (on a une montre qui a tendance à avancer ou à prendre du retard mais rarement une montre qui avance un jour et retarde le lendemain), on peut chercher la durée au bout de laquelle la dérive est de 0,01 s.

$$86\,400 \text{ s} \rightarrow 0,5 \text{ s}$$

$$x \rightarrow 0,01 \text{ s} \Rightarrow x = \frac{86\,400 \times 0,01}{30} = 1\,728 \text{ s ou } 28 \text{ min et } 48 \text{ s}$$

d. Cette durée est largement supérieure à 10 s, durée d'un 100 m. La montre est donc utilisable.

2. RÉALISER

a. Non, ils ne peuvent pas déclencher instantanément leurs chronomètres quand ils entendent le coup de feu car il y a un temps de réaction. Le document 7 indique qu'entre l'instant où les élèves entendent le coup de feu et l'instant où ils déclenchent leurs chronomètres, il peut s'écouler de 0,2 à 0,4 s.

b. Les trois élèves sont assez loin du starter. Ils entendent le coup de feu lorsque le son arrive à leurs oreilles. Pour parcourir 112 m à $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, le son met :

$$\Delta t = \frac{d}{c_s} = \frac{112}{340} = 0,330 \text{ s soit environ un tiers de seconde.}$$

À l'arrivée, les élèves qui sont bien placés dans l'axe de la ligne arrêtent leurs chronomètres lorsqu'ils voient le coureur franchir la ligne. Entre l'instant où le coureur franchit la ligne et l'instant où les élèves le voient, il s'écoule un temps très faible, complètement négligeable car la lumière se propage beaucoup plus vite que le son :

$$\Delta t = \frac{d'}{c_l} = \frac{50}{3,0 \times 10^8} = 1,7 \times 10^{-7} \text{ s}$$

3. VALIDER

a. Non, le temps de réaction n'a pas une valeur précise : il varie entre 0,2 et 0,4 s sans qu'on puisse préciser davantage. Pour que le temps de réaction à la fin compense celui du début, il faudrait que ce temps de réaction soit constant ou varie de moins d'un centième de seconde.

REMARQUE : le chronomètre est déclenché en réponse à un stimulus auditif alors qu'il est arrêté en réponse à un stimulus lumineux. D'autre part, à l'arrivée, les élèves suivent les coureurs et sont donc moins « surpris » qu'au départ où rien n'annonce très précisément le coup de feu. Il n'y a donc aucune raison pour que les temps de réponse soient identiques.

b. La dispersion des résultats ne provient pas des chronomètres mais des temps de réaction des élèves : un chronomètre déclenché un peu trop tôt et arrêté un peu trop tard donne un temps plus long. Les résultats sont nettement inférieurs au chronomètre officiel car la course a déjà commencé depuis 1/3 s quand nos élèves entendent le bruit du starter.

4. COMMUNIQUER

Cette activité montre qu'il est impossible de mesurer manuellement une durée au $1/100^{\text{e}}$ de seconde même si le matériel utilisé le permet. La précision de la mesure ne dépend pas uniquement de celle de l'instrument. Le protocole utilisé pour effectuer la mesure joue un très grand rôle dans la précision du résultat. Pour que la mesure puisse être effectuée au $1/100^{\text{e}}$ de seconde, il ne faut pas d'intervention humaine dans le protocole. C'est pourquoi, actuellement, l'appui sur la gâchette déclenche simultanément le chronomètre et le coup de feu. À l'arrivée, le coureur gagnant coupe un fil qui arrête le chronomètre.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Influence de la masse sur la modification du mouvement

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Vers le principe d'inertie

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

EXERCICES Appliquer le cours

I Principe d'inertie (§1 du cours)

16. Analyser un mouvement

a. S'il tombe verticalement à vitesse constante, l'objet décrit un mouvement rectiligne uniforme. Dans ces conditions, il est soumis à des forces qui se compensent (principe d'inertie). Il ne peut donc pas être en chute libre (une seule force, le poids).

b. Non, s'ils atteignent une vitesse constante, ils ne sont plus en chute libre car les forces qui s'exercent sur eux se compensent.

c. Cette force est la force de frottement de l'air. Elle est nulle au départ et augmente avec la vitesse. Quand la vitesse limite est atteinte, cette force est égale (en valeur) au poids.

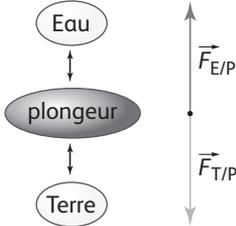
17. Appliquer le principe d'inertie

La caméra et le chariot se déplacent d'un mouvement rectiligne uniforme. D'après la réciproque du principe d'inertie, les forces qui s'exercent sur l'ensemble se compensent.

18. Représenter des forces

a. Le plongeur est immobile dans le référentiel terrestre supposé galiléen. D'après la réciproque du principe d'inertie, il est soumis à des forces qui se compensent.

b.



19. Dresser un bilan de forces

a. Le palet est soumis à deux forces :

- son poids \vec{P} vertical orienté vers le bas ;
- la réaction de la glace \vec{R} , verticale orientée vers le haut.

b. Le palet étant immobile, on peut affirmer d'après la réciproque du principe d'inertie que les deux forces se compensent.

c. Le mouvement étant rectiligne uniforme, les forces se compensent toujours. Comme le poids n'est pas modifié, il en est de même de la réaction de la glace.

20. Analyser en termes de force

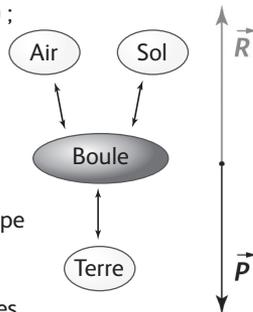
a. Il y a trois forces qui s'exercent sur la boule :

- le poids (attraction terrestre) ;
- la réaction du sol ;
- l'action de l'air.

b. La force exercée par l'air est négligeable devant les autres forces.

c. Les forces se compensent d'après la réciproque du principe d'inertie.

d. Avec l'échelle choisie, les forces sont représentées par des vecteurs de 3 cm de longueur.



21. Exploiter un graphique

a. La vitesse initiale est nulle (la courbe passe par l'origine).

b. La vitesse limite est égale à $0,58 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

c. La bille atteint une vitesse de $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à l'instant $t = 0,075 \text{ s}$.

d. À l'instant $t = 0,05 \text{ s}$, la bille n'a pas atteint sa vitesse limite. Les forces qui s'exercent sur elle ne se compensent pas.

À l'instant $t = 0,35 \text{ s}$, la vitesse est constante. Comme la trajectoire est verticale, le mouvement est rectiligne

uniforme et les forces se compensent (réciproque du principe d'inertie).

Influence de la masse sur le mouvement

(§2 du cours)

22. Expliquer le rôle de la masse

L'effet d'une force sur un corps dépend de la masse du corps. Plus la masse est importante, plus l'effet est limité. C'est ce que recherche le sumo : plus sa masse est importante, moins la force exercée par son adversaire peut le faire tomber.

23. Exploiter un enregistrement

a. Les deux mobiles décrivent des mouvements rectilignes uniformes car les trajectoires sont des droites et la vitesse est constante (distance constante entre les points).

b. Pour obtenir une valeur plus précise, on peut mesurer la distance qui sépare les points extrêmes.

Pour le premier enregistrement :

$$v_1 = \frac{6,9}{7 \times 40 \times 10^{-3}} = 25 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$$

Pour le deuxième enregistrement :

$$v_2 = \frac{7,3}{4 \times 40 \times 10^{-3}} = 37 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$$

c. Le mobile le plus lourd est celui qui a la vitesse la plus faible car l'effet de la force est plus limité (mobile 1).

EXERCICES S'entraîner

25. Saut en parachute

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser.

a. La vitesse initiale est nulle (la courbe passe par l'origine des axes).

b. La vitesse limite, parachute fermé, est atteinte au bout de 10 s (palier horizontal).

c. Cette vitesse limite est égale à $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

d. Le parachute s'ouvre à l'instant $t = 14 \text{ s}$ (brusque diminution de la vitesse).

e. Entre les instants t_1 et t_2 , la vitesse est constante et égale à $5,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. On peut donc calculer la distance parcourue par la relation $L = v\Delta t = 5,0 \times (32 - 26) = 30 \text{ m}$.

26. Apprendre à rédiger

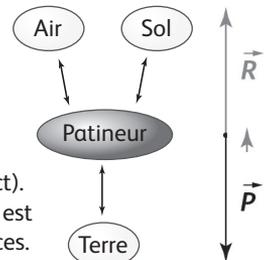
> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

a. Les forces qui s'exercent sur le patineur sont :

- son poids (attraction terrestre : force à distance) ;
- la réaction de la glace (force de contact) ;
- l'action de l'air (force de contact).

b. L'action de l'air sur le patineur est négligeable devant les autres forces.

Elle ne devient importante que si la vitesse est très grande, ce qui n'est pas le cas ici.



Quand le patineur décrit un mouvement rectiligne uniforme, les forces qui s'exercent sur lui se compensent.
c. Les forces sont représentées à l'échelle 1 cm pour 400 N. Les vecteurs ont donc une longueur de 1,62 cm.

27. Faut pas pousser !

> COMPÉTENCE : Analyser.

Les forces ayant la même valeur et étant appliquées pendant la même durée, si les vitesses sont différentes, c'est que les masses sont également différentes : l'équipier qui part le plus vite est le plus léger.

28. In English Please

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, valider.

- L'action de l'air sur le skieur a été négligée.
- Le skieur étant débutant (piste bleue), il ne descend certainement pas vite. La force de frottement de l'air augmente avec la vitesse. Si la vitesse est faible, il en est de même de l'action de l'air. On peut donc la négliger.
- Sur le diagramme, les deux forces se compensent. Le skieur descend donc d'un mouvement rectiligne uniforme.
- Pour s'arrêter le skieur doit modifier sa vitesse. Ceci n'est possible que si les forces ne se compensent plus. Il doit donc forcément en modifier une.

29. 🚀 Vitesse limite

> COMPÉTENCE : Réaliser.

- Le mouvement est rectiligne uniforme.
- Le parachutiste et son parachute sont soumis à trois forces :
 - le poids de l'ensemble ;
 - la poussée d'Archimède négligeable par rapport au poids lorsque le fluide est l'air ;
 - la force de frottement de l'air.
- Puisque le mouvement est rectiligne uniforme, les deux forces se compensent d'après le principe d'inertie. Elles ont donc la même valeur. On en déduit : $P = F$ ou $mg = kv : v = \frac{mg}{k} = \frac{80 \times 9,8}{1,6 \times 10^2} = 4,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

30. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

Analyse de la chute d'une balle

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, valider.

- Les pointages successifs de la balle sont équidistants quand le mouvement est uniforme alors qu'ils ne le sont pas lorsque la balle accélère.
- Repérer la position de la balle à partir de laquelle le mouvement est uniforme.
 - Mesurer la distance qui sépare cette position de la dernière position de la balle avant qu'elle touche le sol ou disparaisse de l'image. Cela se fait automatiquement si l'image a été convenablement étalonnée.
 - Déterminer la durée qui sépare ces deux positions extrêmes : la caméra prenant 25 images par seconde, on sait qu'entre deux positions successives de la balle, il s'écoule une durée $\Delta t = 1/25 \text{ s} = 40 \text{ ms}$.
 - Diviser la distance mesurée par la durée calculée.

3.a. \vec{P} représente le poids de la balle et \vec{f} la force de frottement de l'air.

b. La force de frottement de l'air dépend de la vitesse de la balle : elle est nulle quand la balle est immobile (au début de la chute) et devient égale au poids quand la vitesse est constante (principe d'inertie). On peut donc classer ces schémas dans l'ordre chronologique : b, c, a.

31. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

Évolution de la pensée scientifique

> COMPÉTENCES : Analyser, communiquer.

Comment les notions de force et de mouvement sont-elles liées ? Les scientifiques de tous les temps ont cherché un lien entre ces deux grandeurs. Pour Aristote par exemple, il ne peut pas y avoir de mouvement sans force. Si un corps est en mouvement, c'est nécessairement qu'il y a une force motrice pour le faire avancer. C'était au IV^e siècle avant J.-C. mais bien des gens le pensent encore actuellement. Une observation peu attentive de situations courantes conduit à cette idée. Lorsqu'on est en vélo sur une route horizontale, on s'arrête très rapidement si on cesse de pédaler : plus de force motrice donc plus de mouvement !

Newton ne lie pas directement le mouvement aux forces. Pour lui, il peut y avoir un mouvement sans force (ou avec des forces qui se compensent) mais dans ce cas, ce mouvement ne peut être que rectiligne uniforme. Newton ne fait pas de distinction entre repos et mouvement rectiligne uniforme. Dans les deux cas, les forces se compensent. Il faut une force pour modifier le mouvement, c'est-à-dire pour changer la valeur ou la direction de la vitesse mais pas pour se déplacer de façon rectiligne à vitesse constante. Pour Newton, le vélo s'arrête si on cesse de pédaler car les forces de frottement de l'air et du sol ne sont plus compensées par la force motrice. S'il n'y avait aucun frottement, rien n'arrêterait le vélo. Il faut essayer de prendre un virage sur une route verglacée pour bien comprendre que Newton a raison.

Les idées de Galilée sont très proches de celles de Newton car il dit qu'il faut une force pour mettre en mouvement un objet mais pas pour le maintenir en mouvement. Il ne parle pas, dans le texte fourni, de la modification du mouvement mais on peut dire que Galilée a déjà une idée du principe d'inertie même s'il ne le formule pas précisément comme le fait Newton.

32. 🛩️ Airbus zéro G

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser.

- L'avion est soumis à des forces qui se compensent lorsqu'il décrit un mouvement rectiligne uniforme (principe d'inertie), c'est-à-dire sur les parties rectilignes de la trajectoire avant et après « la cloche ».
- Si le passager est immobile dans l'avion, il décrit lui aussi un mouvement rectiligne uniforme par rapport à la Terre. Il est donc soumis à des forces qui se compensent.
- Comme le passager est soumis à son poids et que les forces qui s'exercent sur lui se compensent, il faut néces-

sairement une deuxième force (action du fauteuil ou du plancher). Il ne peut donc pas flotter dans l'avion.

d. La photo a été prise dans la partie rouge de la trajectoire. Le texte indique que dans cette partie, l'avion et ses occupants sont en chute libre donc soumis uniquement à leur poids. Il n'y a donc plus de force exercée par le fauteuil ou le plancher de l'avion.

e. Les futurs spationautes ne sont soumis qu'à leur poids.

f. On parle d'impesanteur car, dans l'avion, tout se passe comme si les spationautes n'étaient soumis à aucune force (plus de poids). En effet, ils sont immobiles dans l'avion sans toucher le plancher. En réalité, les spationautes tombent mais ils tombent en suivant le même mouvement que l'avion d'où cette impression d'impesanteur.

g. Le poids est l'attraction exercée par la Terre. C'est une force à distance qui diminue lorsque la distance augmente. Pour que le poids devienne nul, il faut s'éloigner à « l'infini ». Dans la réalité, il faut être extrêmement éloigné de la Terre, ce qui n'est pas réalisable.

33. ✪✪ Référentiel galiléen

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser.

