

**1<sup>re</sup>**

Enseignement  
de spécialité

**NOUVEAU PROGRAMME**

**PHYSIQUE**

**CHIMIE**



**Belin:**  
ÉDUCATION



# 1<sup>re</sup> PHYSIQUE CHIMIE

**NOUVEAU PROGRAMME**

## **Sous la direction de**

Laurent Arer  
Sylvie Berthelot  
Thierry Lévêque

## **Auteurs**

Adeline Brunori  
Professeure au lycée Jean-Baptiste Colbert  
Thionville

Régis Calba  
Professeur au lycée Arthur Varoquaux  
Tomblaine

Stéphane Carré  
Professeur au lycée Jean-Auguste Margueritte  
Verdun

Jean-Michel Conraux  
Professeur au lycée Pierre Mendès France  
Épinal

Gwenaëlle Cuny  
Professeure au lycée Louis Vincent  
Metz

Julie D'Alba  
Professeure au lycée Condorcet  
Schoeneck

Léo Fischer-Cote  
Professeur au lycée Charles July  
Saint-Avold

Marion Gandel  
Professeure au lycée Charles July  
Saint-Avold

Alan Kelsen  
Professeur au lycée Georges de la Tour  
Metz

Karine Ladmiral  
Professeure au lycée Marquette  
Pont-à-Mousson

Anne-Sophie Lajus  
Professeure au lycée Louis Vincent  
Metz

Nathalie Landraud  
Professeure au lycée Jean Perrin  
Lyon

Jérôme Legrand  
Professeur au lycée Arthur Varoquaux  
Tomblaine

Stéphane Losson  
Professeur au lycée Condorcet  
Schoeneck

Christophe Marlier  
Professeur au lycée André Malraux  
Remiremont

Laurent Meyer  
Professeur au lycée Ernest Bichat  
Lunéville

Nathalie Paris  
Professeure au lycée André Malraux  
Remiremont

Ludovic Ramirez  
Professeur au lycée Fabert  
Metz

Tanguy Saïbi  
Professeur au lycée Charles July  
Saint-Avold

Rachel Wioland  
Professeure au lycée La Haie Griselle  
Gérardmer

## **Conseillers scientifiques**

Hervé Charrette  
Romain Dardevet  
Éric Jacques

# Sommaire

Programme .....	4
Présentation du manuel .....	8



## Thème 1

### Constitution et transformations de la matière

▶ <b>Chapitre 1 : Quantité de matière</b> .....	11
• Masse molaire atomique • Masse molaire moléculaire • Constante d'Avogadro • Concentration en quantité de matière • Volume molaire d'un gaz	
<b>Exercices</b> .....	22
▶ <b>Chapitre 2 : Dosage spectrophotométrique</b> .....	29
• Absorbance • Spectre d'absorption • Couleur d'une espèce en solution • Loi de Beer-Lambert	
<b>Exercices</b> .....	40
▶ <b>Chapitre 3 : Oxydoréduction et bilan de matière</b> .....	47
• Couple oxydant-réducteur • Demi-équation • Réactif limitant • Transformations totale et non totale • État initial, état final • Avancement et tableau d'avancement • Avancement final, maximal • Mélanges stœchiométriques	
<b>Exercices</b> .....	58
▶ <b>Chapitre 4 : Titrage colorimétrique</b> .....	65
• Changement de réactif limitant • Équivalence • Virage	
<b>Exercices</b> .....	74
▶ <b>Chapitre 5 : Structure et propriétés des molécules et des ions</b> .....	81
• Schéma de Lewis • Lacune électronique • Géométrie des entités • Électronégativité • Polarisation d'une liaison • Polarité d'une molécule	
<b>Exercices</b> .....	92
▶ <b>Chapitre 6 : Cohésion et dissolution des solides</b> .....	99
• Cohésion dans un solide • Interactions électrostatiques • Interactions de van der Waals • Ponts hydrogène • Équation de réaction de dissolution	
<b>Exercices</b> .....	110

▶ <b>Chapitre 7 : Solubilité et extraction</b> .....	117
• Extraction par un solvant • Solubilité dans un solvant • Miscibilité de deux liquides • Hydrophilie • Lipophilie • Amphiphilie	
<b>Exercices</b> .....	128
▶ <b>Chapitre 8 : Structure des composés organiques</b> .....	135
• Formules brutes et semi-développées • Squelettes carbonés saturés • Groupes caractéristiques • Familles fonctionnelles • Nom des molécules • Identification des groupes caractéristiques par spectroscopie infrarouge	
<b>Exercices</b> .....	146
▶ <b>Chapitre 9 : Synthèse des composés organiques</b> .....	153
• Transformation des réactifs • Isolement • Purification • Analyse • Rendement d'une synthèse	
<b>Exercices</b> .....	164
▶ <b>Chapitre 10 : Combustions et enjeux de société</b> .....	171
• Combustibles organiques usuels • Modélisation par une réaction d'oxydoréduction • Énergie molaire de réaction • Pouvoir calorifique massique • Énergie libérée lors d'une combustion • Énergie de liaison • Enjeux de société	
<b>Exercices</b> .....	182

## Fiches

Fiche 1 • <b>Consignes de sécurité</b> .....	350
Fiche 2 • <b>Verrerie de laboratoire</b> .....	351
Fiche 3 • <b>Extraction liquide-liquide</b> .....	352
Fiche 4 • <b>Filtration sous vide</b> .....	353
Fiche 5 • <b>Montage de distillation simple</b> .....	354
Fiche 6 • <b>Mise en évidence d'ions</b> .....	355
Fiche 7 • <b>Mise en évidence de quelques espèces moléculaires</b> .....	356
Fiche 8 • <b>Chromatographie sur couche mince</b> .....	357
Fiche 9 • <b>Montage de chauffage à reflux</b> .....	358
Fiche 10 • <b>Banc Kofler et température de fusion</b> .....	359
Fiche 11 • <b>Familles des molécules organiques</b> .....	360
Fiche 12 • <b>Tableau d'avancement d'une transformation chimique</b> .....	361
Fiche 13 • <b>Incertitudes de mesures</b> .....	362
Fiche 14 • <b>Microcontrôleurs Arduino</b> .....	363
Fiche 15 • <b>Programmation Python</b> .....	365

## Science et Société

• <b>Une recherche française d'excellence</b> .....	189
• <b>Réinventer notre quotidien</b> .....	241
• <b>L'acoustique des auditoriums et des salles de concert</b> .....	293
• <b>Les véhicules autonomes bientôt sur le marché</b> .....	345



## Thème 2

### Mouvement et interactions

▶ Chapitre 11: <b>Interactions fondamentales et champs</b> .....	191
• Charge électrique • Interaction électrostatique	
• Influence électrostatique • Loi de Coulomb	
• Force de gravitation • Champ de gravitation	
• Force électrostatique • Champ électrostatique	
<b>Exercices</b> .....	202
▶ Chapitre 12: <b>Description d'un fluide au repos</b> .....	209
• Échelles de description • Masse volumique	
• Pression • Température • Loi de Mariotte	
• Forces pressantes • Loi fondamentale de la statique des fluides	
<b>Exercices</b> .....	218
▶ Chapitre 13: <b>Forces et vitesse</b> .....	225
• Vecteur variation de vitesse • Variation du vecteur vitesse et somme des forces appliquées • Rôle de la masse	
<b>Exercices</b> .....	234



## Thème 3

### L'énergie : conversions et transferts

▶ Chapitre 14: <b>Énergie et puissance électriques</b> .....	243
• Porteur de charge électrique • Intensité d'un courant continu et débit de charge • Modèle d'une source réelle de tension continue • Puissance et énergie • Bilan de puissance	
• Effet Joule • Rendement d'un convertisseur	
<b>Exercices</b> .....	254
▶ Chapitre 15: <b>Énergie cinétique</b> .....	261
• Énergie cinétique • Travail d'une force	
• Théorème de l'énergie cinétique	
<b>Exercices</b> .....	270
▶ Chapitre 16: <b>Énergie mécanique</b> .....	277
• Forces conservatives • Énergie potentielle • Champ de pesanteur terrestre • Forces non conservatives (frottements)	
• Énergie mécanique • Conservation et non-conservation de l'énergie mécanique • Gain ou dissipation d'énergie	
<b>Exercices</b> .....	286



## Thème 4

### Ondes et signaux

▶ Chapitre 17: <b>Ondes mécaniques</b> .....	295
• Ondes mécaniques progressives transversales, longitudinales • Célérité d'une onde • Retard	
• Ondes mécaniques périodiques • Longueur d'onde	
• Relation entre période, longueur d'onde et célérité	
• Ondes sinusoïdales	
<b>Exercices</b> .....	304

▶ Chapitre 18: <b>Image et couleur</b> .....	311
• Relation de conjugaison d'une lentille mince convergente	
• Grandissement • Images réelle, virtuelle, droite et renversée	
• Couleur blanche, couleurs complémentaires	
• Couleur des objets • Synthèse additive, synthèse soustractive	
• Absorption • Diffusion • Transmission	
• Vision des couleurs et trichromie	
<b>Exercices</b> .....	320
▶ Chapitre 19: <b>Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière</b> .....	327
• Domaines des ondes électromagnétiques • Relation entre longueur d'onde, célérité de la lumière et fréquence	
• Photon • Énergie d'un photon • Interaction lumière-matière	
• Quantification des niveaux d'énergie des atomes	
• Émission et absorption d'énergie par les atomes	
<b>Exercices</b> .....	338

Corrigés des exercices .....	346
Index .....	367

# Programme Physique Chimie Première

## Thème 1 : Constitution et transformations de la matière

### 1. SUIVI DE L'ÉVOLUTION D'UN SYSTÈME, SIÈGE D'UNE TRANSFORMATION

#### A) Détermination de la composition du système initial à l'aide de grandeurs physiques

Relation entre masse molaire d'une espèce, masse des entités et constante d'Avogadro. Masse molaire atomique d'un élément. Volume molaire d'un gaz.	Déterminer la masse molaire d'une espèce à partir des masses molaires atomiques des éléments qui la composent. Déterminer la quantité de matière contenue dans un échantillon de corps pur à partir de sa masse et du tableau périodique. Utiliser le volume molaire d'un gaz pour déterminer une quantité de matière. Déterminer la quantité de matière de chaque espèce dans un mélange (liquide ou solide) à partir de sa composition.
Concentration en quantité de matière.	Déterminer la quantité de matière d'un soluté à partir de sa concentration en masse ou en quantité de matière et du volume de solution.
Absorbance, spectre d'absorption, couleur d'une espèce en solution, loi de Beer-Lambert.	Expliquer ou prévoir la couleur d'une espèce en solution à partir de son spectre UV-visible. Déterminer la concentration d'un soluté à partir de données expérimentales relatives à l'absorbance de solutions de concentrations connues. <i>Proposer et mettre en œuvre un protocole pour réaliser une gamme étalon et déterminer la concentration d'une espèce colorée en solution par des mesures d'absorbance. Tester les limites d'utilisation du protocole.</i>

#### B) Suivi et modélisation de l'évolution d'un système chimique

Transformation modélisée par une réaction d'oxydoréduction : oxydant, réducteur, couple oxydant-réducteur, demi-équation électronique.	À partir de données expérimentales, identifier le transfert d'électrons entre deux réactifs et le modéliser par des demi-équations électroniques et par une réaction d'oxydoréduction. Établir une équation de la réaction entre un oxydant et un réducteur, les couples oxydant-réducteur étant donnés. <i>Mettre en œuvre des transformations modélisées par des réactions d'oxydoréduction.</i>
Évolution des quantités de matière lors d'une transformation. État initial, notion d'avancement (mol), tableau d'avancement, état final.	Décrire qualitativement l'évolution des quantités de matière des espèces chimiques lors d'une transformation. Établir le tableau d'avancement d'une transformation chimique à partir de l'équation de la réaction et des quantités de matière initiales des espèces chimiques.
Avancement final, avancement maximal. Transformations totale et non totale. Mélanges stœchiométriques.	Déterminer la composition du système dans l'état final en fonction de sa composition initiale pour une transformation considérée comme totale. Déterminer l'avancement final d'une réaction à partir de la description de l'état final et comparer à l'avancement maximal. <i>Déterminer la composition de l'état final d'un système et l'avancement final d'une réaction.</i> <b>Capacité numérique :</b> Déterminer la composition de l'état final d'un système siège d'une transformation chimique totale à l'aide d'un langage de programmation. <b>Capacité mathématique :</b> Utiliser une équation linéaire du premier degré.

#### C) Détermination d'une quantité de matière grâce à une transformation chimique

Titration avec suivi colorimétrique. Réaction d'oxydoréduction support du titrage ; changement de réactif limitant au cours du titrage. Définition et repérage de l'équivalence.	Relier qualitativement l'évolution des quantités de matière de réactifs et de produits à l'état final au volume de solution titrante ajoutée. Relier l'équivalence au changement de réactif limitant et à l'introduction des réactifs en proportions stœchiométriques. Établir la relation entre les quantités de matière de réactifs introduites pour atteindre l'équivalence. Expliquer ou prévoir le changement de couleur observé à l'équivalence d'un titrage mettant en jeu une espèce colorée. <i>Réaliser un titrage direct avec repérage colorimétrique de l'équivalence pour déterminer la quantité de matière d'une espèce dans un échantillon.</i>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 2. DE LA STRUCTURE DES ENTITÉS AUX PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE LA MATIÈRE

#### A) De la structure à la polarité d'une entité

Schéma de Lewis d'une molécule, d'un ion mono ou polyatomique. Lacune électronique.	Établir le schéma de Lewis de molécules et d'ions mono ou polyatomiques, à partir du tableau périodique : $O_2$ , $H_2$ , $N_2$ , $H_2O$ , $CO_2$ , $NH_3$ , $CH_4$ , $HCl$ , $H^+$ , $H_3O^+$ , $Na^+$ , $NH_4^+$ , $Cl^-$ , $OH^-$ , $O^{2-}$ .
Géométrie des entités.	Interpréter la géométrie d'une entité à partir de son schéma de Lewis. <i>Utiliser des modèles moléculaires ou des logiciels de représentation moléculaire pour visualiser la géométrie d'une entité.</i>

Électronégativité des atomes, évolution dans le tableau périodique. Polarisation d'une liaison covalente, polarité d'une entité moléculaire.	Déterminer le caractère polaire d'une liaison à partir de la donnée de l'électronégativité des atomes. Déterminer le caractère polaire ou apolaire d'une entité moléculaire à partir de sa géométrie et de la polarité de ses liaisons.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## B) De la structure des entités à la cohésion et à la solubilité/miscibilité d'espèces chimiques

Cohésion dans un solide. Modélisation par des interactions entre ions, entre entités polaires, entre entités apolaires et/ou par pont hydrogène.	Expliquer la cohésion au sein de composés solides ioniques et moléculaires par l'analyse des interactions entre entités.
Dissolution des solides ioniques dans l'eau. Équation de réaction de dissolution.	Expliquer la capacité de l'eau à dissocier une espèce ionique et à solvater les ions. Modéliser, au niveau macroscopique, la dissolution d'un composé ionique dans l'eau par une équation de réaction, en utilisant les notations (s) et (aq). Calculer la concentration des ions dans la solution obtenue.
Extraction par un solvant. Solubilité dans un solvant. Miscibilité de deux liquides.	Expliquer ou prévoir la solubilité d'une espèce chimique dans un solvant par l'analyse des interactions entre les entités. <i>Comparer la solubilité d'une espèce solide dans différents solvants (purs ou en mélange).</i> Interpréter un protocole d'extraction liquide-liquide à partir des valeurs de solubilités de l'espèce chimique dans les deux solvants. <i>Choisir un solvant et mettre en œuvre un protocole d'extraction liquide-liquide d'un soluté moléculaire.</i>
Hydrophilie/lipophilie/amphiphilie d'une espèce chimique organique.	Expliquer le caractère amphiphile et les propriétés lavantes d'un savon à partir de la formule semi-développée de ses entités. Citer des applications usuelles de tensioactifs. <i>Illustrer les propriétés des savons.</i>

## 3. PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES, SYNTHÈSES ET COMBUSTIONS D'ESPÈCES CHIMIQUES ORGANIQUES

### A) Structure des entités organiques

Formules brutes et semi-développées. Squelettes carbonés saturés, groupes caractéristiques et familles fonctionnelles.	Identifier, à partir d'une formule semi-développée, les groupes caractéristiques associés aux familles de composés : alcool, aldéhyde, cétone et acide carboxylique.
Lien entre le nom et la formule semi-développée.	Justifier le nom associé à la formule semi-développée de molécules simples possédant un seul groupe caractéristique et inversement.
Identification des groupes caractéristiques par spectroscopie infrarouge.	Exploiter, à partir de valeurs de référence, un spectre d'absorption infrarouge. <i>Utiliser des modèles moléculaires ou des logiciels pour visualiser la géométrie de molécules organiques.</i>

### B) Synthèses d'espèces chimiques organiques

Étapes d'un protocole.	Identifier, dans un protocole, les étapes de transformation des réactifs, d'isolement, de purification et d'analyse (identification, pureté) du produit synthétisé. Justifier, à partir des propriétés physico-chimiques des réactifs et produits, le choix de méthodes d'isolement, de purification ou d'analyse.
Rendement d'une synthèse.	Déterminer, à partir d'un protocole et de données expérimentales, le rendement d'une synthèse. Schématiser des dispositifs expérimentaux des étapes d'une synthèse et les légènder. <i>Mettre en œuvre un montage à reflux pour synthétiser une espèce chimique organique.</i> <i>Isoler, purifier et analyser un produit formé.</i>

### C) Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique

Combustibles organiques usuels.	Citer des exemples de combustibles usuels.
Modélisation d'une combustion par une réaction d'oxydoréduction.	Écrire l'équation de réaction de combustion complète d'un alcane et d'un alcool.
Énergie molaire de réaction, pouvoir calorifique massique, énergie libérée lors d'une combustion. Interprétation microscopique en phase gazeuse : modification des structures moléculaires, énergie de liaison.	Estimer l'énergie molaire de réaction pour une transformation en phase gazeuse à partir de la donnée des énergies des liaisons. <i>Mettre en œuvre une expérience pour estimer le pouvoir calorifique d'un combustible.</i>
Combustions et enjeux de société.	Citer des applications usuelles qui mettent en œuvre des combustions et les risques associés. Citer des axes d'étude actuels d'applications s'inscrivant dans une perspective de développement durable.

# Thème 2 : Mouvement et interactions

## 1. INTERACTIONS FONDAMENTALES ET INTRODUCTION À LA NOTION DE CHAMP

Charge électrique, interaction électrostatique, influence électrostatique.  
Loi de Coulomb.

Interpréter des expériences mettant en jeu l'interaction électrostatique.  
Utiliser la loi de Coulomb.  
Citer les analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle.

Force de gravitation et champ de gravitation.  
Force électrostatique et champ électrostatique.

Utiliser les expressions vectorielles :  
– de la force de gravitation et du champ de gravitation ;  
– de la force électrostatique et du champ électrostatique.  
Caractériser localement une ligne de champ électrostatique ou de champ de gravitation.  
*Illustrer l'interaction électrostatique. Cartographier un champ électrostatique.*

## 2. DESCRIPTION D'UN FLUIDE AU REPOS

Échelles de description. Grandeurs macroscopiques de description d'un fluide au repos : masse volumique, pression, température.

Expliquer qualitativement le lien entre les grandeurs macroscopiques de description d'un fluide et le comportement microscopique des entités qui le constituent.

Modèle de comportement d'un gaz : loi de Mariotte.

Utiliser la loi de Mariotte.  
*Tester la loi de Mariotte, par exemple en utilisant un dispositif comportant un microcontrôleur.*

Actions exercées par un fluide sur une surface : forces pressantes.

Exploiter la relation  $F = P \times S$  pour déterminer la force pressante exercée par un fluide sur une surface plane  $S$  soumise à la pression  $P$ .

Loi fondamentale de la statique des fluides.

Dans le cas d'un fluide incompressible au repos, utiliser la relation fournie exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides :  $P_2 - P_1 = \rho g(z_1 - z_2)$ .  
*Tester la loi fondamentale de la statique des fluides.*

## 3. MOUVEMENT D'UN SYSTÈME

Vecteur variation de vitesse.  
Lien entre la variation du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées sur celui-ci.  
Rôle de la masse.

Utiliser la relation approchée entre la variation du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées sur celui-ci :  
– pour en déduire une estimation de la variation de vitesse entre deux instants voisins, les forces appliquées au système étant connues ;  
– pour en déduire une estimation des forces appliquées au système, le comportement cinématique étant connu.  
*Réaliser et/ou exploiter une vidéo ou une chronophotographie d'un système modélisé par un point matériel en mouvement pour construire les vecteurs variation de vitesse. Tester la relation approchée entre la variation du vecteur vitesse entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées au système.*  
**Capacité numérique :** Utiliser un langage de programmation pour étudier la relation approchée entre la variation du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées sur celui-ci.  
**Capacité mathématique :** Sommer et soustraire des vecteurs.

# Thème 3 : L'énergie : conversions et transferts

## 1. ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES

Porteur de charge électrique. Lien entre intensité d'un courant continu et débit de charges.

Relier intensité d'un courant continu et débit de charges.

Modèle d'une source réelle de tension continue comme association en série d'une source idéale de tension continue et d'une résistance.

Expliquer quelques conséquences pratiques de la présence d'une résistance dans le modèle d'une source réelle de tension continue.  
*Déterminer la caractéristique d'une source réelle de tension et l'utiliser pour proposer une modélisation par une source idéale associée à une résistance.*

Puissance et énergie. Bilan de puissance dans un circuit. Effet Joule. Cas des dipôles ohmiques. Rendement d'un convertisseur.

Citer quelques ordres de grandeur de puissances fournies ou consommées par des dispositifs courants.  
Définir le rendement d'un convertisseur.  
*Évaluer le rendement d'un dispositif.*

## 2. ASPECTS ÉNERGÉTIQUES DES PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES

Énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel. Travail d'une force.

Utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel.

Expression du travail dans le cas d'une force constante. Théorème de l'énergie cinétique.

Utiliser l'expression du travail  $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \times \vec{AB}$  dans le cas de forces constantes.  
Énoncer et exploiter le théorème de l'énergie cinétique.

Forces conservatives. Énergie potentielle. Cas du champ de pesanteur terrestre.

Établir et utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur pour un système au voisinage de la surface de la Terre.



Forces non-conservatives : exemple des frottements.	Calculer le travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.
Énergie mécanique. Conservation et non conservation de l'énergie mécanique. Gain ou dissipation d'énergie.	Identifier des situations de conservation et de non conservation de l'énergie mécanique. Exploiter la conservation de l'énergie mécanique dans des cas simples : chute libre en l'absence de frottement, oscillations d'un pendule en l'absence de frottement, etc. Utiliser la variation de l'énergie mécanique pour déterminer le travail des forces non conservatives. <i>Utiliser un dispositif (smartphone, logiciel de traitement d'images, etc.) pour étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un système dans différentes situations : chute d'un corps, rebond sur un support, oscillations d'un pendule, etc.</i> <b>Capacité numérique :</b> Utiliser un langage de programmation pour effectuer le bilan énergétique d'un système en mouvement. <b>Capacité mathématique :</b> Utiliser le produit scalaire de deux vecteurs.

## Thème 4 : Ondes et signaux

### 1. ONDES MÉCANIQUES

Onde mécanique progressive. Grandeurs physiques associées.	Décrire, dans le cas d'une onde mécanique progressive, la propagation d'une perturbation mécanique d'un milieu dans l'espace et au cours du temps : houle, ondes sismiques, ondes sonores, etc. Expliquer, à l'aide d'un modèle qualitatif, la propagation d'une perturbation mécanique dans un milieu matériel. <i>Produire une perturbation et visualiser sa propagation dans des situations variées, par exemple : onde sonore, onde le long d'une corde ou d'un ressort, onde à la surface de l'eau.</i>
Célérité d'une onde. Retard.	Exploiter la relation entre la durée de propagation, la distance parcourue par une perturbation et la célérité, notamment pour localiser une source d'onde. <i>Déterminer, par exemple à l'aide d'un microcontrôleur ou d'un smartphone, une distance ou la célérité d'une onde. Illustrer l'influence du milieu sur la célérité d'une onde.</i>
Ondes mécaniques périodiques. Ondes sinusoïdales. Période. Longueur d'onde. Relation entre période, longueur d'onde et célérité.	Distinguer périodicité spatiale et périodicité temporelle. Justifier et exploiter la relation entre période, longueur d'onde et célérité. Déterminer les caractéristiques d'une onde mécanique périodique à partir de représentations spatiales ou temporelles. <i>Déterminer la période, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale à l'aide d'une chaîne de mesure.</i> <b>Capacités numériques :</b> Représenter un signal périodique et illustrer l'influence de ses caractéristiques (période, amplitude) sur sa représentation. Simuler à l'aide d'un langage de programmation, la propagation d'une onde périodique. <b>Capacité mathématique :</b> Utiliser les représentations graphiques des fonctions sinus et cosinus.

### 2. LA LUMIÈRE : IMAGES ET COULEURS, MODÈLES ONDULATOIRE ET PARTICULAIRE

#### A) Images et couleurs

Relation de conjugaison d'une lentille mince convergente. Grandissement. Image réelle, image virtuelle, image droite, image renversée.	Exploiter les relations de conjugaison et de grandissement fournies pour déterminer la position et la taille de l'image d'un objet-plan réel. Déterminer les caractéristiques de l'image d'un objet-plan réel formée par une lentille mince convergente. <i>Estimer la distance focale d'une lentille mince convergente. Tester la relation de conjugaison d'une lentille mince convergente. Réaliser une mise au point en modifiant soit la distance focale de la lentille convergente soit la géométrie du montage optique.</i> <b>Capacités mathématiques :</b> Utiliser le théorème de Thalès. Utiliser des grandeurs algébriques.
Couleur blanche, couleurs complémentaires. Couleur des objets. Synthèse additive, synthèse soustractive. Absorption, diffusion, transmission. Vision des couleurs et trichromie.	Choisir le modèle de la synthèse additive ou celui de la synthèse soustractive selon la situation à interpréter. Interpréter la couleur perçue d'un objet à partir de celle de la lumière incidente ainsi que des phénomènes d'absorption, de diffusion et de transmission. Prévoir le résultat de la superposition de lumières colorées et l'effet d'un ou plusieurs filtres colorés sur une lumière incidente. <i>Illustrer les notions de synthèse additive, de synthèse soustractive et de couleur des objets.</i>

#### B) Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière

Domaines des ondes électromagnétiques. Relation entre longueur d'onde, célérité de la lumière et fréquence.	Utiliser une échelle de fréquences ou de longueurs d'onde pour identifier un domaine spectral. Citer l'ordre de grandeur des fréquences ou des longueurs d'onde des ondes électromagnétiques utilisées dans divers domaines d'application (imagerie médicale, optique visible, signaux wifi, micro-ondes, etc.).
Le photon. Énergie d'un photon. Description qualitative de l'interaction lumière-matière : absorption et émission. Quantification des niveaux d'énergie des atomes.	Utiliser l'expression donnant l'énergie d'un photon. Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie en utilisant les relations $\lambda = \frac{c}{\nu}$ et $\Delta E = h\nu$ . <i>Obtenir le spectre d'une source spectrale et l'interpréter à partir du diagramme de niveaux d'énergie des entités qui la constituent.</i>

# Présentation du manuel

4 thèmes et 19 chapitres pour mettre en œuvre le programme



Plus de 160 ressources numériques à flasher

## Pour bien commencer

- La problématique du chapitre
- 1 vidéo de présentation des notions du chapitre associée à un QCM en ligne pour faciliter la pédagogie active

## Les activités

- 4 pages d'activités expérimentales ou documentaires contextualisées
- Compétences associées
- Renvois vers des fiches techniques du manuel
- Différenciation: aides, exercices supplémentaires et bonus en ressources numériques (vidéos, documents, liens, animations...)
- De l'activité au cours: un lien vers la notion de cours découverte

**Activité 3** Influence de la masse sur  $a_{cm}$

Certains concepts clés sont abordés dans ce chapitre. Certains de ces concepts sont abordés dans ce chapitre. Certains de ces concepts sont abordés dans ce chapitre.

**Le dispositif expérimental**

**Données expérimentales**

Essai	1	2	3	4	5
Force appliquée (N)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Accélération (m/s <sup>2</sup> )	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

**Conclusion**

On observe que l'accélération est proportionnelle à la force appliquée.

**Activité 4** Utiliser la relation approchée : Forces =  $m \cdot a$

Pour les objets en mouvement, la relation Forces =  $m \cdot a$  est une relation approchée. Elle permet de prédire le mouvement d'un objet en fonction des forces qui s'exercent sur lui.

**Le circuit Paul Ricard**

**Relation Forces =  $m \cdot a$**

**Conclusion**

On observe que la relation Forces =  $m \cdot a$  est vérifiée.

**Cours**

**Description d'un fluide**

**Force pressante**

**Loi fondamentale de la statique des fluides**

**Loi de Mariotte**

**Conclusion**

## Le cours

- Toutes les notions du programme présentées en 1 ou 2 doubles-pages
- Encadrés « Erreurs à éviter » et « Ne pas confondre » pour éviter les pièges

## L'essentiel

- 1 fiche de révision très graphique, pour stimuler la mémoire visuelle

## La méthode

- 1 exercice résolu et des conseils méthodologiques
- 1 renvoi vers un exercice pour s'exercer
- 1 carte des exercices aidés, classés par notion du cours

**L'essentiel**

Formes qui ont 3 composantes pas

3 formes de  $\vec{v}$  en fonction de l'axe des abscisses

3 formes de  $\vec{v}$  en fonction de l'axe des ordonnées

**Méthode**

Résoudre un exercice

**Exercice**

Le point de coordonnées (pied de la perpendiculaire) est à la distance  $h$  du point  $A$  sur la droite  $d$ . On a  $h = \frac{1}{\sqrt{2}}$ . Calculer le volume du tétraèdre  $ABCD$ .

**Corrigé**

1. Soit  $M$  un point de la droite  $d$ . On a  $AM = \sqrt{2}x$  et  $BM = \sqrt{2}x$ . On a  $AB = \sqrt{2}$ . On a  $AM^2 + BM^2 = 2x^2 + 2x^2 = 4x^2$  et  $AB^2 = 2$ . On a  $4x^2 = 2$  donc  $x = \frac{1}{\sqrt{2}}$ .

**Des exercices avec différenciation**

**Exercices**

Revision rapide

Focus Maths

Entraînement

Synthèse

Problèmes

## Les exercices

- Exercices variés pour une pédagogie diversifiée et différenciée: quiz, focus maths, évaluation croisée, exercice inversé, exercices aidés, exercices corrigés, exercices «défi», exercice en anglais et exercice «Objectif Bac»
- Parcours différenciés en «Entraînement», «Synthèse» et «Problèmes»

10 Exercice dont le numéro est sur fond blanc corrigé p. 346.

## Science & société

- Articles d'actualité courts, en lien avec les thèmes étudiés
- Liens pour en savoir +
- Exercices

**Science & société**

Les véhicules autonomes bientôt sur le marché

Vers un code de la route à la carte ?

de nombreux projets de véhicules autonomes sont en cours de développement. Ils seront bientôt sur le marché. Mais comment les intégrer dans notre société ?

Fonctionnement d'une voiture autonome

## À la fin du manuel

- 15 fiches techniques dont 4 pages dédiées à Arduino et Python
- Corrigés des quiz
- Corrigés d'exercices
- Index des mots-clés

# Thème 1

# Constitution et transformations de la matière

Chapitre 1	Quantité de matière .....	11
Chapitre 2	Dosage spectrophotométrique .....	29
Chapitre 3	Oxydoréduction et bilan de matière .....	47
Chapitre 4	Titration colorimétrique .....	65
Chapitre 5	Structure et propriétés des molécules et des ions .....	81
Chapitre 6	Cohésion et dissolution des solides .....	99
Chapitre 7	Solubilité et extraction .....	117
Chapitre 8	Structure des composés organiques .....	135
Chapitre 9	Synthèse des composés organiques .....	153
Chapitre 10	Combustions et enjeux de société .....	171



Je vérifie  
mes connaissances  
de Seconde



VIDÉO présentation du chapitre

# Quantité de matière

*Comment compter des entités chimiques ?*

## Objectifs

Prélever une quantité de matière définie

➡ Activité 1 p. 12

Préparer une solution de concentration connue

➡ Activité 2 p. 14

Mesurer le volume molaire d'un gaz

➡ Activité 3 p. 15

Plus de 500 millions de tonnes de grains de riz sont produites chaque année dans le monde, soit environ  $4,5 \times 10^8$  mol.

### 1 Prélever une quantité de matière définie

Dans le domaine pharmaceutique, il est nécessaire de préparer des échantillons solides ou liquides qui entrent dans la composition d'un médicament.

Comment prélever une quantité de matière définie dans un échantillon ?