1. Il y a le référentiel terrestre et le référentiel du plateau.

2. Dans le référentiel terrestre, le mobile décrit un mouvement rectiligne uniforme car les positions successives du mobile sont sur une droite et la distance qui sépare deux positions consécutives est constante.

3. Le mobile est soumis à deux forces :

– son poids ;

– la réaction du plateau.

D'après le principe d'inertie, ces deux forces se compensent car le mouvement est rectiligne uniforme.

4. Non, le fait de changer de caméra ne modifie en rien les forces qui s'exercent sur le mobile.

On ne peut pas appliquer le principe d'inertie dans le référentiel du plateau car le mobile, soumis à des forces qui se compensent, ne décrit pas un mouvement rectiligne uniforme.

5. Le référentiel lié au plateau n'est pas un référentiel galiléen car le principe d'inertie n'est pas vérifié. Au contraire, le référentiel terrestre est galiléen.

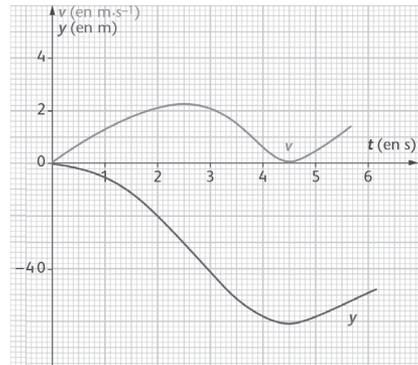
34. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✪ Saut à l'élastique

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser.

Une erreur s'est malencontreusement glissée dans le graphique lors de sa reproduction dans le manuel de l'élève. Vous trouverez ci-dessous le graphique correct ainsi que le corrigé de cet exercice.

Document 2 Graphiques de la vitesse et de la position du sauteur en fonction du temps



Solution

a. Lors de la première phase, l'élastique n'est pas tendu. Il n'exerce donc pas de force sur le sauteur qui tombe en chute libre (seul effet du poids) si on néglige l'action de l'air.

b. Lors de la deuxième phase, le sauteur est toujours soumis à son poids mais il est également soumis à la force de rappel de l'élastique qui augmente quand l'élastique se tend.

c. La vitesse est maximale à l'instant $t = 2,4$ s et vaut $22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Si la vitesse diminue à partir de cet instant, c'est que l'élastique est déjà tendu (pour diminuer la vitesse, il faut tirer plus fort vers le haut que vers le bas). On peut donc répondre que la durée de la première phase est inférieure à $2,4$ s.

On peut être plus précis. On sait en effet qu'au début du saut, le sauteur est en chute libre, c'est-à-dire que l'élastique n'est pas tendu. On constate sur le graphique qu'au début du saut, la vitesse augmente régulièrement (droite passant par l'origine). On peut en déduire que tant que le sauteur est en chute libre, la vitesse augmente régulièrement. Il suffit donc de chercher à partir de quel instant l'évolution de la vitesse est modifiée. On constate qu'il s'agit de l'instant $t = 2,0$ s.

d. À l'instant $t = 2,4$ s, sur le graphique qui donne la position y en fonction du temps, on lit $y = -28 \text{ m}$: le sauteur est à 28 m sous le pont.

e. L'élastique commence à se tendre à l'instant $t = 2,0$ s (réponse c). Il a donc une longueur de 20 m (valeur de y à l'instant $t = 2,0$ s). On peut également accepter la réponse : à l'instant $t = 2,4$ s, l'élastique est déjà tendu et il mesure 28 m . Sa longueur quand il n'est pas tendu est donc inférieure à 28 m .

f. Lorsque le sauteur s'arrête, sa vitesse s'annule. D'après le graphique de la vitesse, cela se produit à l'instant $t = 4,5$ s et le sauteur est à 60 m sous le pont (graphique de la position).

g. Le sauteur n'est pas soumis à des forces qui se compensent car à aucun moment sa vitesse n'est constante. Même si la trajectoire est rectiligne, ce qui n'est sûrement pas le cas, les forces ne peuvent pas se compenser d'après le principe d'inertie.

35. RÉOLUTION DE PROBLÈME

✪✪ Patinage artistique

> COMPÉTENCES : **S'approprier, analyser, réaliser.**

La problématique est donnée en fin d'énoncé : connaissant la masse d'un patineur, utiliser les documents fournis pour déterminer la masse du deuxième.

Le premier document nous indique que les deux patineurs sont initialement immobiles et qu'ils exercent une force l'un sur l'autre.

Le deuxième document indique que les deux patineurs se déplacent chacun d'un mouvement rectiligne uniforme. Il permet également de calculer la vitesse de chaque patineur puisqu'il donne la distance parcourue en fonction du temps.

Le troisième document définit la quantité de mouvement $p = mv$ et indique les conditions dans lesquelles les

valeurs des quantités de mouvement des deux patineurs sont égales.

Ces conditions étant celles définies dans les documents 1 et 2, on peut écrire : $m_1 v_1 = m_2 v_2$

Pour résoudre le problème, il faut donc déterminer v_1 et v_2 .

Entre les instants $t_1 = 1$ s et $t_2 = 5$ s :

$$v_1 = \frac{4,4 - 1,2}{5,0 - 1,0} = 0,80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Il faut prendre la valeur absolue car le patineur 1 se déplace vers les x négatifs. C'est la valeur de la vitesse qui intervient et pas sa composante.

$$v_2 = \frac{5,4 - 1,4}{5,0 - 1,0} = 1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

On peut alors calculer m_2 : $m_2 = \frac{m_1 v_1}{v_2} = \frac{70 \times 0,80}{1,0} = 56 \text{ kg}$

La réaction chimique

> Manuel pages 266 à 281

Choix pédagogiques

Ce chapitre s'inscrit dans le thème du sport. Il est centré sur la description d'un système chimique et son évolution. La notion de réaction chimique est introduite, ainsi que son écriture symbolique, l'équation de la réaction chimique. L'ajustement des nombres stœchiométriques fait partie des compétences attendues.

Les deux premières activités permettent de décrire un système chimique et son évolution. En particulier, l'activité 2 traite du cas de la combustion. L'activité 3 permet une approche expérimentale de l'étude de l'évolution d'un système. L'activité 4, présentée sous la forme d'une démarche d'investigation, permet de mettre en évidence l'effet thermique d'une transformation chimique.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Stand de ravitaillement lors d'un semi-marathon.

Les espèces chimiques contenues dans les aliments sont-elles transformées par le corps ?

Ce questionnaire, présenté ici dans le cadre d'une compétition sportive, conduit à un questionnaire sur l'alimentation en général. En interprétant par exemple les informations provenant des étiquettes d'aliments divers, les grands types d'espèces chimiques de l'alimentation (lipides, glucides, protéines, etc.) devront être mis en évidence. Les lipides et les glucides sont nécessaires lors de l'effort physique, car ils sont transformés par l'organisme pour fournir de l'énergie au corps pour faire fonctionner les muscles et tous les organes.

Un travail transversal pourra être mis en œuvre avec les SVT et l'EPS (voir vidéo débat pour un débat plus axé sur les performances sportives).

Sportif victime d'un traumatisme soulagé à l'aide d'un aérosol réfrigérant.

La transformation chimique peut-elle aussi provoquer un refroidissement ?

Ce questionnaire permet d'aborder les effets thermiques lors d'une transformation physique ou chimique. À partir d'exemples de la vie courante, les élèves sont amenés à s'interroger dans un premier temps sur des transformations chimiques provoquant un échauffement. L'exemple de la combustion vu au collège peut être réutilisé. La notion de transfert thermique est ainsi abordée.

Vidéo Débat : Test $VO_2\text{max}$ (consommation maximale d'oxygène) avec Granddi Ngoyi.

À quoi sert le dioxygène dans le corps humain lors d'un effort prolongé ? Quelles molécules sont transformées afin d'apporter de l'énergie à l'organisme ?

On peut faire un parallèle avec la combustion et revenir sur les espèces chimiques apportées par l'alimentation.

Un questionnaire sur l'alimentation des sportifs avant une compétition (selon le type d'épreuves) permet de différencier le rôle des glucides et des lipides.

La valeur de la consommation maximale d'oxygène ($VO_2\text{max}$) est un indicateur des performances d'une personne lors d'un effort. Plus la valeur est élevée, meilleure sera la performance lors d'un effort long. Un questionnaire plus large sur les filières énergétiques mises en œuvre dans le corps humain (ATP) pourra se faire en lien avec les SVT et l'EPS. La production d'ATP se fait soit en mode anaérobie (sprint), soit en mode aérobie (marathon), d'où l'intérêt de $VO_2\text{max}$ pour les courses de fond.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Étude historique de la composition de l'air

Commentaire

Cette activité repose sur l'analyse d'un texte historique décrivant l'expérience fondatrice de la détermination de la composition de l'air. De plus, l'étymologie du mot « azote » est ici précisée.

La compétence attendue illustrée est « décrire un système chimique et son évolution » avec des mots plus actuels.

Réponses

1. S'APPROPRIER

L'espèce chimique formée, l'oxyde de mercure (II) de formule chimique HgO , est à l'état solide.

2. ANALYSER

a. Au début de l'expérience, du mercure, à l'état gazeux, est présent. Il est au contact d'air.

b. La cloche contient du diazote (noté azote dans le texte de 1775) en fin d'expérience.

c. Lors de la transformation, le mercure et le dioxygène de l'air ont été consommés et l'oxyde de mercure a été formé.

d. La transformation s'est arrêtée car il n'y avait plus de dioxygène sous la cloche.

3. COMMUNIQUER

L'expérience de Lavoisier a permis de mettre en évidence que l'air est en fait composé principalement de deux gaz : une partie qui sert à la respiration et à la combustion (dioxygène) et une partie non respirable (diazote). Noter aussi dans le compte-rendu de l'expérience que tous les détails et observations de la manipulation sont scrupuleusement notés.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Combustion des aliments du sportif

Commentaire

Cette activité étudie le cas d'une combustion (notion déjà abordée en classe de 3^e). Elle permet de décrire l'évolution d'un système chimique, en caractérisant le produit formé par un test connu en classe de 3^e.

Réponses

1. RÉALISER

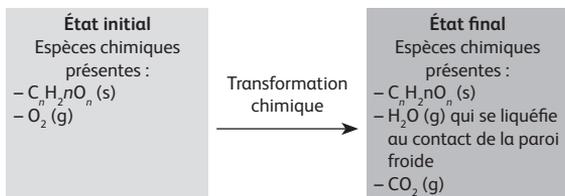
- Le flacon de dioxygène est rempli par déplacement d'air de préférence.
- On observe la formation de gouttelettes d'eau sur la surface interne du flacon, une forte incandescence de la pâte alimentaire, des fumées dans le flacon.
- On observe un trouble de l'eau de chaux, après combustion de la pâte alimentaire et agitation du flacon.

2. RESTITUER

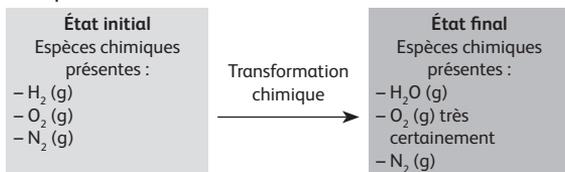
Le test positif à l'eau de chaux révèle la présence de dioxyde de carbone, CO₂.

3. RÉALISER

a.

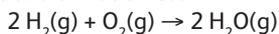


b. Expérience en vidéo



4. VALIDER

Dans le cas de la vidéo, l'équation chimique rendant compte de la transformation est :



3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Modéliser une transformation

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guide élèves et professeurs sur le site : www.nathan.fr/sirius2014.

4. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Effet thermique d'une transformation chimique ou physique

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guide élèves et professeurs sur le site : www.nathan.fr/sirius2014.

EXERCICES Appliquer le cours

Évolution d'un système chimique (§1 du cours)

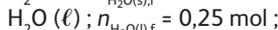
16. Décrire une transformation chimique

a. État initial du système :



$T = -4 \text{ }^\circ\text{C}$; pression atmosphérique.

b. Après 30 minutes, état final du système :



$T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$; pression atmosphérique.

17. Décrire les réactifs et les produits

a. Système à l'état initial :



T et P du laboratoire.

Les réactifs sont le cuivre solide Cu(s) et les ions argent I Ag⁺(aq).

b. Il y a eu transformation du système initial. Les produits de la transformation sont : argent solide Ag(s) et ions cuivre (II) Cu²⁺(aq) (coloration bleue).

Équation d'une réaction chimique (§2 du cours)

18. Exploiter un transfert thermique

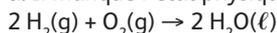
a. Formule chimique des réactifs : C₂H₂ et O₂.

Formule chimique des produits : CO₂ et H₂O.

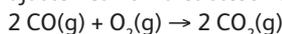
b. Cette transformation est intéressante pour les soudures car le transfert thermique lors de cette transformation permet une très forte élévation de température.

19. Ajuster les nombres stœchiométriques

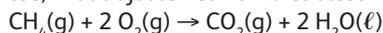
a. Il manque l'état physique des espèces chimiques.



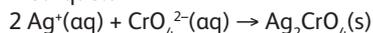
b. Il manque l'état physique du dioxygène. La loi de conservation des éléments n'est pas respectée, il faut ajuster les nombres stœchiométriques.



c. La loi de conservation des éléments n'est pas respectée, il faut ajuster les nombres stœchiométriques.



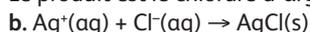
d. La loi de conservation des éléments et de la charge n'est pas respectée, il faut ajuster les nombres stœchiométriques.



20. Identifier des ions en solution

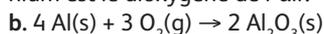
a. Les réactifs de la transformation sont les ions argent $\text{Ag}^+(\text{aq})$ et les ions chlorure $\text{Cl}^-(\text{aq})$.

Le produit est le chlorure d'argent $\text{AgCl}(\text{s})$.



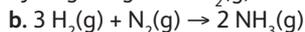
21. Écrire l'équation d'une réaction

a. L'espèce chimique permettant la corrosion de l'aluminium est le dioxygène de l'air.



22. Analyser un texte pour modéliser une synthèse

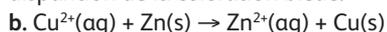
a. La synthèse de l'ammoniac est réalisée à partir de dihydrogène gazeux $\text{H}_2(\text{g})$ et de diazote gazeux $\text{N}_2(\text{g})$.



23. Analyser une expérience

a. Lors de cette transformation, les réactifs sont $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ et $\text{Zn}(\text{s})$; les produits $\text{Cu}(\text{s})$ et $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$; les ions sulfate n'interviennent pas.

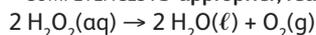
Le réactif totalement consommé est $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ car il y a disparition de la coloration bleue.



EXERCICES S'entraîner

25. ⚡ Décomposition de l'eau oxygénée

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser.



26. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser, valider.

a. Pour la 1^{re} transformation :

réactif : $\text{NaN}_3(\text{s})$

produits : $\text{Na}(\text{s})$ et $\text{N}_2(\text{g})$

Pour la 2^e transformation :

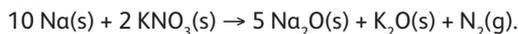
réactifs : $\text{Na}(\text{s})$ et $\text{KNO}_3(\text{s})$

produits : $\text{Na}_2\text{O}(\text{s})$, $\text{K}_2\text{O}(\text{s})$ et $\text{N}_2(\text{g})$.

b. 1^{re} transformation :



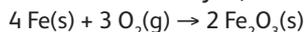
2^e transformation :



c. Lors d'un choc, l'airbag doit pouvoir se gonfler en très peu de temps, ce qui est le cas si les réactions se produisent en quelques millisecondes.

27. Chauffe-fer de ski

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser.



28. In English Please

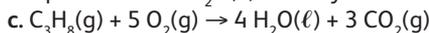
> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

a. Le propane est un sous-produit de la distillation du pétrole. On l'utilise couramment pour la cuisson des aliments, dans les gazinières.

b. Combustion du propane :

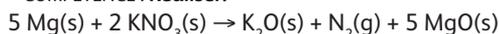
réactifs : propane $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ et dioxygène $\text{O}_2(\text{g})$

produits : eau $\text{H}_2\text{O}(\ell)$ et dioxyde de carbone $\text{CO}_2(\text{g})$



29. ⚡ Flamme olympique aquatique

> COMPÉTENCE : Réaliser.



30. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

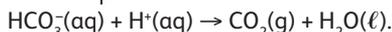
⚡ Cachets effervescents

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

a. Pour fabriquer un comprimé effervescent, il faut, en plus du principe actif, du bicarbonate de sodium et de l'acide citrique. C'est le cas pour les deux médicaments présentés.

Expérimentalement, faire un mélange de trois poudres : bicarbonate de sodium, acide citrique et paracétamol ; verser de l'eau sur ce mélange de poudre ; observer le dégagement gazeux. On peut éventuellement penser à caractériser le dioxyde de carbone dégagé avec un test à l'eau de chaux.

b. L'acide citrique libère un ion hydrogène $\text{H}^+(\text{aq})$ qui va ensuite réagir sur les ions hydrogénocarbonate $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ pour donner l'effervescence (dégagement de $\text{CO}_2(\text{g})$), selon l'équation de la réaction :



31. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

⚡ L'eau de Javel

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

L'eau de Javel est une espèce basique qui contient des ions hypochlorite $\text{ClO}^-(\text{aq})$ et $\text{Cl}^-(\text{aq})$. Une solution de détartrant est une solution acide qui apporte des ions hydrogène $\text{H}^+(\text{aq})$. Si on mélange de l'eau de Javel avec une solution de détartrant a lieu la réaction suivante : $\text{ClO}^-(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$.

Le gaz produit par cette transformation est un gaz toxique par inhalation.

D'après la définition du pourcentage de chlore actif : 100 g d'eau de Javel à 9,6 % ca fournissent, selon la réaction écrite ci-dessus, 9,6 g de dichlore gazeux.

En supposant que la densité de l'eau de Javel est égale à 1, on peut dire que 100 mL de solution d'eau de Javel fournissent $\frac{9,6}{35,5} = 0,27$ mol de dichlore par totale décomposition. Étant donnés les nombres stœchiométriques de cette réaction, lorsqu'une mole d'ion hypochlorite $\text{ClO}^-(\text{aq})$ est consommée, une mole de dichlore apparaît.

La réaction de décomposition étant totale, la concentration en ions ClO^- d'une solution d'eau de Javel à 9,6 % ca est de $\frac{0,27}{0,10} = 2,7 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

32. ⚡ Pluies acides

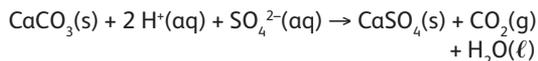
> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

a. Les pluies acides sont dues aux oxydes de soufre et aux oxydes d'azote, produits principalement par les industries et présents dans l'air et entraînés par les eaux de pluie qui deviennent ainsi acides.

b. Les effets de ces pluies acides sur l'environnement sont néfastes. On peut observer une acidification des sols, des eaux des lacs, entraînant la mort de la faune, une destruction des arbres, etc. De plus, ces pluies acides peuvent entraîner une érosion plus rapide d'œuvres d'art telles que des statues, comme expliqué dans le document 2.

c. Recherche : présence de filtres sur les rejets des usines, pots catalytiques des automobiles, etc.

d. Réaction sur le calcaire :



33. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

⚡ Patinoire

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, valider, communiquer.

Formation de la glace. Dans le schéma de principe d'une machine frigorifique, il y a deux circuits différents :

– un (dans l'évaporateur) où le fluide frigogène passe de l'état liquide à gaz : pour cette transformation, il est nécessaire que le fluide récupère de l'énergie thermique. Cette énergie est récupérée dans le circuit d'eau de la patinoire, qui voit sa température baisser (et donc former de la glace) ;

– un (dans le condenseur) où le fluide frigogène passe de l'état gazeux à l'état liquide. Le fluide transfère alors de l'énergie thermique au système extérieur. Cette énergie thermique pourrait être avantageusement récupérée pour chauffer une pièce attenante à la patinoire (par exemple un complexe nautique).

34. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

⚡⚡ Respiration, photosynthèse

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

1.a. « Oxygène » : dioxygène $\text{O}_2(\text{g})$;

« Gaz carbonique » : dioxyde de carbone $\text{CO}_2(\text{g})$.

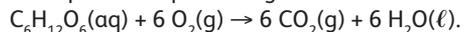
b. Respiration : $\text{O}_2(\text{g})$ est un réactif ; $\text{CO}_2(\text{g})$ est un produit.

Photosynthèse : $\text{O}_2(\text{g})$ est un produit ; $\text{CO}_2(\text{g})$ est un réactif.

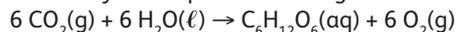
c. Lors des phases d'éclairement, la plante est en phase de photosynthèse et produit donc du dioxygène (d'où l'augmentation de la concentration en O_2 pendant cette phase).

Lors des phases d'obscurité, la plante consomme du dioxygène (d'où la diminution de la concentration en O_2 pendant cette phase).

d. Respiration à partir du glucose :



e. Photosynthèse produisant du glucose :



2. Ces deux processus sont des transformations inverses. Pour la photosynthèse, il est nécessaire de fournir de l'énergie sous forme lumineuse pour que la transformation puisse se produire (ce qui n'est pas le cas pour la respiration qui est un processus spontané).

Les molécules : formules et groupes caractéristiques

> Manuel pages 282 à 295

Choix pédagogiques

De petites molécules ont été étudiées au collège, les élèves ont utilisé des modèles moléculaires pour les visualiser. Dans ce chapitre ils vont étudier des molécules comportant davantage d'atomes ; ce sont des molécules organiques pour la plupart. L'utilisation de modèles moléculaires permet d'aborder facilement la notion d'isomérisation. À l'aide des formules semi-développées, la présence de groupes caractéristiques peut être observée et utilisée pour classer les molécules. La structure tridimensionnelle des molécules peut être mise en évidence en utilisant des logiciels de modélisation moléculaire.

Les exemples proposés dans le cours ou les exercices montrent l'importance des matériaux moléculaires et leurs applications dans le domaine du sport ou de la santé.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Le baume du tigre utilisé pour atténuer les douleurs musculaires contient du camphre et du menthol.

Qu'est-ce qui différencie ces deux molécules et permettra-t-il d'expliquer leurs propriétés chimiques ?

Les atomes présents dans les deux molécules sont de même type (les élèves peuvent reconnaître des atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène dont la représentation conventionnelle a été vue en 3^e). Les élèves observeront probablement que le nombre d'atomes de carbone et d'hydrogène diffère d'une molécule à l'autre. La notion de formule brute peut ainsi être abordée.

Le professeur peut ensuite inviter les élèves à observer la manière dont les atomes sont liés les uns aux autres pour mettre en évidence d'autres différences. L'existence de cycle et de liaisons multiples peut être évoquée. Sans parler immédiatement de groupes caractéristiques ni d'ailleurs les nommer, la différence importante entre le groupe carbonyle du camphre et le groupe hydroxyle du menthol peut être observée.

Enfin, l'observation attentive de ces molécules peut être l'occasion de montrer que les atomes d'un même type établissent le même nombre de liaisons avec les atomes voisins.

Mettre les modèles moléculaires des deux molécules à disposition des élèves peut faciliter la discussion.

L'eau glisse sans mouiller sur les textiles synthétiques possédant des propriétés déperlantes.

Comment obtenir un matériau textile possédant des propriétés particulières ?

Il s'agit ici de prolonger le questionnement précédent. Les élèves relieront probablement les propriétés macroscopiques d'un matériau à sa structure moléculaire. Toutefois, pour les matériaux textiles évoqués ici en parti-

culier, si la structure moléculaire est importante, la mise en forme (filage, tissage, traitement de surface) l'est également.

Vidéo Débat : Recherche de position aérodynamique en préparation de l'épreuve du kilomètre lancé.

Parmi les matériaux évoqués dans la vidéo, quels sont ceux que l'on peut qualifier de « moléculaires » ?

L'optimisation de l'équipement sportif pour atteindre des vitesses de plus de 200 km·h⁻¹ en kilomètre lancé est évoquée dans cette vidéo. Elle porte aussi bien sur l'amélioration de la forme donnée aux différentes parties de l'équipement que sur la nature des matériaux qui les constituent.

Il s'agit ici d'évoquer les différents types de matériaux et d'interroger les élèves sur l'adjectif moléculaire : si la matière est constituée d'atomes, tous les matériaux ne sont pas constitués de molécules ! On pourra ici évoquer par exemple la différence entre les métaux et alliages (bâtons, carres des skis) et les polymères utilisés pour le revêtement des skis, ou les combinaisons qui sont eux des matériaux moléculaires.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Découvrir les modèles moléculaires

Commentaires

Contextualisation :

Les molécules choisies pour l'étude sont des monomères dont on peut évoquer l'utilisation massive dans la production de polymères :

– l'éthylène glycol : combiné avec l'acide téréphtalique il permet la synthèse du PET (bouteilles plastiques, laine polaire) ;

– l'acrylonitrile : monomère du polyacrylonitrile (fibres textiles, synthèse des fibres de carbone) ;

– le chlorure de vinyle : monomère du PVC (tuyaux, films plastiques).

Cette activité poursuit plusieurs objectifs :

- mettre en évidence la notion d'isomérie ;
- présenter les différentes représentations conventionnelles d'une molécule ;
- montrer qu'un type d'atome établit un nombre particulier de liaisons avec ses voisins.

Elle s'appuie sur l'utilisation conjointe de modèles moléculaires d'une part et d'un logiciel de représentation d'autre part.

Réponses

1. RÉALISER

a. En construisant les trois modèles, les élèves sont amenés à identifier les différents types d'atomes « noirs » disponibles dans les boîtes (tétraédriques et trigonaux).

b. Il s'agit ici d'observer différents modèles, en particulier les modèles compacts et éclatés. On peut discuter de leurs intérêts respectifs : le modèle compact rend compte de la « taille », le modèle éclaté rend compte des liaisons entre les atomes.

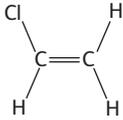
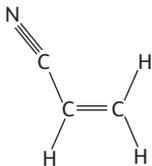
Voir le tableau en bas de page.

2. ANALYSER

Les élèves associent le modèle à la formule semi-développée, relient les atomes représentés aux boules colorées qui les modélisent. Une discussion permet de comprendre ce qu'est une formule brute et comment on peut l'obtenir à partir de la formule développée. De même, la notion de formule semi-développée (les liaisons impliquant des hydrogènes ne sont pas représentées) et son intérêt (représentation plus compacte que la formule développée mais rendant compte des différentes liaisons présentes) peuvent être dégagés.

3. RÉALISER

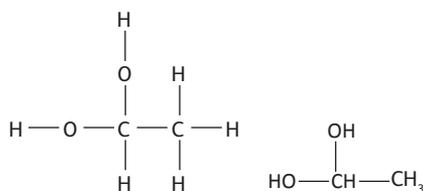
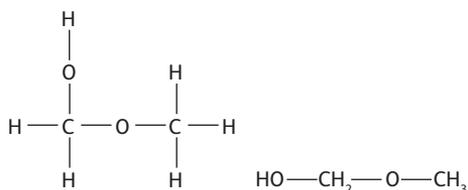
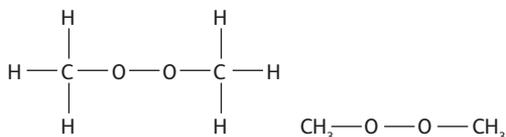
a. La notion de liaison multiple peut être introduite ici.

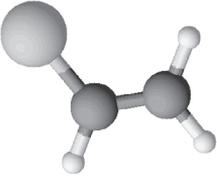
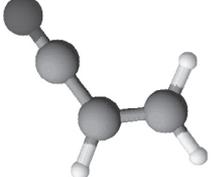
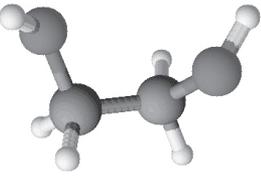
Chlorure de vinyle	Acrylonitrile
C_2H_3Cl	C_3H_3N
$Cl-CH=CH_2$	$N\equiv C-CH=CH_2$
	

b. Il s'agit ici d'évoquer la notion d'isomérie : les différentes molécules proposées auront en effet toutes la même formule brute.

La discussion amènera sûrement à parler de conformation, des élèves pouvant proposer des conformations différentes de mêmes molécules.

Quelques exemples de molécules qui pourront être proposées :



	Chlorure de vinyle	Acrylonitrile	Éthylène glycol
Modèle éclaté			
Modèle compact			

4. VALIDER

Couleur de la boule	Atome modélisé	Nombre de liaisons
Blanche	Hydrogène	1
Noire	Carbone	4
Rouge	Oxygène	2
Bleue	Azote	3
Verte	Chlore	1

2. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Repérer des groupes caractéristiques

Commentaires

Les propriétés macroscopiques des textiles résultent en partie de la structure des molécules qui les constituent. Les différences entre les molécules peuvent avoir plusieurs origines (voir à ce sujet les pages d'ouverture).

On se propose dans cette activité de classer les molécules qui « appartiennent à la même famille » et de mettre ainsi en évidence la notion de groupe caractéristique.

L'activité permet également de préciser la notion d'isomérisation, déjà abordée dans l'activité précédente.

Réponses

1. ANALYSER

a. Exemples de classement des molécules :

- par nombre total d'atomes présents ;
- par nombre de carbones présents ;
- par type d'atomes présents : celles qui possèdent H et C, celles qui possèdent H, C et O, celles qui possèdent H, C et N...
- par formules brutes ;
- par présence de cycle ou pas.

On peut ici montrer aux élèves que toutes les molécules possèdent des atomes de carbone et évoquer la notion de molécule organique.

b. En comparant les molécules sur même fond de couleur, les élèves repèrent une similitude dans l'enchaînement d'un petit nombre d'atomes. On peut alors définir la notion de groupe caractéristique.

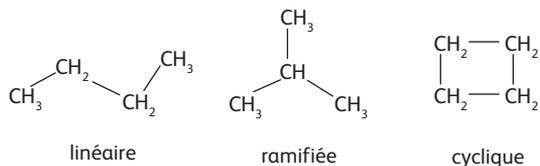
On peut ici montrer que des molécules présentant un enchaînement O-H ou C=O appartiennent à des familles différentes selon l'environnement de cet enchaînement.