## ATELIER 1 Prélever un solide

### Doc. 1 Les solides étudiés

Chlorure de fer(III)	Chlorure de fer(II) tétrahydraté	Chlorure de zinc	Chlorure de cuivre(II) dihydraté	Chlorure de sodium	Hydrogénocarbonate de sodium
$\text{FeCl}_3$	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{ZnCl}_2$	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{NaCl}$	$\text{NaHCO}_3$
					

### Doc. 2 Masse molaire d'un élément chimique

Un élément chimique est l'ensemble des entités ayant le même numéro atomique. La masse molaire se note  $M$  et s'exprime en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .



Dans la classification périodique, la masse molaire de chaque élément chimique est indiquée dans la case qui lui est dédiée.

Nom	hydrogène	Symbole
Numéro atomique $Z$	1	$\text{H}$
	1,0	Masse molaire atomique en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

### Doc. 3 Masse molaire moléculaire du paracétamol

La masse molaire moléculaire s'obtient en additionnant les masses molaires atomiques des éléments chimiques qui composent la molécule. La masse molaire du paracétamol de formule  $\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$  se calcule ainsi :



$$M(\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2) = 8 \times M(\text{C}) + 9 \times M(\text{H}) + 1 \times M(\text{N}) + 2 \times M(\text{O}) = 8 \times 12,0 + 9 \times 1,0 + 1 \times 14,0 + 2 \times 16,0 = 151,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

### Matériel disponible

Balance au dg près • Verres de montre • Spatules.

### Mise en œuvre

→ S'approprier, réaliser

→ Réaliser

→ Réaliser, être autonome

1 Rappeler la définition d'une mole d'entités chimiques. À l'aide des docs 2 et 3 et de la **Classification périodique en couverture**, calculer la masse molaire des composés ioniques qui constituent le ou les solides étudiés.

2 Calculer la masse de solide à prélever pour obtenir 0,010 mol de l'espèce chimique étudiée.

3 Prélever chaque solide dans un verre de montre.

4 Préparer une étiquette présentant chaque solide avec son nom, sa masse molaire, sa masse et sa quantité de matière afin de pouvoir présenter un classement final par masse croissante.

### Conclusion

5 Exprimer la quantité de matière  $n$  en fonction de la masse  $m_{\text{échantillon}}$  de l'échantillon et de la masse molaire  $M$  de l'espèce chimique.

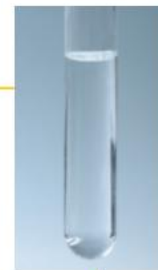
## ATELIER 2

## Prélever un liquide

### Doc. 1 Les liquides étudiés

Tous ces liquides sont incolores.

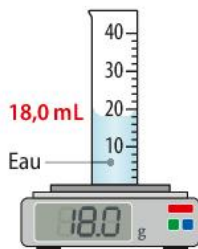
Nom du liquide	Propan-1-ol	Eau	Acétone	Cyclohexane	Éthanol	Glycérol	Butan-1-ol	Propan-2-ol
Formule chimique	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	H <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O
Masse volumique (g · mL <sup>-1</sup> )	0,81	1,00	0,78	0,78	0,79	1,26	0,81	0,80



### Doc. 2 Masse molaire moléculaire de l'eau

La masse molaire moléculaire d'un liquide représente la masse d'une mole de molécules qui composent ce liquide. La masse d'une mole d'eau se calcule à partir des masses molaires des atomes qui composent la molécule d'eau.

→ Classification périodique en couverture



$$M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \times M(\text{H}) + M(\text{O}) = 2 \times 1,0 + 1 \times 16,0 = 18,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

### Doc. 3 Rappel : masse volumique d'un liquide

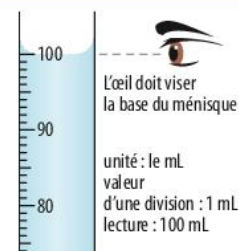
La masse volumique  $\rho_{\text{liquide}}$  d'un liquide s'obtient en divisant la masse  $m_{\text{liquide}}$  de ce liquide par son volume  $V_{\text{liquide}}$ .

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

Si la masse est exprimée en grammes et le volume en millilitres, on obtient la masse volumique en g · mL<sup>-1</sup>.

### Doc. 4 Incertitudes sur les prélèvements

Pour arrondir les calculs intermédiaires, on garde le même nombre de chiffres significatifs que la moins précise des données qui a servi pour faire le calcul. Ici, on prend soin aussi d'arrondir le volume en tenant compte de la précision de l'éprouvette utilisée pour le prélèvement.



### Mise en œuvre

→ S'approprier

→ Réaliser

→ Réaliser, être autonome

### Conclusion

- 1 À l'aide des docs 2 et 3 et de la → Classification périodique en couverture, calculer la masse molaire de l'espèce chimique qui compose le ou les liquide(s) étudié(s).
- 2 Calculer la masse à prélever pour obtenir 0,30 mol de chaque liquide.
- 3 En déduire le volume de liquide à prélever.
- 4 Prélever chaque liquide dans une éprouvette de 25 mL. Préparer une étiquette présentant chaque liquide avec son nom, sa masse volumique, sa masse molaire, son volume et sa quantité de matière afin de pouvoir présenter un classement final par volume croissant. Indiquer les sources d'incertitudes.
- 5 Exprimer la quantité de matière  $n$  en fonction du volume  $V$  de l'échantillon, de la masse volumique  $\rho$  et de la masse molaire  $M$  de l'espèce chimique.

## MISE EN COMMUN

### De l'activité au cours

- 6 À partir des résultats obtenus, rédiger un compte-rendu sous la forme de votre choix qui présente le prélèvement d'un solide et d'un liquide à partir d'une quantité de matière donnée.

### 2 Préparer une solution de concentration connue

Certaines transformations chimiques lentes peuvent être utilisées pour mesurer des durées comme dans le cas d'une horloge à diiode. Dans ces transformations, il est nécessaire de préparer des solutions de concentrations en quantité de matière précises.

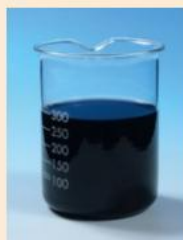
Comment réaliser une horloge à diiode  $I_2$  ?

#### Protocole

1. Dans un bécher A, verser 10 mL de solution  $S_1$ .
2. Ajouter 125 mL d'eau distillée.
3. Dans un bécher B, verser 20 mL de solution  $S_2$ .
4. Ajouter 125 mL d'eau distillée, 5,0 mL d'empois d'amidon puis 2,0 mL d'acide sulfurique à  $1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .
5. Verser le contenu du bécher A dans le bécher B et déclencher le chronomètre.
6. Dès l'apparition d'un changement de couleur, arrêter le chronomètre.
7. Renouveler l'expérience avec 3,0 mL d'acide sulfurique.



État initial



État final

#### Matériel et produits disponibles

- Gants et lunettes • Balance électronique
- Couppelles de pesée • Spatule • Bêchers 250 et 500 mL • 2 fioles jaugées 100 mL • Entonnoir
- Éprouvettes graduées 5 mL et 250 mL
- Pipettes jaugées 10 mL et 20 mL • Poire à pipeter
- Iodate de potassium solide • Sulfite de sodium solide
- Acide sulfurique  $1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- Empois d'amidon • Eau distillée.

#### Doc. 1 Caractéristiques des solutions

Solution $S_1$	Solution $S_2$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Soluté : Iodate de potassium <math>KIO_3</math></li> <li>Solvant : Eau</li> <li>Concentration en quantité de matière : <math>C_1 = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Soluté : Sulfite de sodium <math>Na_2SO_3</math></li> <li>Solvant : Eau</li> <li>Concentration en quantité de matière : <math>C_2 = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}</math></li> </ul>

#### Mise en œuvre

→ S'approprier

→ Analyser, réaliser

→ Réaliser, être autonome

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Communiquer

1. Rappeler la définition de la concentration en masse et par analogie, définir la concentration en quantité de matière exprimée en  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .
2. Calculer la quantité de matière de  $KIO_3$  contenue dans un volume  $V = 100 \text{ mL}$  de solution  $S_1$  et la masse molaire de  $KIO_3$ . → Classification périodique en couverture  
En déduire la masse de  $KIO_3$  à dissoudre pour préparer 100 mL de solution  $S_1$ .
3. De même, calculer la masse de  $Na_2SO_3$  à dissoudre pour préparer 100 mL de solution  $S_2$ .
4. Après validation des masses trouvées, préparer par dissolution 100 mL de chaque solution  $S_1$  et  $S_2$  et réaliser une horloge à diiode en choisissant la verrerie adaptée.
5. Rappeler les données et les relations qui permettent de calculer la masse de soluté à dissoudre pour préparer les solutions nécessaires à la réalisation d'une horloge à diiode.
6. Exprimer la concentration en quantité de matière  $C$  d'une solution en fonction de la quantité de matière de soluté  $n_{\text{soluté}}$  et du volume de la solution  $V_{\text{solution}}$ .

📁 DIFFÉRENCIATION : → Aide (question 4) → Bonus



### 3 Mesurer le volume molaire d'un gaz

Le dihydrogène  $H_2$  est un gaz utilisé comme carburant dans les véhicules fonctionnant avec une pile à combustible. L'autonomie du véhicule dépend du volume de dihydrogène contenu dans le réservoir.

Comment mesurer le volume occupé par une mole de dihydrogène ?

#### Doc. 1 Transformation chimique étudiée

Un morceau de magnésium métal (Mg) plongé dans l'acide chlorhydrique ( $H^+(aq) + Cl^-(aq)$ ) produit du dihydrogène gazeux ( $H_2$ ) selon l'équation de la réaction :  $Mg(s) + 2 H^+(aq) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + H_2(g)$ .  
Le magnésium est le réactif limitant.

#### Matériel et produits disponibles

Gants et lunettes • Balance électronique au  $1/1\,000^e$   
• Coupelle de pesée • Erlenmeyer de 100 mL • Éprouvette graduée de 50 mL • Tube à dégagement monté sur bouchon • Morceau de ruban de magnésium d'environ 0,040 g • Acide chlorhydrique à  $2,0 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ .

#### Protocole

1. Peser précisément un morceau de ruban de magnésium.
2. Verser dans un erlenmeyer 30 mL d'acide chlorhydrique de concentration  $C = 2,0 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ .
3. Remplir entièrement une éprouvette graduée d'eau puis la retourner sur un cristalliseur d'eau.
4. Fixer l'éprouvette retournée à l'aide d'une pince.
5. Placer l'extrémité libre du tube à dégagement dans l'éprouvette.
6. Introduire le morceau de magnésium dans l'erlenmeyer et le fermer immédiatement à l'aide du tube à dégagement monté sur bouchon.
7. À la fin de la transformation, noter le volume de gaz produit.

#### Doc. 2 Montage expérimental



#### Mise en œuvre

- S'approprier
- Réaliser, être autonome
- Analyser, réaliser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

- Communiquer

1 D'après l'équation de la réaction chimique, donner la relation entre la quantité de matière de magnésium consommée et celle de dihydrogène formée.

2 Mettre en œuvre le protocole et noter les résultats obtenus.

3 Calculer la quantité de matière en dihydrogène formée au cours de la réaction.

4 Calculer le volume  $V_m$  occupé par une mole de dihydrogène dans les conditions de l'expérience.

5 Après avoir compilé l'ensemble des résultats du groupe-classe, évaluer l'incertitude-type sur la valeur du volume molaire d'un gaz et donner le résultat de la mesure collective du volume molaire. Comparer avec la valeur théorique  $V_m = 24,0 L \cdot mol^{-1}$  donnée à  $20 \text{ }^\circ C$  et sous pression atmosphérique. Expliquer les écarts éventuels. → Fiche 13 p. 362

6 Exprimer la quantité de matière d'un gaz  $n_{\text{gaz}}$  en fonction de son volume  $V_{\text{gaz}}$  et de son volume molaire  $V_m$ .

**Histoire**

C'est en hommage aux travaux d'Amedeo Avogadro que Jean Perrin donna ce nom à la constante.

Dans son livre de 1913, le physicien français décrit 13 techniques différentes pour mesurer la constante d'Avogadro.

14 carbone <b>C</b> 6 12,0	15 azote <b>N</b> 7 14,0	16 oxygène <b>O</b> 8 16,0	17 fluor <b>F</b> 9 19,0
silicium <b>Si</b> 14 28,1	phosphore <b>P</b> 15 31,0	soufre <b>S</b> 16 32,1	chlore <b>Cl</b> 17 35,5

**Doc. 1.** Extrait de la classification périodique où la masse molaire est indiquée en bas à droite.

Pour calculer la masse molaire d'un échantillon constitué de 75,77 % d'atomes de chlore 35 avec  $M({}_{17}^{35}\text{Cl}) = 35 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  et de 24,23 % de chlore 37 avec  $M({}_{17}^{37}\text{Cl}) = 37 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , on écrit la relation :

$$M(\text{Cl}) = \frac{75,77}{100} \times 35 + \frac{24,23}{100} \times 37 = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

**Doc. 2.** Masse molaire d'un échantillon de chlore constitué d'isotopes.

Dans le cas d'un ion, la masse des électrons est considérée comme négligeable, d'où :

$$M(\text{Cl}^-) = M(\text{Cl}).$$

$$M(\text{Cu}^{2+}) = M(\text{Cu}).$$

**Doc. 3.** Masse molaire d'un ion.

## A Masse molaire d'une espèce chimique

### 1 Définition de la constante d'Avogadro

► Pour compter ou peser les entités en chimie (atomes, électrons, ions...), il est plus facile de les regrouper par paquets appelés **moles**.

► Une mole d'entités contient exactement  $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$  entités. Cette valeur est généralement arrondie à  $6,02 \times 10^{23}$  entités.

Le **nombre d'entités contenu dans une mole** est appelé la **constante d'Avogadro** et se note  $N_A$ .

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

### 2 Définition de la masse molaire

► La **masse molaire** d'une espèce chimique est la **masse d'une mole d'entités** chimiques de cette espèce.

Elle se note  $M$  et son unité est le **gramme par mole** ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ).

► La masse molaire est liée à la masse de l'entité  $m_{\text{entité}}$  qui compose cette espèce chimique et à la constante d'Avogadro  $N_A$  :

$$M = m_{\text{entité}} \times N_A$$

$M$  : masse molaire de l'espèce chimique en grammes par mole ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

$m_{\text{entité}}$  : masse de l'entité en grammes (g)

$N_A$  : constante d'Avogadro ( $\text{mol}^{-1}$ )

#### a. Masse molaire atomique

► La **masse molaire atomique** est la masse d'une mole d'atomes pris à l'état naturel (**doc. 1**).

► La masse molaire atomique d'un élément chimique tient compte de l'**abondance naturelle des différents isotopes** qui constituent l'élément chimique (**doc. 2**).

Les masses molaires des atomes de carbone et d'oxygène se notent  $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  et  $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Ce sont des valeurs **arrondies au dixième d'unité** car ces éléments sont constitués essentiellement des isotopes  ${}_{6}^{12}\text{C}$  (98,937 %) et  ${}_{8}^{16}\text{O}$  (99,757 %).

► Dans le cas d'un ion, la masse des électrons perdus ou gagnés est négligeable par rapport à la masse de l'atome : ainsi, la **masse molaire d'un ion monoatomique** est considérée comme étant la **même que celle de l'élément chimique correspondant** (**doc. 3**).



Le saccharose, de formule chimique  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , est un sucre extrait des plantes comme la canne à sucre. Sa masse molaire se calcule en additionnant les masses molaires des atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène qui le composent. Ainsi,

$$\begin{aligned} M(C_{12}H_{22}O_{11}) &= 12 \times M(C) + 22 \times M(H) + 11 \times M(O) \\ &= 12 \times 12,0 + 22 \times 1,0 + 11 \times 16,0 \\ &= 342,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}. \end{aligned}$$

Doc. 4. Masse molaire du saccharose.

Le sulfate de cuivre  $CuSO_4$  est composé des ions  $Cu^{2+}$  et  $SO_4^{2-}$ .

$$\begin{aligned} M(CuSO_4) &= M(Cu^{2+}) + M(SO_4^{2-}) \\ &= M(Cu) + M(S) + 4 \times M(O) \\ &= 159,6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}. \end{aligned}$$

Doc. 5. Masse molaire d'un composé ionique.

### Éviter les erreurs...

L'unité SI (Système International) de la masse volumique est le  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Cependant, en chimie, on mesure habituellement des masses en grammes (g) sur les balances et des volumes en millilitres (mL) dans la verrerie. Donc la masse volumique est souvent exprimée en  $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

## b. Masse molaire moléculaire

► La **masse molaire moléculaire** est la masse d'une mole de molécules : elle s'obtient en additionnant les masses molaires des atomes qui constituent la molécule (doc. 4).

► Dans le cas d'un composé **ionique**, la masse molaire est calculée à partir des masses molaires **des ions** correspondants (doc. 5).

### 3 Calcul d'une quantité de matière

► La **quantité de matière  $n$**  d'une espèce chimique représente le nombre de moles de cette espèce dans l'échantillon considéré.

Elle s'exprime **en moles (mol)**.

#### → Acquis Seconde

Pour un échantillon de masse  $m$ , la quantité de matière  $n$  s'obtient par la relation :

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

$n$  : quantité de matière de l'espèce contenue dans l'échantillon en moles (mol)

$m$  : masse de l'échantillon en grammes (g)

$M$  : masse molaire de l'espèce chimique qui constitue l'échantillon en grammes par mole ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

► Lorsque l'échantillon étudié est **liquide**, la quantité de matière peut se calculer à partir de la **masse volumique  $\rho$**  et du **volume  $V$**  du liquide. S'il est nécessaire d'utiliser deux relations pour calculer une grandeur, on combine les deux relations et on effectue un seul calcul pour éviter les arrondis intermédiaires qui ont un impact sur le résultat final.

Ainsi, dans le cas du calcul de la quantité de matière d'un liquide,

$\rho = \frac{m}{V}$  donne  $m = \rho \times V$ , expression de la masse  $m$  qui est utilisée pour

calculer la quantité de matière. Or  $n = \frac{m}{M}$ .

Soit la relation finale :

$$n = \frac{\rho \times V}{M}$$

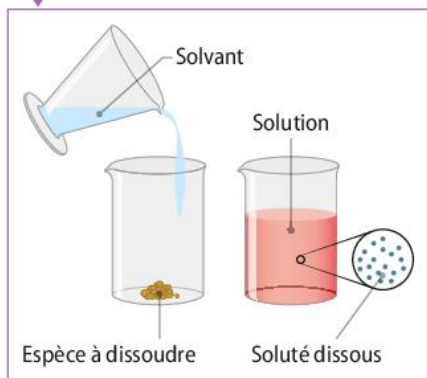
$n$  : quantité de matière de l'espèce contenue dans le liquide en moles (mol)

$V$  : volume du liquide en millilitres (mL)

$M$  : masse molaire de l'espèce chimique qui constitue le liquide en grammes par mole ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

$\rho$  : masse volumique de l'espèce qui constitue le liquide en grammes par millilitres ( $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )

#### → Activité 1



**Doc. 6.** Une solution est obtenue par dissolution d'un soluté dans un solvant.

### Ne pas confondre...

... la **concentration en masse** d'une solution et la **masse volumique** d'un liquide.

Bien que les deux grandeurs se calculent par l'expression  $\frac{m}{V}$ ,

$m$  représente la **masse de soluté** dans la concentration en masse alors que  $m$  représente la **masse de tout le liquide** dans la masse volumique.

### Éviter les erreurs...

Le terme « concentration en quantité de matière » noté  $C$  est parfois simplifié et remplacé par « concentration ». Cependant, on précise toujours **concentration en masse** pour désigner  $C_m$ .

## B Concentration d'une espèce chimique en solution

### 1 Concentration en masse d'une espèce en solution

► Une espèce chimique dissoute dans un solvant se nomme **un soluté** (doc. 6).

► La **concentration en masse**  $C_m$  d'un soluté dans une solution s'obtient par la relation :

$$C_m = \frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$$

$C_m$  : concentration en masse en grammes par litre ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$m_{\text{soluté}}$  : masse du soluté en grammes (g)

$V_{\text{sol}}$  : volume de la solution en litres (L)

→ Acquis seconde

### 2 Concentration en quantité de matière d'une espèce en solution

► La **concentration en quantité de matière**  $C$  d'un soluté dans une solution représente la quantité de matière de ce soluté par litre de solution.

Elle se calcule à l'aide de la relation :

$$C = \frac{n_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$$

$C$  : concentration en quantité de matière en moles par litre ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$n_{\text{soluté}}$  : quantité de matière du soluté en moles (mol)

$V_{\text{sol}}$  : volume de la solution en litres (L)

→ Activité 2

► La concentration en quantité de matière et la concentration en masse sont liées :

$$C = \frac{n_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}} \text{ et } n_{\text{soluté}} = \frac{m_{\text{soluté}}}{M}$$

$$\text{Donc } C = \frac{m_{\text{soluté}}}{M \times V_{\text{solution}}} = \frac{C_m}{M}$$

$$C = \frac{C_m}{M}$$

$C$  : concentration en quantité de matière en moles par litre ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$C_m$  : concentration en masse en grammes par litre ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$M$  : masse molaire de l'espèce chimique en grammes par mole ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

## Ne pas confondre...

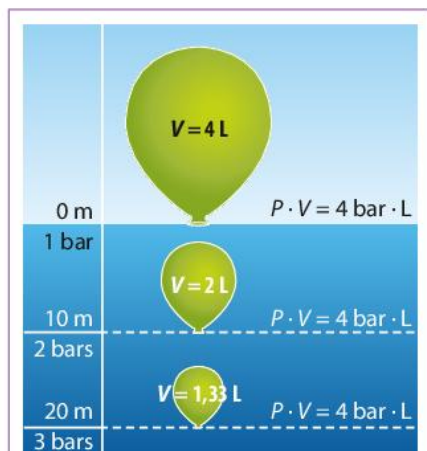
**T et  $\theta$  (théta).**  $T$  est la température absolue exprimée en kelvin (K) tandis que  $\theta$  symbolise la température et s'exprime en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), avec la relation :  $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$ .

Un gaz est parfait s'il n'existe aucune interaction entre les molécules qui le composent (les molécules sont indépendantes les unes des autres). Un gaz est d'autant plus proche du modèle du gaz parfait à température ambiante que sa température d'ébullition est basse.

À  $20^{\circ}\text{C}$ , le dihydrogène  $\text{H}_2$  est considéré comme un gaz parfait car sa température d'ébullition est de  $-252,7^{\circ}\text{C}$ .

En revanche, le dichlore  $\text{Cl}_2$  n'est pas un gaz parfait à  $20^{\circ}\text{C}$  car sa température d'ébullition n'est que de  $-34,5^{\circ}\text{C}$ .

Doc. 7. Le gaz parfait.



Le volume  $V$  augmente lorsque la pression  $P$  diminue, et inversement.

Doc. 8. Influence de la pression sur le volume d'un gaz.

## C Volume molaire d'un gaz parfait

### 1 Définition du volume molaire d'un gaz parfait

► Un gaz est parfait si les molécules qui le composent sont considérées ponctuelles et s'il n'existe aucune interaction entre elles.

► Le **volume molaire d'un gaz parfait** représente le volume occupé par une mole de ce gaz, à une température et une pression données. Il se note  $V_m$  et son unité est le litre par mole ( $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) (doc. 7).

Le volume molaire **ne dépend pas de la nature du gaz parfait mais dépend de la température et de la pression** (doc. 8).

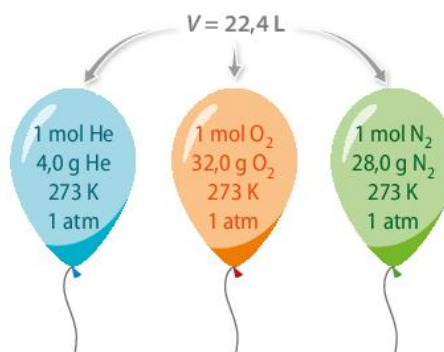
Les conditions normales de température et de pression (CNTP) correspondent à :

- une température de  $0^{\circ}\text{C}$  ou  $273 \text{ K}$  (kelvin) ;
- une pression égale à  $1 \text{ atm}$  (atmosphère) avec  $1 \text{ atm} = 1,013 \text{ bar} = 1\,013 \text{ hPa} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$  (pascal).

Ces conditions permettent aux scientifiques d'avoir des valeurs de référence pour comparer leurs résultats expérimentaux.

**Une mole de gaz parfait occupe un volume égal à  $22,4 \text{ L}$**  dans les conditions normales de température et de pression, soit :

$$V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ à } 0^{\circ}\text{C} \text{ et } 1 \text{ atm}$$



► Pour des manipulations réalisées au laboratoire, d'autres conditions sont définies. On utilise une autre valeur pour le volume molaire : sous une pression égale à  $1 \text{ atm}$  et à une température égale à  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

### 2 Quantité de matière d'un gaz

► La **quantité de matière  $n_{\text{gaz}}$  d'un gaz** se calcule à partir du volume  $V_{\text{gaz}}$  de ce gaz et du volume molaire  $V_m$  grâce à la relation :

$$n_{\text{gaz}} = \frac{V_{\text{gaz}}}{V_m}$$

$n$  : quantité de matière en moles (mol)

$V_m$  : volume molaire en litres par mole ( $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

$V_{\text{gaz}}$  : volume occupé par le gaz en litres (L)

### → Activité 3

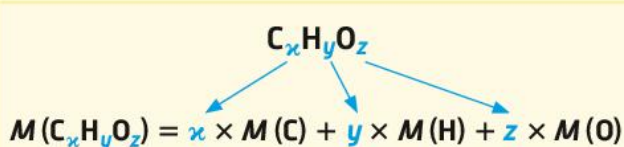
## Masse molaire d'une espèce chimique

### Masse molaire atomique

hydrogène	Nom
<b>H</b>	Symbole
Numéro atomique Z — 1	1,0
	Masse molaire atomique en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

La masse molaire de chaque élément chimique est donnée dans le tableau périodique.

### Masse molaire moléculaire



## Concentration d'une espèce en solution

$$C_m = \frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}} \quad \text{et} \quad \mathbf{C} = \frac{n_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}} \quad \text{d'où} \quad C = \frac{C_m}{M}$$

$n_{\text{soluté}}$  : quantité de matière de soluté en moles (mol)

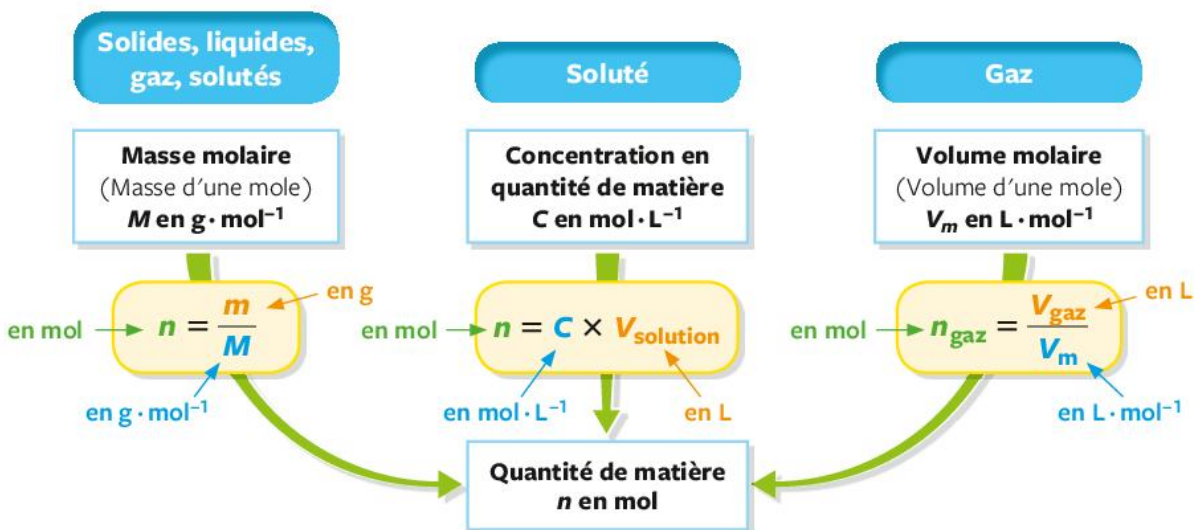
$V_{\text{solution}}$  : volume de la solution en litre (L)

$C$  : concentration en quantité de matière en moles par litre ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$C_m$  : concentration en masse en grammes par litre ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$M$  : masse molaire de l'espèce chimique en grammes par mole ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

## Calcul d'une quantité de matière



## Résoudre un exercice

### Énoncé

L'air est constitué de 78,0 % de diazote  $N_2$  et de 21,0 % de dioxygène  $O_2$ , plus quelques traces de gaz rares, de dioxyde de carbone, de vapeur d'eau, de polluants et de poussières.

- Déterminer le volume de  $N_2$  et de  $O_2$  dans un litre d'air pris dans les conditions normales de température et de pression.
- Calculer la quantité de matière de ces gaz dans un litre d'air.
- En déduire la masse de ces gaz dans un litre d'air.

Donnée.  $V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$  dans des conditions normales de température et de pression.

### Conseils

- Traduire en volume la proportion des gaz donnée en pourcentage.
- Pour chaque calcul, écrire une formule littérale avant de faire l'application numérique.
  - Ne pas oublier de mentionner les unités des résultats.
- Respecter le nombre de chiffres significatifs pour arrondir le résultat d'un calcul.

### Résolution

1. Compte-tenu des proportions données, un litre d'air contient 0,780 L de  $N_2$  et 0,210 L de  $O_2$ .

2. Pour calculer  $n$ , on utilise la relation qui lie  $n$ ,  $V$  et  $V_m$ . Soit :

$$n(N_2) = \frac{V(N_2)}{V_m} = \frac{0,780}{22,4} = 3,48 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

$$n(O_2) = \frac{V(O_2)}{V_m} = \frac{0,210}{22,4} = 9,38 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

3. On sait que  $m = n \times M$ .

Or,  $M(N_2) = 2 \times M(N) = 2 \times 14,0 = 28,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

D'où  $m(N_2) = 3,48 \times 10^{-2} \times 28,0 = 0,974 \text{ g}$ .

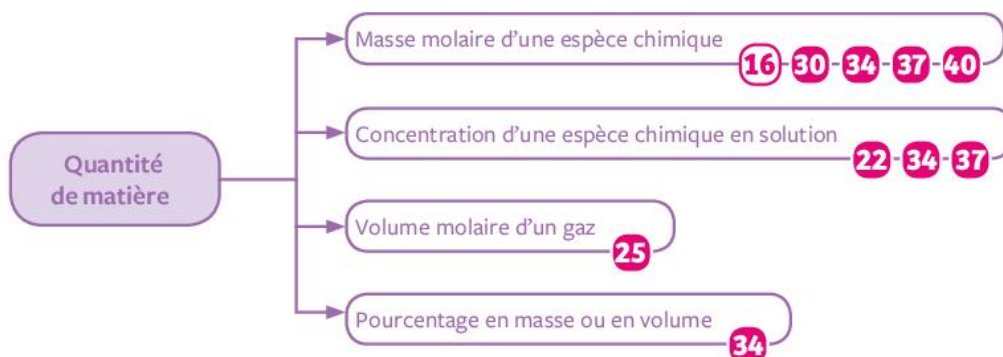
De même,  $M(O_2) = 2 \times M(O) = 2 \times 16,0 = 32,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

D'où  $m(O_2) = 9,38 \times 10^{-3} \times 32,0 = 0,300 \text{ g}$ .

→ Exercice 29 p. 25

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.



**1** Le nombre d'entités chimiques contenues dans une mole est :

- A:  $N_A = 6,02 \times 10^{-23} \text{ mol}^{-1}$ .    B:  $N_A = 6,02 \times 10^{-23} \text{ mol}$ .  
 C:  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .    D:  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}$ .

**2** La masse molaire d'un élément chimique s'exprime en :

- A:  $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ .    B:  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .    C:  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .    D:  $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

**3** La masse molaire de l'éthanol  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  se calcule avec la relation :

- A:  $2 \times M(\text{C}) + 6 \times M(\text{H}) + M(\text{O})$ .  
 B:  $6 \times M(\text{H}) + M(\text{O}) + 2 \times M(\text{C})$ .  
 C:  $M(\text{C}) + M(\text{H}) + M(\text{O})$ .  
 D:  $M(\text{C}) + 2 \times M(\text{H}) + 6 \times M(\text{O})$ .

**4** La relation entre la masse  $m$  d'un échantillon, la quantité de matière  $n$  et sa masse molaire  $M$  est :

- A:  $n = \frac{M}{m}$ .    B:  $n = \frac{m}{M}$ .    C:  $n = m \times M$ .    D:  $m = n \times M$ .

**5** La concentration en quantité de matière d'une solution peut s'exprimer en :

- A:  $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .    B:  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ .    C:  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .    D:  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**6** La concentration en quantité de matière  $C$  d'une solution est :

- A:  $C = \frac{V_{\text{solution}}}{n_{\text{soluté}}}$ .    B:  $C = \frac{n_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$ .  
 C:  $C = \frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$ .    D:  $C = \frac{M}{V_{\text{solution}}}$ .

**7** Pour préparer 100 mL d'une solution de concentration en quantité de matière  $2,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , il faut dissoudre une quantité de matière  $n$  de :

- A: 0,20 mol.    B: 200 mol.  
 C:  $2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$ .    D: 50 mol.

**8** Le volume molaire d'un gaz dans les conditions normales de température et de pression vaut :

- A:  $22,4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .    B:  $22,4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .  
 C:  $22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .    D: 22,4 L.

**9** Le volume molaire d'un gaz parfait dépend de :

- A: la nature du gaz.    B: la température.  
 C: la pression.    D: la quantité de matière.

**10** La quantité de matière contenue dans un volume  $V$  de dioxygène est égale à :

- A:  $n(\text{O}_2) = \frac{V}{M}$ .    B:  $n(\text{O}_2) = \frac{V_m}{M}$ .  
 C:  $n(\text{O}_2) = \frac{V}{m}$ .    D:  $n(\text{O}_2) = \frac{V}{V_m}$ .

## FOCUS MATHS

### Manipuler des formules littérales

En chimie, lorsqu'une grandeur apparaît dans deux formules littérales et afin d'éviter les arrondis de calcul intermédiaires, il faut combiner ces formules pour en obtenir une seule.

La quantité de matière  $n$  apparaît ainsi dans les deux formules suivantes :

$$n = C \times V_{\text{solution}} \quad \text{et} \quad m = n \times M$$

En remplaçant  $n$  par son expression donnée dans la 1<sup>re</sup> formule on obtient ainsi :

$$m = C \times V_{\text{solution}} \times M$$

### Application à la chimie

#### 11 Exercice résolu

Soit un volume  $V_{\text{solution}} = 1,0 \text{ L}$  d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) de concentration en quantité de matière  $C = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

► Calculer la masse d'hydroxyde de sodium solide à peser pour préparer la solution.

#### Solution commentée

On sait que  $n = C \times V$  et que  $m = n \times M$ .

D'où  $n(\text{NaOH}) = C \times V_{\text{solution}}$   
 et  $m(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) \times M(\text{NaOH})$ .

En combinant les deux relations, on obtient :

$$m(\text{NaOH}) = C \times V_{\text{solution}} \times M(\text{NaOH}) \\ = 1,0 \times 10^{-1} \times 1,0 \times 40,0 = 4,0 \text{ g.}$$

#### 12 Exercice d'application

Un élève prépare 100 mL d'une solution d'eau sucrée par dissolution d'une masse  $m = 15 \text{ g}$  de saccharose  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  dans l'eau.

► Calculer la concentration en quantité de matière de la solution obtenue.



**Données pour l'ensemble des exercices**

- Les masses molaires atomiques à utiliser dans les exercices sont indiquées dans ➔ **Classification périodique en couverture**
- Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .
- Volume molaire d'un gaz à 20 °C et à 1 013 hPa :  $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**Entraînement****Masse molaire d'une espèce chimique**

**13** Calculer la masse molaire des espèces chimiques ou composés ioniques suivants :

1. Le paracétamol de formule  $\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$ .
2. Le diiode de formule  $\text{I}_2$ .
3. Le carbonate de calcium de formule  $\text{CaCO}_3$ .
4. La vitamine C de formule  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ .
5. Le sulfate de magnésium heptahydraté de formule  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .
6. Le sel de Mohr de formule  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

**14** Une molécule d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a une masse égale à :  $2,99 \times 10^{-23} \text{ g}$ .

► Calculer la masse molaire de l'eau de deux manières différentes.

**15** Recopier le tableau et compléter les valeurs manquantes :

Échantillon	Masse molaire ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	Quantité de matière (mol)	Masse (g)
Saccharose $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\text{s})$		$2,0 \times 10^{-1}$	
Dioxyde d'azote $\text{NO}_2(\text{g})$			$1,5 \times 10^{-1}$
Chloroforme $\text{CHCl}_3(\ell)$		$5,0 \times 10^{-2}$	

**16** Aide p. 24 La posologie quotidienne maximale d'aspirine ( $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$ ) est de 3,0 g.

1. Calculer la masse molaire de l'aspirine.
2. Exprimer puis calculer la quantité de matière maximale d'aspirine autorisée par jour.
3. En déduire le nombre maximum de molécules d'aspirine pouvant être absorbées quotidiennement.

**17** Recopier et compléter les valeurs manquantes du tableau pour les liquides donnés :

Liquides	$M$ ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	$\rho$ ( $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	$n$ (mol)	$V$ (mL)	$m$ (g)
Éthanol $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$		0,79		15	
Dichlorométhane $\text{CH}_2\text{Cl}_2$		1,3	$2,0 \times 10^{-2}$		

**18** La propanone (ou acétone) de formule chimique  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  est un solvant très utilisé en chimie organique du fait qu'elle solubilise très bien de nombreuses molécules organiques et est miscible avec l'eau.

**Donnée.**  $\rho(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}) = 0,78 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

1. Calculer la masse molaire de la propanone.
2. Calculer la quantité de matière de propanone contenue dans 100 mL de propanone.

**En binôme : évaluation croisée**

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**19** Un comprimé de vitamine C contient 500 mg d'acide ascorbique ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ).

1. Calculer la masse molaire de l'acide ascorbique.
2. En déduire la quantité de matière d'acide ascorbique contenue dans un comprimé.

**Critères d'évaluation**

- 1 Le détail du calcul de la masse molaire moléculaire est présenté avec une formule littérale. La valeur numérique est exacte, donnée avec un nombre correct de chiffres significatifs et la bonne unité.
- 2 La masse est convertie en g. La formule littérale liant quantité de matière, masse et masse molaire précède le calcul. Le résultat correct est donné avec son unité et un nombre correct de chiffres significatifs.

**20** Le butanoate de méthyle ( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$ ) est un ester utilisé comme arôme dans l'industrie alimentaire et la parfumerie pour son odeur de pomme.



**Donnée.**  $\rho(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2) = 0,898 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

1. Calculer la masse molaire du butanoate de méthyle.
2. Calculer la quantité de matière contenue dans 2,0 mL de butanoate de méthyle.

**Critères d'évaluation**

- 1 Une formule littérale précède le calcul de la masse molaire moléculaire. Le résultat correct est donné avec son unité et un nombre correct de chiffres significatifs.
- 2 La formule littérale liant la quantité de matière, la masse volumique, le volume et la masse molaire précède le calcul. L'application numérique est correctement réalisée et le nombre de chiffres significatifs est cohérent.

## Concentration d'une espèce chimique en solution

**21** Une solution aqueuse de volume  $V_{\text{solution}} = 200 \text{ mL}$  contient  $1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  d'hydroxyde de sodium (NaOH).

- Calculer la concentration en quantité de matière  $C$  de la solution d'hydroxyde de sodium.
- En déduire la concentration en masse  $C_m$  de la solution.

**22** Aide p. 24 Dans le cas d'une déshydratation, il peut être administré par perfusion une solution de glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) de concentration en quantité de matière  $C = 278 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

- Calculer la masse molaire du glucose.
- Calculer la masse de glucose contenue dans une perfusion de 500 mL en combinant deux formules, comme présenté dans le Focus maths p. 22.

**23** Pour limiter l'apparition de crampes après un effort sportif intense, il est possible de boire une solution de bicarbonate de sodium fabriquée par dissolution de 10 g de bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) dans l'eau afin d'obtenir un litre de solution.

- Calculer la masse molaire du bicarbonate de sodium.
- Calculer la concentration en masse puis la concentration en quantité de matière de la solution obtenue.
- Retrouver la concentration en quantité de matière à partir des données de l'énoncé et de la masse molaire du bicarbonate de sodium, en combinant deux formules, comme présenté dans le Focus maths p. 22.

**24** Une solution d'eau sucrée a été préparée par dissolution de 12 g de saccharose ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) pour obtenir un volume total de solution  $V_{\text{solution}} = 100 \text{ mL}$ . La masse de la solution obtenue vaut 103,92 g.

- Calculer la masse volumique  $\rho$  de la solution d'eau sucrée.
- Calculer la concentration en masse  $C_m$  de la solution.
- Calculer la masse molaire  $M$  du saccharose.
- Démontrer la relation liant la concentration en quantité de matière  $C$  et la concentration en masse  $C_m$ .
- Calculer la concentration en quantité de matière de la solution d'eau sucrée à partir de la concentration en masse.

## Volume molaire d'un gaz

**25** Aide p. 24 Un ballon de baudruche sphérique de diamètre 28 cm est gonflé avec de l'hélium gazeux (He) à 20 °C et sous pression atmosphérique.

- Calculer le volume d'hélium contenu dans le ballon de baudruche.
- En déduire la quantité de matière d'hélium contenue dans le ballon.

**26** Soit le tableau de données suivant :

Gaz	Masse molaire ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	Quantité de matière (mol)	Volume (mL)	Masse (g)
Méthane $\text{CH}_4$				5,0
Dioxyde de carbone $\text{CO}_2$			$3,5 \times 10^3$	
Diazote $\text{N}_2$		$2,0 \times 10^{-2}$		

► Recopier et compléter les valeurs manquantes pour les gaz à 20 °C et 1 013 hPa.

## 27 Exercice inversé

Les trois phrases suivantes sont des réponses. Proposer une ou des questions appropriées à chaque réponse donnée.

- Il s'agit du volume occupé par une mole de gaz, à une température et une pression données.
- $V(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \times V_m = 1,8 \times 24,0 = 43,2 \text{ L}$ .
- $m_{\text{gaz}} = \frac{V_{\text{gaz}} \times M_{\text{gaz}}}{V_m}$

**28** On dispose d'un flacon contenant 50 mL de dioxygène à 20 °C et 1 013 hPa.

- Calculer la quantité de matière de dioxygène contenue dans le flacon.
- En déduire la masse de dioxygène contenue dans le flacon.
- Une balance au dg près sera-t-elle suffisante pour peser le dioxygène ? Justifier.

## Différenciation Aides aux exercices

### Aide pour l'exercice 16

- Utiliser la Classification périodique en couverture pour connaître les masses molaires atomiques.
- Utiliser la formule liant la quantité de matière  $n$  à la masse  $m$  de l'échantillon.
- Utiliser la constante d'Avogadro  $N_A$ .

### Aide pour l'exercice 22

- Convertir le volume en L et faire attention à l'unité de la concentration.
- Utiliser la masse molaire du glucose et la relation entre la quantité de matière  $n$  et la masse  $m$ .

### Aide pour l'exercice 25

- Le volume d'une sphère de rayon  $R$  est  $V = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3$ .
- Conversion:  $1 \text{ m}^3 = 1 000 \text{ L}$ .



## Synthèse

### 29 Composition d'une pièce de 50 cents

→ Analyser, réaliser

Une pièce de 50 cents de masse 7,80 g est constituée d'un alliage de plusieurs métaux dit « or nordique ». La composition en masse de cet alliage est 89 % de cuivre (Cu), 5 % d'aluminium (Al), 5 % de zinc (Zn) et 1 % d'étain (Sn).



1. Calculer la masse de chaque métal dans une pièce de 50 cents.
2. En déduire la quantité de matière de chaque métal contenu dans une pièce de 50 cents.

### 30 Aide p. 26 Masse molaire d'un élément

→ Analyser, réaliser

L'élément chimique bore (B) est présent à l'état naturel sous la forme de deux isotopes stables :

Isotopes	Proportion (%)
$^{10}_5\text{B}$	19,9
$^{11}_5\text{B}$	80,1

**Donnée.** Masse d'un nucléon :  $m_{\text{nucléon}} = 1,67 \times 10^{-27}$  kg.

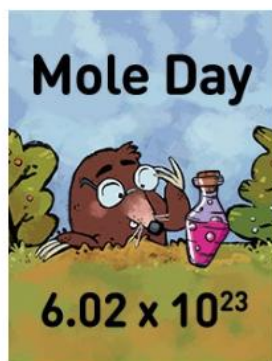
1. Calculer la masse d'un atome de bore pour lequel  $A = 10$ .
2. Calculer la masse molaire du bore 10. Puis en déduire celle du bore 11.
3. En tenant compte des proportions isotopiques, calculer la masse molaire de l'élément chimique bore.
4. À l'aide de la ➔ **Classification périodique en couverture**, vérifier la réponse.

### 31 DÉFI La journée de la mole

→ S'approprier

La journée de la mole (« mole day » en anglais) est une fête non-officielle organisée par les chimistes d'Amérique du Nord. Cette journée donne lieu à de nombreuses animations autour de la mole dans les lycées et les universités.

1. Rechercher sur internet la date et l'heure choisie pour cette fête. Justifier ce choix.
2. Expliquer pourquoi la taupe est souvent utilisée dans les supports de communication.



### 32 Concentration de l'éosine

→ Analyser, réaliser

L'éosine en solution aqueuse est un antiseptique local léger à visée asséchante.

Celle-ci est conditionnée sous forme de dose à usage unique. Sur les tubes, la proportion d'éosine dans la solution aqueuse est indiquée en pourcentage de masse.

**Données**

- $M(\text{éosine}) = 623,8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $\rho(\text{éosine}) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

1. Calculer la masse de la solution aqueuse contenue dans une dose.
2. Calculer la quantité de matière d'éosine contenue dans une dose.
3. En déduire la concentration en quantité de matière d'éosine d'une dose.



### 33 Boisson énergisante

→ Analyser, réaliser

Voici un extrait de la composition d'une canette de 25 cL de boisson énergisante :

Ingrédient	Masse
Saccharose ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )	27 g
Taurine ( $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_3\text{S}$ )	1 g
Glucuronolactone ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ )	600 mg
Caféine ( $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_4\text{O}_2$ )	80 mg

1. Calculer la masse molaire des espèces chimiques contenues dans la boisson énergisante.
2. Calculer la concentration en quantité de matière de chaque espèce chimique dans la canette.

### 34 Aide p. 26 Déboucheur de canalisations

→ Analyser, réaliser

L'étiquette d'un liquide déboucheur de canalisation indique qu'il contient 10 % en masse d'hydroxyde de sodium (NaOH). Un particulier verse 400 mL de ce déboucheur dans son évier.

La masse volumique du déboucheur de canalisation est égale à  $\rho = 1,1 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

1. Calculer la masse d'un litre de déboucheur de canalisation.
2. En déduire la masse d'hydroxyde de sodium contenue dans un litre de déboucheur.
3. Calculer la concentration en quantité de matière d'hydroxyde de sodium du déboucheur.
4. Calculer la quantité de matière d'hydroxyde de sodium versé dans l'évier du particulier.

## 35 Calcul d'incertitude

→ Réaliser

En TP, 9 groupes d'élèves ont mesuré le volume molaire d'un gaz à 20 °C et sous pression atmosphérique. Le résultat de chaque groupe est reporté dans le tableau.

Mesures	$V_m$ (L · mol <sup>-1</sup> )
1	24,5
2	23,8
3	12,5
4	24,1
5	23,9
6	23,9
7	24,0
8	23,7
9	23,8

- Écarter les valeurs aberrantes de la série de mesures.
- En utilisant un tableur ou une calculatrice, calculer la moyenne de la série de mesures conservées.
- Calculer l'écart-type de la série de mesure par une méthode statistique.
- En déduire l'incertitude sur la mesure puis donner une estimation du volume molaire d'un gaz  $V_m$  dans les conditions de l'expérience.
- Comparer le résultat de l'expérience à la valeur de référence  $V_{m, \text{réf.}}$ .

## 36 Degré alcoolique de différentes boissons

→ S'approprier, analyser, réaliser

Dans un document d'information et de prévention sur les risques liés à la consommation d'alcool, on trouve l'illustration suivante :

### Doc. 1 Définition du degré alcoolique

Le degré alcoolique d'une boisson représente le volume d'éthanol (en mL) contenu dans 100 mL de cette boisson.



### Doc. 2 Définition de l'alcool pur

Le terme « alcool pur » représente l'éthanol, de masse volumique  $\rho = 0,79 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

- Montrer que chaque verre de l'illustration contient environ 10 g d'éthanol afin de vérifier l'affirmation présentée.

## 37 DÉFI Aide p. 26 Carence en acide folique

→ S'approprier, analyser, réaliser

L'acide folique (ou vitamine B9) de formule  $\text{C}_{19}\text{H}_{19}\text{N}_7\text{O}_6$  est indispensable au renouvellement cellulaire. Il est particulièrement contrôlé chez les femmes enceintes chez qui une carence en acide folique peut entraîner des troubles de croissance du fœtus.

**Donnée.** Une analyse est normale si la concentration en masse d'acide folique dans le sang est comprise entre 5 et 15  $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

- Une femme obtient le résultat du dosage de l'acide folique sanguin : 8  $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Indiquer si son médecin doit lui prescrire un complément en vitamine B9.

## 38 Préparation d'une solution

→ Analyser, réaliser

Avec une pipette jaugée, un élève prélève un volume  $V_1 = 10 \text{ mL}$  d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration en quantité de matière  $C_1 = 2,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Il introduit ce prélèvement dans une fiole jaugée de volume  $V_2 = 250 \text{ mL}$  puis complète au trait de jauge avec de l'eau distillée et agite la fiole pour homogénéiser.

- Donner le nom de la manipulation réalisée par l'élève.
- Calculer la concentration en quantité de matière  $C_2$  de la solution d'acide chlorhydrique obtenue après agitation.

## 39 Senteur de lavande

→ Analyser, réaliser

En TP, Lilou synthétise de l'éthanoate de linalyle, une molécule qui reproduit l'odeur de la lavande. Pour cela, Lilou doit prélever les quantités de matière suivantes :

$n_A = 1,4 \times 10^{-2} \text{ mol}$  de linalol ( $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$ )  
 et  $n_B = 5,3 \times 10^{-2} \text{ mol}$  d'anhydride éthanoïque ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$ ).

**Données**

- $\rho(\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}) = 0,87 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .
- $\rho(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3) = 1,08 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

- Aider Lilou à calculer les volumes  $V_A$  de linalol et  $V_B$  d'anhydride éthanoïque à prélever.

## Différenciation Aides aux exercices

### Aide pour l'exercice 30

Le nombre de masse A donne le nombre de nucléons constituant le noyau de l'atome.

### Aide pour l'exercice 34

10% en masse d'hydroxyde de sodium signifie qu'une masse de 100 g de liquide déboucheur contient 10 g d'hydroxyde de sodium.

### Aide pour l'exercice 37

Calculer la masse de 8 nmol d'acide folique.



## Problèmes

### 40 Nombre de molécules d'eau d'hydratation

Le sulfate de cuivre anhydre ( $\text{CuSO}_4$ ) est un composé ionique blanc qui en présence d'eau, s'hydrate pour devenir un composé ionique bleu de formule  $\text{CuSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ . Cette transformation constitue le test de mise en évidence de la présence d'eau.

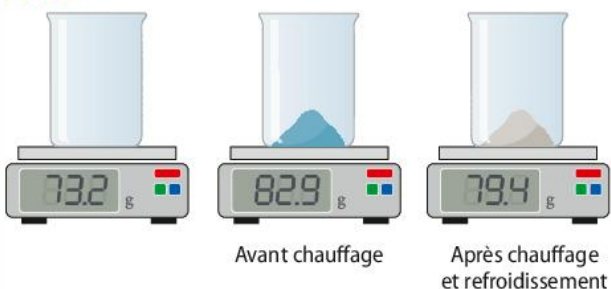


En TP, Orane suit un protocole expérimental dont le but est de déterminer le nombre  $x$  de molécules d'eau dans le sulfate de cuivre hydraté.

#### Doc. 1 Protocole suivi par Orane

1. Peser un bécher vide.
2. Verser une masse d'environ 10 g de sulfate de cuivre hydraté dans le bécher.
3. Sur une plaque chauffante, tout en mélangeant avec un agitateur en verre, chauffer le sulfate de cuivre jusqu'à décoloration complète des cristaux.
4. Après refroidissement, peser l'ensemble bécher + sulfate de cuivre anhydre.

#### Doc. 2 Mesures réalisées au cours du TP



► À l'aide des mesures effectuées par Orane, déterminer le nombre de molécules d'eau associées au sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4$ ) dans le sulfate de cuivre hydraté.

#### Différenciation

#### Apprendre à résoudre 40

1. Calculer la quantité de matière de sulfate de cuivre anhydre obtenue.
2. Calculer la quantité de matière d'eau qui s'est évaporée du sulfate de cuivre hydraté.
3. Par proportionnalité, en déduire la quantité de matière d'eau pour une mole de sulfate de cuivre anhydre.

### 41 Préparation d'une injection

Selon la prescription du médecin, un infirmier doit préparer une injection en intraveineuse de Ceftriaxone, un antibiotique prescrit dans le traitement de la maladie de Lyme.



#### Doc. 1 Prescription du médecin

Lena, 5 ans, 15 kg.  
Ceftriaxone en intraveineuse  
 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ .

#### Doc. 2 L'antibiotique prescrit

Principe actif	$1,80 \times 10^{-3}$ mol de Ceftriaxone ( $\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{N}_8\text{O}_7\text{S}_3$ ) en poudre
Solvant	Ampoule de 10 mL d'eau pour intraveineuse
Mode d'administration	Après dissolution de la totalité de la poudre dans le solvant, injecter immédiatement en intraveineuse le volume de solution prescrit.

► Calculer le volume de solution d'antibiotique à injecter pour respecter la prescription du médecin.

### 42 Manipuler les formules littérales

#### Doc. 1 Masse volumique de quelques gaz

Gaz	Formule	Masse volumique à $0^\circ\text{C}$ ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )
Hélium	He	0,178
Diazote	$\text{N}_2$	1,250
Ozone	$\text{O}_3$	2,14

1. À partir de la définition de la masse volumique, établir une relation entre la masse volumique  $\rho$ , la masse molaire  $M$  et le volume molaire  $V_m$  d'un gaz.
2. Vérifier la formule établie en utilisant les données du doc. 1.

### 43 DÉFI Qualité de l'eau potable

L'eau est très contrôlée : l'Organisation mondiale de la santé (OMS) définit des normes pour qu'une eau puisse être qualifiée de « potable ».

On détermine la concentration de nombreuses espèces chimiques dans les prélèvements effectués : des ions, des composés organiques, des pesticides...

► Rechercher sur Internet les normes de potabilité concernant les ions cuivre  $\text{Cu}^{2+}$ , le benzène  $\text{C}_6\text{H}_6$  (composé organique) et le 1,2-dichloropropane  $\text{C}_3\text{H}_6\text{Cl}_2$  (pesticide).

## 44 Qualité de l'air intérieur

La qualité de l'air à l'intérieur d'un bâtiment peut être contrôlée et évaluée, au même titre que celle de l'air extérieur, tant les sources potentielles de pollution sont nombreuses : appareils à combustion, matériaux de construction, produits de décoration (peinture, colles, vernis...), activité humaine (tabagisme, produits d'entretien, bricolage, cuisine...) et même... l'ameublement. Les résines ou les colles qui entrent dans la fabrication de certains meubles émettent en effet du formaldéhyde qui est toxique pour l'homme.



### Doc. 1 Conversions d'unités

La concentration des gaz dans l'air s'exprime de deux manières : en parties par milliards (ppb) – il s'agit du nombre de molécules de gaz pour un milliard de molécules d'air – ou en  $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Pour convertir des ppb en  $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , il faut multiplier par  $\frac{M}{24}$ , où  $M$  représente la masse molaire du gaz considéré.

### Doc. 2 Réglementation relative au formaldéhyde

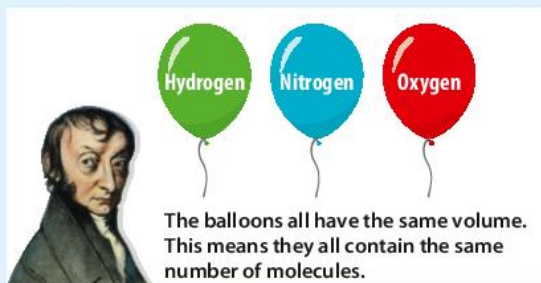
La concentration en formaldéhyde  $\text{CH}_2\text{O}$  d'une pièce ne doit pas dépasser  $30 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  dans le cadre d'une exposition de longue durée.

- Démontrer la relation exprimée dans la dernière phrase du doc. 1.
- Dans une salle de classe, la concentration en formaldéhyde s'élève à 30 ppb. Indiquer si cette valeur dépasse la norme fixée.



En anglais

## 45 Avogadro's law



► Explain the sentence written under the balloons.

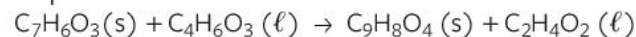
Bonus

## Objectif BAC

## 46 Synthèse de l'aspirine

L'aspirine ( $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$ ) est synthétisée à partir d'acide salicylique ( $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ ) et d'anhydride éthanóique ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$ ). Il se forme également de l'acide éthanóique ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ).

L'équation de la réaction est :



### Protocole

- Préparer un bain marie à  $70^\circ\text{C}$ .
- Dans un erlenmeyer, bien sec, sous hotte, introduire :
  - 10,0 g d'acide salicylique ;
  - 14,0 mL d'anhydride éthanóique ;
  - quelques grains de pierre ponce.
- Réaliser un premier prélèvement du milieu réactionnel en vue d'une analyse par CCM.
- Adapter un réfrigérant à air sur l'erlenmeyer ;
- Au temps  $t = 0$ , placer l'erlenmeyer dans le bain-marie.
- Laisser réagir pendant vingt minutes tout en réalisant quatre nouveaux prélèvements du milieu réactionnel toutes les quatre minutes.

### Doc. 1 Suivi par chromatographie

La chromatographie sur couche mince (CCM) est l'une des techniques qui permet de contrôler l'avancement d'une transformation chimique.

### Doc. 2 Matériel disponible

- Plaques pour CCM
- Capillaires
- Éluant
- Cuve à chromatographie
- Aspirine pur du commerce dissous dans un solvant
- Acide salicylique pur dissous dans un solvant
- Lampe UV

Donnée.  $\rho(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = 1,082 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

- Calculer la masse molaire des réactifs et produits de la synthèse.
- Montrer que l'anhydride éthanóique est introduit en excès.
- Calculer la masse attendue d'aspirine lors de cette synthèse.
- À l'aide du matériel disponible, proposer un protocole expérimental pour réaliser les différentes chromatographies afin de s'assurer de la synthèse de l'aspirine.
- Expliquer comment s'assurer que la synthèse est terminée lors du dernier prélèvement.



VIDÉO présentation du chapitre

# Dosage spectrophotométrique

*Comment déterminer la concentration d'une solution colorée ?*

## Objectifs

Expliquer la couleur d'une solution

➔ Activité 1 p. 30

Modéliser la relation entre absorbance et concentration

➔ Activité 2 p. 31

Déterminer une concentration par mesure de l'absorbance

➔ Activité 3 p. 32

Réaliser un dosage spectrophotométrique

➔ Activité 4 p. 33

Ces solutions ont des couleurs différentes car elles n'absorbent pas les mêmes radiations visibles.

## 1 Expliquer la couleur d'une solution

Dans l'agroalimentaire, les colorants sont utilisés pour rendre plus attrayants les aliments mais n'ont aucune valeur nutritive, ni gustative. Le sirop de menthe contient deux colorants alimentaires codés E102 et E131.

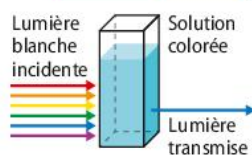
Comment expliquer la couleur verte du sirop de menthe ?

### Doc. 1 Radiation lumineuse et couleur d'une solution

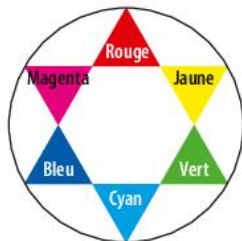
- Une radiation lumineuse est caractérisée par sa longueur d'onde  $\lambda$ . Chacune est associée par notre cerveau à une couleur précise.
- La lumière blanche contient toutes les radiations colorées visibles.

$\lambda$ dans le vide (nm)	Perception
400-440	Violet
440-510	Bleu
510-570	Vert
570-590	Jaune
590-610	Orange
610-750	Rouge

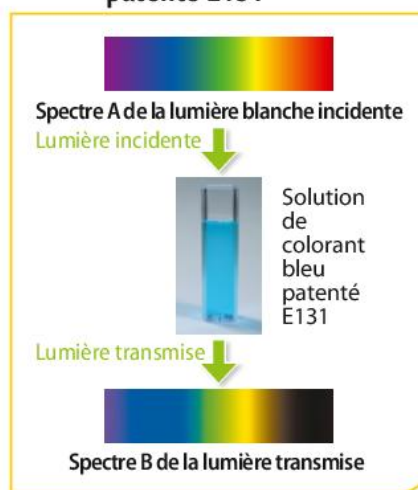
- Une solution paraît colorée si elle absorbe une partie des radiations de la lumière blanche. La couleur de la solution est alors celle des radiations transmises, c'est-à-dire la couleur complémentaire de la ou des couleurs absorbées.



- Dans un cercle chromatique, deux couleurs placées en vis-à-vis sont complémentaires l'une de l'autre.



### Doc. 2 Spectre de la lumière transmise par le bleu patenté E131



### Doc. 4 Autres spectres



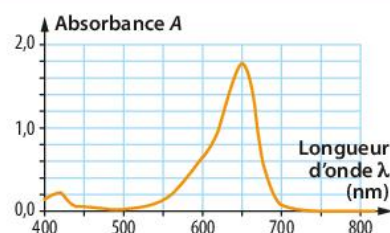
Spectre du colorant E102



Spectre du sirop de menthe

### Doc. 3 Spectre d'absorption du bleu patenté E131

L'absorbance  $A$  mesure la capacité d'une solution à absorber la lumière qui la traverse.



### Appropriation et analyse

- S'approprier
- Analyser

1 À l'aide des docs 1 et 2, préciser la couleur des radiations majoritairement absorbées par le colorant bleu patenté. Confirmer cette observation en analysant le doc. 3.

2 À partir du doc. 4, estimer la couleur du colorant alimentaire codé E102 et tracer l'allure de son spectre d'absorption  $A = f(\lambda)$ .

3 La couleur du sirop de menthe est obtenue en ajoutant les deux colorants alimentaires précédents. Indiquer si le spectre de lumière transmis pour le sirop de menthe est conforme à celui d'un mélange des deux colorants E131 et E102. Justifier.

### Conclusion

4 Représenter l'allure de son spectre d'absorption  $A = f(\lambda)$  et expliquer la couleur du sirop de menthe.

### De l'activité au cours

- Communiquer

5 Établir le lien entre le spectre d'absorption et la couleur d'une solution.

DIFFÉRENCIATION : Bonus



Concevoir un protocole

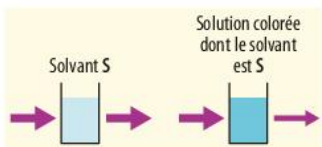
## 2 Modéliser la relation entre absorbance et concentration

Avec le matériel du laboratoire, il est possible de fabriquer un colorimètre qui permet de mesurer l'absorbance d'une solution pour une longueur donnée.

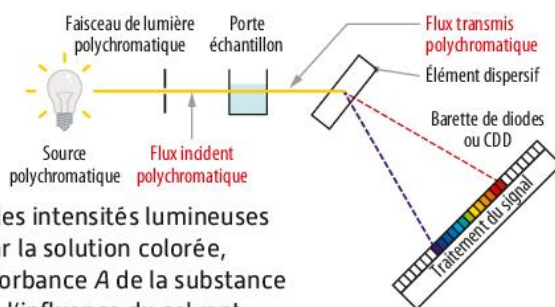
De quels paramètres dépend l'absorbance  $A$  d'une solution colorée ?

### Doc. 1 Principe de la spectrophotométrie

Pour mesurer l'absorbance  $A$  d'une solution, on peut utiliser un spectrophotomètre. Une cuve contenant le solvant est éclairée par une radiation lumineuse de longueur d'onde  $\lambda$ , puis une cuve contenant la solution colorée est éclairée avec la même radiation lumineuse.

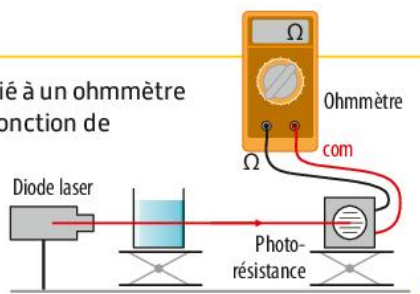


Un dispositif adapté compare les intensités lumineuses transmises par le solvant et par la solution colorée, cela permet d'en déduire l'absorbance  $A$  de la substance colorée, en s'affranchissant de l'influence du solvant.



### Doc. 2 La photorésistance

Une photorésistance est un capteur relié à un ohmmètre dont la résistance électrique varie en fonction de l'éclairement. Plus l'éclairement est faible, plus la valeur de la résistance est élevée. La photorésistance permet ainsi de mettre en évidence l'absorbance d'une solution.



#### Matériel disponible

Diode Laser • Photorésistance • Ohmmètre • Supports éleveurs • Bêchers de taille et d'épaisseur variées • Solutions de sulfate de cuivre de concentrations en quantité de matière : 0,10 ; 0,20 ; 0,40 ; 0,60 ; 0,80 ; 1,0 et 1,2 mol · L<sup>-1</sup>.