Couleur	Vert	Bleu	Orange	Violet	Rose	Gris
Groupe	C=O	CO ₂ H	Aucun	OH	NH ₂	-CO ₂ -

c. Les espèces 1, 2 et 3 ont la même formule brute C₃H₆O. On peut ici définir le terme « isomères » ; on peut aussi faire remarquer que les trois espèces présentent une double liaison.

2. COMMUNIQUER

Les molécules réalisées à partir d'atomes de carbone possèdent également des atomes d'hydrogène. Elles peuvent être très diverses. L'enchaînement des atomes de carbone peut conduire à des « squelettes » différents à partir du même nombre de carbone : molécules linéaires, ramifiées ou cycliques.



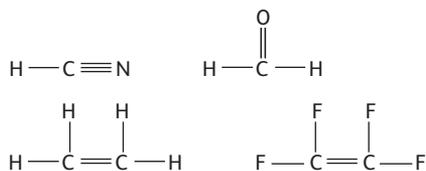
Elles peuvent présenter des liaisons simples ou multiples. D'autres types d'atomes (oxygène et azote par exemple) peuvent être présents et accroître encore la diversité des molécules selon la manière dont ils sont liés aux atomes de carbone et d'hydrogène. On peut classer les molécules par famille, présentant un même enchaînement de quelques atomes appelé « groupe caractéristique », par exemple : OH, CO₂H, NH₂, C=O...

Deux molécules peuvent avoir la même formule brute et être pourtant différentes, on les appelle « isomères ».

EXERCICES Appliquer le cours

I Matériaux et molécules du sport (§1 du cours)

14. Déterminer des types de liaisons



II Formules d'une molécule (§2 du cours)

15. Déterminer une formule brute

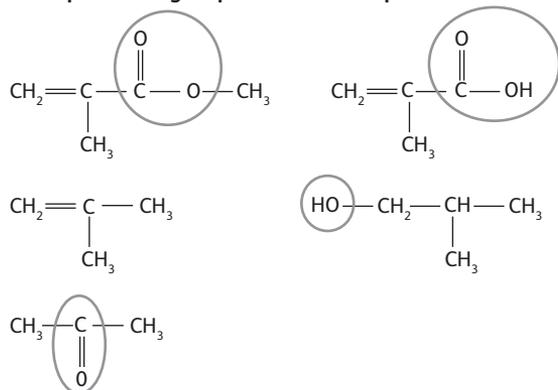


16. Écrire des formules à partir de modèles

Molécule	Éthane	Éthène	Éthyne
Formule développée	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}=\text{C}-\text{H} \end{array}$	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$
Formule semi-développée	CH ₃ -CH ₃	CH ₂ =CH ₂	CH≡CH
Formule brute	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂

I Groupes caractéristiques (§3 du cours)

17. Repérer des groupes caractéristiques



I Isomères (§4 du cours)

18. Identifier des isomères

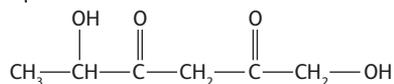
a. Deux isomères sont des molécules qui ont la même formule brute mais dont les atomes sont liés différemment entre eux.

b. (a) et (b) sont des isomères de l'isobutanol : ils ont la même formule brute $C_4H_{10}O$ mais les atomes sont liés différemment. Pour (a), la chaîne est linéaire alors qu'elle est ramifiée pour l'isobutanol. Pour (b), le groupe caractéristique OH n'est pas positionné sur le même carbone. (c) est l'isobutanol. La formule brute de (d) est C_4H_8O . Ce n'est donc pas un isomère de l'isobutanol.

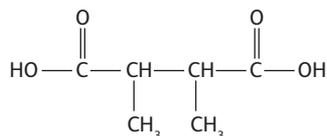
19. Rechercher des isomères

Réponses possibles :

- isomère linéaire possédant des groupes caractéristiques différents :



- isomère possédant les mêmes groupes caractéristiques mais une structure ramifiée et non plus linéaire :



EXERCICES S'entraîner

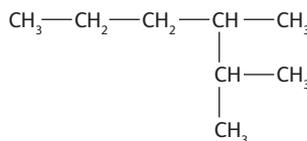
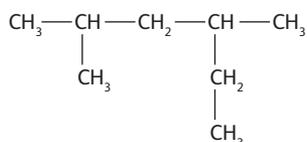
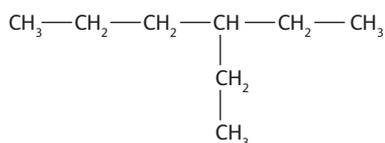
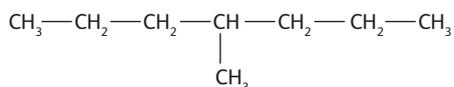
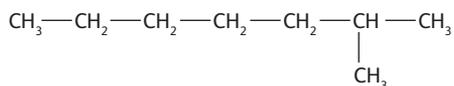
21. Partage des skis

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser.

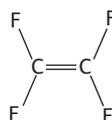
a. L'octane est l'alcane linéaire de formule brute C_8H_{18} . Sa formule semi-développée est obtenue en liant les 8 atomes de carbone les uns à la suite des autres et en complétant avec les atomes d'hydrogène de sorte que chaque atome de carbone forme 4 liaisons (les atomes d'hydrogène ne forment qu'une liaison, avec un atome de carbone).



b. Un isomère de l'octane a la même formule brute mais les liaisons entre les atomes sont différentes. On peut proposer des chaînes plus ou moins ramifiées et modifier la position des ramifications. Quelques isomères sont :



c. Les atomes de carbone forment quatre liaisons et les atomes de fluor une seule. La formule développée de la molécule de formule C_2F_4 compatible avec ces nombres de liaisons est :

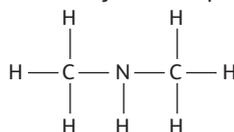


22. Apprendre à rédiger

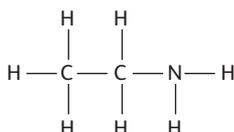
> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

Un isomère de la molécule de diméthylamine est une molécule de même formule brute que la diméthylamine mais dont les atomes sont liés différemment.

La diméthylamine a pour formule développée :



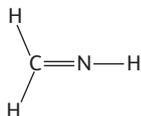
Un isomère peut être obtenu en modifiant la position de l'atome d'azote :



23. Des molécules dans l'espace

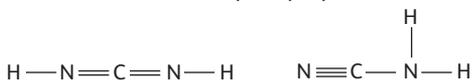
> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser.

a. La molécule (a) a pour formule brute CH_3N . Pour trouver la formule développée il faut lier C et N et compléter avec des liaisons avec des atomes d'hydrogène de sorte que l'atome de carbone soit lié à 4 atomes et l'atome d'azote à 3 atomes. Comme on ne dispose que de 3 hydrogènes, obtenir le bon nombre de liaisons pour les atomes de carbone et d'azote n'est possible qu'à condition de les relier par une liaison double.

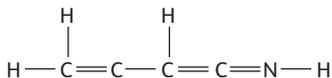
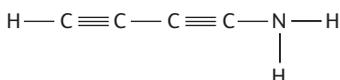
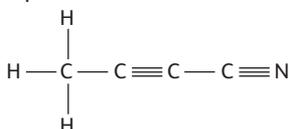


b. Il s'agit de compléter les formules avec des liaisons multiples et des liaisons avec des atomes d'hydrogène de sorte que chaque atome de carbone forme 4 liaisons et chaque atome d'azote 3.

Pour la molécule (b) on peut proposer :



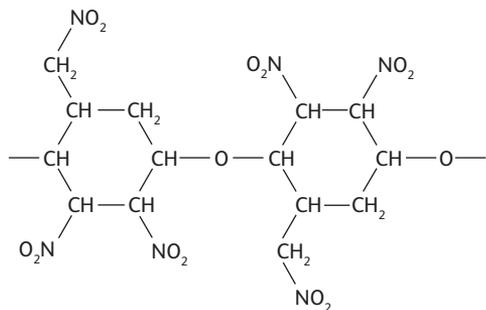
Et pour la molécule (c) :



24. In English Please

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser.

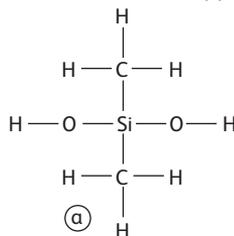
En remplaçant les groupes « OH » par des groupes « NO_2 » on obtient :



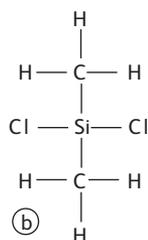
e silicone

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

a. La formule développée de la molécule (a) est :



b. Comme (a) est formée à partir de (b) on peut supposer que leurs structures sont voisines ; ils possèdent tous deux deux atomes de carbone et un atome de silicium. La structure de (b) est donc :



c. L'atome de silicium forme 4 liaisons comme l'atome de carbone. Dans une classification périodique ces deux atomes sont dans la même colonne, on peut supposer que c'est de là que vient leur capacité à former le même nombre de liaisons.

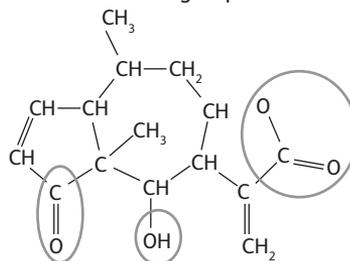
26. L'hélnaline et l'arnica

> COMPÉTENCES : Analyser, restituer.

a. La structure de l'hélnaline est cyclique (on peut même dire polycyclique).

b. Sa formule brute est $\text{C}_{15}\text{H}_{18}\text{O}_4$.

c. On reconnaît 3 groupes caractéristiques :



27. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

Identifier une molécule

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

Le lactose et le saccharose sont deux isomères : ils ont la même formule brute mais leurs formules semi-développées sont différentes. Leurs propriétés physiques et chimiques sont différentes. Les documents donnent leur solubilité massique, c'est-à-dire la masse maximale d'une espèce que l'on peut dissoudre dans un litre d'eau. Ces solubilités sont très différentes : le saccharose est beaucoup plus soluble que le lactose.

Pour différencier les deux il suffit par exemple de peser une masse de 20 g de chaque échantillon et de les placer dans un bécher contenant 50 mL d'eau. On agite de manière à favoriser la dissolution. La masse de lactose est supérieure à la masse maximale soluble dans 50 mL d'eau ($\frac{216}{1\,000} \times 50 = 10,8$ g) : il ne doit donc pas totalement se dissoudre alors que le saccharose doit totalement se dissoudre (la masse maximale de saccharose soluble dans 50 mL d'eau est ($\frac{2\,000}{1\,000} \times 50 = 100$ g).

28. ✪ De l'isoprène au caoutchouc

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser.

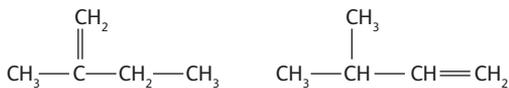
Un isomère de la molécule d'isoprène est une molécule de même formule brute que l'isoprène c'est-à-dire C_5H_{10} mais dont les atomes sont liés différemment.

On peut en représenter 8 isomères en modifiant la structure de la molécule (linéaire, ramifiée, cyclique) mais en gardant le même nombre d'atomes.

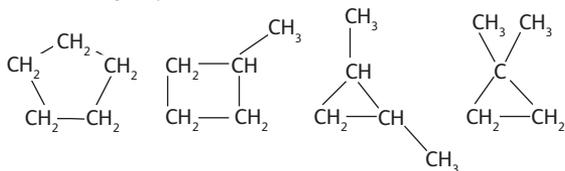
Molécules linéaires :



Molécules ramifiées :



Molécules cycliques :



29. ✪ Constituants d'une huile essentielle

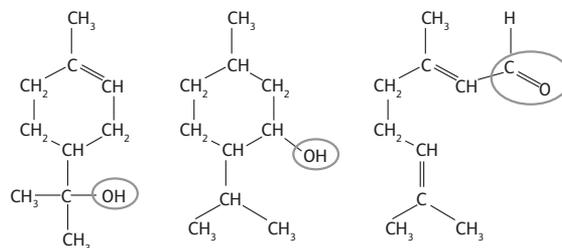
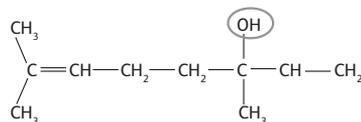
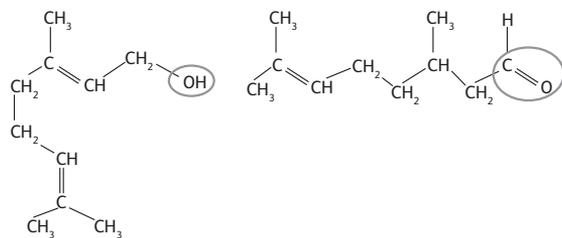
> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser.

a. Deux isomères sont des molécules de même formule brute mais dont les atomes sont liés différemment. Pour déterminer les isomères parmi les molécules représentées, recherchons leurs formules brutes.

- Géraniol : $C_{10}H_{18}O$
- Citronnellal : $C_{10}H_{18}O$
- Linalol : $C_{10}H_{18}O$
- α -terpinéol : $C_{10}H_{18}O$
- Menthol : $C_{10}H_{20}O$
- Citral : $C_{10}H_{16}O$

Les isomères sont donc le géraniol, le citronnellal, le linalol et l' α -terpinéol.

b. Recherchons les atomes qui ne sont pas du carbone et de l'hydrogène puis suivons les règles énoncées dans le cours pour déterminer les groupes caractéristiques.



30. ANALYSE DE DOCUMENTS

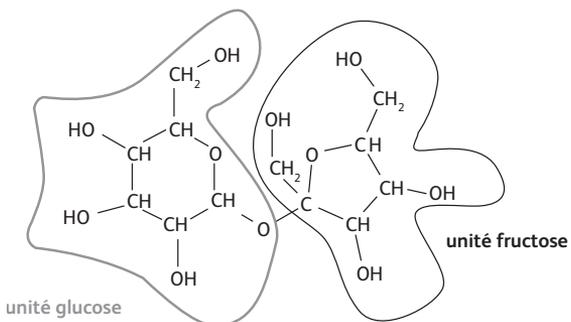
✪✪ Glucides simples et complexes

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, communiquer.

a. Le document 1 donne les formules semi-développées du glucose et du fructose. Nous pouvons déterminer les formules brutes de ces deux molécules et nous remarquons qu'elles sont identiques : $C_6H_{12}O_6$. Glucose et fructose ont la même formule brute mais leurs atomes ne sont pas liés de la même façon : ce sont des isomères.

b. Avec $n = 6$ la formule brute $C_n(H_2O)_n$ devient $C_6(H_2O)_6$ soit $C_6H_{12}O_6$ qui est bien la formule brute du glucose et du fructose.

c. D'après la formule semi-développée du document 1, la molécule de saccharose a pour formule brute $C_{12}H_{22}O_{11}$. D'après le document 4 elle peut être hydrolysée en glucose et fructose. Le terme hydrolyse signifie, d'après son étymologie donnée dans le document 2, « délier, libérer avec l'eau ». Nous reconnaissons dans la structure du saccharose deux unités très proches l'une du glucose, l'autre du fructose.