#### Démarche expérimentale

→ S'approprier, analyser

→ Réaliser

→ Analyser, réaliser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Communiquer

- 1 Indiquer l'évolution de la valeur de la résistance du capteur si on utilise des solutions de plus en plus concentrées. Justifier le fait que ce dispositif peut mettre en évidence l'absorbance  $A$  d'une solution.
- 2 Réaliser le montage du doc. 2 et mesurer la résistance  $R_0$  du capteur pour une cuve remplie d'eau distillée puis la résistance  $R$  avec une même cuve remplie d'une solution colorée.
- 3 La variation de résistance  $R - R_0$  est due à l'absorption de la radiation par le soluté en solution. Il est admis que la variation de résistance  $R - R_0$  est proportionnelle à l'absorbance. Effectuer les mesures nécessaires pour indiquer si l'absorbance  $A$  varie ou non en fonction de « l'épaisseur » de la solution colorée.
- 4 Établir un protocole expérimental, permettant de montrer un lien entre l'absorbance  $A$  et la concentration en quantité de matière  $C$  d'une solution colorée. Réaliser les mesures nécessaires puis établir un modèle mathématique.
- 5 Préciser les facteurs influençant la valeur de l'absorbance  $A$ .

- 6 Établir une relation entre l'absorbance  $A$  et la concentration en quantité de matière  $C$  (loi de Beer-Lambert).

DIFFÉRENCIATION : Bonus

### 3 Déterminer une concentration par mesure de l'absorbance

Les colorants sont utilisés en confiserie pour donner une jolie couleur aux bonbons. Ceux-ci peuvent être naturels ou synthétiques et leur présence doit figurer sur l'emballage du produit.

Comment déterminer le pourcentage en masse d'un colorant dans un bonbon ?

#### Doc. 1 Quelques colorants alimentaires rouges

Colorant	Rouge ponceau	Rouge allura	Rouge carmin
Code	E124	E129	E120
Longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption (nm)	507	526	516
Masse molaire ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	604	496	492

#### Doc. 2 Préparation d'une solution de bonbon



La dissolution des bonbons est plus facile et rapide à chaud. La solution préparée doit être filtrée pour être totalement transparente.

#### Matériel et produits disponibles

Balance au dg près • Agitateur magnétique chauffant • Fiole jaugée 50,0 mL • Bécher 100 mL • Entonnoir • Papier filtre • Burette graduée • Spectrophotomètre • Bonbons « Dragolo » rouges • Solutions de colorant alimentaire identique à celui du bonbon de concentrations en quantité de matière respectives :  $1,75 \times 10^{-3}$  ;  $1,50 \times 10^{-3}$  ;  $1,00 \times 10^{-3}$  ;  $5,00 \times 10^{-4}$  ;  $1,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

#### Mise en œuvre

→ Réaliser

→ S'approprier, réaliser

→ Réaliser, analyser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Communiquer

- 1 Peser deux bonbons rouges et préparer 50,0 mL de solution par dissolution de ces bonbons.
- 2 À l'aide du doc. 1, préciser la grandeur à déterminer pour identifier la nature du colorant présent dans le bonbon et réaliser les mesures nécessaires. ➔ Fiche 13 p. 364
- 3 Indiquer le protocole à suivre pour préparer la solution étalon de colorant de concentration en quantité de matière  $C = 8,00 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  à partir de la solution « mère » de concentration en quantité de matière  $C_0 = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Réaliser la solution.
- 4 Fixer, sur le spectrophotomètre, la valeur de la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption et mesurer l'absorbance de chaque solution étalon de colorant ainsi que celle de la solution de bonbon.
- 5 Tracer la courbe d'étalonnage  $A = f(C)$ . Préciser si la loi de Beer-Lambert est vérifiée et déterminer la concentration en quantité de matière de la solution de bonbon.
- 6 Calculer le pourcentage en masse de colorant dans un bonbon.
- 7 Résumer la méthode utilisée ici pour déterminer la concentration  $C$  d'une solution inconnue. Préciser aussi ses limites.

DIFFÉRENCIATION : ➔ Bonus

## 4 Réaliser un dosage spectrophotométrique

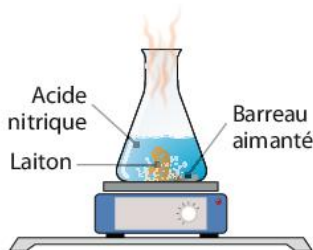
Le laiton est un alliage constitué essentiellement de cuivre et de zinc. Les propriétés physiques et chimiques du laiton sont liées à la proportion de ces métaux appelé titre qui doit donc être connue avec précision.

**Quel est le titre du laiton mis à disposition ?**

### Doc. 1 Transformation du cuivre métal en ions cuivre(II)

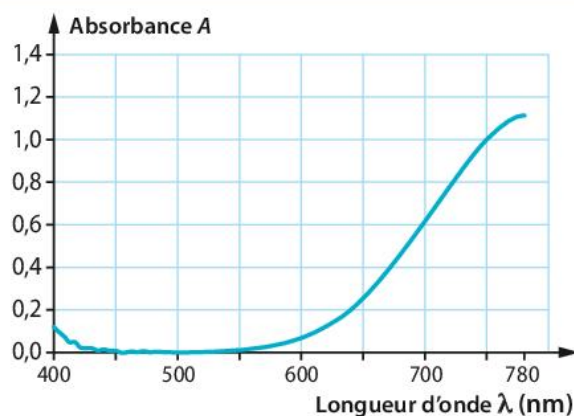
Le cuivre contenu dans le laiton peut être transformé en ions cuivre(II) par une transformation chimique avec l'acide nitrique concentré.

**Protocole :** à réaliser sous la hotte, une seule fois pour la classe entière.



1. Peser avec précision le morceau de laiton.
2. Réaliser le montage ci-contre sous la hotte.
3. Verser 20 mL d'acide nitrique concentré sur le laiton à l'aide d'une burette graduée.
4. Quand tout le laiton a réagi, verser un peu d'eau dans l'erlenmeyer.
5. Verser la solution dans une fiole jaugée de 200 mL et compléter avec de l'eau distillée pour obtenir la solution S. Agiter pour homogénéiser.

### Doc. 2 Spectre d'absorption de la solution de nitrate de cuivre(II)



#### Matériel et produits disponibles

Enlèvement de 250 mL • Agitateur magnétique • Barreau aimanté • Burette graduée • Hotte aspirante • Fioles jaugées de 200 et 50 mL • Spectrophotomètre • Pipette graduée • Morceau de laiton d'environ 1 g

- Acide nitrique concentré (10 mol · L<sup>-1</sup>)
- Solution de nitrate de cuivre(II) de concentration effective en ions cuivre(II) égale à 0,50 mol · L<sup>-1</sup>.

- 1 Proposer un protocole permettant de réaliser les 4 solutions filles de nitrate de cuivre(II) de volume  $V = 50,0$  mL et de concentration effective en ions cuivre(II)  $[Cu^{2+}]$  :  $2,0 \times 10^{-2}$  ;  $4,0 \times 10^{-2}$  ;  $6,0 \times 10^{-2}$  et  $9,0 \times 10^{-2}$  mol · L<sup>-1</sup> à partir de la solution S.

**APPEL n° 1** pour présenter le protocole expérimental ou en cas de difficulté.

- 2 Réaliser la solution fille attribuée par la ou le professeur.

**APPEL n° 2** lors de la réalisation d'une de ces solutions ou en cas de difficulté.

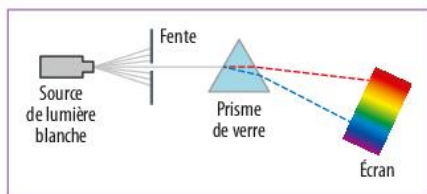
- 3 Mesurer l'absorbance de ces 4 solutions filles ainsi que celle de la solution S à l'aide du spectrophotomètre.

**APPEL n° 3** lors d'une de ces mesures ou en cas de difficulté.

- 4 À l'aide d'un tableur, tracer la courbe d'étalonnage  $A = f(C)$ .

- 5 Déterminer la concentration en quantité de matière en ions cuivre(II) de la solution S et calculer, en justifiant, le titre du laiton (masse de cuivre, en g, dans 100 g de laiton) mis à disposition.

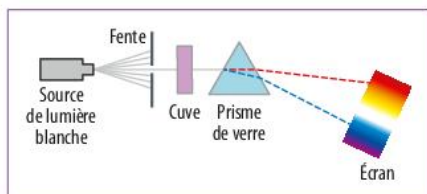
**APPEL n° 4** en cas de difficulté ou pour présenter les résultats.



**Doc. 1.** Décomposition de la lumière par un prisme.

Longueur d'onde (en nm)	Perception
400-440	Violet
440-510	Bleu
510-570	Vert
570-590	Jaune
590-610	Orange
610-750	Rouge

**Doc. 2.** Longueurs d'ondes et couleurs correspondantes.



**Doc. 3.** Montage expérimental permettant d'obtenir le spectre d'une solution colorée.

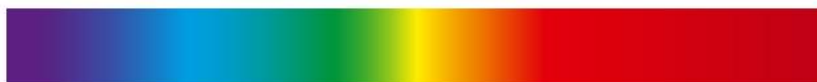


**Doc. 4.** Un spectrophotomètre.

## A Couleur d'une espèce en solution

### 1 Spectre de la lumière blanche

- Le spectre de la lumière blanche est obtenu en décomposant cette lumière à l'aide d'un prisme ou d'un réseau (**doc. 1**).
- C'est un spectre continu qui contient toutes les radiations de la lumière visible de longueurs d'onde  $\lambda$  comprises entre 400 nm et 750 nm.



- À chaque gamme de **longueur d'onde** est associée une **couleur** (**doc. 2**).

→ Acquis seconde

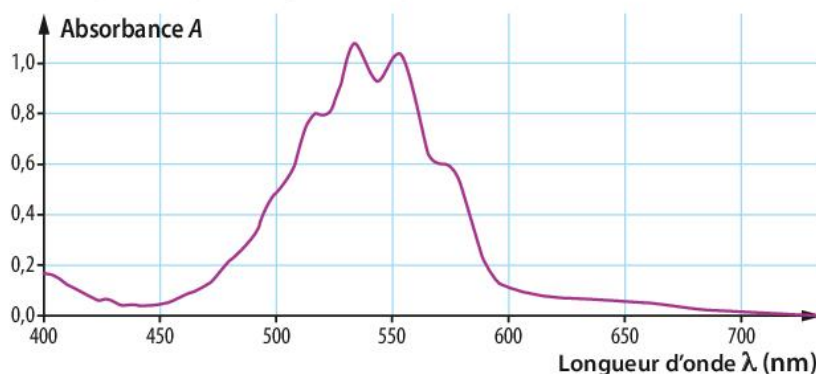
### 2 Spectre d'absorption d'une solution colorée

Quand la lumière blanche traverse une **solution colorée** (**doc. 3**), certaines bandes de **radiations sont absorbées** par la solution et disparaissent du spectre observé sur l'écran.

- Le spectre obtenu est un **spectre de bande d'absorption**. La gamme de longueurs d'onde manquante dépend de la nature de la solution étudiée.

La **capacité** d'une solution colorée à absorber une partie de la lumière qui la traverse est caractérisée par l'**absorbance A**, grandeur sans unité, qui se mesure grâce à un spectrophotomètre (**doc. 4**).

- Le graphique qui représente l'absorbance  $A$  de la solution en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation lumineuse qui traverse la solution est le **spectre d'absorption** de la solution colorée. Ici, le spectre d'absorption du permanganate de potassium est donné :

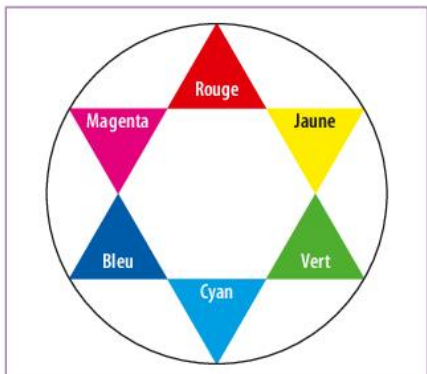


Il correspond au spectre de la lumière transmise ci-dessous :



Les solutions incolores contenant une molécule à double liaison absorbent dans l'ultraviolet. Il est alors possible de réaliser un dosage spectrophotométrique si on dispose d'un spectrophotomètre adapté.

#### Doc. 5. Spectrophotométrie U.V.



Doc. 6. Cercle chromatique et couleurs complémentaires.

#### Éviter les erreurs...

La couleur de la solution est due aux couleurs que celle-ci « laisse passer » et non aux couleurs que la solution absorbe.



Doc. 7. La solution de permanganate de potassium laisse passer les radiations rouges et bleues.

Le principe du spectrophotomètre repose sur la comparaison de l'intensité lumineuse  $I_{0\lambda}$  qui traverse un échantillon de référence (généralement, le solvant seul) et de l'intensité lumineuse  $I_\lambda$  qui traverse un échantillon de la solution colorée (doc. 5).

Plus la solution est colorée, plus la valeur de l'intensité lumineuse  $I_\lambda$  diminue, plus l'absorbance  $A_\lambda$  de la solution augmente.

La partie de la courbe de forte absorbance correspond à la zone de radiations manquantes sur le spectre de la solution colorée.

→ Activité 1

### 3 Couleur d'une solution colorée

Une solution est incolore si elle n'absorbe aucune radiation de lumière visible.

Une solution est colorée si elle absorbe certaines radiations de la lumière visible.

La couleur de la solution est la synthèse des couleurs des radiations transmises et peut être prévue à l'aide du cercle chromatique (doc. 6).

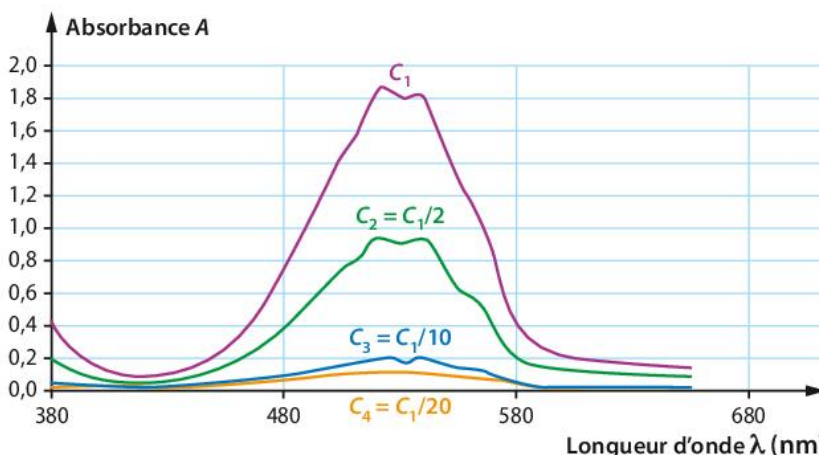
Celle-ci correspond à la couleur complémentaire de la couleur des radiations absorbées, située en vis-à-vis dans le cercle.

→ Activité 1

## B Loi de Beer-Lambert

Pour une même longueur d'onde, l'absorbance  $A$  est proportionnelle à la concentration  $C$ .

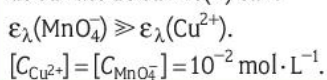
Spectre d'absorption d'une solution de permanganate de potassium à différentes concentrations



## Ne pas confondre...

...spectre d'absorption et spectre de la lumière transmise. Le spectre d'absorption est une courbe qui donne la valeur de l'absorbance de la solution en fonction de la longueur d'onde. Le spectre de la lumière transmise correspond au spectre de la lumière blanche auquel ont été soustraites les couleurs absorbées par la solution colorée.

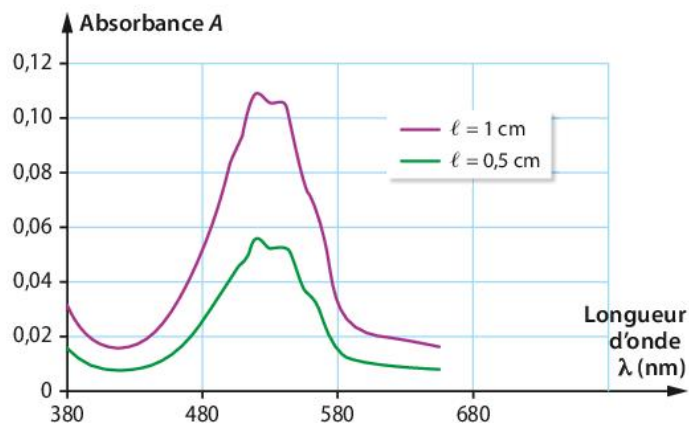
Pour une même épaisseur traversée et une même concentration en quantité de matière, une solution de permanganate de potassium paraît beaucoup plus sombre qu'une solution de sulfate de cuivre(II) car :



Doc. 8. Influence du paramètre  $\epsilon_{\lambda}$ .

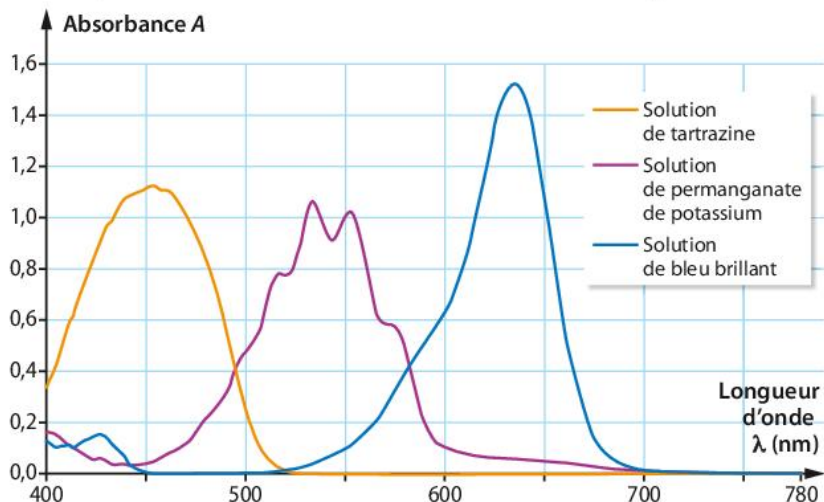
Pour une **même longueur d'onde** et une même concentration, l'**absorbance A** est proportionnelle à **largeur  $\ell$  de la cuve**.

On obtient par exemple :



Pour une **même concentration C** et une **même largeur de cuve  $\ell$** , l'**absorbance** dépend de la nature de l'**espèce chimique** qui absorbe et de la longueur d'onde. On appelle ce **paramètre  $\epsilon_{\lambda}$**  (doc. 8).

Spectre d'absorption de différents solutés pour une même concentration et une cuve de même épaisseur



La loi de Beer-Lambert établit une proportionnalité entre ces différents paramètres :

$$A_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} \times \ell \times C$$

$A_{\lambda}$  : absorbance de la solution à la longueur d'onde  $\lambda$  (sans unité)

$\epsilon_{\lambda}$  : coefficient d'extinction molaire de l'espèce chimique étudiée en litres par mole par centimètre ( $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ )

$\ell$  : largeur de la cuve en centimètres (cm)

$C$  : concentration en quantité de matière de l'espèce chimique colorée étudiée en moles par litre ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

→ Activité 2

**Histoire**

Le spectrophotomètre a été inventé en 1940 par Arnold J. Beckman. Cet appareil a simplifié et modernisé les analyses chimiques en permettant aux chercheurs d'effectuer en quelques minutes l'analyse précise à 99,9% d'une substance.

**C Dosage spectrophotométrique**

► Si une solution est colorée, il est possible de déterminer la concentration en quantité de matière de l'espèce chimique donnant la couleur à la solution en réalisant un dosage par étalonnage. **Celui-ci repose sur la proportionnalité entre l'absorbance  $A$  de la solution et la concentration en quantité de matière  $C$  de l'espèce chimique.**

► Pour un dosage par étalonnage, le seul paramètre qui varie est la concentration  $C$  de l'espèce chimique étudiée (même  $\epsilon_\lambda$  et même  $\ell$ ). La relation de Beer-Lambert peut être simplifiée :

$$A_\lambda = k_\lambda \times C$$

$C$  : concentration en quantité de matière en moles par litre ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$k_\lambda$  : constante de proportionnalité en litres par mole ( $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

$k_\lambda$  dépend de la longueur d'onde, de la nature de l'espèce chimique étudiée et de l'épaisseur de la cuve.

► La relation de proportionnalité entre l'absorbance  $A_\lambda$  et la concentration en quantité de matière  $C$  n'est vérifiée que pour des solutions peu concentrées et des absorbances qui restent inférieures à 1,5.

**Étapes du dosage par étalonnage :**

**Étape 1** Choisir la longueur d'onde maximale.

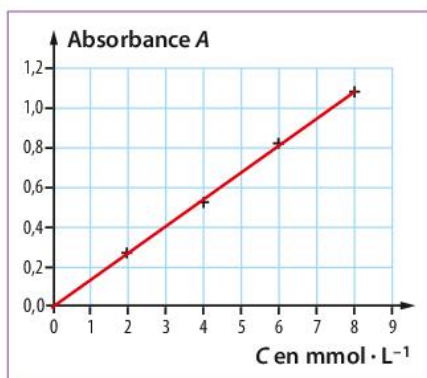
**Étape 2** Faire le blanc (mesurer l'absorbance de la cuve et du solvant pour définir l'origine de l'absorbance).

**Étape 3** Mesurer l'absorbance de différentes solutions de concentrations connues en soluté.

**Étape 4** Tracer la courbe d'étalonnage (**doc. 9**).

**Étape 5** Mesurer l'absorbance de la solution dont il faut déterminer la concentration.

**Étape 6** Lire la concentration correspondante sur la courbe.

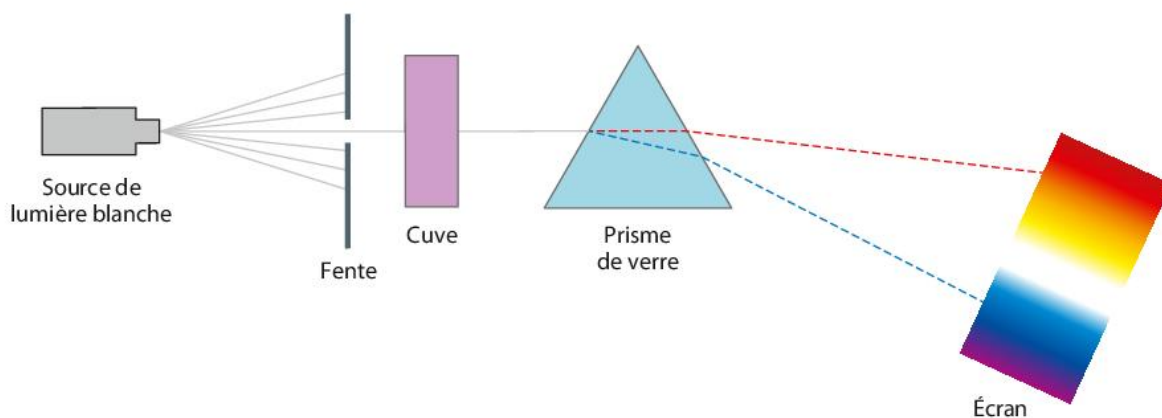


**Doc. 9.** Exemple de courbe d'étalonnage. La concentration de la solution inconnue doit être inférieure à celle de la solution étalon la plus concentrée.

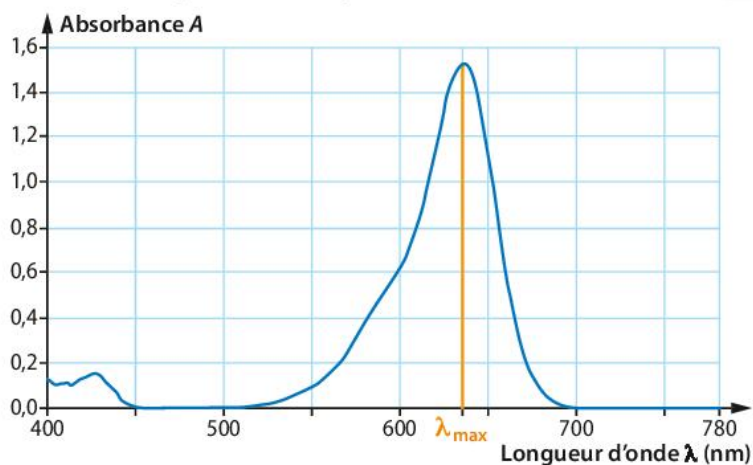
Remarque : si une solution est trop concentrée en espèce chimique colorante, donc trop foncée, la loi de Beer-Lambert n'est plus valable. Il faudra d'abord diluer les solutions avant d'en mesurer l'absorbance.

→ **Activités 3 et 4**

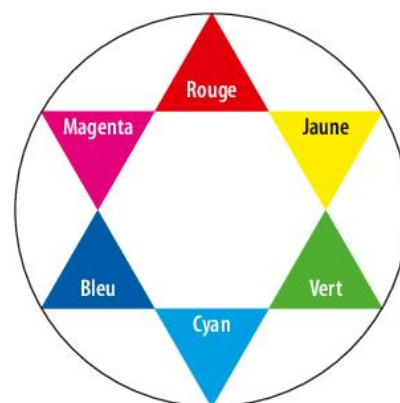
## Spectre de la lumière transmise par une solution colorée



Spectre d'absorption de cette solution



Couleur de cette solution



## Loi de Beer-Lambert

$$A_{\lambda} = k_{\lambda} \times C$$

$A_{\lambda}$  : absorbance de la solution (sans unité)

$k_{\lambda}$  : constante dépendant de la longueur d'onde, de la nature du soluté dissous et de l'épaisseur de la cuve ( $L \cdot \text{mol}^{-1}$ )

C : concentration en quantité de matière de l'espèce colorée ( $\text{mol} \cdot L^{-1}$ )

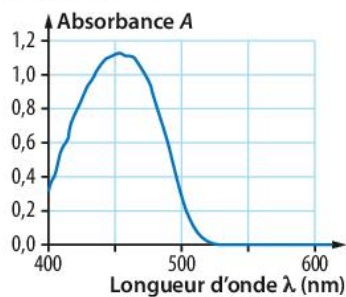


## Résoudre un exercice

### Énoncé

La tartrazine ou colorant E102 est un additif utilisé pour donner une couleur jaune à certains aliments.

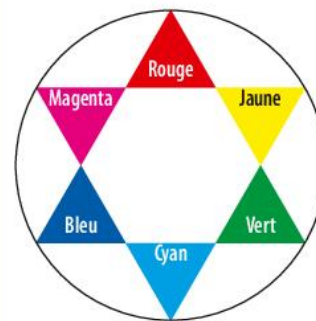
**Doc. 1** Spectre d'absorption de la tartrazine



**Doc. 2** Longueur d'onde et couleur

Longueur d'onde (nm)	Perception
400-440	Violet
440-510	Bleu
510-570	Vert
570-590	Jaune
590-610	Orange
610-750	Rouge

**Doc. 3** Cercle polychromatique



1. Indiquer la valeur du maximum d'absorption de la tartrazine (**doc. 1**).
2. À l'aide du **doc. 2**, donner la couleur correspondant à cette radiation.
3. Justifier la couleur jaune des solutions de tartrazine (**doc. 3**).

### Conseils

- Repérer le pic d'absorption et noter sa longueur d'onde.
- Trouver l'intervalle de longueur d'onde correspondant et en déduire la couleur absorbée.
- La couleur d'une solution se situe en vis-à-vis de la couleur émise.

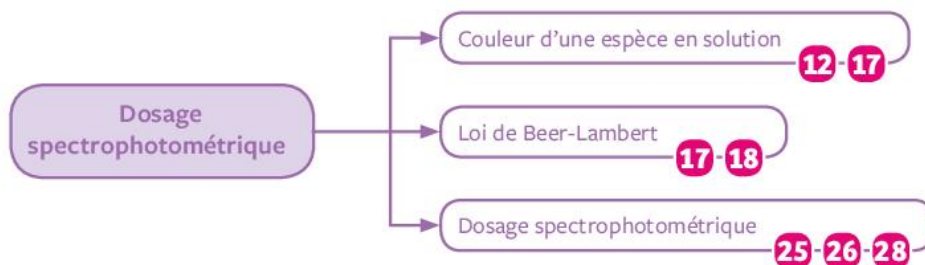
### Résolution

1. Sur le **doc. 1**, le maximum d'absorption se situe à 450 nm.
2. D'après le **doc. 2**, cette radiation correspond à la couleur bleu.
3. La couleur en vis-à-vis du bleu sur le cercle est le jaune. Le E102 est donc de couleur jaune.

→ Exercice 18 p. 41

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide


## QUIZ

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.



**1** Soit une solution colorée.

- A: Elle absorbe une partie des radiations de la lumière blanche.
- B: Elle absorbe toutes les radiations de la lumière blanche.
- C: Sa couleur correspond à la couleur absorbée.
- D: Sa couleur correspond à la couleur complémentaire de la couleur absorbée.

**2** Si le spectre de la lumière transmise par une solution colorée éclairée par une source de lumière blanche à l'aspect suivant : , la couleur de la solution est :

- A: verte.      B: rouge.      C: bleue.      D: jaune.

**3** Quand on utilise un spectrophotomètre, il faut :

- A: effectuer au préalable le « zéro » avec le solvant utilisé pour préparer les solutions.
- B: travailler avec des solutions peu concentrées en espèces colorées.
- C: utiliser des cuves de dimensions identiques pour établir une courbe d'étalonnage.
- D: choisir comme longueur d'onde de travail celle correspondant à la radiation la moins absorbée.

**4** Dans le domaine visible, on mesure l'absorbance d'une solution :

- A: colorée.      B: incolore.      C: opaque.      D: quelconque.

**5** L'absorbance d'une solution colorée dépend de :

- A: la hauteur de la cuve.      B: la largeur de la cuve.
- C: sa concentration.      D: la longueur d'onde.

**6** Quand la concentration d'une solution diluée diminue de moitié, son absorbance :

- A: est divisée par 2.      B: est multipliée par 2.
- C: est multipliée par 4.      D: reste constante.

**7** Lors d'un dosage par étalonnage spectrophotométrique, on mesure :

- A: la conductance de la solution.
- B: le pH de la solution.
- C: la masse volumique de la solution.
- D: l'absorbance de la solution.

**8** Lors d'un dosage spectrophotométrique, on trace la courbe d'étalonnage :

- A:  $A = f(\lambda)$ .      B:  $\lambda = f(A)$ .      C:  $A = f(C)$ .      D:  $C = f(A)$ .

**9** Pour tracer la droite d'étalonnage d'un dosage par spectrophotométrie, il faut mesurer l'absorbance de solutions colorées contenant :

- A: des espèces chimiques différentes.
- B: la même espèce à des longueurs d'onde différentes.
- C: la même espèce à des concentrations différentes.
- D: la même espèce dissoute dans des solvants différents.

## FOCUS MATHS

### La transmittance

La transmittance d'une solution à la longueur d'onde  $\lambda$  est définie par la relation  $T_\lambda = \frac{I_\lambda}{I_{0\lambda}}$  avec  $0 \leq T_\lambda \leq 1$ .

$I_{0\lambda}$ : intensité lumineuse qui traverse un échantillon de référence (généralement, le solvant seul).  $I_\lambda$ : intensité lumineuse qui traverse un échantillon de la solution colorée.



Quand toute la lumière est transmise,  $I_\lambda = I_{0\lambda}$  donc  $T_\lambda = 1 = 100\%$ , l'absorbance est nulle  $A_\lambda = 0$ . L'absorbance et la transmittance sont liées par la relation :  $T_\lambda = 10^{-A}$ . Pour  $A_\lambda = 1$ ,  $T_\lambda = 10^{-1} = 10\%$ .

### Application à la chimie

**10** Exercice résolu

À la longueur d'onde  $\lambda = 530 \text{ nm}$ , une solution d'azoburine a une absorbance  $A_\lambda = 0,3$ .

► Donner le pourcentage de lumière incidente qui traverse cette solution.

**Solution commentée**

C'est la valeur de la transmittance qui permet d'avoir accès à ce pourcentage.  $T_\lambda = 10^{-A} = 10^{-0,3} = 0,50 = 50\%$ . Quand  $T = 0,3$  cela signifie que seul 50%, soit la moitié de la lumière incidente, traverse la solution à cette longueur d'onde.

**11** Exercice d'application

L'absorbance d'une solution de bleu brillant est mesurée à la longueur d'onde  $\lambda = 640 \text{ nm}$ . La valeur maximale de l'absorbance mesurée par un spectrophotomètre est égale à 2, mais généralement, il faut se limiter à  $A_\lambda \leq 1,5$ .

► Calculer le pourcentage de lumière incidente traversant la solution si  $A_\lambda \leq 1,5$ .

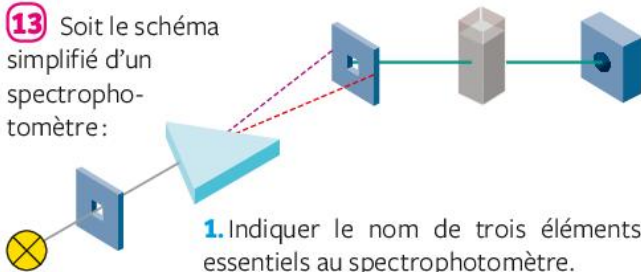
**Données pour tous les exercices**

- Tableau de correspondance des longueurs d'onde et des couleurs p. 34.
- Cercle chromatique p. 35.

**Entraînement****Couleur d'une espèce en solution**

**12** Aide p. 42. Préciser l'allure du spectre de la lumière blanche et indiquer les modifications de ce spectre si, sur le trajet de la lumière blanche, est placée une cuve remplie d'eau, de sulfate de cuivre ou d'un colorant alimentaire jaune.

**13** Soit le schéma simplifié d'un spectrophotomètre :



1. Indiquer le nom de trois éléments essentiels au spectrophotomètre.

2. Donner la signification de l'expression «réaliser un blanc».

**14** L'absorbance d'une solution S de permanganate de potassium de concentration en quantité de matière  $C = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  placée dans une cuve de largeur  $\ell = 1,0 \text{ cm}$  est égale à 1,8 à la longueur d'onde  $\lambda = 520 \text{ nm}$ .

1. Donner si possible, la valeur de l'absorbance de la solution S mesurée à la longueur d'onde  $\lambda = 520 \text{ nm}$  dans une cuve de largeur  $\ell' = 0,50 \text{ cm}$ .

2. Donner si possible, la valeur de l'absorbance de la solution S diluée 2 fois dans une cuve de largeur  $\ell = 1 \text{ cm}$  à la longueur d'onde  $\lambda = 520 \text{ nm}$ .

**Loi de Beer-Lambert**

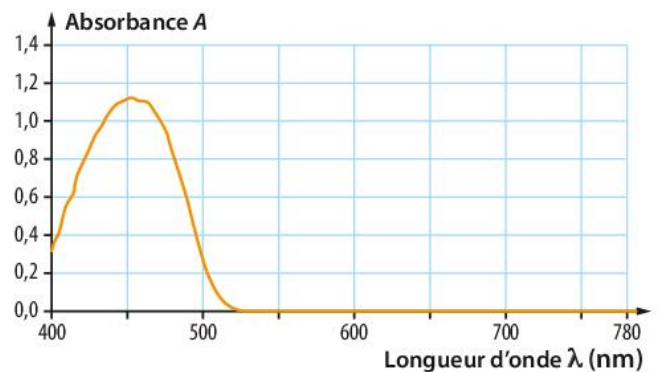
**15** Des mesures sont faites sur 3 solutions colorées contenant le même soluté et à la longueur d'onde  $\lambda$ .

**Donnée.** Le coefficient de proportionnalité  $k$  peut être défini à partir de l'expression :  $k = \epsilon \times \ell$  où  $\epsilon$  est appelé coefficient d'extinction molaire et vaut ici  $\epsilon_{\lambda} = 17978 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

Solution	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Absorbance	0,52	0,32	
Largeur $\ell$ de la cuve (cm)	1,0		0,50
Concentration molaire ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )		$1,78 \times 10^{-5}$	$1,45 \times 10^{-4}$

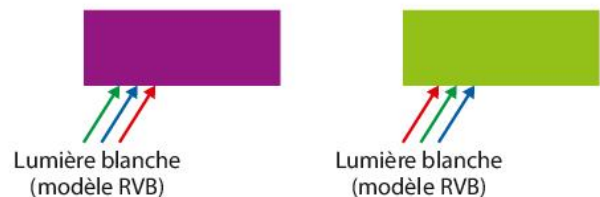
▶ Après avoir donné l'expression de la loi sur laquelle les réponses sont fondées, recopier et compléter le tableau précédent.

**16** Soit le spectre d'absorption de la tartrazine.

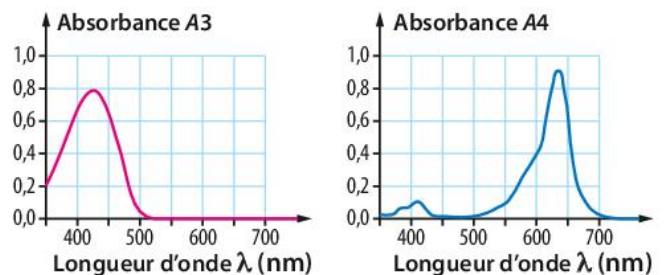
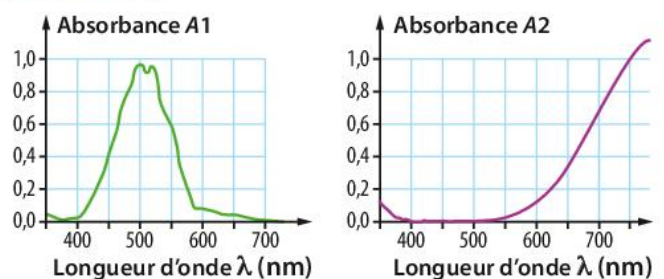


▶ Donner l'allure du spectre d'une solution de tartrazine diluée 4 fois ; puis celle d'une solution réalisée dans une cuve de largeur double.

**17** Aide p. 42. Tracer les rayons de lumière transmis par les solutions.



**18** Aide p. 42. À partir de ces quatre spectres d'absorption :



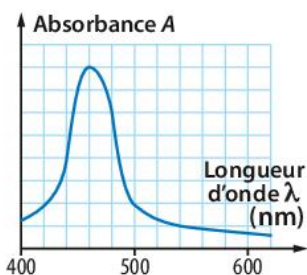
1. Indiquer la ou les radiations absorbées pour chacune des solutions.

2. En déduire les couleurs des solutions et la ou les radiations transmises par chaque solution.

## En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**19** L'hélianthine est une espèce chimique qui est rouge pour un pH inférieur à 4,4 et jaune pour un pH supérieur à 6,2. Son spectre d'absorption est tracé à un pH fixé.



1. Indiquer la longueur d'onde du maximum d'absorption. En déduire la couleur de la solution S analysée.
2. Préciser dans quel domaine de pH la solution a été préparée.
3. Tracer l'allure du spectre d'absorption si la solution avait été préparée à pH = 2.

### Critères d'évaluation

Toutes les réponses sont rédigées dans un français correct.

- 1 La lecture graphique est précise et la couleur est juste.
- 2 Le domaine de pH est correct.
- 3 L'allure générale de la courbe est correcte.

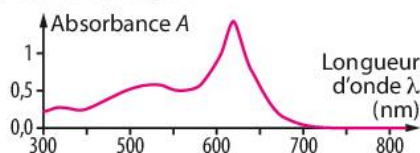
**20** Le doc. 1 présente quelques espèces présentes dans la composition d'un bain de bouche coloré.

#### Doc. 1 Composition (extrait)

Aqua, Alcohol, Sorbitol, Aroma, Poloxamer 407, Benzoic Acid, Zinc Chloride



#### Doc. 2 Spectre d'absorption



1. Établir le protocole permettant de vérifier par spectrophotométrie la présence de colorants.
2. Les deux premières espèces chimiques de la composition correspondent aux solvants. Justifier la nécessité de « faire le blanc » et expliquer comment.
3. Justifier la couleur de la solution à l'aide du doc. 2.

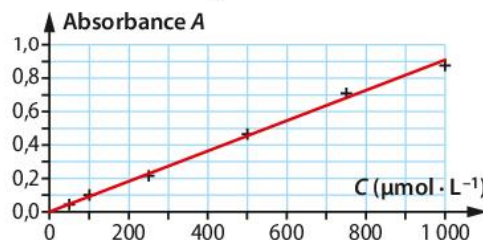
### Critères d'évaluation

Toutes les réponses sont rédigées dans un français correct.

- 1 Le protocole est cohérent et complet.
- 2 La définition et la réalisation sont correctes.
- 3 L'explication est précise et correcte.

## Dosage par étalonnage

**21** Pour déterminer la concentration d'une solution colorée de chlorure de nickel, Paul mesure l'absorbance de solutions étalon de concentration connue (pour une longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption) et trace la courbe d'étalonnage suivante :



Après avoir dilué 100 fois la solution inconnue, il mesure dans les mêmes conditions expérimentales une absorbance  $A = 0,52$

► Aider Paul à déterminer la concentration en quantité de matière de la solution.

## 22 Calcul d'incertitude

À l'aide d'un dosage par étalonnage, différents groupes d'élèves ont trouvé pour une même solution colorée de diiode les résultats consignés dans le tableau.

Groupe	Concentration en quantité de matière ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )
1	$5,1 \times 10^{-3}$
2	$5,5 \times 10^{-3}$
3	$5,0 \times 10^{-3}$
4	$4,9 \times 10^{-3}$
5	$5,2 \times 10^{-3}$
6	$5,5 \times 10^{-3}$
7	$4,8 \times 10^{-3}$
8	$5,1 \times 10^{-3}$

1. Déterminer la valeur moyenne et donc la valeur la plus probable de la concentration en quantité de matière.

2. Calculer l'incertitude sur la concentration en quantité de matière, sachant que  $u(x) = \frac{S_{n-1}}{(n)^{\frac{1}{2}}}$ , avec  $n$  le nombre

de mesures et  $S_{n-1}$ , l'écart-type. En déduire l'écriture correcte pour la concentration en quantité de matière.

### Différenciation

#### Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 12

Le spectre de la lumière blanche est modifié si la solution absorbe une radiation lumineuse.

#### Aide pour l'exercice 17

La couleur d'une solution correspond à la couleur complémentaire de la radiation absorbée.

#### Aide pour les exercices 18

La couleur absente dans le spectre de la lumière transmise correspond au pic d'absorption du spectre d'absorption de la solution.

La couleur d'une solution correspond au mélange des lumières colorées qui traversent la solution.



## Synthèse

### 23 La loi de Beer-Lambert

→ Analyser, réaliser

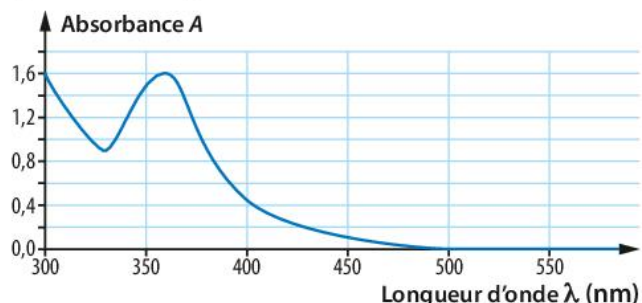
La longueur d'onde du maximum d'absorption d'une solution aqueuse de sulfate de cuivre de concentration en quantité de matière  $C = 0,020 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  a pour valeur  $805 \text{ nm}$ . L'absorbance de cette solution de concentration en quantité de matière  $C$  est  $A = 0,140$ .

1. Définir la loi de Beer-Lambert. En déduire la valeur du coefficient  $k$  et indiquer son unité.
2. Déterminer la valeur de l'absorbance d'une solution de sulfate de cuivre 5 fois plus concentrée.
3. Pour la mesure de l'absorbance de cette solution concentrée, indiquer à quelle longueur d'onde il faut se placer.

### 24 Le dosage spectrophotométrique

→ Analyser, communiquer

Le spectre d'absorption  $A = f(\lambda)$  d'une solution de diiode  $\text{I}_2$  est donné ci-après.



1. Le solution de diiode est de couleur jaune orangé. Justifier cette couleur à l'aide du spectre d'absorption.
2. Déterminer les étapes à suivre pour réaliser un dosage par étalonnage de cette solution de diiode.
3. Justifier la nécessité de réaliser le zéro d'absorbance sur le spectrophotomètre avant de réaliser les mesures.
4. Indiquer l'allure de la courbe d'étalonnage.
5. Préciser la loi mise en évidence en ajoutant une condition sur les concentrations des solutions.

### 25 Aide p. 44 L'azorubine

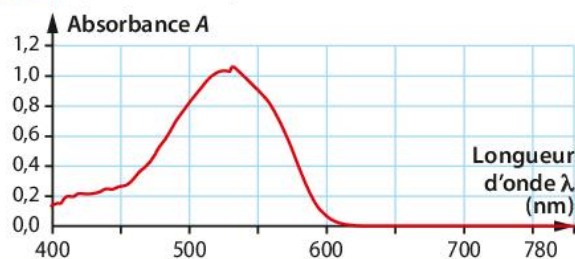
→ Analyser, réaliser



L'azorubine (E122) est un colorant alimentaire notamment présent dans les sirops.

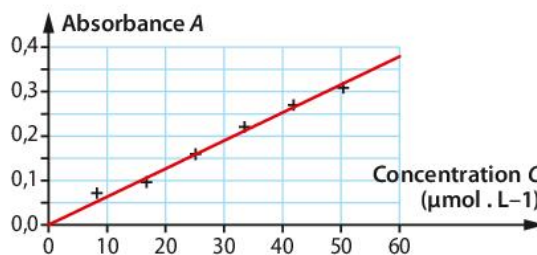
Une surconsommation pouvant provoquer une hyperactivité chez les enfants, la dose journalière admissible (DJA) est fixée à  $4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ .

### Doc. 1 Spectre d'absorption d'une solution d'azorubine



Donnée.  $M(\text{azorubine}) = 502 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

1. Justifier la couleur d'une solution d'azorubine.
2. Pour évaluer la concentration en quantité de matière d'azorubine d'un sirop de grenadine, un dosage spectrophotométrique est réalisé.
  - a. Indiquer à quelle longueur d'onde le spectrophotomètre doit être réglé.
  - b. Rappeler les différentes étapes d'un tel dosage.
  - c. La courbe d'étalonnage alors réalisée est la suivante :



L'absorbance du sirop étant trop élevée, il est nécessaire de le diluer 5 fois. L'absorbance de cette solution est alors égale à  $A_{\text{dilué}} = 0,15$ .

Déterminer la concentration en quantité de matière  $C_{\text{dilué}}$  en azorubine de la solution diluée puis la concentration en quantité de matière  $C_{\text{sirop}}$  du sirop non dilué.

3. Calculer combien de verres de  $200 \text{ mL}$  de ce sirop dilué 7 fois un enfant de masse  $m = 30 \text{ kg}$  peut boire par jour sans dépasser la DJA ?
4. Le même dosage est maintenant réalisé par 8 groupes d'étudiants, et ils trouvent les résultats suivants pour la valeur de l'absorbance de la solution diluée :

Groupe	1	2	3	4	5	6	7	8
$A_{\text{dilué}}$	0,12	0,17	0,15	0,20	0,14	0,13	0,18	0,17

a. Calculer la valeur moyenne de l'absorbance puis déterminer l'incertitude de mesure correspondante sachant que

$$u(A) = \frac{S_{n-1}}{\sqrt{n}}, \text{ avec } n, \text{ le nombre de mesures.}$$

- b. Exprimer correctement le résultat de l'absorbance de la solution diluée à partir des mesures de tous les étudiants.
- c. Préciser si la valeur annoncée à la question 2.c. est conforme aux mesures des étudiants.

## 26 Aide p. 44 La teinture d'iode

→ Communiquer, analyser, réaliser

La teinture d'iode est un antiseptique et un antifongique utilisée en médecine, sous la forme diluée. La concentration en diiode dans une teinture d'iode officinale peut être déterminée par spectrophotométrie.

La teinture d'iode (très concentrée) est d'abord diluée 200 fois.

La solution aqueuse obtenue à l'issue de cette dilution est appelée solution S. Par ailleurs, des solutions aqueuses de diiode notées  $D_i$  ( $D_1, D_2, \dots$ ) de concentrations connues et différentes sont disponibles. Ces solutions ont des colorations proches de celle de S.



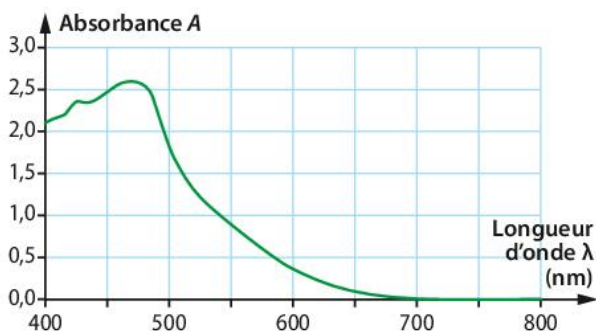
**Donnée.** Masse molaire atomique de l'iode :  $127 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**1.** Un encadrement de la concentration en diiode de la solution S peut être trouvé expérimentalement, sans utiliser un spectrophotomètre.

**a.** Expliquer brièvement la méthode.

**b.** Justifier lors de la mise en œuvre de cette méthode le choix d'une verrerie identique pour toutes les solutions.

**2.** À l'aide d'un spectrophotomètre, l'absorbance  $A_i$  de chaque solution  $D_i$  de diiode est mesurée, tout comme celle de la solution S après avoir tracé le spectre d'absorption donné ci-après.



On obtient les résultats suivants :

$C$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	50	100	250	500	750	1 000
$A$	0,041	0,10	0,22	0,46	0,70	0,87

Pour la solution S :  $A = 0,78$ .

**a.** Donner la valeur d'une longueur d'onde qui paraît bien appropriée pour ces mesures. Justifier.

**b.** À partir des mesures réalisées, déterminer la concentration en quantité de matière  $C_{\text{exp}}$  en diiode de la teinture d'iode officinale.

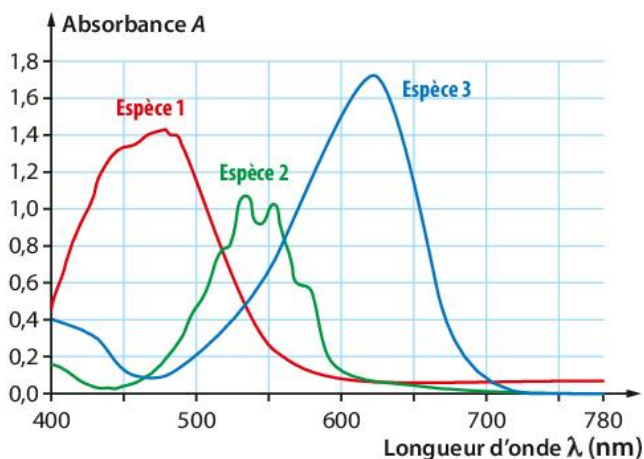
**3.** Le flacon de 125 mL de teinture d'iode officinale est étiqueté à 5,0% en masse de diiode. Sa masse volumique est  $\rho = 9,0 \times 10^2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Effectuer les calculs nécessaires pour vérifier la validité des mesures.

## 27 Spectre et couleur

→ Analyser

Attribuer un spectre de la lumière transmise et une couleur à chaque solution de l'espèce chimique dont le spectre d'absorption est représenté ci-après.



Spectre a



Spectre b



Spectre c



Couleur des solutions :



Solution A



Solution B



Solution C

### Différenciation

Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 25

**1.** La couleur de la solution correspond aux radiations non absorbées par la solution.

**2.** Il faut disposer de solution de concentrations différentes.

**3.** La DJA est la masse maximale qu'un individu peut consommer en une journée par unité de masse corporelle exprimée en kg.

#### Aide pour l'exercice 26

À partir de la masse volumique de la solution, il est possible de déterminer la masse de solution puis la masse de diiode grâce au pourcentage en masse.

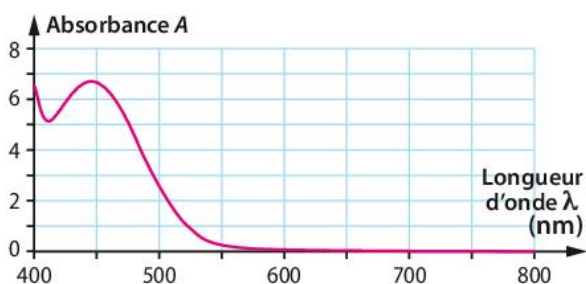
Pour vérifier la validité des mesures, on calcule en général l'écart relatif.



## Problèmes

### 28 Solution de dichromate de potassium

Soit le spectre d'absorption d'une solution orangée de dichromate de potassium de concentration :  $C_0 = 6,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .



L'absorbance  $A$  est mesurée pour différentes concentrations en ions dichromate  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  à la longueur d'onde  $\lambda = 450 \text{ nm}$  (vide ou air).

$C \text{ (mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}$	$2,0 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-4}$	$8,0 \times 10^{-4}$
$A$	0,22	0,46	0,89
$C \text{ (mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-3}$
$A$	1,33	1,82	1,9

- Justifier le choix de la longueur d'onde à  $\lambda = 450 \text{ nm}$  pour réaliser les mesures.
- Tracer la courbe  $A = f(C)$ .
- Indiquer si la loi de Beer-Lambert est vérifiée quelle que soit la concentration.
- Une solution de dichromate de potassium orangée de concentration  $C_1$  inconnue est disponible.
- Après l'avoir diluée 10 fois, son absorbance est mesurée, elle est égale à  $A_2 = 1,2$ . Calculer la concentration  $C_2$  de la solution diluée puis la concentration  $C_1$  de la solution initiale sachant que l'incertitude  $u(C) = 0,2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , indiquer si la mesure est en accord avec la valeur théorique  $C = 1,2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

#### Différenciation

Apprendre à résoudre 28

L'intensité de la couleur de la solution dépend ici de la concentration en ions permanganate. Plus la concentration est élevée, plus la couleur est foncée.

### 29 DEFI Dosage du fer dans le vin

Le vin blanc contient naturellement des ions fer(II) ou fer(III), provenant principalement des parties métalliques du matériel utilisé lors de la vinification.

La concentration en masse de ces ions fer ne doit cependant pas dépasser  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  sinon un trouble est

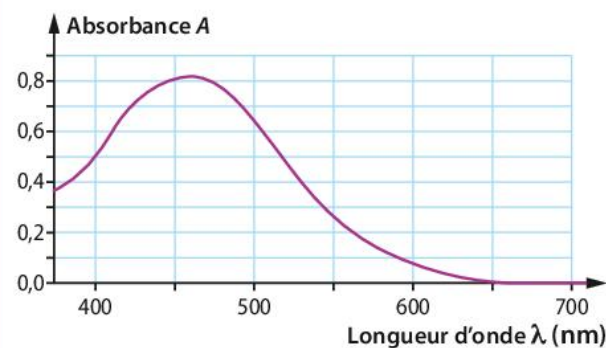
susceptible d'apparaître appelé casse ferrique ou casse blanche. Le vin est alors moins limpide et son goût peut être modifié. ➔ Classification périodique en couverture

#### Doc. 1 Transformation des ions fer(II)

Sous l'action de l'eau oxygénée, tous les ions fer(II) se transforment en ions fer(III) alors que les ions fer(III) ne réagissent pas.

#### Doc. 2 Le spectre d'absorption du complexe $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$

Les ions fer(III) ne sont pas assez colorés en solution aqueuse pour être dosés directement par spectrophotométrie. Il faut les faire réagir avec les ions thiocyanate pour obtenir un complexe coloré.



#### Doc. 3 Solutions étalon

Des solutions étalon de volume  $V = 50 \text{ mL}$  sont préparées à partir d'une solution mère de concentration :

$C_0 = 9,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  en ion fer(III) dans lesquelles une quantité suffisante d'eau oxygénée et d'ions thiocyanate  $\text{SCN}^-$  est ajoutée.

Les mesures d'absorbance sont réalisées à  $\lambda = 450 \text{ nm}$  :

$C \text{ (mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$7,2 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-4}$
$A$	0,110	0,294	0,814
$C \text{ (mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}$	$2,2 \times 10^{-4}$	$2,5 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-4}$
$A$	1,23	1,44	1,85

#### Doc. 4 Préparation de solution à partir du vin

Une solution  $S_1$  est préparée en mélangeant 50 mL de vin et une quantité d'eau oxygénée et d'ions thiocyanate identique à celle utilisée pour les solutions étalon.

Une solution  $S_2$  est préparée en mélangeant 50 mL de vin et la même quantité d'ions thiocyanate, que celle utilisée pour les solutions étalon.

Les mesures d'absorbance sont réalisées dans les mêmes conditions que pour les solutions étalon.

Solution	$S_1$	$S_2$
$A$	1,74	0,51

- Déterminer la concentration en ions fer(II) et fer(III) de ce vin et évaluer le risque de casse ferrique.

## 30 Un antiseptique

Une solution antiseptique est utilisée pour nettoyer les plaies et les muqueuses. Il s'agit d'une solution d'hypochlorite de sodium dans laquelle on a dissous du permanganate de potassium de manière à obtenir une concentration en masse  $C_m$  de permanganate de potassium égale à  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Cette solution est de couleur rose par la présence des ions permanganate.

► Établir un protocole détaillé afin de vérifier la concentration en masse attendue, en précisant la nature des solutions utilisées ainsi que leurs concentrations en quantité de matière.



En anglais

## 31 From cuisine to chemistry



Red cabbage is a vegetable which is full of vitamins and fibers. It can be eaten either raw or cooked. Preparing red cabbage can be surprising as both the cabbage and the cooking water turn blue. By adding lemon juice or vinegar, you can bring them back to purple, the original color of the cabbage. After having drained the cabbage, the cook might get another shock : pouring detergent into the cooking water to wash up the pan would turn the water greenish. Some other plants such as artichokes, hydrangeas or beetroots also change color as a result of modifications in the environment's acidity.



### Vocabulaire :

- **Cabbage** : chou
- **Fibre** : fibre
- **To drain** : Égoutter
- **Hydrangea** : hortensia
- **Artichokes** : artichauts
- **Beetroots** : betteraves

1. Why can we state that red cabbage juice is a colored indicator?

2. What makes red cabbage juice turn back to purple? Why?

3. Would the absorption spectrum of red cabbage be identical if vinegar and detergent are added?

4. Is red cabbage a unique case? Explain your answer.

## Objectif BAC

### 32 Masse de vanille dans un extrait

L'arôme de la vanille provient de la vanilline découverte en 1874. On souhaite déterminer sa masse dans un extrait liquide de vanille du commerce.



**Donnée.**  $M(\text{vanilline}) = 152 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

#### Doc. 1 Principe du dosage

La vanilline contenue dans un échantillon du commerce (solution aqueuse sucrée) est extraite par du dichlorométhane.

Un traitement basique à l'aide d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$ ) permet ensuite de faire repasser la totalité de la vanilline en solution aqueuse sous forme d'ions.

Un dosage par étalonnage de cet ion est réalisé par spectrophotométrie.

#### Doc. 2 Protocole du dosage

##### 1. Extraction de la vanilline et passage en solution basique :

- À 1,0 mL d'échantillon de vanille liquide, 10 mL d'eau distillée sont ajoutés.
- La vanilline est extraite de l'échantillon par du dichlorométhane puis une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium est ajoutée.
- La phase aqueuse est récupérée.

##### 2. Préparation de la solution à doser et mesure de l'absorbance :

- La phase aqueuse précédente est introduite dans une fiole jaugée de 250 mL complétée jusqu'au trait de jauge avec la même solution d'hydroxyde de sodium.
- La mesure de l'absorbance de la solution finale pour la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption donne  $A = 0,90$ .

##### 3. Préparation d'une gamme étalon et mesure de l'absorbance :

À partir d'une solution mère de vanilline, des solutions filles sont préparées par dilution dans une solution d'hydroxyde de sodium et leur absorbance est mesurée.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

$S_{\text{fille}}$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
$C (\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	50	40	30	20	10
$A$	1,3	1,0	0,8	0,54	0,27

► Déterminer la masse de vanilline dans l'échantillon de 250,0 mL de vanille liquide du commerce.





# Oxydoréduction et bilan de matière

*Comment modéliser une transformation  
par une réaction d'oxydoréduction ?*

## Objectifs

Modéliser par une réaction  
d'oxydoréduction

➡ Activité 1 p. 48

Établir un tableau d'avancement

➡ Activité 2 p. 49

Décrire un système chimique  
à l'état final

➡ Activité 3 p. 50

Créer un programme pour établir  
un bilan de matière

➡ Activité 4 p. 51

— L'apparition de rouille témoigne de  
la présence d'une transformation  
d'oxydoréduction.

### 1 Modéliser par une réaction d'oxydoréduction

À partir du XVII<sup>e</sup> siècle, les chimistes se sont intéressés au phénomène de « végétation métallique », ces arborescences de métal spectaculaires observables dans la nature, comme l'arbre de Diane ou de Saturne.

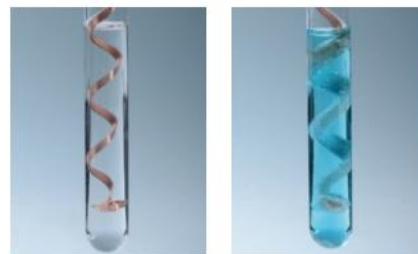
Comment expliquer ce phénomène de « végétation métallique » ?

#### Protocole de l'expérience 1

- Observer les pictogrammes de sécurité, chercher leur signification et adopter les précautions nécessaires.
- Dans un bécher de 50 mL, introduire environ 2 g de poudre de fer Fe(s), ajouter 10 mL de solution de sulfate de cuivre(II) ( $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ).
- Mélanger à l'aide d'un agitateur en verre puis laisser reposer.
- Filtrer la solution.
- À l'aide d'une pipette, introduire dans un tube à essai une partie du filtrat et y ajouter quelques gouttes de solution d'hydroxyde de sodium.

#### Doc. 1 Expérience 2 et résultat

De la tournure de cuivre est plongée dans un tube à essai contenant une solution incolore de nitrate d'argent ( $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$ ).



État initial

État final

#### Matériel et produits disponibles

Poudre de fer • Tournure de cuivre • Tubes à essai et support • Compte-gouttes • Dispositif de filtration • Bécher • Erlenmeyer • Éprouvette graduée de 10,0 mL • Agitateur en verre • Sulfate de cuivre(II) à  $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  • Flacon compte-gouttes d'hydroxyde de sodium à  $1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  • Nitrate d'argent à  $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

#### Doc. 2 Couples oxydant/réducteur et données

- $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) / \text{Cu}(\text{s})$  ; les ions  $\text{Cu}^{2+}$  sont responsables de la couleur bleue de la solution de sulfate de cuivre(II).
- $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) / \text{Fe}(\text{s})$  ; les ions  $\text{Fe}^{2+}$  réagissent avec les ions hydroxyde pour donner un précipité vert  $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ .
- $\text{Ag}^+(\text{aq}) / \text{Ag}(\text{s})$  ; les ions sulfate  $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$  et nitrate  $\text{NO}_3^-(\text{aq})$  sont des ions spectateurs.

#### Mise en œuvre

- Réaliser
- Analyser

1 Réaliser les expériences 1 et 2 en tenant compte des règles de sécurité.

2 Noter les observations et à l'aide des docs 1 et 2, faire l'inventaire des espèces présentes à l'état initial et à l'état final pour chaque transformation.

3 Écrire l'équation de la réaction chimique qui modélise la transformation chimique qui a lieu dans l'expérience 1.

4 Identifier les particules (proton, neutron, électron) gagnées ou perdues par les espèces chimiques au cours des transformations. Compléter les demi-équations d'oxydoréduction suivantes et indiquer comment retrouver l'équation chimique trouvée en 3 :  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \dots = \text{Cu}(\text{s})$  et  $\text{Fe}(\text{s}) = \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \dots$

#### Conclusion

5 Proposer l'équation de la réaction qui modélise la transformation chimique qui a lieu dans l'expérience 2 de l'arbre de Diane et l'interpréter à l'aide de deux demi-équations d'oxydoréduction.

#### De l'activité au cours

- Communiquer

6 Proposer une méthode pour établir l'équation d'une réaction d'oxydoréduction à partir des couples oxydant/réducteur.

DIFFÉRENCIATION : ➔ Bonus

## 2 Établir un tableau d'avancement

Certains produits phytosanitaires apportent des ions fer(II) aux plantes qui en sont carencées. Ces ions sont mis à réagir avec les ions permanganate et le suivi de cette transformation se fait à l'aide d'un tableau d'avancement.

Comment suivre l'évolution de la quantité de fer dans ce système chimique ?

### Doc. 1 Expérience et résultat



### Protocole

- Dans un bécher, verser 50 mL d'une solution d'ions fer(II)  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  à la concentration effective  $[\text{Fe}^{2+}] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .
- Ajouter 9 mL d'une solution contenant des ions permanganate  $\text{MnO}_4^{-}(\text{aq})$  à la concentration effective  $[\text{MnO}_4^{-}] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

### Doc. 2 Identification de quelques espèces

Espèce présente	$\text{MnO}_4^{-}(\text{aq})$	$\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$
Couleur de la solution	Violet	Vert pâle	Jaune pâle

### Doc. 3 Présentation du tableau d'avancement

Le tableau d'avancement est un outil pour décrire l'évolution des quantités de matière pour différents états du système. Chaque état est caractérisé par une variable  $x$  appelée avancement. Exprimée en mol, elle permet d'exprimer les quantités de matière des différentes espèces chimiques présentes.

### Doc. 4 Exemple de tableau d'avancement

Dans l'état intermédiaire, lorsque  $5x$  moles de  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  sont consommées,  $5x$  moles de  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  sont formées et le nombre de moles d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  restant est alors  $n(\text{Fe}^{2+})_{\text{restant}} = 5,0 \times 10^{-4} - 5x$ .