Nous remarquons de plus que nous pouvons écrire l'équation d'une réaction chimique conduisant au glucose et au fructose à partir de saccharose et d'eau :
 Saccharose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) + $H_2O \rightarrow$ Fructose ($C_6H_{12}O_6$)
 + Glucose ($C_6H_{12}O_6$)

En conclusion, le saccharose est un glucide « complexe » au sens où il est constitué de l'assemblage de deux glucides « simples », le glucose et le fructose. La réaction du saccharose avec l'eau permet de dissocier le saccharose en ces deux glucides simples, la réaction est appelée hydrolyse, elle est facilitée par la présence de saccharase. De la même manière, d'après le document 3, l'amidon est constitué de l'assemblage de glucides simples (des molécules de glucose), il s'agit donc d'un glucide complexe. Par une réaction avec l'eau, probablement analogue à la réaction d'hydrolyse du saccharose, les unités glucoses peuvent être libérées.

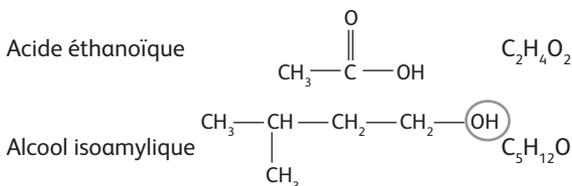
Nous pouvons envisager une équation de réaction du type : amidon + $n H_2O \rightarrow n$ Glucose ($C_6H_{12}O_6$) où n est un entier représentant le nombre d'unités glucose dans l'amidon. Cette hydrolyse est facilitée par l'amylase.

31. RÉOLUTION DE PROBLÈME

✪ Identifier le produit d'une réaction

> COMPÉTENCES : S'appropriier, analyser, réaliser.

Les modèles moléculaires représentés permettent de déterminer les formules semi-développées puis les formules brutes des deux réactifs.

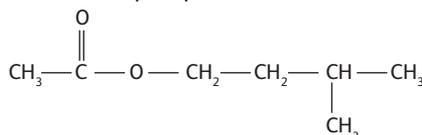


Le produit a pour formule brute $C_7H_{14}O_2$. Son nombre d'atomes de carbone est égal à la somme des atomes de carbone des deux réactifs. L'équation de la réaction est : $C_2H_4O_2 + C_5H_{12}O \rightarrow C_7H_{14}O_2 + H_2O$ (une molécule d'eau doit être ajoutée pour équilibrer l'équation).

Les liaisons entre atomes de carbone ne sont pas modifiées par la réaction. Il s'agit donc d'associer les deux réactifs sans modifier leur structure carbonée. Toutefois leurs groupes caractéristiques (entourés sur les formules plus haut) sont modifiés.

Le produit doit posséder deux liaisons simples C-O et une liaison double C=O.

La molécule qui répond aux différents critères est :



32. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✪✪ Polymères

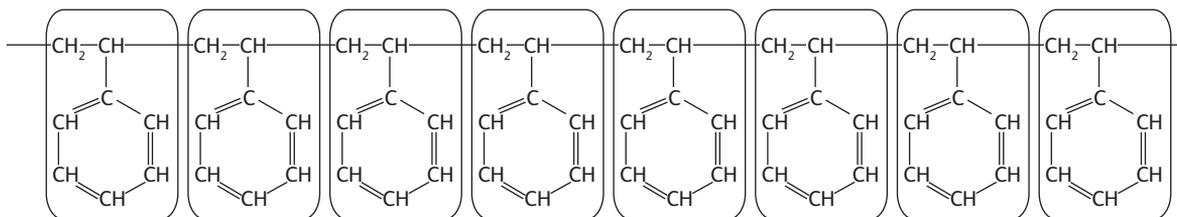
> COMPÉTENCES : S'appropriier, analyser, communiquer.

a. Dans la vidéo et le document 2, on apprend qu'un polymère (étymologiquement « plusieurs parties ») est une très grande molécule constituée d'un très grand nombre de petites unités (appelées monomères) liées entre elles.

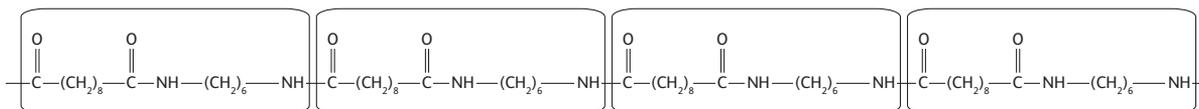
b. Le document 2 nous renseigne sur les tailles respectives des polymères (de l'ordre du μm , c'est-à-dire 10^{-6} m) et des monomères (de l'ordre du dixième de nanomètre, soit 10^{-10} m). Nous pouvons alors évaluer le nombre d'unités monomères : $\frac{10^{-6}}{10^{-10}} = 10^4$. Ce nombre est appelé degré de polymérisation $n = 10^4$.

c. Le polystyrène représenté dans le document 3 est un assemblage d'un même motif (ce sont les « perles » évoquées dans la vidéo du document 1). Dans la représentation du polymère on ne retient finalement que ce motif.

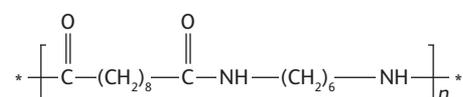
Suite de la question c. de l'exercice 32



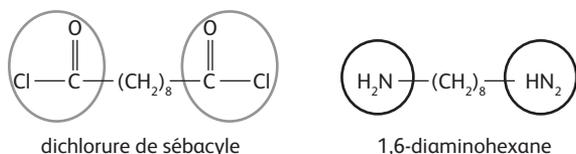
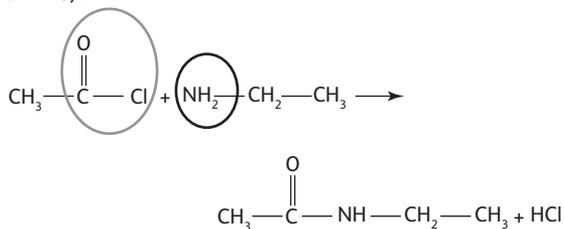
Nous pouvons faire de même pour le nylon 6-10 en recherchant le motif reproduit dans le polymère :



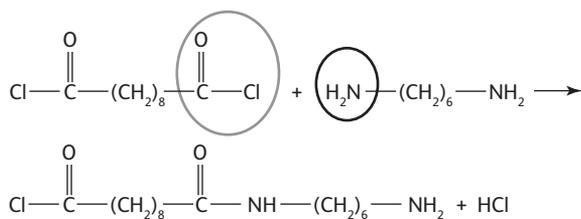
La représentation de ce polymère est donc :



d. D'après le document 4 le nylon 6-10 est obtenu par réaction entre le 1,6-diamino hexane et le dichlorure de sébacyle. Nous reconnaissons sur ces deux molécules les groupes caractéristiques présents dans les molécules représentées dans le document 5 (chlorure d'acyle et amine) :



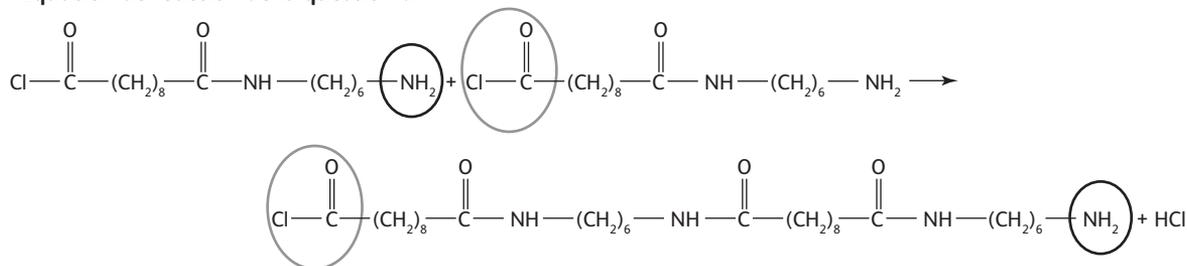
Nous pouvons donc envisager par analogie un même type de réaction entre le 1,6-diamino hexane et le dichlorure de sébacyle.



Le produit obtenu présente encore les deux groupes caractéristiques. Il peut réagir avec une molécule identique et conduire peu à peu à l'accroissement du polymère (équation ci-dessous).

e. Dans le document 6, on donne les réactifs qui permettent d'obtenir le Kevlar. Ils présentent les mêmes groupes caractéristiques que les réactifs conduisant à la synthèse du nylon 6-10. Un raisonnement par analogie permet de représenter le Kevlar (tableau en bas de page).

• Équation de réaction de la question d



• Tableau de la question e

	réactifs		polymère
Nylon 6-10	$\text{Cl}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-(\text{CH}_2)_8-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Cl}$	$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$	$\ast \left[\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-(\text{CH}_2)_8-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH} \right]_n \ast$
Kevlar	$\text{Cl}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{C}_6\text{H}_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Cl}$	$\text{NH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2$	$\ast \left[\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{C}_6\text{H}_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH} \right]_n \ast$

Pression des gaz et sport en altitude

> Manuel pages 296 à 311

Choix pédagogiques

Les parties du programme traitant de la notion de pression ont été séparées en deux parties, afin de séparer la notion de pression due aux gaz et la notion de pression due aux liquides. Il faut toutefois être prudent avec les élèves pour ne pas leur faire croire qu'il existe deux pressions différentes. La notion de force pressante est alors présentée et exploitée dans les chapitres 4 sport et 5 sport.

Ce premier chapitre permet d'introduire la notion de force pressante, l'interprétation microscopique de la pression, et de faire apparaître pour la première fois la notion d'équation d'état avec la loi de Boyle-Mariotte.

La notion de dissolution d'un gaz dans un liquide aurait pu apparaître dans les deux chapitres, mais elle a plus sa place dans ce premier chapitre, la facteur influençant la dissolution étant la pression dans le gaz.

OUVERTURE DE CHAPITRE

De nombreux sportifs préparent leurs compétitions en s'entraînant d'abord en altitude.

Pourquoi la pression de l'air a-t-elle une influence sur le dioxygène assimilé par les sportifs ?

Le débat peut être riche sur cette photo. De nombreux élèves peuvent avoir l'intuition qu'il y a « moins d'air » en altitude ; ceux qui ont déjà fait des randonnées en montagne pourront citer leur essoufflement rapide. Il faut alors orienter la discussion sur des notions de SVT : quelle est l'espèce chimique de l'air utilisée par le métabolisme ? Que devient le dioxygène respiré ? Il passe dans le sang (il est solubilisé). Intuitivement, l'élève peut répondre que s'il y a moins de dioxygène dans l'air, il y aura moins de dioxygène dissous.

L'interprétation suivante est alors nettement plus physiologique que physique : le corps, afin de lutter contre la raréfaction du dioxygène, augmente la production de globules rouges qui permettent son assimilation. En descendant ensuite à une altitude plus basse, juste avant la compétition, la quantité de globules rouges ne décroît que lentement, permettant ainsi au sportif d'assimiler plus de dioxygène de l'air pendant quelques jours.

Ballon ayant permis à Felix Baumgartner de réaliser un saut depuis une altitude de 38 km.

Le ballon du parachutiste aura-t-il le même volume à 38 km d'altitude ?

Visiblement sur la photographie, au niveau du sol le ballon semble peu gonflé, et le matériau dont il est fait ne semble pas être élastique. L'élève peut alors avoir l'intuition que cette précaution est prise car le ballon risque d'avoir un volume plus important en altitude.

Vidéo Débat : Un spectacle de chimie réalisé avec du soda.

Pourquoi le gaz dissous dans le soda s'en échappe-t-il une fois la bouteille ouverte ?

La vidéo est assez festive : l'effet catalytique du déga-zage du soda avec des bonbons est maintenant assez connu des élèves. Il est ici mis en scène avec une grande quantité de bouteilles de soda. Un premier niveau de discussion peut être abordé par les élèves sur la notion de dissolution d'un gaz dans l'eau. Il est ensuite possible de faire remarquer aux élèves que la bouteille est sous pression (le « pschitt » à l'ouverture). En ouvrant la bouteille, on diminue la pression du gaz, et le gaz qui s'échappe est visible (formation de bulles au sein du liquide) : le gaz est moins soluble si la pression diminue. Il existe donc une relation entre pression du gaz et solubilité du gaz dans l'eau.

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Pression et force pressante

Commentaires

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élèves et professeurs sur le site :

www.nathan/sirius2014.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Modèle microscopique d'un gaz

Commentaires

L'utilisation d'un logiciel de simulation permet de mieux se faire une image de la modélisation d'un gaz à l'échelle microscopique.

Réponses

1. RÉALISER

- Manipulation du logiciel.
- Manipulation du logiciel.

2. ANALYSER

- a. On observe que les molécules se déplacent en ligne droite. Elles changent de direction quand elles entrent en contact avec la paroi ou lorsqu'elles entrent en collision avec d'autres molécules.
- b. Dans un gaz, les molécules sont en mouvement rapide, incessant et désordonné et en ligne droite. La direction du déplacement change lors d'un choc.

3. RÉALISER

- a. Manipulation du logiciel : augmenter la température puis la quantité de gaz dans les deux compartiments. Suivant les choix, on voit la paroi se déplacer vers la gauche ou vers la droite.
- b. Manipulation du logiciel : changer la nature du gaz sans changer les autres paramètres.

4. COMMUNIQUER

Un gaz est modélisé à l'échelle microscopique par des molécules en mouvement incessant et désordonné. Lors des chocs sur la paroi, il s'exerce une force modélisée par une force pressante, d'autant plus grande que les chocs sont nombreux et à grande vitesse.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

La loi de Boyle-Mariotte

Commentaires

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élèves et professeurs sur le site : www.nathan/sirius2014.

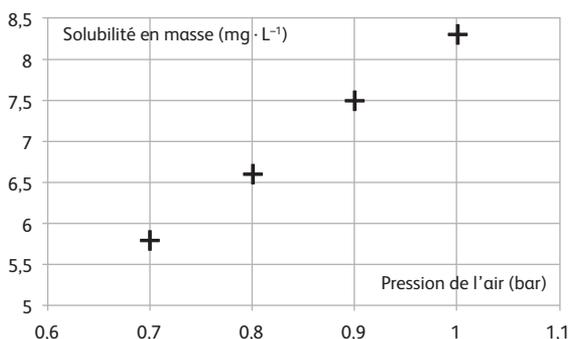
4. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Dissolution des gaz dans les liquides

1. S'APPROPRIER

- a. D'après le document 1, le dioxygène O_2 est une espèce chimique présente dans l'eau.
- b. D'après le document 3, la pression atmosphérique diminue lorsque l'altitude augmente.
- c. D'après le document 3, l'eau est l'espèce chimique majoritaire du sang.

2. RÉALISER



3. VALIDER

- a. Le graphique met en évidence que la solubilité du dioxygène dans l'eau augmente quand la pression de l'air qui surmonte cette eau augmente.
- b. En altitude, la pression de l'air diminue, et par voie de conséquence, la solubilité du dioxygène dans le sang (majoritairement constitué d'eau) diminue. Afin de maintenir un apport conséquent de dioxygène dans le sang, le corps produit plus de globules rouges. En revenant à une altitude plus basse, ces globules rouges ne sont évacués que lentement, donc pendant quelques jours, le corps a un taux élevé de globules rouges, ce qui améliore les performances des sportifs.

EXERCICES **Appliquer le cours**

Les gaz : aspect macroscopique (§1 du cours)

18. Calculer une force pressante

- a. L'expression de la valeur de la force pressante est :
 $F = P \times S$.