Équation chimique		$5 \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 1 \text{MnO}_4^{-}(\text{aq}) + 8 \text{H}^{+}(\text{aq}) \rightarrow 5 \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 1 \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\ell)$					
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)					
État initial	$x = 0$	$5,0 \times 10^{-4}$	...	excès	...	0	excès
État intermédiaire	$x$	$5,0 \times 10^{-4} - 5x$	...	excès	$5x$	...	excès
État final	$x = x_{\text{max}}$	...	...	excès	...	....	excès

### Appropriation et analyse

→ S'approprier, analyser

→ Réaliser

→ Analyser

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Communiquer

- Justifier qu'une transformation d'oxydoréduction a lieu dans l'expérience du doc. 1.
- Déterminer les quantités de matière des réactifs à l'état initial (a). Détailler si nécessaire.
- Compléter les cases restantes du tableau d'avancement en tenant compte des nombres stœchiométriques.
- Identifier le réactif limitant associé à la transformation. En déduire la valeur de l'avancement maximal  $x_{\text{max}}$  pour une transformation totale.
- Calculer la quantité de matière en fer(II) et celle des autres réactifs et produits présents à l'état final (b).
- Indiquer comment établir le tableau d'avancement associé à une transformation chimique.

DIFFÉRENCIATION : Bonus

### 3

## Décrire un système chimique à l'état final

Le métal argent  $\text{Ag}(s)$  peut être obtenu par une transformation entre les ions argent  $\text{Ag}^+(\text{aq})$  et les ions fer(II)  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ .


Comment savoir si cette transformation chimique est totale?

#### Doc. 1 Transformations chimiques totales ou limitées

- Une transformation est dite totale quand le réactif limitant est entièrement consommé à l'état final. L'avancement final noté  $x_f$  est alors quasiment égal à son avancement maximal  $x_{\text{max}}$ .
- Une transformation est non totale quand le réactif limitant est encore présent à l'état final. La valeur maximale de l'avancement  $x_{\text{max}}$  n'est alors pas atteinte et  $x_f < x_{\text{max}}$ . La transformation est soit limitée, soit elle n'est pas arrivée à son terme.

#### Protocole




Les couples oxydant / réducteur mis en jeu sont :  $\text{Ag}^+(\text{aq}) / \text{Ag}(s)$  et  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ .

1. Analyser les pictogrammes et adopter les précautions nécessaires .
2. Réaliser les mélanges suivants dans deux erlenmeyers :

	Erlenmeyer 1	Erlenmeyer 2
Solution de nitrate d'argent	2 mL	10 mL
Solution de sel de Mohr	13 mL	5 mL

3. Les placer au bain-marie pendant 10 minutes.
4. Observer puis filtrer avec précaution le contenu des erlenmeyers. Les filtrats sont récupérés puis répartis dans trois tubes à essai.
5. Verser goutte à goutte : dans le tube 1, une solution d'hexacyanoferrate de potassium ; dans le tube 2, du chlorure de sodium, et dans le tube 3 du thiocyanate de potassium.

#### Doc. 2 Mise en évidence des ions présents à l'état final

Ion	Réactif	Résultat du test
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	ions hexacyanoferrate(III) $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	
$\text{Ag}^+(\text{aq})$	ions chlorure $\text{Cl}^-$	
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$	ions thiocyanate $\text{SCN}^-$	

#### Matériel et produits disponibles

Éprouvettes graduées de 10 et 20 mL • 2 erlenmeyers • Nitrate d'argent à  $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  • Sel de Mohr à  $0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  • Dispositif de filtration • Bain-marie • Dispositif chauffant • Pince en bois • 3 tubes à essais sur support • Flacons compte-gouttes d'hexacyanoferrate de potassium, de chlorure de sodium et de thiocyanate de potassium.

#### Mise en œuvre

- Réaliser
- Réaliser, analyser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

- Communiquer

1. Mettre en œuvre le protocole en respectant les règles de sécurité.
2. Écrire l'équation de la réaction entre les ions argent et les ions fer(II) puis construire un tableau d'avancement littéral de la transformation chimique.
3. Déterminer, pour chaque mélange, la valeur de  $x_{\text{max}}$  et la nature du réactif limitant.
4. À l'aide du doc. 2, indiquer si le réactif limitant est encore présent à l'état final. Conclure.
5. Proposer une méthode afin de déterminer si une transformation d'oxydoréduction est totale ou non.

## 4 Créer un programme pour établir un bilan de matière

Pour contrôler l'alcoolémie d'un automobiliste, un agent de la sécurité routière se sert d'un éthylotest. Il s'agit de dispositif à usage unique dont le principe s'appuie sur une transformation modélisée par une réaction d'oxydoréduction.

Comment modéliser le fonctionnement d'un éthylotest?

### Doc. 1 Définition et limite de l'alcoolémie

L'alcoolémie est le taux d'alcool (éthanol) présent dans le sang. Généralement, le taux d'alcool admis pour conduire est inférieur à 0,5 g d'alcool par litre de sang soit 0,25 mg d'alcool par litre d'air expiré.

### Doc. 2 Modèles d'éthylotest



Négatif



Négatif



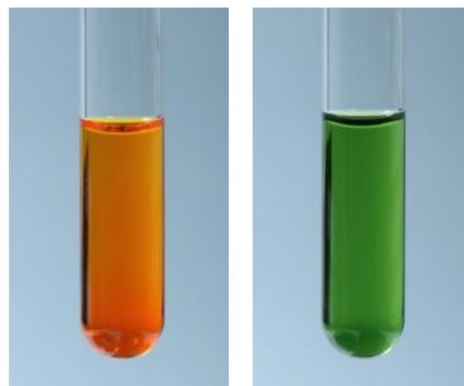
Positif

Un éthylotest permet le dépistage du taux d'alcool dans l'air expiré.

On distingue les éthylotests chimiques, à usage unique et les éthylotests électroniques permettant plusieurs centaines de contrôles.

Les éthylotests chimiques sont composés de cristaux de silice imbibés d'une solution acide de dichromate de potassium.

### Doc. 3 Couple redox $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$



Les ions dichromate de couleur orange sont oxydés en ions chrome(III) de couleur verte au contact de l'éthanol.

### Matériel disponible

Ordinateur avec le logiciel de programmation EduPython • Éthylotest.

### Mise en œuvre

→ S'approprier, analyser

→ Réaliser

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Communiquer

- 1 À l'aide des docs 1 à 3 et sachant que l'ion dichromate est accompagné d'ions  $\text{K}^+$ , vérifier que la masse molaire du dichromate de potassium présent dans l'éthylotest est de  $294 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . → Classification périodique en couverture
- 2 Déterminer la quantité de matière de réactif contenu dans l'éthylotest sachant que la masse de dichromate de potassium est de 5,0 mg.
- 3 Dans le logiciel EduPython, concevoir un programme capable de calculer et afficher les résultats du bilan de matière à l'état final pour une quantité d'éthanol expiré de  $1,2 \times 10^{-5} \text{ mol}$ . → Fiche 15 p. 365
- 4 Schématiser l'éthylotest à la fin de l'expérience en déterminant le pourcentage de réactif restant. Indiquer si l'éthylotest est positif ou négatif.
- 5 Rédiger une fiche-méthode pour établir un bilan de matière.

DIFFÉRENCIATION : → Aide → Exercice supplémentaire

Les ions fer(II) et le métal fer font partie d'un même couple oxydant/réducteur noté  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) / \text{Fe}(\text{s})$ .  
 $\text{Fe}(\text{s})$  est le réducteur et  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  est l'oxydant du couple.  
 La demi-équation d'oxydoréduction de ce couple est :  
 $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- = \text{Fe}(\text{s})$ .

**Doc. 1.** Établir la demi-équation du couple  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) / \text{Fe}(\text{s})$ .

- $1 \text{MnO}_4^-(\text{aq}) = \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$
- $1 \text{MnO}_4^-(\text{aq}) = 1 \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$
- $1 \text{MnO}_4^-(\text{aq}) = 1 \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\ell)$
- $1 \text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 8 \text{H}^+(\text{aq}) = 1 \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\ell)$
- $1 \text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 8 \text{H}^+(\text{aq}) + 5 \text{e}^- = 1 \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\ell)$

**Doc. 2.** Établir la demi-équation du couple  $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) / \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ .

### Ne pas confondre...

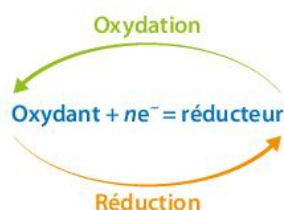
...le **signe égal** utilisé dans les demi-équations et la **flèche** utilisée dans l'équation d'oxydoréduction.

## A Modéliser une transformation par une réaction d'oxydoréduction

**Un oxydant** est une espèce chimique capable de gagner un ou plusieurs électrons.

**Un réducteur** est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs électrons.

Une espèce chimique oxydante et une espèce chimique réductrice forment **un couple oxydant/réducteur** si l'on peut passer de l'une à l'autre par gain ou perte d'électrons. Les deux espèces sont dites conjuguées.



**Une oxydation correspond à une perte d'électrons.**

**Une réduction correspond à un gain d'électrons.**

Pour modéliser un échange de  $n$  électrons entre l'oxydant et le réducteur d'un même couple, une demi-équation d'oxydoréduction peut être écrite (**doc. 1**) :



Lors d'une **réaction d'oxydoréduction**, il y a un transfert d'électrons du réducteur d'un couple à l'oxydant d'un second couple.

L'**équation d'une réaction d'oxydoréduction** est établie en combinant les demi-équations des deux couples mis en jeu de façon à ce que les électrons n'interviennent pas.

### 1 Établir les demi-équations des couples oxydant/réducteur présents

Pour établir la **demi-équation** associée au couple **oxydant/réducteur**, on doit suivre les étapes suivantes (**doc. 2**) :

- a. Placer l'oxydant et le réducteur de chaque côté du signe égal.
- b. Ajuster les nombres stœchiométriques afin que les éléments autres que l'hydrogène et l'oxygène soient conservés.
- c. Assurer la conservation de l'élément oxygène en ajoutant dans l'équation des molécules d'eau.
- d. Assurer la conservation de l'élément hydrogène en ajoutant dans l'équation des ions hydrogène  $\text{H}^+$ .
- e. Assurer la conservation de la charge électrique en ajoutant des électrons.

Sachant que  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) = \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^-$   
 et que  $1 \text{MnO}_4^- (\text{aq}) + 8 \text{H}^+ (\text{aq}) + 5 \text{e}^-$   
 $= 1 \text{Mn}^{2+} (\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\ell)$ ,  
 la demi-équation du couple  $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$   
 doit être multipliée par 5. D'où :  
 $\text{MnO}_4^- (\text{aq}) + 8 \text{H}^+ (\text{aq}) + 5 \text{Fe}^{2+} (\text{aq})$   
 $\rightarrow \text{Mn}^{2+} (\text{aq}) + 5 \text{Fe}^{3+} (\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O} (\ell)$

**Doc. 3. Écrire une équation d'oxydoréduction.**

### Éviter les erreurs...

Aucun électron ne doit apparaître dans le bilan global. Les règles de conservation des éléments chimiques et de la charge électrique doivent être vérifiées de chaque côté de la flèche.

### Ne pas confondre...

... $x_f$  et  $x_{\max}$  :  $x_f$  correspond à la **valeur réelle de l'avancement** en fin de transformation alors que  $x_{\max}$  est la **valeur théorique** que prend l'avancement dans le cas où l'un des réactifs est entièrement consommé.

## 2 Écrire l'équation d'oxydoréduction

**L'équation d'oxydoréduction** s'obtient finalement en combinant les deux demi-équations et consiste en un transfert d'un ou plusieurs électrons du réducteur de l'un des couples à l'oxydant de l'autre couple. Les électrons n'apparaissent donc pas dans le bilan.

- Écrire les demi-équations des deux couples impliqués.
- Placer les deux réactifs à gauche en « retournant » l'une des demi-équations.
- Multiplier une demi-équation ou les deux par un coefficient adapté pour équilibrer le nombre d'électrons libérés et captés.
- Faire la somme coefficientée des deux demi-équations (**doc. 3**).

→ **Activité 1**

## B Établir un bilan de matière à l'état final

### 1 Quantité de matière

Pour calculer une quantité de matière  $n$ , on utilise la relation suivante :

Dans la cas d'un solide,

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

Dans la cas d'une solution aqueuse,

$$n = C \times V$$

- $n$  : quantité de matière en moles (mol)
- $m$  : masse en grammes (g)
- $M$  : masse molaire en grammes par mole ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )
- $V$  : volume de la solution en litres (L)

### 2 Avancement

**L'avancement  $x$**  (en mol) permet de suivre l'évolution des quantités de matière des réactifs et des produits au cours d'une transformation chimique.

Dans l'état initial, lorsque les réactifs sont mélangés mais pas encore en contact, l'avancement vaut 0 puis sa valeur croît au cours de la transformation pour atteindre une valeur  $x_f$  à l'état final.

Le réactif dont la quantité de matière est nulle à l'état final est appelé **réactif limitant**. Les réactifs encore présents à l'état final sont dits en excès. Lorsque l'un au moins des réactifs a été consommé, **l'avancement maximal  $x_{\max}$  est atteint**.

Lorsque le réactif limitant est entièrement consommé à l'état final, la transformation est dite **totale** et  $x_f \approx x_{\max}$ .

Si le réactif théoriquement limitant est encore présent à l'état final, alors la valeur maximale de l'avancement n'est pas atteinte :  $x_f < x_{\max}$ . La transformation est limitée ou n'est pas encore arrivée à son terme.

Pour déterminer la valeur de l'avancement final  $x_f$ , il faut utiliser les valeurs réelles des quantités de matière à l'état final en réalisant une mesure expérimentale.

Éviter  
les erreurs...

Il faut tenir compte des nombres stoechiométriques devant les réactifs et les produits afin de compléter le tableau d'avancement.

Soit l'équation chimique  
 $2 \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Ag}(\text{s})$

• Si le cuivre est le réactif limitant,  
 alors  $n_f(\text{Cu}) = 0$

soit d'après le tableau :  
 $4,0 \times 10^{-3} - \alpha_{\text{max}} = 0$  d'où :

$$\alpha_{\text{max}} = \frac{4,0 \times 10^{-3}}{1} = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

• Si l'ion argent est le réactif limitant  
 alors :  $n_f(\text{Ag}^+) = 0$

soit d'après le tableau :  
 $1,0 \times 10^{-3} - 2\alpha_{\text{max}} = 0$  d'où

$$\alpha_{\text{max}} = \frac{1,0 \times 10^{-3}}{2} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol.}$$

• Or  $5,0 \times 10^{-4} < 4,0 \times 10^{-3}$   
 donc l'avancement maximal vaut  
 $5,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$  et le réactif limitant  
 est l'ion  $\text{Ag}^+$ .

**Doc. 4.** Déterminer le réactif limitant.

### 3 Tableau d'avancement

Lors d'une transformation chimique, les réactifs sont consommés, leurs quantités de matière diminuent alors au cours du temps. Au contraire, les produits sont formés et donc leurs quantités de matière augmentent.

Le **tableau d'avancement** donne l'évolution des quantités de matière des réactifs et des produits de l'état initial à l'état final de la transformation chimique en fonction de l'avancement  $\alpha$ .

► Dans un tableau d'avancement, la **première ligne présente l'équation ajustée** de la réaction qui modélise la transformation réalisée.

Puis les **autres lignes donnent les quantités de matière** des espèces chimiques pour différents états de la transformation :

- l'état initial à  $t = 0 \text{ s}$  pour lequel l'avancement est nul ( $\alpha = 0$ ),
- l'état en cours de transformation pour lequel l'avancement est noté  $\alpha$ ,
- l'état final caractérisé par un avancement  $\alpha_f$ .

Équation chimique		$2 \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Ag}(\text{s})$			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	$\alpha = 0$	$1,0 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-3}$	0	0
État intermédiaire	$\alpha$	$1,0 \times 10^{-3} - 2\alpha$	$4,0 \times 10^{-3} - \alpha$	$\alpha$	$2\alpha$
État final	$\alpha_{\text{ref}}$	$1,0 \times 10^{-3} - 2\alpha_f$	$4,0 \times 10^{-3} - \alpha_f$	$\alpha_f$	$2\alpha_f$

L'avancement final  $\alpha_f$  est l'avancement mesuré lorsqu'il n'y a plus aucune évolution du système.

### 4 Détermination du réactif limitant

Pour identifier le **réactif limitant**, il faut rechercher la valeur de l'avancement maximal pour chacun des réactifs. Le réactif limitant est celui pour lequel la valeur de l'avancement maximal est la plus petite (**doc. 4**).

Dans le cas d'un mélange initial **stoechiométrique**, les **quantités de matière finales des réactifs sont nulles** pour la même valeur de  $\alpha_{\text{max}}$ .

Le **nombre stoechiométrique** d'une espèce dans une réaction chimique donnée est le nombre qui précède sa formule dans l'équation considérée.

Exemple :  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

Le nombre stoechiométrique du  $\text{CH}_4$  est 1, celui de  $\text{O}_2$  est 2, celui du  $\text{CO}_2$  est 1 et celui de l'eau est 2.

Un **mélange initial est stoechiométrique** si les quantités de matière initiales de tous les réactifs sont dans les mêmes proportions que leurs nombres stoechiométriques.



L'ion  $\text{Ag}^+$  est le réactif limitant et  $x_{\text{max}} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$ .

Alors,  $n_f(\text{Ag}^+) = 0 \text{ mol}$  ;

$n_f(\text{Cu}^{2+}) = x_{\text{max}} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$  ;

$n_f(\text{Cu}) = 4,0 \times 10^{-3} - 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$

$n_f(\text{Cu}) = 3,5 \times 10^{-3} \text{ mol}$ .

**Doc. 5.** Établir un bilan de matière à l'état final.

## 5 Bilan de matière

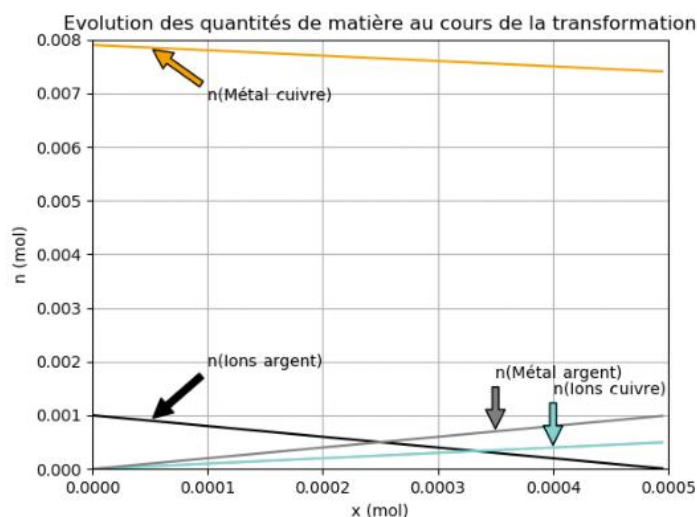
Le tableau d'avancement permet de dresser un **bilan de matière** à tout instant, c'est-à-dire de calculer les quantités de matière des réactifs et des produits à l'état initial, dans un état intermédiaire ou dans l'état final.

La valeur de l'avancement final permet de réaliser le bilan de matière, c'est-à-dire de calculer toutes les quantités de matière des espèces chimiques encore présentes dans le système à l'état final (doc. 5).

→ Activités 2 et 4

## C Programmation et représentation graphique d'un bilan de matière

Les calculs sont le plus souvent simulés par les chimistes à l'aide d'un langage de programmation type Python pour pouvoir estimer la quantité de matière en réactifs consommés et la quantité de matière en produits formés et faciliter la représentation de l'évolution des quantités de matière. Pour la transformation de végétalisation métallique, on obtient ainsi la représentation suivante :



L'équation de la réaction est donnée dans le doc. 6.

→ Fiche 15 p. 365

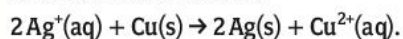
Au cours de la transformation, les quantités de matière des réactifs diminuent (ions argent  $\text{Ag}^+(\text{aq})$  et métal cuivre  $\text{Cu}(\text{s})$ ) tandis que celles des produits augmentent (ions cuivre  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  et métal argent  $\text{Ag}(\text{s})$ ).

L'avancement final est égal à l'avancement maximal. L'ion argent  $\text{Ag}^+(\text{aq})$  est le réactif limitant car sa quantité de matière à l'état final est nulle.

La pente des droites rend compte des nombres stœchiométriques : le métal argent  $\text{Ag}(\text{s})$  apparaît en quantité deux fois plus importante que les ions cuivre  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ .

→ Activités 3 et 4

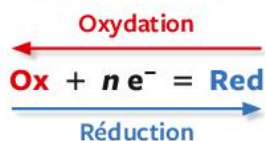
Considérons la réaction de végétation métallique entre une tournure de cuivre  $\text{Cu}(\text{s})$  de masse  $m = 0,5 \text{ g}$  et un volume  $V = 5,0 \text{ mL}$  d'ions  $\text{Ag}^+(\text{aq})$  d'une solution de nitrate d'argent à la concentration  $C = 0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . L'équation de la réaction modélisant la transformation s'écrit :



**Doc. 6.** Modéliser une réaction de végétation (arbre de Diane).

## Modéliser des réactions d'oxydoréduction

Couple oxydant/réducteur : Ox/Red

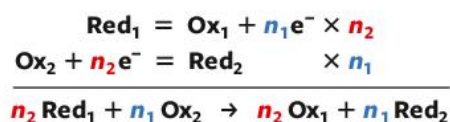


L'**oxydant** capte un ou plusieurs électrons.

Le **réducteur** cède un ou plusieurs électrons.

### Équation d'oxydoréduction :

Une réaction d'oxydoréduction correspond à un **transfert d'électrons** du **réducteur** d'un couple vers l'**oxydant** d'un autre couple :



## Tableau d'avancement d'une transformation chimique

L'avancement  $x$  permet de décrire l'évolution des quantités de matière **des réactifs et des produits** entre l'état initial et l'état final.

Quantité de matière initiale  $\rightarrow$  Si c'est un **produit** (il y en a plus au cours du temps)

$$n = n_i \pm \text{nombre stœchiométrique} \times \text{avancement } x$$

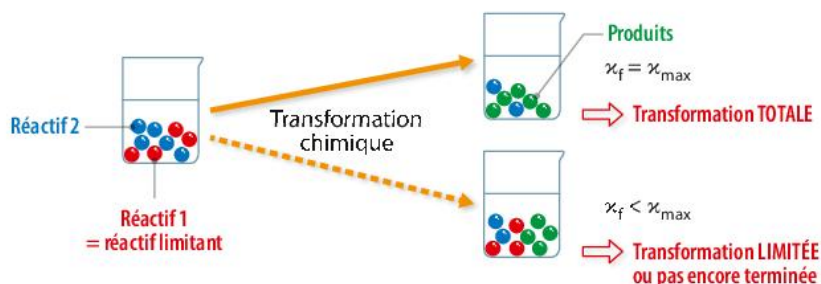
Quantité de matière  $\leftarrow$  Si c'est un **réactif** (il y en a moins au cours du temps)

Équation chimique		$2 \text{Fe}^{3+} (\text{aq}) + 1 \text{Cu} (\text{s}) \rightarrow 2 \text{Fe}^{2+} (\text{aq}) + 1 \text{Cu}^{2+} (\text{aq})$			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	0	$n_i (\text{Fe}^{3+}) = 3$	$n_i (\text{Cu}) = 8$	0	0
État intermédiaire	$x$	$3 - 2x$	$8 - 1x$	$0 + 2x$	$0 + 1x$
État final	$x_f$ OU $x_{\text{max}}$	$3 - 2x_f$	$8 - 1x_f$	$2x_f$	$1x_f$

## Transformation totale ou non

Si l'avancement  $x_f \approx x_{\text{max}}$ , la transformation est totale. Le réactif limitant est totalement consommé.

Si l'avancement  $x_f < x_{\text{max}}$ , la transformation est limitée ou n'a pas atteint son terme.



## Résoudre un exercice

### Énoncé

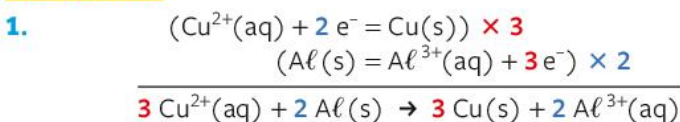
Une masse  $m_0 = 0,15$  g d'aluminium est introduite dans un volume  $V_1 = 150$  mL de sulfate de cuivre (II) ( $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) de concentration  $C_1 = 0,10$  mol  $\cdot$  L $^{-1}$ .

### Données

- Couples oxydant/réducteur :  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})/\text{Cu}(\text{s})$  ;  $\text{Al}^{3+}(\text{aq})/\text{Al}(\text{s})$
- $M(\text{Al}) = 27,0$  g  $\cdot$  mol $^{-1}$  ;  $M(\text{Cu}) = 63,5$  g  $\cdot$  mol $^{-1}$ .

1. Établir l'équation de la réaction.
2. Construire le tableau d'avancement associé à la réaction.
3. Effectuer un bilan de matière à l'état final pour une transformation totale.

### Résolution



$$2. \quad n_i(\text{Al}) = \frac{m_0}{M(\text{Al})} = \frac{0,15}{27,0} = 5,6 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\text{et } n_i(\text{Cu}^{2+}) = C_1 \times V_1 = 0,10 \times 150 \times 10^{-3} = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

### Conseils

1. Écrire les demi-équations et les combiner pour éliminer les électrons.

2. Calculer les quantités de matière initiales. Penser aux nombres stœchiométriques et aux signes à placer devant  $x$  et  $x_{\text{max}}$ .

3. Déterminer  $x_{\text{max}}$  et calculer les quantités de matière des espèces à l'état final.

Équation chimique		$3 \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Al}(\text{s}) \rightarrow 3 \text{Cu}(\text{s}) + 2 \text{Al}^{3+}(\text{aq})$			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	$x = 0$	$1,5 \times 10^{-2}$	$5,6 \times 10^{-3}$	0	0
État intermédiaire	$x$	$1,5 \times 10^{-2} - 3x$	$5,6 \times 10^{-3} - 2x$	$3x$	$2x$
État final	$x_f = x_{\text{max}}$	$1,5 \times 10^{-2} - 3x_{\text{max}}$	$5,6 \times 10^{-3} - 2x_{\text{max}}$	$3x_{\text{max}}$	$2x_{\text{max}}$

3. • Si  $\text{Cu}^{2+}$  est le réactif limitant,  $n_f(\text{Cu}^{2+}) = 1,5 \times 10^{-2} - 3x_{\text{max}} = 0$ , soit  $x_{\text{max}} = 5,0 \times 10^{-3}$  mol.

• Si  $\text{Al}$  est le réactif limitant,  $n_f(\text{Al}) = 5,6 \times 10^{-3} - 2x_{\text{max}} = 0$ , soit  $x_{\text{max}} = 2,8 \times 10^{-3}$  mol.

La plus petite valeur de  $x_{\text{max}}$  est  $2,8 \times 10^{-3}$  mol, donc  $\text{Al}$  est le réactif limitant. Le bilan de matière à l'état final est  $n_f(\text{Cu}^{2+}) = 6,6 \times 10^{-3}$  mol,  $n_f(\text{Cu}) = 8,4 \times 10^{-3}$  mol,  $n_f(\text{Al}) = 0$  mol et  $n_f(\text{Al}^{3+}) = 5,6 \times 10^{-3}$  mol.

→ Exercice 18 p. 59

## Des exercices pour progresser

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.

Oxydoréduction et bilan de matière

Modéliser une transformation d'oxydoréduction

14

Établir un bilan de matière

18 - 25 - 28

## Révision rapide

## QUIZ



Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

**1** L'oxydant est une espèce chimique :

- A: qui gagne un ou plusieurs électrons.
- B: qui perd un ou plusieurs protons.
- C: qui gagne un ou plusieurs protons.
- D: qui perd un ou plusieurs électrons.

**2** L'oxydation correspond à :

- A: un gain d'électrons.      B: un gain de protons.
- C: une perte de protons.    D: une perte d'électrons.

**3** Un couple oxydant/réducteur est noté :

- A: Red/Ox.                      B: pas de notation particulière.
- C: Ox/Red.                      D: cela dépend.

**4** L'avancement  $x$  est une variable :

- A: qui diminue au cours du temps.
- B: sans unité.
- C: qui s'exprime en mol.
- D: qui s'exprime en g.

**5** À la fin d'une transformation chimique :

- A: tous les réactifs ont forcément disparu.
- B: seulement un réactif a disparu.
- C: le réactif limitant a disparu.
- D: l'avancement atteint sa valeur finale  $x_f$ .

**6** Dans un état final dans lequel les quantités des réactifs sont :

Réactif 1 :  $3,0 - 3x_{\max}$                       Réactif 2 :  $4,0 - 2x_{\max}$

- A: le réactif limitant est le réactif 1.      B:  $x_{\max} = 1,0$  mol.
- C: le réactif limitant est le réactif 2.      D:  $x_{\max} = 2,0$  mol.

**7** 10,0 mol d'aluminium Al sont mélangées avec 10,0 mol de dioxygène O<sub>2</sub>. L'équation de la réaction est :  $4Al(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Al_2O_3(s)$ . À l'état final :

- A: il reste 3 mol de O<sub>2</sub>.
- B: il reste 2,5 mol de O<sub>2</sub>.
- C: 2,5 moles de Al ont été consommées.
- D: il s'est formé 5,0 mol de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**8** L'avancement final est environ égal à l'avancement maximal :

- A: toujours.
- B: jamais.
- C: seulement pour des transformations totales.
- D: seulement pour des transformations non totales.

## FOCUS MATHS

### Utiliser une équation linéaire du 1<sup>er</sup> degré

Déterminer la valeur de l'inconnue  $x_{\max}$  revient à résoudre une équation linéaire du premier degré.

Pour cela, il faut isoler la grandeur recherchée.

$$1,00 \times 10^{-3} - 2x_{\max} = 0$$

$$D'où x_{\max} = \frac{1,00 \times 10^{-3}}{2} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol.}$$

### 9 Exercice résolu

Le tableau d'avancement associé à la transformation entre le fer solide Fe(s) et le dioxygène O<sub>2</sub>(g) est :

Équation chimique		4 Fe(s)	+	3 O <sub>2</sub> (g)	→	2 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)				
État initial	$x = 0$	$4,0 \times 10^{-3}$		$9,0 \times 10^{-3}$		0
État intermédiaire	$x$	$4,0 \times 10^{-3} - 4x$		$9,0 \times 10^{-3} - 3x$		$2x$
État final	$x_f = x_{\max}$	$4,0 \times 10^{-3} - 4x_{\max}$		$9,0 \times 10^{-3} - 3x_{\max}$		$2x_{\max}$

► Calculer la valeur de l'avancement maximal et en déduire le réactif limitant.

#### Solution commentée

On émet deux hypothèses :

- Fe (s) est le réactif limitant :  $4,0 \times 10^{-3} - 4x_{\max} = 0$   
 $\Leftrightarrow x_{\max} = \frac{4,0 \times 10^{-3}}{4} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol.}$
- O<sub>2</sub>(g) est le réactif limitant :  $9,0 \times 10^{-3} - 3x_{\max} = 0$   
 $\Leftrightarrow x_{\max} = \frac{9,0 \times 10^{-3}}{3} = 3,0 \times 10^{-3} \text{ mol.}$

Ici,  $1,0 \times 10^{-3} < 3,0 \times 10^{-3}$  donc  $x_{\max} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol.}$   
 Le réactif limitant est le fer solide Fe (s).

### 10 Exercice d'application

0,10 mol de zinc Zn (s) réagissent avec 0,50 mol d'ions H<sup>+</sup> (aq) pour donner des ions Zn<sup>2+</sup> (aq) et du dihydrogène H<sub>2</sub>(g).

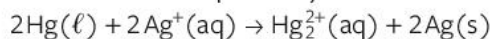
► Construire le tableau d'avancement associé à la transformation chimique et déterminer le réactif limitant.



## Entraînement

### Modéliser une transformation d'oxydoréduction

**11** Le mercure réagit avec les ions argent suivant une transformation modélisée par une réaction d'oxydo-réduction dont l'équation ajustée est :



- Définir les termes oxydant et réducteur.
- Identifier les espèces oxydées et les espèces réduites.
- Donner les couples oxydant/réducteur mis en jeu.

**12** Établir les demi-équations des couples oxydant/réducteur suivants :

- $\text{IO}_3^-(\text{aq}) / \text{I}_2(\text{aq})$ .
- $\text{HClO}(\text{aq}) / \text{Cl}_2(\text{g})$ .
- $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq}) / \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ .
- $\text{Al}^{3+}(\text{aq}) / \text{Al}(\text{s})$ .
- $\text{CO}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq})$ .

### 13 Exercice inversé

Chaque phrase suivante est une réponse. Proposer une ou des questions appropriées à la réponse donnée.

- Celle-ci correspond à un transfert d'électrons entre un oxydant d'un couple et un réducteur d'un second couple.
- Il s'agit d'une espèce chimique capable de perdre un ou plusieurs électrons.
- C'est l'oxydant.

**14** Aide p. 60 1. Établir l'équation de la réaction entre :

- Le diiode  $\text{I}_2(\text{aq})$  et le dioxyde de soufre  $\text{SO}_2(\text{aq})$ .
- Les ions nitrate  $\text{NO}_3^-(\text{aq})$  et le zinc métallique  $\text{Zn}(\text{s})$ .
- Le dibrome  $\text{Br}_2(\text{aq})$  et les ions thiosulfate  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ .
- Le nickel  $\text{Ni}(\text{s})$  et les ions cadmium  $\text{Cd}^{2+}(\text{aq})$ .

2. Indiquer à chaque fois les espèces chimiques qui sont réduites ou oxydées.

Données. Couples oxydant/réducteur :

- $\text{I}_2(\text{aq}) / \text{I}^-(\text{aq})$  ;  $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) / \text{SO}_2(\text{aq})$
- $\text{NO}_3^-(\text{aq}) / \text{NO}(\text{g})$  ;  $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) / \text{Zn}(\text{s})$
- $\text{Br}_2(\text{aq}) / \text{Br}^-(\text{aq})$  ;  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq}) / \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$
- $\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) / \text{Ni}(\text{s})$  ;  $\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) / \text{Cd}(\text{s})$

### Établir un bilan de matière

**15** L'équation de la réaction entre  $2,5 \times 10^{-3}$  mol de diiode  $\text{I}_2(\text{aq})$  et  $4,0 \times 10^{-3}$  mol d'ions thiosulfates  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$  est :

$$\text{I}_2(\text{aq}) + 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{I}^-(\text{aq}) + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}(\text{aq})$$

- Construire le tableau d'avancement associé.
- Préciser si le mélange initial est stœchiométrique.

**16** Les ions peroxodisulfate  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq})$  réagissent en solution aqueuse avec les ions iodure  $\text{I}^-(\text{aq})$  pour former des ions sulfate  $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$  et du diiode  $\text{I}_2(\text{aq})$ , seule espèce colorée de la réaction.

Le mélange réactionnel a été photographié à différents instants de la transformation :

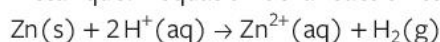


- Recopier et compléter le tableau d'avancement.

Équation chimique		$2 \text{I}^-(\text{aq}) + \text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{I}_2(\text{aq}) + 2 \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$			
État du système	Avancement (mmol)	Quantités de matière (mmol)			
État initial	$x = 0$	7,0	3,2	0	0
État final	$x_f$	...	...	...	...

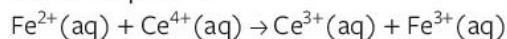
- Calculer les quantités de matière des différentes espèces lorsque  $x = 0,7$  puis 1,2 et 2 mmol.
- Associer les photographies **a.**, **b.** et **c.** aux trois valeurs de  $x$  précédentes. Justifier.

**17** Une solution d'acide chlorhydrique ( $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ ) est versée dans un bécher contenant 0,02 mol de zinc métallique. L'équation de la réaction est la suivante :



► Calculer la quantité de matière initiale  $n_i(\text{H}^+)$  nécessaire pour que le mélange soit stœchiométrique.

**18** Aide p. 60  $2,0 \times 10^{-2}$  mol d'ions fer(II)  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  réagissent avec  $1,0 \times 10^{-3}$  mol d'ions cérium(IV)  $\text{Ce}^{4+}(\text{aq})$  suivant l'équation :

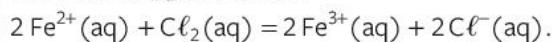


- Dresser le tableau d'avancement.
- Déterminer la valeur de l'avancement maximal.
- En déduire  $x_f$  pour une transformation totale.
- À l'aide de votre calculatrice, représenter l'évolution des quantités de matière en fonction de  $x$ .
- Calculer la quantité de matière du réactif restant à l'état final.

## En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**19** Lou veut créer un programme en Python afin de dresser le bilan de matière de la transformation d'oxydoréduction où  $x_{\max}$  est atteint :



### État initial :

20 mmol d'ions  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  et 20 mmol de dichlore.

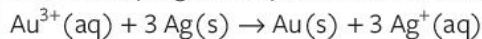
1. Créer et nommer les variables.
2. Donner les expressions pour calculer les variables  $x_{1\max}$  et  $x_{2\max}$  obtenues à partir des deux hypothèses.
3. Écrire une boucle conditionnelle.
4. Afficher les valeurs recherchées.

### Critères d'évaluation

- 1 Les noms des variables sont écrits sans erreur.
- 2 Les valeurs sont exactes. Celles-ci font intervenir les bonnes variables et leurs nombres stœchiométriques.
- 3 Les instructions conditionnelles choisies sont correctes.
- 4 L'instruction d'affichage et le résultat sont corrects.

**20** Soufiane veut connaître les quantités de matière lorsque l'avancement a atteint la moitié de sa valeur maximale.

Elle crée un programme pour étudier la réaction ci-dessous.



### État initial :

10 mmol d'ions  $\text{Au}^{3+}$  et 24 mmol de métal argent.

1. Créer et nommer les variables.
2. Donner les expressions pour calculer les variables  $x_{1\max}$  et  $x_{2\max}$  obtenues à partir des deux hypothèses.
3. Écrire une boucle conditionnelle.
4. Afficher les valeurs recherchées.

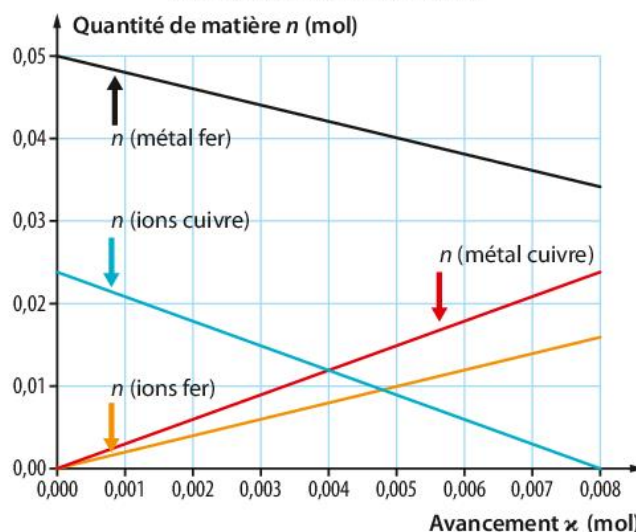
### Critères d'évaluation

- 1 Les noms des variables sont écrits sans erreur.
- 2 Les valeurs sont exactes. Celles-ci font intervenir les bonnes variables et leurs nombres stœchiométriques.
- 3 Les instructions conditionnelles choisies sont correctes.
- 4 L'instruction d'affichage et le résultat sont corrects.

## Programmation et représentation graphique d'un bilan de matière

**21** Pour étudier l'évolution des quantités de matière lors d'une transformation chimique, des élèves ont créé la représentation graphique suivante.

Évolution des quantités de matière au cours de la transformation



1. Identifier les réactifs et les produits.
2. Indiquer le réactif limitant et l'avancement maximal.
3. Les ions cuivre sont les ions  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$  mais il existe deux sortes d'ions fer : les ions  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  et  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ . Écrire les deux équations de réaction correspondantes.
4. En comparant les pentes des produits, indiquer les ions fer mis en jeu.

### Différenciation

#### Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 14

1. Bien identifier les réactifs. Écrire les demi-équations dans le bon sens puis les combiner pour éliminer les électrons.
2. Identifier les espèces chimiques ayant gagné ou perdu des électrons.

#### Aide pour l'exercice 18

1. Reprendre la méthode détaillée dans le cours.
2. Faire deux hypothèses pour déterminer deux valeurs de l'avancement. Conserver la plus petite valeur pour l'avancement maximal.
3. Utiliser la valeur de l'avancement dans le cas d'une transformation totale.
4. Identifier le réactif concerné et utiliser la valeur de  $x_f$  du tableau d'avancement. Utiliser les fonctionnalités de la calculatrice pour répondre à la question.



## Synthèse

### 22 Sport et chimie

→ S'approprier, analyser, réaliser

Lors d'une activité physique, la production d'énergie par les muscles s'explique par des transformations d'oxydo-réduction.

Le glucose  $C_6H_{12}O_6(aq)$  contenu dans le sang est oxydé en ion pyruvate  $C_3H_3O_3^-(aq)$  grâce à la coenzyme  $NaD^+$  (réaction 1).

La coenzyme  $NaD^+$  est ensuite régénérée par un second processus (réaction 2) au cours duquel la  $NaDH$  réagit avec les ions pyruvate qui sont alors transformés en ions lactate  $C_3H_5O_3^-(aq)$ .

**Donnée.** Couples oxydant/réducteur :

- $C_3H_3O_3^-(aq) / C_6H_{12}O_6(aq)$
- $NaD^+(aq) / NaDH(aq)$
- $C_3H_3O_3^-(aq) / C_3H_5O_3^-(aq)$

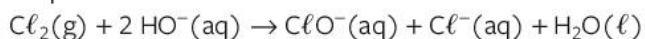
1. Établir l'équation de la réaction 1 entre  $NaD^+$  et le glucose.

2. Écrire l'équation de la réaction 2 et indiquer si les ions pyruvate sont oxydés ou réduits.

### 23 Fabrication d'une eau de Javel

→ Analyser, réaliser

L'équation de fabrication de l'eau de Javel est la suivante :



**Données.** Couples oxydant/réducteur :

- $ClO^- / Cl_2(g)$
- $Cl_2(g) / Cl^-(aq)$

#### Doc. 1 Le degré chlorométrique (°Chl) d'une eau de Javel

Il s'agit du volume (en litres) de  $Cl_2$  gazeux utilisé pour préparer 1,00 L de solution.



1. Écrire les deux demi-équations d'oxydoréduction associées aux deux couples donnés.

2. Déterminer le volume de dichlore gazeux nécessaire pour préparer 250 mL d'eau de Javel à 48° Chl.

3. Construire le tableau d'avancement.

4. Les propriétés désinfectantes de l'eau de Javel sont dues aux ions hypochlorite  $ClO^-(aq)$ .

Calculer la concentration en ions de cette eau de Javel.

### 24 Avancements final et maximal

→ S'approprier, analyser, réaliser

L'ion permanganate  $MnO_4^-$  réagit avec l'acide oxalique  $H_2C_2O_4$  en milieu acide.

Cette transformation est totale.

#### Doc. 1 Protocole suivi

On mélange un volume  $V_1 = 1,00$  mL de la solution de permanganate de potassium de concentration  $C_1 = 9,50 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , acidifiée en excès par de l'acide sulfurique, à un volume  $V_2 = 1,00$  mL d'une solution d'acide oxalique de concentration  $C_2 = 2,50 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

#### Doc. 2 Suivi spectrophotométrique

Les mesures d'absorbance permettent de suivre l'évolution de l'avancement au cours du temps.

Instant $t$ (s)	0	200	400	500	550	600	650
Avancement $x$ ( $\times 10^{-9}$ mol)	0	88,9	374	472	475	475	475

**Donnée.** Couples oxydant/réducteur :

- $MnO_4^-(aq) / Mn^{2+}(aq)$  ;  $H_2C_2O_4(aq) / CO_2(aq)$

1. Écrire l'équation de la réaction.

2. Tracer le graphique représentant l'évolution de l'avancement au cours du temps.

3. Déterminer l'avancement final  $x_f$  puis l'avancement maximal  $x_{max}$ .

4. Rédiger un bilan de matière à l'état final.

### 25 Aide p. 62 Alliage des pièces de monnaie

→ Analyser, réaliser, valider

Les pièces de 10 centimes d'euro sont formées d'un alliage dans lequel la masse de l'élément cuivre est égale à 89 % de la masse de la pièce.

Une pièce de 4,18 g est plongée dans une solution d'acide nitrique contenant des ions nitrate  $NO_3^-(aq)$  de concentration  $5,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . La solution devient bleue et il se forme un gaz.



**Données**

- Couples oxydant/réducteur :  
 $Cu^{2+}(aq) / Cu(s)$   
 $NO_3^-(aq) / NO(g)$
- $M(Cu) : 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

1. Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction correspondant à l'oxydation du cuivre par les ions nitrate.

2. Dresser le tableau d'avancement associé.

3. Déterminer le volume minimal de la solution d'ions nitrate à utiliser pour oxyder tout le cuivre de la pièce.

## 26 Des bugs dans le programme de calcul

→ S'approprier, réaliser, valider

Dans le cadre d'un projet, Kimi et Rose étudient la transformation qui permet de produire du diiode  $I_2$ . Sur Internet, il découvre un ancien sujet du bac qui traite de la fabrication du diiode  $I_2$ .

### Doc. 1 L'élément iode d'hier à aujourd'hui

(D'après Bac S, 2007)

« En 1811, le salpêtrier Courtais observe des fumées violettes lors de la calcination du goémon en Bretagne. C'est Gay-Lussac, en 1813, qui donnera son nom à ce nouvel élément : l'iode, du grec *iodos* signifiant violet. Il deviendra le 53<sup>e</sup> élément de la classification périodique, sa masse molaire est de  $126,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Actuellement, le procédé le plus courant de fabrication du diiode se fait à partir du nitrate du Chili. Ce nitrate naturel est utilisé pour obtenir des engrais. Lors de la préparation des engrais, des eaux de rinçage sont recueillies. Ces eaux contiennent des ions iodate  $IO_3^-$  que l'on fait réagir avec les ions hydrogénosulfite  $HSO_3^-$ .

La transformation peut être modélisée par l'équation suivante :

$$2 IO_3^-(aq) + 5 HSO_3^-(aq) + 2 H_2O(l) \rightarrow 5 SO_4^{2-}(aq) + I_2(aq) + 3 H_3O^+(aq)$$

### Doc. 2 Quantités mises en jeu et masse produite

Quand on traite 200 mL d'une solution d'ions iodate à  $2,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  par 200 mL d'une solution d'ions hydrogénosulfite à  $6,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , on peut obtenir au maximum une masse de diiode de 0,51 g.

### Doc. 3 Programme réalisé par Kimi et Rose

```
n_I03 = 4 # en mol
n_HSO3 = 12 # en mol
n_I2 = 0
```

```
nbreStoechio_I03 = 2
nbreStoechio_HSO3 = 5
nbreStoechio_I2 = 1
```

```
xmax_I03 = n_I03/nbreStoechio_I03 # en mmol.
xmax_HSO3 = n_HSO3/nbreStoechio_HSO3 # en mmol.
```

```
if (xmax_HSO3 > xmax_I03)
    xmax = xmax_HSO3
else
    xmax = xmax_I03
```

```
masse_I2 = ((n_I2+nbreStoechio_I2*xmax)/1000)*126.9
print("La masse de diiode maximale est de ",
      masse_I2,"g.")
```

**Données.** Couples oxydant/réducteur :

- $IO_3^-(aq) / I_2(aq)$
- $I_2(aq) / I^-(aq)$
- $SO_4^{2-}(aq) / HSO_3^-(aq)$
- $HSO_4^-(aq) / SO_2(aq)$

1. Identifier les couples mis en jeu dans la réaction de fabrication du diiode (docs 1 et 2) et souligner les réactifs.
2. Calculer les quantités de matières initiales des réactifs.
3. Établir un tableau d'avancement et dresser le bilan de matière pour un avancement maximal.
4. Vérifier la masse de diiode formé.
5. Le programme des élèves donne une masse de 0,30456g. Analyser leur programme bloc par bloc et le corriger.

## 27 Les circuits imprimés

→ Analyser, réaliser

Les circuits imprimés des smartphones sont réalisés à partir d'une plaque isolante recouverte d'une couche de cuivre. Cette couche devant être relativement fine, la plaque est plongée dans un volume  $V = 300 \text{ mL}$  d'une solution de chlorure de fer (III) à la concentration  $C = 2,5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  pour éliminer l'excès de cuivre.



### Données

- Couples oxydant/réducteur :  $Fe^{3+}(aq) / Fe^{2+}(aq)$  ;  $Cu^{2+}(aq) / Cu(s)$ .
- $M(Cu) = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $\rho(Cu) = 8,9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

1. Construire le tableau d'avancement associé à la transformation chimique précédente en notant  $n$  la quantité de matière de cuivre.
2. Déterminer la masse maximale de cuivre qu'il est possible d'éliminer lors de cette transformation chimique supposée totale.
3. En déduire la surface de cuivre correspondante, sachant que l'épaisseur de la couche de cuivre  $e$  est égale à  $40 \mu\text{m}$ .

### Différenciation Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 25

1. Lire l'énoncé pour bien identifier les réactifs.
2. Calculer la quantité initiale de cuivre en tenant compte du pourcentage fourni. La quantité initiale d'ions nitrate est notée  $n$ .
3. Le mélange initial doit être stoechiométrique pour oxyder tout le cuivre. Expliciter la relation entre les quantités initiales des réactifs. En déduire le volume à l'aide de la concentration.





## Problèmes

### 28 Solvants et peintures

La butanone est un solvant utilisé dans les peintures. Elle peut être synthétisée par oxydation du butan-2-ol par les ions permanganate en présence d'un excès d'ions  $\text{H}^+$  (aq).

#### Doc. 1 Protocole de synthèse de la butanone

1. Dans un ballon, introduire 50 mL d'une solution acidifiée de permanganate de potassium ( $\text{K}^+$ (aq) +  $\text{MnO}_4^-$ (aq)) de concentration  $0,40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et 1,3 g de butan-2-ol  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}(\ell)$ .
2. Ajouter quelques grains de pierre ponce puis chauffer à reflux durant 30 minutes.
3. Après les étapes de traitement, on obtient une masse  $m_{\text{exp}} = 1,05 \text{ g}$  de butanone  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ .

#### Doc. 2 Définition du rendement

Il s'agit du rapport de la quantité de matière de produit effectivement obtenue après la synthèse à la quantité de matière de produit théoriquement obtenue dans le cas d'une transformation totale. Il est noté  $\eta$ .

#### Données

- $M(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}) = 74 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . •  $M(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}) = 72 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $\rho(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}) = 0,81 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .
- Couples oxydant/réducteur :  $\text{MnO}_4^-$ (aq) /  $\text{Mn}^{2+}$ (aq) ;  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}(\text{aq})$  /  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}(\text{aq})$

- Déterminer le rendement de la synthèse.

### Différenciation Apprendre à résoudre 28

- Proposer une équation de la réaction.
- Calculer les quantités de matière initiales des réactifs.
- Construire un tableau d'avancement si besoin.
- Se servir de l'énoncé pour déduire la quantité de matière obtenue.
- Proposer une formule pour le calcul du rendement.

### 29 Le message secret

L'élaboration d'un message secret peut se faire à l'aide de transformations d'oxydoréduction.

#### Doc. 1 Élaborer et décoder un message secret

##### À l'attention de l'expéditeur

Écrire avec une plume trempée dans une solution de diiode de couleur brune. Laisser sécher. Faire disparaître le message avec du jus de citron. Laisser sécher.

##### À l'attention du destinataire

Passer sur la feuille de l'eau oxygénée additionnée d'empois d'amidon : le texte réapparaît en bleu.

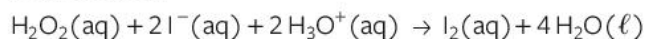
#### Données

- Le citron contient de l'acide ascorbique  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ .
- L'eau oxygénée s'écrit  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ .
- En présence d'empois d'amidon, le diiode prend une coloration bleue.
- Couples oxydant/réducteur :  $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6(\text{aq})$  /  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6(\text{aq})$   
 $\text{I}_2(\text{aq})$  /  $\text{I}^-(\text{aq})$   
 $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$  /  $\text{H}_2\text{O}(\ell)$

- Interpréter les différentes étapes de la fabrication de ce message secret.

### 30 Mesures spectrophotométriques

La transformation qui a lieu dans l'étude proposée est modélisée par la réaction dont l'équation d'oxydo-réduction est :



#### Doc. 1 Protocole suivi

Dans un bécher, mélanger un volume  $V_1 = 5,0 \text{ mL}$  d'acide sulfurique et  $V_2 = 9,0 \text{ mL}$  d'une solution d'iodure de potassium ( $\text{K}^+$ (aq) +  $\text{I}^-(\text{aq})$ ).

À l'instant  $t_0 = 0 \text{ s}$ , introduire rapidement, un volume  $V_3 = 1,0 \text{ mL}$  de la solution  $S_2$  d'eau oxygénée  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$  de concentration  $C_2 = 0,089 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

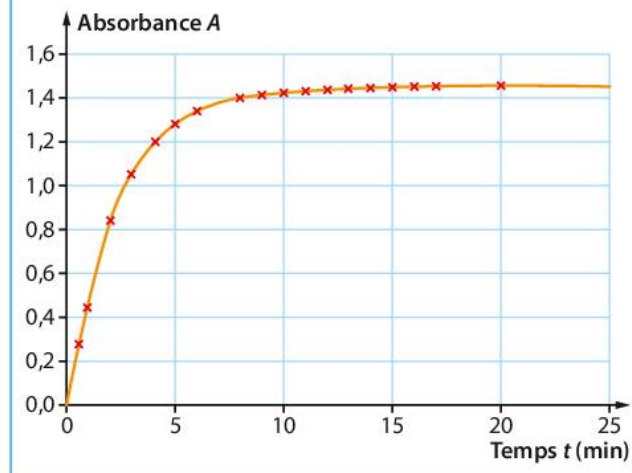
#### Doc. 2 Mesures spectrophotométriques

La mesure de l'absorbance du diiode permet de suivre l'évolution temporelle de la quantité de diiode formé.

Les ions iodure  $\text{I}^-(\text{aq})$  et les ions oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$  sont introduits en excès par rapport à l'eau oxygénée.

La valeur de la constante de la loi de Beer-Lambert :

$$k = 246 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$



- Montrer le caractère total ou non de cette transformation.

## 31 ➔ Poursuivre l'exercice 9 p. 58

### Créer une animation

Martin et Amine veulent créer une animation pour voir évoluer les quantités de matière au cours d'une réaction d'oxydoréduction.

#### Doc. 1 Import et initialisation des variables

```
from matplotlib import pyplot # Import pour
    Les représentations graphiques

# Quantités de matière et valeur de x à l'instant initial
nIonsCu = [1.5E-2]
nMetalAl = [5.6E-3]
nMetalCu = [0]
nIonsAl = [0]
x = [0]

# Nombres stoechiométriques
nbreStoechioIonsCu = 3
nbreStoechioMetalAl = 2
nbreStoechioMetalCu = 3
nbreStoechioIonsAl = 2

# Avancement maximal
xmax = min(nIonsCu[0]/nbreStoechioIonsCu ,
    nMetalAl[0]/nbreStoechioMetalAl)

# Nombre de points
nbrePoints = 50
```

#### Doc. 2 Instructions partielles pour la représentation graphique

```
pyplot.xlabel("x (mol)")
pyplot.xlabel("n (mol)")
pyplot.title("Évolution des quantités de matière
    au cours de la transformation")
pyplot.grid()
pyplot.axis([0,xmax,0,max(nIonsCu)])
pyplot.text(0.0020,0.014,'IonsCu2+',
    bbox=dict(facecolor='cyan'))
pyplot.text(0.0020,0.013,'Metal Cu',
    bbox=dict(facecolor='orange'))
pyplot.text(0.0020,0.012,'Ions Al3+',
    bbox=dict(facecolor='green'))
pyplot.text(0.0020,0.011,'Metal Al',
    bbox=dict(facecolor='grey'))

for i in range(1,nbrePoints+1):
    x.append(i*xmax/nbrePoints)
    nIonsCu.append( )
    nMetalAl.append( )
    nIonsAl.append( )
    nMetalCu.append( )
    pyplot.scatter(x[i], ,marker = '.',c = 'cyan')
    pyplot.scatter(x[i], ,marker = '.',c = 'grey')
    pyplot.scatter(x[i], ,marker = '.',c = 'orange')
    pyplot.scatter(x[i], ,marker = '.',c = 'green')
    pyplot.pause(0.05)
pyplot.show()
```

➤ À l'aide des résultats et des docs 1 et 2, créer un programme permettant de montrer l'évolution des quantités de matière en fonction de l'avancement.

## Objectif BAC

### 32 Pile à combustible

La Toyota<sup>®</sup> Mirai est la première Berline à pile à combustible lancée au Japon fin 2014.



#### Doc. 1 Présentation du véhicule

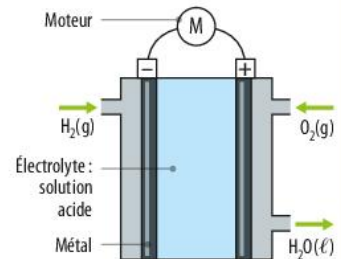
Doté d'un réservoir de 121 L qui se remplit d'hydrogène en 5 minutes environ, le véhicule parcourt près de 500 km et ne rejette que de la vapeur d'eau. On estime à 2,5 kg la masse de dihydrogène nécessaire pour parcourir 250 km.

#### Doc. 2 Principe d'une pile

Une pile permet de convertir une énergie chimique en énergie électrique. Elle est constituée de deux électrodes à la surface desquelles ont lieu des transformations d'oxydoréduction.

#### Doc. 3 Schéma de la pile

La pile à combustible est alimentée en dihydrogène et en dioxygène en continu. Cette pile fonctionne grâce à une transformation d'oxydoréduction qui se révèle totale.



#### Données

- Couples oxydant/réducteur :  $H^+(aq) / H_2(g)$  et  $O_2(g) / H_2O(l)$
  - Consommation urbaine en  $H_2$  : 0,69 kg tous les 100 km
  - $M(H) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
  - Volume molaire occupé par  $H_2$  dans le réservoir :  $V_m = 0,070 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$
1. Justifier que ce véhicule est respectueux de l'environnement.
  2. Écrire l'équation de la réaction quand la voiture est en fonctionnement.
  3. Préciser le caractère oxydant et réducteur des réactifs.
  4. Compléter le schéma de la pile en indiquant le sens des électrons dans les fils métalliques.
  5. Déterminer la masse d'eau rejetée dans l'atmosphère pendant un trajet qui nécessite le plein complet du véhicule.
  6. Vérifier la valeur du volume du réservoir de stockage du dihydrogène.

 **VIDÉO** présentation du chapitre

# Titrage colorimétrique

*Comment déterminer la quantité de matière d'une espèce chimique en solution ?*

## Objectifs

Définir le changement de réactif limitant

➡ Activité 1 p. 66

Mettre en œuvre un titrage colorimétrique

➡ Activité 2 p. 67

Réaliser un contrôle de qualité par titrage

➡ Activité 3 p. 68

Exploiter un titrage colorimétrique

➡ Activité 4 p. 69

— Le titrage est une technique couramment utilisée en contrôle de qualité.

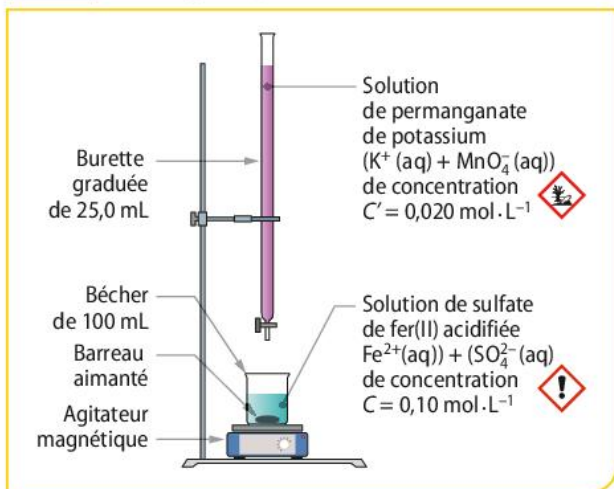
## Mettre en œuvre un protocole

### 1 Définir le changement de réactif limitant

Les contrôles de qualité servent à déterminer la présence ou la concentration d'une espèce chimique. Ils utilisent des transformations chimiques impliquant des changements de couleur, comme celles des ions fer(II)  $\text{Fe}^{2+}$  en présence d'ions permanganate  $\text{MnO}_4^-$ .

À quoi correspondent ces changements de couleur ?

#### Doc. 1 Montage et produits utilisés



#### Doc. 3 L'équivalence

L'équivalence correspond à un état particulier d'un système chimique pour lequel les réactifs sont consommés intégralement.

#### Protocole

- Réaliser le montage du doc. 1.
- Veiller à ce que le zéro soit bien ajusté sur la burette graduée et qu'il n'y ait pas de bulles d'air en bas de la burette.
- Prélever un volume  $V = 10,0$  mL de solution de sulfate de fer(II) avec une pipette jaugée munie d'une propipette.
- Les introduire dans un bécher.
- Ajouter les volumes  $V_{\text{MnO}_4^-} = 1,0$  mL ; 3,0 mL ; 5,0 mL ; 7,0 mL ; 9,0 mL ; 11,0 mL ; 13,0 mL et 15,0 mL en agitant.

#### Doc. 2 Espèces chimiques mises en jeu

Espèces chimiques	$\text{MnO}_4^-$	$\text{Mn}^{2+}$	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{H}^+$
Couleur de la solution	Violet	Incolore	Vert pâle	Jaune pâle	Incolore

- Couples oxydant/réducteur :  $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) / \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$  et  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$
- $\text{K}^+(\text{aq})$  et  $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$  sont des ions spectateurs.
- Les ions  $\text{H}^+(\text{aq})$  sont en excès tout au long de la transformation chimique.

#### Mise en œuvre

→ Réaliser, analyser

→ S'approprier, analyser

→ Réaliser, valider

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Valider

- Mettre en œuvre le protocole en tenant compte des règles de sécurité et noter dans un tableau, pour chaque volume  $V_{\text{MnO}_4^-}$  versé, la couleur et le nom du réactif limitant.
- Proposer l'équation de la réaction chimique modélisant la transformation totale ayant lieu dans l'erlenmeyer après le premier ajout de la solution de permanganate de potassium.
- Dresser le tableau d'avancement de la transformation pour les volumes  $V_{\text{MnO}_4^-} = 5,0$  mL, 10,0 mL et 13,0 mL. Déterminer dans chaque cas la nature du réactif limitant et vérifier la cohérence avec la couleur observée en 1.
- Donner un encadrement du volume pour lequel l'équivalence est atteinte.
- Écrire la relation existante entre la quantité initiale d'ions fer(II)  $n_i(\text{Fe}^{2+})$  et la quantité de matière d'ions permanganate ajoutés à l'équivalence  $n_E(\text{MnO}_4^-)$ .

- Proposer une autre définition de l'équivalence qui tienne compte de la relation établie à la question 5 et des couleurs observées lors des ajouts.

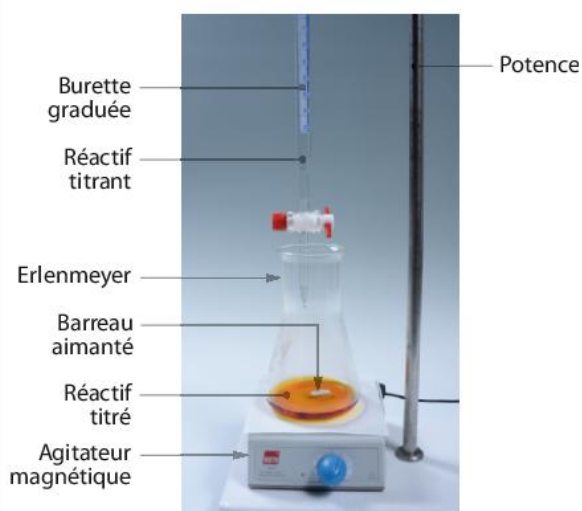
**DIFFÉRENCIATION** : ➔ Bonus

## 2 Mettre en œuvre un titrage colorimétrique

Le Lugol<sup>®</sup> est une solution antiseptique utilisée à différentes concentrations. Celle-ci est composée de diiode  $I_2(aq)$  qui lui confère sa couleur brun-orange caractéristique.

Comment déterminer la concentration en diiode contenu dans un antiseptique ?

### Doc. 1 Principe d'un titrage



Un titrage est une technique mettant en jeu une transformation chimique rapide et totale entre :

- Un réactif titrant de concentration connue.
- Un réactif titré de concentration à déterminer.

Dans un titrage avec suivi colorimétrique, un changement de couleur est observé à l'équivalence.

### Protocole

Réaliser un titrage rapide pour estimer le volume versé à l'équivalence  $V_E$ , puis un second plus précis pour avoir le volume équivalent à la goutte près.

1. Dans un erlenmeyer, introduire  $V_1 = 10,0$  mL de la solution antiseptique.
2. Ajouter à l'aide de la burette graduée la solution de thiosulfate de sodium de concentration effective en ion thiosulfate  $[S_2O_3^{2-}] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$  tout en agitant, jusqu'à obtenir une teinte jaune pâle du mélange.
3. Ajouter quelques gouttes d'empois d'amidon ou une pointe de spatule de thiodène.
4. Continuer à verser la solution de thiosulfate de sodium jusqu'à l'équivalence du titrage.