F est en newton (N) ; P est en pascal (Pa) ; S est en mètre-carré (m²).

- b. La pression atmosphérique vaut :
 $P = 1\,000 \text{ hPa} = 1\,000 \times 10^2 \text{ Pa} = 1,000 \times 10^5 \text{ Pa}$.
 $F = P \times S = 1,000 \times 10^5 \times 2,0 = 2,0 \times 10^5 \text{ N}$.

19. Représenter une force pressante

- a. La force pressante est :
– orthogonale à la surface du doigt (d'aire S) qui obture l'extrémité de la seringue ;
– dirigée de l'intérieur de la seringue vers l'extérieur ;
– de valeur : $F = P \times S$.



- b. Lorsqu'on enfonce davantage le piston, la pression de l'air à l'intérieur de la seringue augmente, donc la valeur de la force pressante augmente.

20. Utiliser les unités SI

L'expression de la valeur de la force pressante est :
 $F = P \times S$.

F est en newton (N) ; P est en pascal (Pa) ; S est en mètre-carré (m²).

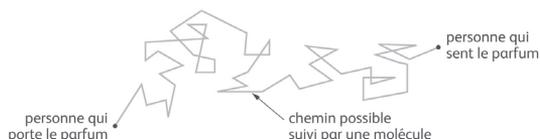
- La pression vaut :
 $P = 1\,000 \text{ hPa} = 1\,000 \times 10^2 \text{ Pa} = 1,000 \times 10^5 \text{ Pa}$.
L'aire de la surface vaut : $S = 5 \text{ mm}^2 = 5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.
 $F = P \times S = 1,000 \times 10^5 \times 5 \times 10^{-6} = 5 \times 10^{-1} \text{ N}$.

Les gaz : aspect microscopique (§2 du cours)

21. Argumenter à l'aide d'un schéma

Les espèces chimiques volatiles passent facilement de l'état liquide à l'état gazeux. Les molécules odorantes sont des molécules de gaz. Ces molécules sont en mouvement incessant et désordonné. Certaines d'entre elles peuvent ainsi atteindre le nez d'une personne située à plus d'un mètre de la source odorante.

Entre deux chocs avec d'autres molécules, la trajectoire d'une molécule est rectiligne.



22. Argumenter en précisant un modèle

Dans un gaz, les molécules se déplacent en ligne droite et à grande vitesse tant qu'elles ne rencontrent pas d'obstacle. Elles changent de direction après une collision avec une autre molécule.

Trajectoire rouge : situation impossible.

Trajectoire verte : situation impossible.

Trajectoire bleue : situation possible.

Trajectoire rose : situation possible.

Comportement des gaz aux faibles pressions

(§3 du cours)

23. Analyser une expérience

a. Les grandeurs macroscopiques permettant de décrire l'état d'un gaz sont : la pression, le volume, la quantité de matière et la température.

b. Au cours de l'expérience, la quantité d'air et la température restent constantes. La pression et le volume varient. D'après la loi de Boyle-Mariotte ($PV = \text{constante}$), l'augmentation du volume d'air entraîne une diminution de la pression de l'air à l'intérieur de la seringue.

24. Utiliser les unités SI

a. Dans le Système international, la pression s'exprime en pascal (Pa) et le volume en mètre-cube (m^3).

$$P = 1,0 \text{ bar} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

$$V = 12 \text{ L} = 12 \times 10^{-3} \text{ m}^3.$$

b. La température est supposée constante et la quantité d'hélium dans le ballon reste inchangée. D'après la loi de Boyle-Mariotte : $PV = P'V'$.

$$\text{Ainsi : } V' = \frac{PV}{P'} \text{ avec } P' = \frac{P}{2}.$$

$$V' = 2V = 24 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 24 \text{ L.}$$

25. Utiliser la loi d'Avogadro-Ampère

D'après la loi d'Avogadro-Ampère, la nature du gaz n'intervient pas. La pression et la température étant identiques dans les bouteilles, on peut affirmer que des bouteilles de volume de 1 L contiennent la même quantité de matière, quel que soit la nature du gaz.

La bouteille B ayant un volume deux fois plus grand que celui de la bouteille A, sa quantité de matière est le double de celle de la bouteille A.

La proposition b. est correcte.

26. Reasonner sans calcul

On connaît la masse de dioxyde de carbone, ainsi que sa masse molaire. On peut donc déterminer la quantité n de cet échantillon de gaz.

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = 44,0 / 44,0 = 1,00 \text{ mol.}$$

Par un raisonnement similaire, on montre que la quantité de dioxygène est : $n(\text{O}_2) = 1,00 \text{ mol}$. D'après l'énoncé, une mole de dioxyde de carbone occupe un volume de 23,9 L. D'après la loi d'Avogadro-Ampère, la nature du gaz n'intervient pas : dans les mêmes conditions de température et de pression, une mole de dioxygène occupe le même volume qu'une mole de dioxyde de carbone : $V(\text{O}_2) = V(\text{CO}_2) = 23,9 \text{ L}$.

Dissolution d'un gaz dans un liquide (§4 du cours)

27. Argumenter à partir d'une loi physique

a. La pression de l'air diminue avec l'altitude (baisse d'environ 1 % tous les 100 m).

b. À température constante, la quantité maximale d'un gaz dissous dans un volume donné de liquide augmente quand la pression de ce gaz sur ce liquide augmente. Lors de l'ascension du parapentiste, la pression due au dioxygène de l'air diminue. Il y a donc une baisse de la solubilité du dioxygène dans le sang. La quantité de dioxygène dissous dans le sang diminue au cours de l'ascension.

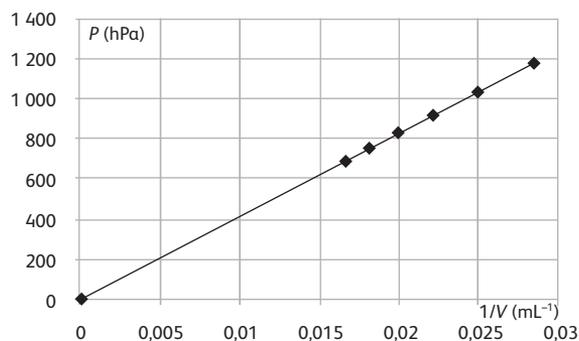
EXERCICES S'entraîner

29. Modéliser une série de mesure

> COMPÉTENCES : Réaliser, valider.

a. **Loi de Boyle-Mariotte** : à température constante et pour une quantité de gaz donnée, le produit de la pression P par le volume V du gaz est constant.

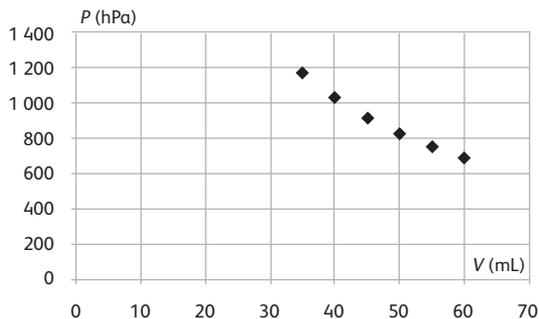
b. La représentation graphique de la pression P de l'air en fonction de $\frac{1}{V}$ est donnée ci-dessous.



Manon obtient des points expérimentaux au voisinage d'une droite passant par l'origine du repère. Elle en conclut que la pression P de l'air (dans la seringue) est proportionnelle à $\frac{1}{V}$. Ainsi : $P = \frac{k}{V}$, ou $PV = k = \text{constante}$ = coefficient directeur de la droite.

La conclusion de Manon est correcte : le gaz suit la loi de Boyle-Mariotte.

c. La représentation graphique de la pression P de l'air en fonction de V est donnée ci-dessous.



Jérémy obtient des points expérimentaux qui ne semblent pas être au voisinage d'une droite. Il ne sait pas quoi conclure.

30. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

a. La valeur de la force pressante exercée sur le bouchon par l'air extérieur est donnée par la relation :

$$F = P_{\text{atm}} \times S.$$

$$S = 3,0 \text{ cm}^2 = 3,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ et } P_{\text{atm}} = 1,02 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

$$F = 1,02 \times 10^5 \times 3,0 \times 10^{-4}$$

$$F = 31 \text{ N.}$$

b. La valeur F' de la force pressante exercée sur le bouchon par le mélange de gaz juste avant l'éjection est donnée par :

$$F' = P_{\text{max}} \times S.$$

$$P_{\text{max}} = 1,5 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

$$F' = 1,5 \times 10^5 \times 3,0 \times 10^{-4}$$

$$F' = 45 \text{ N.}$$

On a : $F' < F$ ($F' \approx 1,5 \times F$). La force exercée par le mélange de gaz sur le bouchon est orthogonale au bouchon, et orientée du gaz vers le bouchon. Sa valeur étant une fois et demie plus élevée que celle de la force exercée par l'air extérieur, le bouchon est « poussé » par le dioxyde de carbone formé et « saute ».

31. Ascension du Mont-Blanc

> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

a.

Altitude (en km)	Pression P (en Pa)	Concentration c (en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)
0	$1,0 \times 10^5$	$2,6 \times 10^{-4}$
1,0	$9,0 \times 10^4$	$2,3 \times 10^{-4}$
2,0	$8,1 \times 10^4$	$2,1 \times 10^{-4}$
3,0	$7,3 \times 10^4$	$1,9 \times 10^{-4}$
4,0	$6,6 \times 10^4$	$1,7 \times 10^{-4}$
5,0	$5,9 \times 10^4$	$1,5 \times 10^{-4}$

b. Au sommet du Mont-Blanc, l'altitude avoisine les 5 000 m (5 km). Compte tenu des informations du tableau précédent, on peut dire que la concentration en dioxygène dissous dans le sang d'un alpiniste au sommet du Mont-Blanc est de $1,5 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. À Chamonix, la concentration en dioxygène dissous dans le sang

est de $2,3 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On vérifie ainsi les informations données : la quantité de dioxygène dissous dans le sang diminue lorsque l'altitude augmente.

32. In English Please

> COMPÉTENCES : Restituer, réaliser, valider.

a. **Loi de Boyle-Mariotte** : se reporter au cours.

b. Lorsque le gaz est à la pression atmosphérique P_{atm} , le volume occupé par ce gaz est : $V = 600 \text{ L}$. Notons V' le volume occupé par ce gaz à la pression $P' = 200 \text{ bar}$.

D'après la loi de Boyle-Mariotte :

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

$$V' = P_{\text{atm}} V / P' = 1,0 \times \frac{600}{200} = 3 \text{ L.}$$

La dernière phrase du texte est bien en accord avec la loi de Boyle-Mariotte.

33. Sport de raquette

> COMPÉTENCES : Analyser, valider.

a. La personne qui porte des chaussures s'enfonce davantage dans la neige que celle équipée de raquettes.

b. Dans un gaz, la pression P est inversement proportionnelle à l'aire S ($P = \frac{F}{S}$). Par extension, on peut considérer

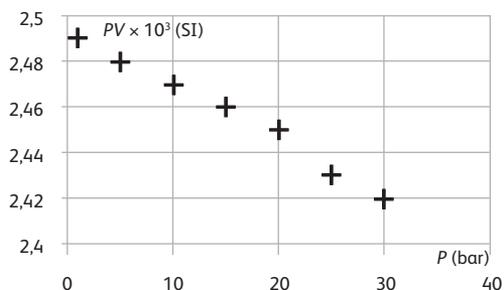
que la pression due au poids des deux personnes sera plus faible pour une surface de contact avec la neige plus grande.

34. Validité de la loi de Boyle-Mariotte

> COMPÉTENCES : Réaliser, valider.

a. Le produit PV s'exprime en $\text{Pa} \cdot \text{m}^3$.

b. La représentation du produit PV en fonction de la pression P est donnée ci-dessous.



c. **Loi de Boyle-Mariotte** : à température constante et pour une quantité de gaz donnée, le produit de la pression P par le volume V du gaz est constant.

La représentation graphique de PV en fonction de P est une droite horizontale.

d. À la température de l'expérience, le produit PV n'est pas constant pour le gaz étudié.

Pour trouver l'écart à la loi inférieur à 1 %, on peut utiliser l'équation de la droite passant au plus près des points expérimentaux ou simplement faire une lecture sur le graphique.

$$\text{Pour les très faibles pressions : } (PV)_{\text{lim}} = 2,4936 \times 10^3 \text{ SI.}$$

L'écart à loi reste inférieur à 1 % pour :

$$PV < 0,99 \times 2,4936 \times 10^3 = 2,4687 \times 10^3 \text{ SI.}$$

Par lecture sur la courbe ou par calcul avec l'équation de la droite, on trouve $P_{\text{lim}} = 10,4$ bar.

e. $3,0 \text{ bar} < 10,4 \text{ bar}$: l'écart que donnera la calcul par rapport à l'expérience sera nettement inférieur à 1 %, ce qui n'est vraiment pas gênant pour le sport de plongée.

35. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

✦ Volume molaire de l'air

> COMPÉTENCES : **S'approprier, analyser, réaliser.**

a. On renverse une éprouvette graduée remplie d'eau au-dessus d'un cristalliseur d'eau. On remplit aux trois-quarts un tube à essais de vinaigre. Le tube à essais est muni d'un bouchon percé, traversé par un tube à dégagement. L'autre extrémité du tube s'enfonce dans l'éprouvette. On pèse précisément 80 mg d'hydrogénocarbonate de sodium que l'on ajoute dans le tube à essais. On bouche très rapidement pour ne pas perdre de dioxyde de carbone. L'éprouvette se remplit de dioxyde de carbone. Lorsque la réaction est terminée, on mesure le volume de gaz dans l'éprouvette : il s'agit du volume occupé par une millimole de gaz. Pour obtenir le volume molaire, il faut multiplier ce volume par 1 000.

b. Raisons possibles :

- erreur de pesée de la masse d'hydrogénocarbonate de sodium ;
- présence trop importante d'air dans le tube à dégagement.

36. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

✦ Contrôle de la pressurisation en milieu médical

> COMPÉTENCES : **S'approprier, analyser, réaliser.**

Dans le sas, la pression de l'air est supérieure à celle dans la salle, mais inférieure à celle de l'air extérieur.

Ainsi, la valeur de la force exercée par l'air extérieur sur les portes du sas est supérieure à la valeur de la force exercée par l'air du sas. Dans le cas de portes battantes, il est difficile de les ouvrir vers l'extérieur du sas. L'utilisation de portes coulissantes est donc nécessaire.

De même, il est difficile de pousser des portes pour aller de la salle vers le sas, dans lequel la pression de l'air est plus grande.

Lorsque les portes entre la salle et le sas s'ouvrent, l'air du sas est injecté vers la salle. L'ouverture étant de courte durée, les pressions n'ont pas le temps de s'équilibrer et les divers contaminants (virus, bactéries, etc.) restent dans la salle. De même, lorsque les portes entre le sas et le milieu extérieur s'ouvrent, c'est l'air extérieur qui entre dans le sas. Les éventuels contaminants présents dans le sas ne peuvent donc sortir.

Il est donc possible d'isoler les malades particulièrement contagieux.

37. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

Soigner les accidents de pression

> COMPÉTENCES : **S'approprier, analyser.**

Dans un caisson hyperbare, la pression est supérieure à la pression atmosphérique. Lorsqu'une personne subit

une variation trop rapide de pression (accident de dé-compression essentiellement), les gaz dissous dans le sang repassent rapidement à l'état gazeux et il y a formation de bulles de gaz dans l'organisme.

Dans un caisson hyperbare, l'augmentation de la pression permet de dissoudre les bulles de gaz (dioxygène et diazote) dans le sang. Le dioxygène est utilisé par l'organisme et le diazote gazeux est progressivement éliminé au niveau des poumons.

Dans un caisson hyperbare, la pression de l'air est supérieure à celle de l'air extérieur. La valeur de la force exercée sur les parois du caisson par l'air intérieur est supérieure à la valeur de la force exercée par l'air extérieur. Il faut donc utiliser un matériau très résistant pour construire le caisson. Celui-ci ne doit pas se déformer, ni même se percer.

38. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

✦ Pression et sport en altitude

> COMPÉTENCES : **Analyser, réaliser.**

Lors d'un saut en parachute, l'altitude diminue très rapidement et la pression augmente (doc. 3). Avant de sauter, l'air dans la caisse du tympan du parachutiste a été emprisonné : cet air est alors à la pression atmosphérique (doc. 2).

Au cours de la chute, la pression atmosphérique augmente mais la pression de l'air dans la caisse du tympan reste inchangée. Si le parachutiste ne fait rien, le tympan se déforme (il est « aspiré » vers l'intérieur de l'oreille, par analogie avec l'expérience présentée sur le document 1) et peut se percer.

Les alpinistes évoluent à des altitudes particulièrement élevées. Au fur et à mesure que l'altitude augmente, la pression atmosphérique diminue. Or, selon la loi de Henry (doc. 4), la concentration en dioxygène dissous dans le sang est proportionnelle à la pression de l'air. Ainsi, plus un alpiniste va grimper, plus il va manquer d'oxygène. Les conséquences sont diverses : maux de tête, fatigue, nausée, vertige, œdème...

39. RÉOLUTION DE PROBLÈME

> COMPÉTENCES : **Analyser, réaliser, valider.**

À 5 km d'altitude, la pression de l'air extérieur est d'environ 600 hPa. Or, avant de décoller, l'air emprisonné dans l'avion est de 1 000 hPa.

Si un trou de la taille d'une pièce de monnaie se forme sur le pare-brise, l'air intérieur est éjecté vers l'extérieur de l'avion jusqu'à ce que les pressions intérieure et extérieure soient égales. Si le pilote bouche le trou avec sa paume, sa main va être « collée » au pare-brise et il va avoir beaucoup de mal à la retirer.

On peut donner une estimation de la force pressante qui s'exerce alors sur la main (pour un trou de l'ordre de 5 cm^2) :

$$F = (P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}) \times S = 400 \times 10^2 \times 5 \times 10^{-4} = 20 \text{ N, soit le poids d'un objet de 2 kg.}$$

Difficile de piloter un avion avec une seule main !

Pression dans les liquides et sport de plongée

> Manuel pages 312 à 325

Choix pédagogiques

Ce dernier chapitre du thème « La pratique du sport » s'articule autour des propriétés des liquides. La dissolution des gaz dans les liquides et la loi de Boyle-Mariotte sont largement reprises dans cette partie. Les variations de pression des fluides y sont également exploitées afin d'étudier les problèmes physiologiques rencontrés en plongée sous-marine.

Une démarche d'investigation, simple à mettre en œuvre, permet de trouver le lien existant entre la pression de l'eau et la profondeur. Une troisième activité (à caractère expérimental) propose de retravailler sur la notion de force pressante, mais cette fois-ci, dans le cas d'un liquide.

Une fois ces deux points abordés, il est alors possible de présenter et d'expliquer les risques encourus lors d'une plongée sous-marine.

OUVERTURE DE CHAPITRE

Plongeuse expirant du gaz.

Pourquoi les bulles de gaz occupent-elles un volume de plus en plus grand en remontant à la surface ?

Les élèves vont facilement dire que les bulles d'air « grossissent » en remontant à la surface, bien que la légende parle de « volume ». Il est donc important, dans un premier temps, de veiller à ce que les élèves emploient le vocabulaire approprié et qu'ils comprennent que la quantité d'air dans une bulle reste la même au cours de la remontée.

Pour guider un peu les élèves qui restent bloqués, on peut leur demander de rappeler la loi de Boyle-Mariotte et de l'appliquer à une bulle d'air qui remonte à la surface.

Plongeur descendant en profondeur.

Pourquoi le plongeur a-t-il beaucoup de mal à retirer son masque lorsqu'il est sous l'eau ?

Les élèves vont rapidement répondre à cette question en disant que c'est l'eau qui plaque le masque contre le visage du plongeur. Toutefois, il est peu probable que les élèves pensent de suite à la notion de force pressante. Il faut donc les amener, au cours de la discussion, à parler d'action mécanique, de force exercée par l'eau, de la surface du masque...

Si le débat est bien mené, les élèves vont faire le rapprochement avec la force pressante exercée par un gaz sur une surface, et comprendre qu'un liquide exerce également une force pressante sur une surface.

Expérience d'élèves sur la déformation d'une membrane dans une piscine.

À quelles forces est soumise la membrane élastique ?

Sans visualiser la vidéo, les élèves peuvent donner un élément de réponse en énonçant la force pressante.

Mais cette vidéo permet aux élèves :

- de visualiser l'effet de la force pressante sur une membrane élastique ;
- de constater que la force pressante augmente lorsque l'on plonge ;
- de constater qu'elle diminue lorsqu'on remonte.

On peut également relancer la discussion en demandant aux élèves pourquoi la membrane ne finit pas par se rompre sous l'effet de la force pressante exercée par l'eau. Existe-t-il une autre force qui s'oppose à la force pressante de l'eau ? Si oui, pourquoi la membrane reste-t-elle « bombée » ?

ACTIVITÉS

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

Pression dans un liquide

Commentaires

Les textes de cette activité présentent les deux accidents majeurs qui peuvent survenir en plongée sous-marine.

En s'aidant de ses connaissances scientifiques récemment acquises (loi de Boyle-Mariotte, dissolution d'un gaz dans un liquide) et en se laissant guider par les questions, l'élève doit être capable de comprendre ce qui se passe lors d'un accident de décompression ou d'une surpression pulmonaire.

Les conséquences très graves de ces accidents doivent faire prendre conscience à l'élève que la plongée est un sport dangereux, et qu'une formation est indispensable avant de pratiquer ce sport.

Réponses

1. S'APPROPRIER

- a. Lors d'une descente, la pression de l'eau augmente.
- b. Les deux principaux accidents qui peuvent survenir sont l'accident de décompression et la surpression pulmonaire.

c. Pour éviter l'accident de décompression, le plongeur doit, lorsqu'il remonte, s'arrêter à des profondeurs différentes et attendre plusieurs minutes. Pour éviter la surpression pulmonaire, le plongeur ne doit pas bloquer sa respiration lors de sa remontée.

2. ANALYSER

a. Au cours d'une plongée, le détendeur de la bouteille permet de fournir au plongeur de l'air à la pression à laquelle il se trouve. Lors de la descente, la pression de l'eau augmente. Donc si la pression de l'eau augmente, la pression de l'air fourni par la bouteille augmente aussi. Or, puisque la pression de l'air augmente, l'air se dissout davantage dans le sang.

b. Il s'agit de la loi de Boyle-Mariotte. Si l'on considère que la remontée s'effectue à température constante et que la quantité d'air reste la même, alors :

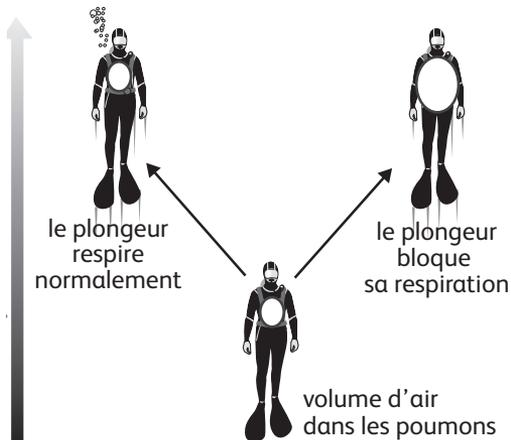
$PV = \text{constante}$. Si le plongeur a bloqué sa respiration, alors sa quantité d'air dans les poumons est constante. Lors de la remontée, la pression de l'eau diminue, de même que la pression de l'air contenu dans les poumons. Compte-tenu de la loi de Boyle-Mariotte, si la pression de l'air diminue, alors son volume augmente.

c. Ces deux accidents de plongée n'ont pas la même origine.

L'accident de décompression se produit lorsque le diazote, initialement dissous dans le sang, passe à l'état gazeux. Des bulles de gaz apparaissent alors dans le sang.

La surpression pulmonaire se produit lorsque le volume d'air contenu dans les poumons augmente. Les alvéoles pulmonaires se déchirent.

3. RÉALISER



4. COMMUNIQUER

La plongée sous-marine est un sport à haut risque : les accidents qui surviennent au cours de cette activité (ivresse des profondeurs, accident de décompression, surpression pulmonaire...) sont fréquents et peuvent être graves, voire mortels. S'aventurer dans ce sport

sans une formation auprès de professionnels relève de l'inconscience. En effet, lors d'une plongée sous-marine, l'Homme est soumis à une forte pression et des modifications physiologiques importantes s'opèrent dans son organisme. Très souvent, le plongeur néophyte ignore les effets d'une forte pression sur son corps et les gestes à adopter pour plonger en toute sécurité. Il est donc impératif de suivre une formation afin :

- de comprendre les phénomènes physiques qui se produisent en profondeur (variation du volume d'air dans les poumons et les oreilles, dissolution du diazote dans le sang, déformation du tympan...);
- d'apprendre à évoluer sans risque sous l'eau ;
- de connaître les risques encourus lors d'une remontée.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Pression dans un liquide

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

3. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

Force pressante

Commentaire

Pour cette démarche d'investigation, se reporter aux fiches-guides élève et professeur sur le site :

www.nathan.fr/sirius2014.

EXERCICES Appliquer le cours

Pression dans les fluides et forces pressantes

(§1 du cours)

15. Classifier qualitativement

La pression est identique pour deux points situés à la même profondeur. Par ailleurs, la pression de l'eau augmente lorsque l'on descend en profondeur.

Ainsi : $P_A = P_D$; $P_B = P_E$

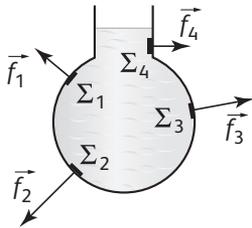
Et : $P_A < P_B < P_C$

16. Représenter des forces pressantes

a. La valeur de la force pressante est donnée par la relation : $F = P \times S$. Pour une même aire S , la valeur de la force pressante n'est pas constante car la pression P au niveau de chaque petite surface n'a pas la même valeur. La pression P augmente avec la profondeur, d'où :

$F_4 < F_1 < F_3 < F_2$.

b. La force pressante est orthogonale à la petite surface et son sens va du liquide vers la petite surface.

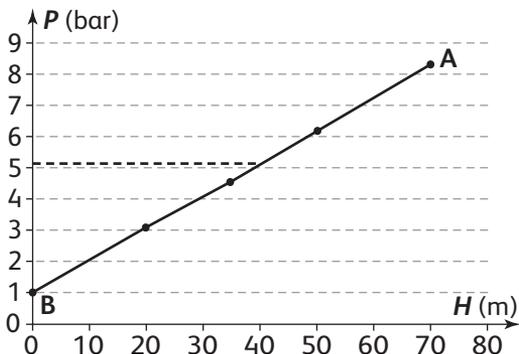


17. Utiliser une relation littérale

- a. La pression de l'eau augmente avec la profondeur. D'après la relation : $F = P \times S$, la valeur de la force pressante augmente lorsque le sous-marin plonge.
- b. Pour une même profondeur de plongée, donc à pression constante, la valeur de la force pressante augmente avec l'aire S du hublot.

18. Analyser une série de données

a.



- b. La représentation graphique obtenue est une droite ne passant pas par l'origine. La pression est une fonction affine de la profondeur. Calcul du coefficient directeur :

$$a = \frac{P(A) - P(B)}{H(A) - H(B)} = \frac{8,3 - 1,0}{70 - 0} = 0,10 \text{ bar} \cdot \text{m}^{-1}.$$

- c. Par lecture graphique, on peut déterminer la pression à 40 m de profondeur. On peut ainsi lire que la pression vaut 4,1 bar à 40 m de profondeur.

19. Utiliser les unités SI

Dans le système international, F s'exprime en newton (N), P en pascal (Pa) et S en mètre carré (m^2). L'aire S du tympan vaut $S = 0,5 \text{ cm}^2$.

Comme $1 \text{ cm} = 1 \times 10^{-2} \text{ m}$, alors $S = 0,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.

La valeur F de la force pressante est donnée par la relation : $F = P \times S$.

- a. En surface : $P = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$.
D'où : $F = 10^5 \times 0,5 \times 10^{-4} = 5 \text{ N}$.
- b. À 30 m de profondeur : $P' = 4 \text{ bar} = 4 \times 10^5 \text{ Pa}$.
D'où : $F' = 4 \times 10^5 \times 0,5 \times 10^{-4} = 2 \times 10^1 \text{ N}$.

20. Calculer avec les puissances de 10

Soit B le point à la surface de l'eau ($h_B = 0$) et A le point de profondeur $h_A = 40 \text{ m}$.

D'après la relation : $P_A = P_B + \rho \times g \times (h_A - h_B)$, on a :
 $P_A = 1,01 \times 10^5 + 1,02 \times 10^3 \times 9,81 \times 40 = 5,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.

I Sports de plongée (§2 du cours)

21. Faire un raisonnement qualitatif

- a. Une plongeuse respire de l'air à la même pression que l'eau. Lorsqu'elle descend en profondeur, la pression de l'eau augmente et la pression de l'air qu'elle respire également. Comme la pression de l'air augmente, la pression du diazote augmente et il se dissout davantage de diazote dans son corps.
- b. Quand la plongeuse remonte à la surface, la pression de l'eau diminue et la pression de l'air qu'elle respire également. Comme la pression de l'air diminue, la pression du diazote diminue et la quantité de diazote qui peut se dissoudre dans son corps devient plus petite : une partie du diazote dissous dans son corps repasse à l'état gazeux.

22. Analyser un texte

- a. Que le plongeur ait des bouteilles ou qu'il plonge en apnée, la pression de l'eau à une même profondeur a la même valeur. Si on considère que sa surface corporelle est la même dans les deux cas, les forces pressantes qui s'exercent sur lui sont identiques.
- b. L'apnéiste a enfermé dans ses poumons de l'air à la pression atmosphérique. Quand le volume de sa cage thoracique diminue (dans les limites physiologiques), le volume de l'air enfermé diminue également et, simultanément, la pression de l'air enfermé augmente (loi de Boyle-Mariotte).

EXERCICES S'entraîner

24. Bouteille de plongée

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

- a. **Loi de Boyle-Mariotte** : à température constante et pour une quantité de gaz donnée, le produit de la pression P par le volume V du gaz est constant.

- b. À la surface de l'eau, la pression atmosphérique est :
 $P_1 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$.
D'après la loi de Boyle-Mariotte : $P \times V = P_1 \times V_1$, où V_1 est le volume de l'air à la pression atmosphérique.

$$V_1 = \frac{P \times V}{P_1} = \frac{220 \times 12}{1} = 2,6 \times 10^3 \text{ L}.$$

Notons qu'il reste toujours 12 L d'air dans la bouteille.

À une profondeur $H = 40 \text{ m}$, la pression de l'eau est :

$$P_2 = (1,0 \times 10^5 + 4,0 \times 10^5) = 5,0 \times 10^5 \text{ Pa} = 5 \text{ bar}.$$

- D'après la loi de Boyle-Mariotte : $P \times V = P_2 \times V_2$, où V_2 est le volume de l'air à la pression P_2 .

$$V_2 = \frac{P \times V}{P_2} = \frac{220 \times 12}{5} = 5,3 \times 10^2 \text{ L}.$$

Compte-tenu des 12 L d'air irrécupérables
($528 - 12 = 516$), $V_2 = 5,2 \times 10^2 \text{ L}$.

25. Apprendre à rédiger

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

a. La différence de pression $P_A - P_B$ dans un liquide est proportionnelle à la différence de profondeur $h_A - h_B$.

Le coefficient de proportionnalité est $\rho \times g$.

Donc : $P_A - P_B = \rho \times g \times (h_A - h_B)$.

Si B est la surface, $h_B = 0$ et la pression est P_0 . Si A est à la profondeur h où la pression est P , la relation s'écrit :

$P - P_0 = \rho \times g \times h$, soit :

$$h = \frac{P - P_0}{\rho \times g}.$$

Dans le système d'unités international, h est en mètre, les pressions P et P_0 sont en pascal, ρ est en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et g est en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

b. Si la pression mesurée est de $P = 4\,500$ hPa, soit :

$P = 4\,500 \times 10^2$ Pa, alors :

$$h = \frac{4\,500 \times 10^2 - 1013 \times 10^2}{1,02 \times 10^3 \times 9,81} = 34,84 \text{ m}.$$

Les données les moins précises ont trois chiffres significatifs, le résultat sera donc $h = 34,8$ m.

26. Mélange gazeux pour la plongée

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser, valider.

a. À une profondeur de 40 m, la pression du gaz respiré par le plongeur est égale à la pression de l'eau de mer à cette profondeur, soit $P = 5$ bar (la pression de l'eau de mer augmente de 1 bar quand on s'enfonce d'une profondeur de 10 m).

b. La pression due au diazote représente 80 % de la pression de l'air ; cette pression vaut 4 bar si le plongeur respire de l'air. Si le plongeur respire du Nitrox 40, la pression due au diazote est égale à 60 % de la pression due au Nitrox, soit 3 bar.

c. La pression due au diazote étant plus faible quand le plongeur respire du Nitrox 40, la quantité maximale de diazote qui peut se dissoudre dans son sang et ses tissus est plus faible que s'il respirait de l'air.

Le diazote n'entrant pas dans les processus biologiques, quand le plongeur remonte, une partie du diazote est éliminée. Dans le cas de l'utilisation du Nitrox, le plongeur a moins de diazote à éliminer pour une même profondeur de plongée. Il en résulte que la durée et le nombre de paliers de décompression pour cette élimination seront moins importants.

27. Record de plongée

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser, valider.

1.a. La valeur F_1 de la force pressante est donnée par la relation : $F_1 = P_1 \times S$, où P_1 est la pression atmosphérique. $F_1 = 1,0 \times 10^5 \times 0,10 = 1,0 \times 10^4$ N.

b. La masse d'un objet dont la valeur du poids est égale à F_1 est : $m_1 = \frac{F_1}{g} = \frac{1,0 \times 10^4}{9,8} = 1,0 \times 10^3$ kg.

La masse m_1 est égale à 1 tonne, ce qui est énorme.

2.a. La pression de l'eau augmente de 1,0 bar quand on s'enfonce d'une profondeur de 10 m. À une profondeur $H = 214$ m, la pression de l'eau est :

$P_2 = 1,0 + 21,4 = 22,4$ bar, soit $22,4 \times 10^5$ Pa.

$$F_2 = 22,4 \times 10^5 \times 0,10 = 2,2 \times 10^5 \text{ N}.$$

b. La masse d'un objet dont la valeur du poids est égale

$$\text{à } F_2 \text{ est : } m_2 = \frac{F_2}{g} = \frac{2,2 \times 10^5}{9,8} = 2,2 \times 10^4 \text{ kg}.$$

28. In English Please

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

a. La pression atmosphérique sur la planète Naboo est $P_0 = 7,8 \times 10^4$ Pa. Le monde sous-marin des Gunga est à la profondeur $H = 1,2$ km = 1 200 m. On note P_G la pression de l'eau à cette profondeur. Ainsi :

$$P_G = P_0 + \rho \times g \times H = 7,8 \times 10^4 + 1,02 \times 10^3 \times 7,8 \times 1200$$
$$P_G = 9,6 \times 10^6 \text{ Pa}.$$

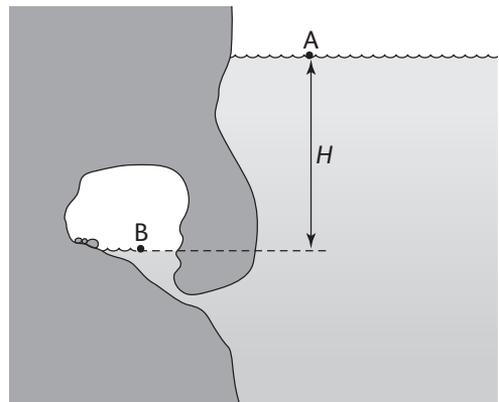
b. La valeur F_G de la force pressante due à l'eau qui s'exerce sur le dôme est : $F_G = P_G \times S$.

$$F_G = 9,6 \times 10^6 \times 2,5 \times 10^4 = 2,4 \times 10^{11} \text{ N}.$$

29. Décompression en spéléologie

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, réaliser.

Le spéléologue arrive dans une grotte située en dessous du niveau de la mer. Lorsqu'il émerge de l'eau, la pression mesurée par le baromètre est la pression de l'air en B. Le point B étant à la surface de l'eau, la pression de l'air en B est égale à la pression de l'eau à la profondeur H. La pression en B est donc supérieure à la pression atmosphérique.



30. ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

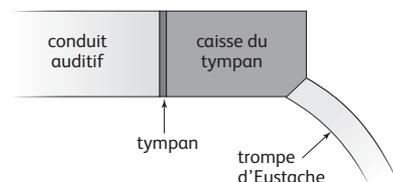
Manœuvre de Valsalva

> COMPÉTENCES : S'approprier, restituer, réaliser, valider.

1.a. Lors de la descente, la pression de l'eau augmente.

b. Le tympan est tiré vers l'intérieur de l'oreille.

c.



d. À 4,0 m de profondeur, la pression de l'eau est $P_1 = 1,4$ bar. Avant de plonger, l'air contenu dans la caisse du tympan est à la pression atmosphérique P_0 .

On note V_0 le volume de cette caisse. Si, à 4,0 m de profondeur, il y a équilibre des pressions à l'intérieur et l'ex-

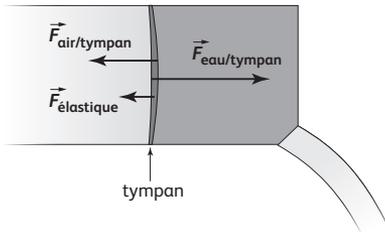
térieur de la caisse du tympan, la pression de l'air dans la caisse est égale à la pression de l'eau P_1 .
D'après la loi de Boyle-Mariotte : $PV = \text{constante}$.

D'où : $P_0 \times V_0 = P_1 \times V_1$.

$$V_1 = \frac{P_0 \times V_0}{P_1} = \frac{1 \times V_0}{1,4}$$

Le volume de la caisse du tympan est réduit d'un facteur 1,4, ce qui est beaucoup pour une si petite cavité. Il est donc peut probable que la caisse du tympan se réduise autant.

e.



f. Lorsque le plongeur effectue une manœuvre de Valsalva, il injecte de l'air dans la caisse du tympan via la trompe d'Eustache. La quantité d'air augmentant (pour un même volume), la pression de l'air dans la caisse augmente pour atteindre la valeur de la pression de l'eau P_1 . La valeur $F'_{\text{air/tympan}}$ de la force pressante est donnée par la relation : $F'_{\text{air/tympan}} = P_1 \times S$, où S est l'aire du tympan.

$$F'_{\text{air/tympan}} = 1,4 \times 10^5 \times 0,60 \times 10^{-4} = 8,4 \text{ N.}$$

REMARQUE : la force élastique n'agit plus si le tympan n'est plus déformé.

2. Lors de la remontée, la pression de l'eau diminue et la force pressante exercée par l'eau sur le tympan diminue également. Si on effectue une manœuvre de Valsalva pendant la remontée, on injecte de l'air dans la caisse du tympan, augmentant ainsi la pression de l'air enfermé dans cette caisse. La pression de l'air dans la caisse devient supérieure à la pression de l'eau, ce qui entraîne une déformation du tympan : il est tiré vers l'extérieur. Si la force pressante exercée par l'air sur le tympan est beaucoup plus grande que la force pressante exercée par l'eau sur le tympan, il peut y avoir déchirure du tympan.

31. ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES

☆☆ Siphonner n'est pas jouer

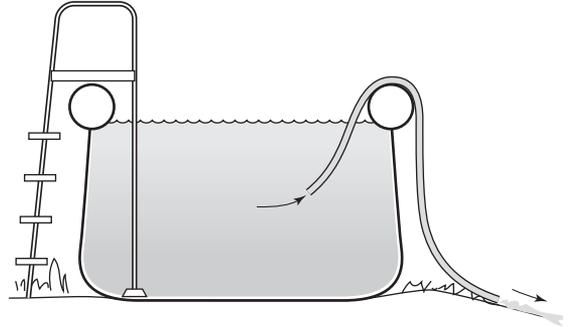
> COMPÉTENCES : Analyser, réaliser, valider.

a. Si on dispose d'un saut de 10 L, il faut le remplir 500 fois afin de vider la piscine ($5 \text{ m}^3 = 5\,000 \text{ L}$).

En estimant qu'il faut entre 5 et 8 secondes pour remplir le saut et le vider, il faut environ une heure pour vider totalement la piscine.

b. On peut siphonner la piscine : pour cela il faut remplir d'eau le tuyau et plonger une extrémité dans la piscine. L'autre extrémité du tuyau est en dehors de la piscine, en contrebas. L'eau s'écoule toute seule !

c.



32. COMMENTAIRE ARGUMENTÉ

Être moniteur de plongée sous-marine

> COMPÉTENCES : S'approprier, réaliser, communiquer.

Le moniteur doit dire à l'élève que son palier de décompression est insuffisant car la pression de l'eau, à 40 m de profondeur, est supérieure à 4,0 bar. Il doit expliquer à l'élève qu'effectivement la pression de l'eau augmente de 1 bar à chaque fois qu'on descend de 10 m, mais qu'il faut aussi tenir compte de la pression à la surface de l'eau. Ainsi, d'après la loi de l'hydrostatique, la pression de l'eau à 40 m de profondeur est :

$$P = P_{\text{atm}} + \rho gh = 1,0 + 4,0 = 5 \text{ bar.}$$

33. RÉOLUTION DE PROBLÈME

Profondimètre

> COMPÉTENCES : Restituer, analyser, communiquer.

D'après la loi de l'hydrostatique : $P_A - P_B = \rho g (h_A - h_B)$.

Soit A un point au fond du lac et B un point à la surface de l'eau. $P_A = P_B + \rho \times g \times h_A$, avec $h_A =$ profondeur du point A et $P_B =$ pression atmosphérique $= 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.

$$P_A = 1,0 \times 10^5 + 1\,000 \times 9,8 \times h_A$$

$$P_A = 1,0 \times 10^5 + 9\,800 \times h_A$$

$$P_A = 1,0 \times 10^5 + 9,8 \times 10^3 \times h_A$$

Soit A' un point au fond de la mer et B' un point à la surface de la mer. Le point A' est choisi de sorte que

$h_A = h_{A'}$. La masse volumique de l'eau de mer est :

$$\rho = 1,03 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 1\,030 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Ainsi :

$$P_{A'} = 1,0 \times 10^5 + 1\,030 \times 9,8 \times h_{A'}$$

$$P_{A'} = 1,0 \times 10^5 + 10\,094 \times h_{A'}$$

$$P_{A'} = 1,0 \times 10^5 + 1,0 \times 10^4 \times h_{A'}$$

On constate que $P_{A'} > P_A$: pour une même profondeur, la pression de l'eau de mer est supérieure à la pression de l'eau douce. Le profondimètre utilisé par le plongeur est destiné à la plongée en milieu marin. En eau douce, l'appareil affiche une profondeur inférieure à la profondeur réelle atteinte par le plongeur. Il ne peut donc pas se fier à l'indication de son appareil.

34. ⚡⚡ La cloche de plongée

> COMPÉTENCES : S'approprier, analyser, réaliser.

a. Le volume d'air V_0 emprisonné dans la cloche correspond au volume de la cloche.

$$V_0 = S \times H = 1,0 \times 2,4 = 2,4 \text{ m}^3.$$

b. $P_1 = P_{\text{atm}} + \rho \times g \times h = 1,0 \times 10^5 + 1\,030 \times 9,8 \times 6,1$
 $P_1 = 1,6 \times 10^5 \text{ Pa}.$

c. D'après la loi de Boyle-Mariotte, pour une même quantité d'air et à température constante : $P \times V = \text{constante}.$

$$\text{Donc : } P_{\text{atm}} \times V_0 = P_1 \times V_1.$$

$$V_1 = \frac{P_{\text{atm}} \times V_0}{P_1} = \frac{1 \times 2,4}{1,6} = 1,5 \text{ m}^3.$$

d. $V_1 = S \times h_1$ avec $h_1 = H - h'.$

$$h_1 = \frac{V_1}{S} = \frac{1,5}{1,0} = 1,5 \text{ m}.$$

$$h' = H - h_1 = 2,4 - 1,5 = 0,90 \text{ m}.$$

e. La hauteur d'air ne doit pas être inférieure à :

$d_{\text{lim}} = 60 \text{ cm}.$ Dans ce cas, le volume l'air dans la cloche est : $V_{\text{lim}} = S \times d_{\text{lim}} = 1,0 \times 0,60 = 0,60 \text{ m}^3.$ Ainsi :

$$V_1 = \frac{P_{\text{atm}} \times V_0}{P_1} = \frac{1 \times 2,4}{1,6} = 1,5 \text{ m}^3.$$

La pression de l'eau augmente de 1,0 bar à chaque fois que l'on descend de 10 m : la hauteur entre le niveau de la mer et le niveau d'eau dans la cloche est de 30 m.

Sachant que la hauteur d'air dans la cloche est de 60 cm, soit 0,60 m, et que la hauteur de la cloche est de 2,4 m, l'eau est montée de 1,8 m ($2,4 - 0,6 = 1,8$) dans la cloche.

La profondeur maximale que peut atteindre la base de la cloche est donc de 32 m (plus exactement 31,8 m).