### Doc. 2 Informations générales

- Couples oxydant/réducteur mis en jeu et couleur des espèces en solution :  
Diiode (brun)  $I_2(aq)$  / Ions iodure (incolore)  $I^-(aq)$   
Ion tétrathionate (incolore)  $S_4O_6^{2-}(aq)$  /  
Ion thiosulfate (incolore)  $S_2O_3^{2-}(aq)$ .
- L'empois d'amidon ou le thiodène révèle la présence de diiode en donnant à la solution une coloration bleue. L'un ou l'autre sera ajouté juste avant l'équivalence pour faciliter son repérage.

### Mise en œuvre

→ S'approprier

→ Analyser, réaliser

- 1 Indiquer les réactifs impliqués dans la réaction chimique support du titrage.
- 2 Définir l'équivalence et préciser le changement de couleur attendu.
- 3 Mettre en place le montage du titrage, suivre le protocole et noter la valeur du volume versé à l'équivalence.
- 4 Dresser le tableau d'avancement de la transformation chimique du titrage puis établir la relation entre les quantités de matière des réactifs qui ont été introduits à l'équivalence.

### Conclusion

- 5 Calculer la quantité de matière, puis la concentration en quantité de matière  $C_1$  en diiode de la solution titrée. À partir des valeurs de concentration du groupe, calculer la concentration moyenne et l'écart-type expérimental.

### De l'activité au cours

→ Valider, Communiquer

- 6 Proposer une méthode pour déterminer dans un cas général la concentration en quantité de matière d'une espèce en solution.

**DIFFÉRENCIATION** : Aide (question 3)

## Concevoir un protocole

### 3

### Réaliser un contrôle de qualité par titrage

Les produits d'entretien des lentilles de contact contiennent du peroxyde d'hydrogène  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ , appelé aussi eau oxygénée, à 3 % en masse.

Comment vérifier le pourcentage en masse d'un produit du commerce ?

#### Doc. 1 Étiquette d'un produit d'entretien pour lentilles de contact



#### Matériel et produits disponibles

Pipettes jaugées de 5,0 ; 10,0 et 20,0 mL • Propipette • 3 fioles jaugées de 50,0 ; 100,0 et 250,0 mL • Bêchers • Pipette compte-goutte • Burette graduée de 25,0 mL • Erlenmeyer • Agitateur magnétique • Barreau aimanté • Solution de  $\text{KMnO}_4$  de concentration effective en ions permanganate  $[\text{MnO}_4^-] = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  • Solution commercialisée de  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ .

#### Doc. 2 Informations utiles

- Le peroxyde d'hydrogène réagit avec les ions  $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$  en milieu acide ( $\text{H}^+(\text{aq})$  en excès).
- $M(\text{H}_2\text{O}_2) = 34,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- Couples oxydant/réducteur mis en jeu :  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) / \text{O}_2(\text{g})$  ;  $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) / \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$
- Seuls les ions  $\text{MnO}_4^-$  sont colorés.

#### Doc. 3 Matériel de laboratoire



#### Démarche expérimentale

⇒ Analyser, réaliser

1 Écrire les demi-équations d'oxydoréduction et l'équation de la réaction chimique support du titrage.

2 Proposer un protocole expérimental permettant de diluer 10 fois la solution commerciale de  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$ . Faire valider et le mettre en œuvre.

3 Concevoir un second protocole pour repérer l'équivalence, faire valider et mettre en œuvre le titrage sur un volume  $V_{\text{H}_2\text{O}_2} = 10,0 \text{ mL}$  (deux titrages concordants sont attendus). Noter la valeur du volume  $V_{\text{E}, \text{MnO}_4^-}$  versé à l'équivalence dans chaque cas.

⇒ Réaliser

4 Calculer la concentration en quantité de matière d'eau oxygénée de la solution diluée puis de la solution commerciale. À partir des résultats du groupe, en donner la moyenne et un écart-type puis en déduire l'incertitude-type ➔ Fiche 13 p. 362

#### Conclusion

5 Déterminer la masse de peroxyde d'hydrogène  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$  contenue dans 100 mL de produit du commerce.

#### De l'activité au cours

⇒ Communiquer, valider

6 Donner l'encadrement de la concentration obtenue grâce à l'incertitude-type, et porter un regard critique sur le résultat obtenu.

## 4 Exploiter un titrage colorimétrique

**Contexte du sujet:** Le sulfate de fer est utilisé comme produit phytosanitaire pour l'entretien des pelouses. Plusieurs fournisseurs distribuent ce produit sous différents noms.

**Comment identifier le fournisseur du produit phytosanitaire à disposition ?**

### Matériel et produits disponibles

Pipettes jaugées de 5,0 ; 10,0 et 20,0 mL • Propipette  
• Béchers de 100 mL • Erlenmeyer de 100 mL • Agitateur magnétique • Barreau aimanté • Burette graduée de 25,0 mL sur support • Balance • Solution de  $\text{KMnO}_4$  de concentration effective en ions permanganate  $[\text{MnO}_4^-] = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  • Solution de sulfate de fer ( $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) à  $C = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

### Doc. 1 Fournisseurs et pourcentages en masse

Produit commercialisé	Pourcentage en masse de fer
Osmobio®	2 %
Solabiol®	6 %
Algoflash®	15 %

### Doc. 2 Matériel de laboratoire



### Doc. 3 Données sur les espèces chimiques mises en jeu

- Couples oxydant/réducteur :  $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) / \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) ; \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$
- La solution de sulfate de fer est de couleur légèrement verdâtre.
- La solution de  $\text{KMnO}_4$  est de couleur rose-violette.
- Les ions  $\text{H}^+(\text{aq})$  sont en excès tout au long de la transformation chimique.
- $M(\text{Fe}) = 55,8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

### Doc. 4 Pourcentage en masse

Le pourcentage en masse d'une espèce donnée correspond à la masse de l'espèce étudiée pour 100 g de solution.

**1** Proposer un protocole complet permettant de déterminer le pourcentage en masse de fer dans 10,0 mL du produit phytosanitaire étudié. Illustrer le montage par un schéma.

**APPEL n° 1** pour présenter le protocole et le schéma ou en cas de difficulté.

**2** Mettre en place le montage.

**APPEL n° 2** pour faire vérifier le montage ou en cas de difficulté.

**3** Mettre en œuvre le protocole.

**APPEL n° 3** pour présenter le résultat ou en cas de difficulté.

**4** Donner l'équation de la réaction chimique support du titrage.

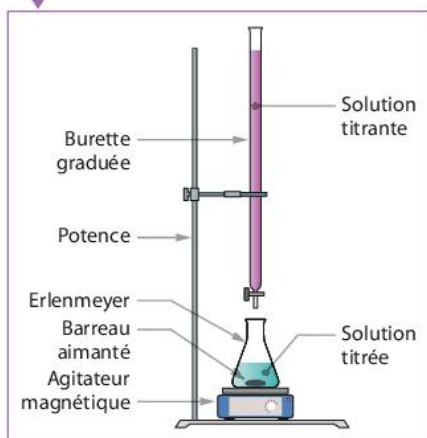
**APPEL n° 4** en cas de difficulté.

**5** À partir des résultats, déterminer le pourcentage en masse de fer de la solution disponible et identifier le fournisseur du produit à disposition.

**APPEL n° 5** en cas de difficulté.

**6** Comparer le résultat obtenu avec la valeur de référence du fournisseur. Justifier si nécessaire.

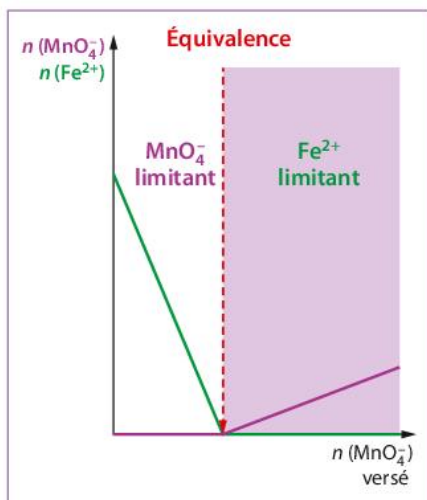
**APPEL n° 6** pour présenter vos résultats ou en cas de difficulté.



**Doc. 1.** Montage expérimental pour la réalisation d'un titrage.

- Verser dans un erlenmeyer la solution titrée.
- Ajouter un barreau aimanté et agiter.
- Ajouter l'indicateur coloré si nécessaire.
- Placer une feuille de papier blanc sous l'erlenmeyer pour bien visualiser le changement de couleur.

**Doc. 2.** Mise en place d'un titrage.



**Doc. 3.** Évolution des quantités de matière lors du titrage des ions fer(II) par les ions  $\text{MnO}_4^-$ .

## A Principe du titrage

► **Titrer une espèce chimique** revient à déterminer la quantité de matière ou la concentration en quantité de matière de cette espèce chimique en solution grâce à une transformation chimique.

Lors d'un titrage, une solution de concentration en quantité de matière connue est ajoutée progressivement à la solution à titrer.

L'espèce chimique de concentration **inconnue** est appelée **réactif titré**. L'espèce chimique de concentration **connue** est appelée **réactif titrant**.

► Pour déterminer la concentration du réactif titré, un échantillon de cette solution est prélevé avec de la verrerie de précision (pipette jaugée et propipette) et placé dans un erlenmeyer ou un bécher.

La solution titrante est ensuite ajoutée progressivement à l'aide d'une burette graduée (**docs 1 et 2**).

**La transformation chimique** ayant lieu entre les réactifs titrant et titré **est modélisée** par une réaction de titrage qui doit être :

- totale ;
- rapide ;
- spécifique de l'espèce titrée (seule l'espèce titrée réagit).

### 1 Évolution des quantités de matière

Le réactif titrant réagit immédiatement et totalement avec le réactif titré. Ainsi la **quantité de matière de réactif titré diminue** à chaque ajout jusqu'à **devenir nulle** (**doc. 3**).

Pour suivre l'évolution du système à chaque ajout, un tableau d'avancement peut être construit.

Exemple : Soit un système chimique qui contient, dans son état initial, des ions permanganate  $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$  (réactif titrant) et des ions fer(II)  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  (réactif titré).

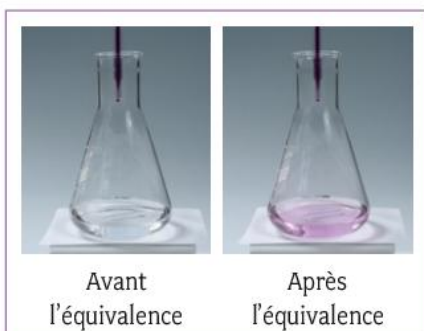
Le tableau d'avancement de cette transformation chimique est le suivant :

Équation chimique		$5 \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 1 \text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 8 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow 5 \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 1 \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$					
État du système	Avancement (en mol)	Quantités de matière (en mol)					
État initial	$x = 0$	$n_i(\text{Fe}^{2+})$	$n_{\text{versé},E}(\text{MnO}_4^-)$	Excès	0	0	Excès
État final	$x_f = x_{\text{max}}$	$n_i(\text{Fe}^{2+}) - 5 \times x_f$	$n_{\text{versé},E}(\text{MnO}_4^-) - 1 \times x_f$	Excès	$5x_f$	$1x_f$	Excès



### Éviter les erreurs...

Le volume de solution titrante versé à l'équivalence est noté  $V_E$  et se détermine par lecture sur la burette graduée. Ce changement intervient à la goutte près. Deux titrages sont donc attendus : le premier sert à repérer l'équivalence et le second permet d'affiner les mesures.



Doc. 4. Changement de teinte à l'équivalence.

- Soit  $n(\text{Fe}^{2+}) = n_i(\text{Fe}^{2+}) - 5 \times \kappa_E = 0$ ,  
donc  $\kappa_E = \frac{n_i(\text{Fe}^{2+})}{5}$ .
- Et  $n_E(\text{MnO}_4^-) = n_{\text{versé}, E}(\text{MnO}_4^-) - 1 \times \kappa_E = 0$ ,  
donc  $\kappa_E = \frac{n_{\text{versé}, E}(\text{MnO}_4^-)}{1}$ .
- La relation à l'équivalence est  
$$\frac{n_i(\text{Fe}^{2+})}{5} = \frac{n_{\text{versé}, E}(\text{MnO}_4^-)}{1}$$
  
où  $n_{\text{versé}, E}(\text{MnO}_4^-) = [\text{MnO}_4^-] \times V_E$ .
- La concentration effective en ion  $\text{Fe}^{2+}$  est :  $[\text{Fe}^{2+}] = \frac{5 \times [\text{MnO}_4^-] \times V_E}{V(\text{Fe}^{2+})}$ .

Doc. 5. Relation à l'équivalence du titrage des ions  $\text{Fe}^{2+}$  par les ions  $\text{MnO}_4^-$ .

$$u(\kappa) = \frac{S_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

avec  $n$  le nombre de mesures effectuées et  $S_{n-1}$  l'écart type expérimental.

Doc. 6. Calcul de l'incertitude-type sur  $\kappa$ , notée  $u(\kappa)$ .

## 2 Équivalence et réactifs limitants

Au début du titrage, le réactif titrant est le réactif limitant puis le réactif titré devient le réactif limitant. Cet état particulier au cours duquel se produit **un changement de réactif limitant** est appelé équivalence.

→ Activités 1 et 2

## 3 Virage du titrage

Dans le cas d'un **titrage colorimétrique**, l'équivalence est repérée par un **changement de teinte** du milieu réactionnel appelé **virage** (doc. 4). Quand l'espèce titrante est incolore ou très peu colorée, un indicateur coloré peut être ajouté à la solution titrée. Cette espèce, introduite en petite quantité, change brutalement de teinte au moment de l'équivalence. L'empois d'amidon ou le thiodène est un indicateur coloré couramment utilisé pour révéler la présence de diode.

## B Relation entre les quantités de matière des réactifs à l'équivalence

L'équivalence est assimilée à l'état final. Les réactifs titré et titrant sont entièrement consommés et leurs **quantités de matière sont nulles**. Ils ont donc été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction de titrage.

Soit la relation suivante, pour une équation chimique de type  
 $a \text{A}(\text{aq}) + b \text{B}(\text{aq}) \rightarrow c \text{C}(\text{aq}) + d \text{D}(\text{aq})$   
et  $\kappa_E$ , l'état d'avancement à l'équivalence :

$$\kappa_E = \kappa_f \quad \text{et} \quad \frac{n_i(\text{A})}{a} = \frac{n_{\text{versé}, E}(\text{B})}{b}$$

A : réactif titré

B : réactif titrant

a, b, c et d : nombres stœchiométriques correspondants

► La concentration en quantité de matière du réactif titré peut alors être facilement déduite (doc. 5).

→ Activités 2, 3 et 4

## C Incertitudes

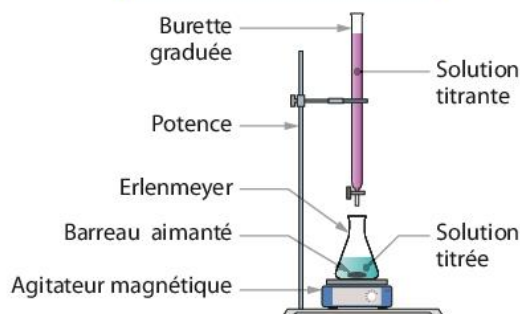
► Pour limiter les d'erreurs, **deux titrages consécutifs** sont réalisés.

► De même, afin d'améliorer la précision sur la valeur du volume versé à l'équivalence, **plusieurs mesures** peuvent être réalisées dans les mêmes conditions expérimentales. La valeur la plus représentative correspond à la valeur moyenne de cette série de mesures.

► Enfin, la prise en compte de l'écart-type expérimental permet de réaliser un **traitement statistique** de ces mesures afin d'estimer l'**incertitude-type** notée  $u(V_E)$  (☞ Fiche 13 p. 362 et doc. 6) et se rapprocher au plus près de la valeur attendue.

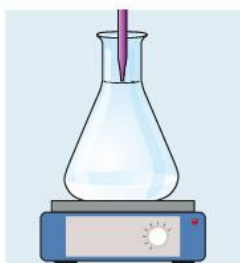
→ Activités 3 et 4

## Principe du titrage

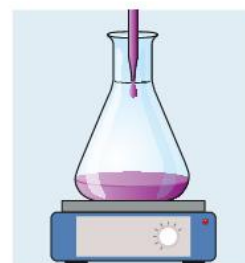


## Virage du titrage et équivalence

L'équivalence correspond à un **changement de réactif limitant** et doit être repérable par un **changement de teinte** du milieu réactionnel.



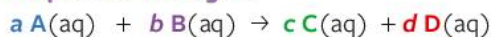
Avant l'équivalence



Après l'équivalence

## Relation à l'équivalence

Soit la transformation chimique du titrage :



À l'équivalence, les réactifs titrant et titré sont présents dans les proportions stœchiométriques :

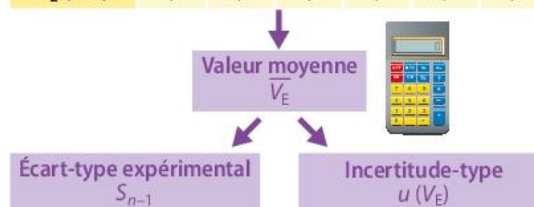
$$\frac{n_i(A)}{a} = \frac{n_{\text{versé, E}}(B)}{b}$$

## Incertitudes

limiter les erreurs expérimentales sur une mesure :

- ▶ Mettre en œuvre **deux titrages consécutifs** :  
1 titrage rapide + 1 titrage précis à la goutte près.
- ▶ Réaliser **plusieurs mesures**.  
La valeur la plus représentative correspond à la valeur moyenne de cette série de mesures.
- ▶ Procéder à un traitement statistique à partir de cette série de mesures pour calculer l'écart-type expérimental puis l'incertitude-type.

Mesure	1	2	3	4	5	6
$V_E$ (mL)	8,0	8,2	8,0	8,1	8,3	8,2

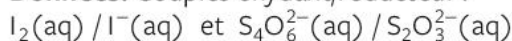


## Résoudre un exercice

### Énoncé

Pour déterminer la concentration  $C_{I_2}$  en diiode  $I_2(aq)$  d'un antiseptique, un volume  $V_1 = 25,0 \text{ mL}$  est titré par une solution de thiosulfate de sodium ( $2Na^+(aq) + S_2O_3^{2-}(aq)$ ), de concentration en soluté apporté  $C_{Na_2S_2O_3} = 0,025 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ . Un changement de teinte est observé à  $V_E = 11,8 \text{ mL}$ .

**Données.** Couples oxydant/réducteur :



1. Dresser le tableau d'avancement associé à la réaction de titrage.
2. Donner la relation entre les quantités de matière des réactifs à l'équivalence.
3. Calculer la concentration  $C_{I_2}$  de la solution antiseptique.

### Résolution

1. Équation chimique		$I_2(aq) + 2 S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow 2 I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	$x = 0$	$n_i(I_2)$	$n_{\text{versé},E}(S_2O_3^{2-})$	0	0
État final	$x_f = x_E$	$n_i(I_2) - 1 \times x_E$	$n_{\text{versé},E}(S_2O_3^{2-}) - 2 \times x_E$	$2x_E$	$1x_E$

2. À l'équivalence, les réactifs titré et titrant sont présents dans les proportions stœchiométriques de la réaction.

$$n_i(I_2) - 1 \times x_E = 0 \text{ et } n_{\text{versé},E}(S_2O_3^{2-}) - 2 \times x_E = 0 ;$$

$$\text{donc } x_E = \frac{n_{\text{versé},E}(S_2O_3^{2-})}{2}. \text{ D'où : } \frac{n_i(I_2)}{1} = \frac{n_{\text{versé},E}(S_2O_3^{2-})}{2}.$$

3. Soit la relation  $n_i(I_2) = C_{I_2} \times V$  et  $n_{\text{versé},E} = [S_2O_3^{2-}] \times V_E$ .

$$\text{Or } [S_2O_3^{2-}] = C_{Na_2S_2O_3} \text{ car un } Na_2S_2O_3 \text{ libère un ion } S_2O_3^{2-}.$$

$$\text{D'où } \frac{C_{I_2} \times V}{1} = \frac{C_{Na_2S_2O_3} \times V_E}{2} \text{ soit } C_{I_2} = \frac{C_{Na_2S_2O_3} \times V_E}{2 \times V} = \frac{0,025 \times 11,8}{2 \times 25,0}$$

$$C_{I_2} = 0,0059 \text{ mol} \cdot L^{-1} = 5,9 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}.$$

→ Exercice 19 p. 76

### Conseils

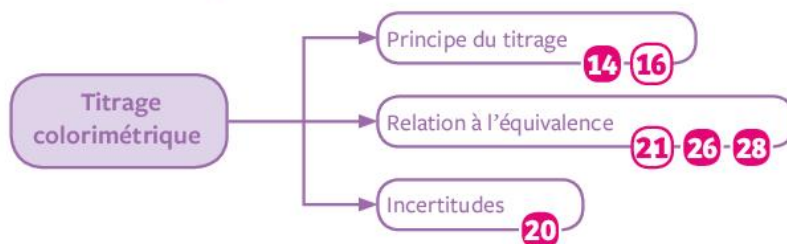
1. Écrire les demi-équations avant de les combiner pour éliminer les électrons et construire le tableau.

2. Définir l'équivalence puis traduire les proportions stœchiométriques en tenant compte des nombres stœchiométriques présents.

3. Utiliser la relation  $n = C \times V$ .

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.



**1** L'équivalence d'un titrage colorimétrique est repérée :

- A : par un changement brutal de pH.
- B : par un changement de teinte.
- C : uniquement avec un indicateur coloré.
- D : grâce à une droite d'étalonnage.

**2** Avant l'équivalence d'un titrage, le réactif limitant est :

- A : le réactif titré.
- B : le réactif titrant.
- C : réactif titré et réactif titrant.
- D : aucun des deux.

**3** Le montage d'un titrage colorimétrique utilise :

- A : une éprouvette jaugée.
- B : une éprouvette graduée.
- C : une burette jaugée.
- D : une burette graduée.

**4** L'indicateur coloré est ajouté dans :

- A : la burette contenant la solution titrante.
- B : l'erlenmeyer contenant la solution titrée.
- C : la pipette.
- D : l'erlenmeyer contenant la solution titrante.

**5** À l'équivalence, pour la réaction d'équation



la relation entre les quantités de matière des réactifs sont :

A :  $\frac{n_i(A)}{a} = \frac{n_{\text{versé}, E}(B)}{b}$ .

B :  $a \times n_i(A) = b \times n_{\text{versé}, E}(B)$ .

C :  $\frac{n_i(A)}{b} = \frac{n_{\text{versé}, E}(B)}{a}$ .

D :  $b \times n_i(A) = a \times n_{\text{versé}, E}(B)$ .

**6** La réaction support du titrage doit être :

- A : forcément totale.
- B : limitée.
- C : rapide.
- D : lente.

**7** Le titrage colorimétrique est réalisable :

- A : en présence d'espèces colorées uniquement.
- B : avec des espèces incolores.
- C : si au moins une des espèces est colorée.
- D : avec des espèces colorées et un indicateur coloré.

**8** La précision d'un titrage colorimétrique dépend :

- A : de la pression.
- B : du volume de l'erlenmeyer.
- C : de la précision de la verrerie utilisée pour les mesures de volume.
- D : du repérage de l'équivalence.

**9** Le volume équivalent déterminé par des groupes lors d'un TP est :

$$V_{\text{versé}, E} = 11,2 ; 11,0 ; 11,3 ; 11,1 ; 11,0 \text{ mL.}$$

- A : Le meilleur estimateur de cette série est 11,0 mL.
- B : L'écart-type expérimental est :  $S_{n-1} = 0,130$  mL.
- C : Le volume équivalent moyen est 11,5 mL.
- D : Le meilleur estimateur de cette série est la valeur moyenne.

**10** La solution contenant le réactif titré est prélevée à l'aide de :

- A : une pipette graduée.
- B : une pipette jaugée.
- C : une burette graduée.
- D : un compte-goutte.

**11** À l'équivalence d'un titrage mettant en jeu deux réactifs :

- A : les quantités de matière des réactifs sont toujours égales.
- B : les concentrations en quantité de matière des réactifs sont toujours identiques.
- C : les réactifs sont totalement consommés.
- D : seul l'un des réactifs est totalement consommé.

**12** Une solution incolore est titrée par une solution violette, la couleur de la solution titrée à l'équivalence est :

- A : bleu clair.
- B : violet foncé.
- C : incolore.
- D : violet clair.



## Entraînement

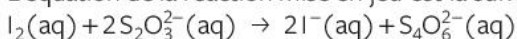
### Principe du titrage

**13** Une élève souhaite trouver la concentration effective en ions fer(II)  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  incolores en solution aqueuse. Pour cela, elle les fait réagir avec les ions  $\text{MnO}_4^- (\text{aq})$  d'une solution aqueuse de permanganate de potassium violette.

1. Identifier les réactifs titrant et titré.
2. Indiquer la verrerie utilisée pour prélever le réactif titré.
3. Faire un schéma légendé du montage.

**14** Aide p. 76 Dans un volume  $V = 25,0 \text{ mL}$  de solution de diiode  $\text{I}_2(\text{aq})$  de concentration  $C_{\text{I}_2} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , un volume  $V'$  d'une solution de thiosulfate de sodium ( $2\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ ) de concentration  $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}] = 4C_{\text{I}_2}$  est ajoutée progressivement.

L'équation de la réaction mise en jeu est la suivante :



1. Construire le tableau d'avancement de la réaction pour les valeurs du volume  $V'$  suivantes :

a. 5,0 mL    b. 10,0 mL    c. 12,5 mL    d. 15,0 mL.

2. Indiquer le réactif limitant dans chaque situation.
3. Observer le milieu réactionnel pour  $V' = 12,5 \text{ mL}$ .

### 15 Exercice inversé

Chaque phrase suivante est une réponse. Proposer une ou des questions appropriées à la réponse donnée.

1. Le changement de couleur signifie qu'il y a changement de réactif limitant.
2. C'est l'état du système pour lequel les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques.
3. Il s'agit d'une espèce chimique ajoutée au système chimique qui change de couleur au moment de l'équivalence.

**16** Aide p. 76 Le titrage des ions fer(II)  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  contenus dans une solution de sel de Mohr peut se faire à l'aide d'une solution de sulfate de cérium contenant des ions cérium(IV)  $\text{Ce}^{4+}(\text{aq})$ .

Quelques gouttes d'orthophénantroline sont introduites initialement dans l'erenmeyer.

#### Données

- Couples mis en jeu :  $\text{Ce}^{4+}(\text{aq}) / \text{Ce}^{3+}(\text{aq})$  et  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ .
- L'orthophénantroline prend une couleur jaune-orangée en présence d'ions  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  et bleue avec les ions  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ .

1. Établir l'équation de la réaction support du titrage.
2. Donner le rôle de l'orthophénantroline.
3. Expliquer comment repérer le virage du titrage.

## Relation à l'équivalence

### En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**17** Un technicien titre un volume  $V_1 = 10,0 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse contenant des ions fer(III)  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  à la concentration effective  $[\text{Fe}^{3+}] = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  par une solution aqueuse d'ions étain  $\text{Sn}^{2+}(\text{aq})$  à la concentration effective  $[\text{Sn}^{2+}] = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

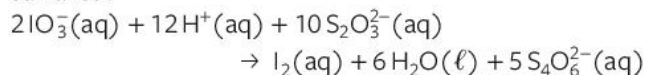
**Donnée.** Les couples en présence sont :  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  et  $\text{Sn}^{4+}(\text{aq}) / \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$ .

1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
2. Déterminer la relation à l'équivalence entre les quantités de matière des réactifs.
3. Calculer le volume versé à l'équivalence correspondant à ce titrage.

#### Critères d'évaluation

- 1 L'équation est écrite dans le bon sens et respecte la conservation des éléments et de la charge électrique.
- 2 Les proportions stœchiométriques sont respectées.
- 3 La formule utilisée pour le calcul est correcte et la valeur est donnée avec son unité et le bon nombre de chiffres significatifs.

**18** Les ions iodate contenus dans une solution aqueuse incolore d'iodate de potassium ( $\text{K}^+(\text{aq}) + \text{IO}_3^-(\text{aq})$ ) peuvent être titrés par une solution incolore de thiosulfate de sodium ( $2\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ ) selon l'équation de réaction suivante :



**Donnée.** La seule espèce colorée est le diiode.

1. Réaliser un schéma légendé du montage.
2. Retrouver les couples impliqués et justifier l'équation proposée.
3. Écrire la relation à l'équivalence sachant que les ions  $\text{H}^+(\text{aq})$  sont en excès.

#### Critères d'évaluation

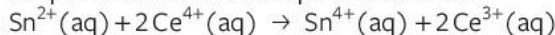
- 1 Le schéma est légendé, complet et soigné et de taille convenable.
- 2 Les couples sont identifiés et les demi-équations écrites dans le bon sens.
- 3 Les proportions stœchiométriques sont exploitées en tenant compte des nombres stœchiométriques de l'équation.

# Exercices

**19** Dans un volume  $V = 25,0 \text{ mL}$  d'une solution contenant des ions étain(II)  $\text{Sn}^{2+}(\text{aq})$  de concentration effective  $[\text{Sn}^{2+}] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  est ajouté un volume  $V_2$  d'une solution contenant des ions cérium(IV)  $\text{Ce}^{4+}(\text{aq})$  à la concentration effective :

$$[\text{Ce}^{4+}] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

L'équation de la réaction qui a lieu s'écrit :



1. Définir l'équivalence.
2. Construire le tableau d'avancement et donner la relation entre les quantités de matière à l'équivalence.
3. En déduire la valeur  $V_{2E}$  du volume  $V_2$  pour laquelle les réactifs ont été mélangés à l'équivalence.

## 20 Aide p. 76 Calcul d'incertitude

Lors d'une séance de TP, des élèves titrent  $20,0 \text{ mL}$  d'une solution antiseptique de Lugol contenant du diiode  $\text{I}_2(\text{aq})$  par une solution contenant des ions thiosulfate  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ .

L'équation de la réaction support du titrage est :



Données

- L'incertitude-type sur la mesure  $X$  est donnée par la relation

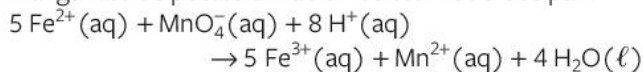
$$u(X) = \frac{S_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

avec  $n$  le nombre de mesures.

- La concentration effective en ions thiosulfate est :  $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}] = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .
- Les valeurs de volume versé à l'équivalence  $V_{\text{versé}, E}$  obtenues par la classe sont les suivantes (en mL) : 10,3 ; 10,1 ; 10,2 ; 10,5 ; 10,6 ; 10,3 ; 11,2 ; 10,1 ; 10,4.

1. Indiquer si la série de mesures comporte un résultat aberrant à rejeter.
2. Donner le meilleur estimateur de la série de mesures.
3. Calculer l'écart-type expérimental  $S_{n-1}$  et en déduire l'incertitude-type avec deux chiffres significatifs.

**21** Aide p. 76 La transformation chimique lors du titrage d'une solution de sulfate de fer par une solution de permanganate de potassium acidifiée est modélisée par :



► Déterminer la relation à l'équivalence :

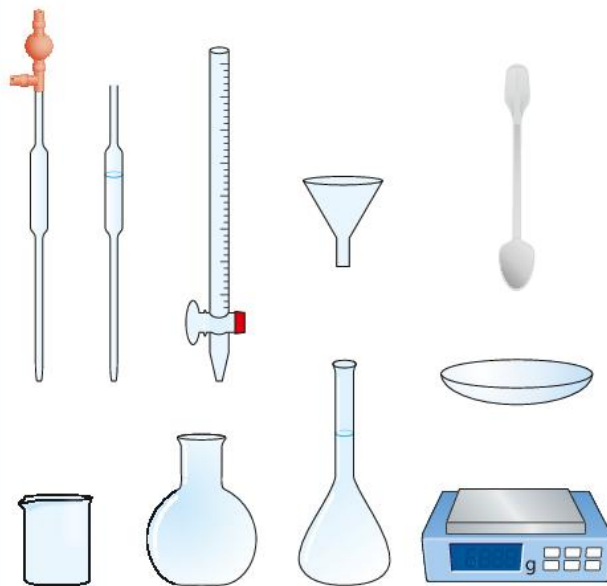
- a.  $n_i(\text{Fe}^{2+}) = n_{\text{versé}, E}(\text{MnO}_4^{-})$ .
- b.  $\frac{1}{5} n_i(\text{Fe}^{2+}) = n_{\text{versé}, E}(\text{MnO}_4^{-})$ .
- c.  $5 n_i(\text{Fe}^{2+}) = n_{\text{versé}, E}(\text{MnO}_4^{-})$ .

**22** Le dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$  est un gaz, très soluble dans l'eau, formé lors de la combustion du soufre dans le dioxygène. Une solution aqueuse de dioxyde de soufre est titrée par une solution aqueuse de permanganate de potassium.

1. Choisir dans la liste suivante le matériel nécessaire pour réaliser ce titrage.

2. Décrire le mode opératoire à suivre pour réaliser ce titrage colorimétrique.

### Doc. 1 Matériel de laboratoire



### Différenciation

#### Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 14

1. Fiche 12 p. 361
2. Le réactif limitant correspond à la plus petite valeur de  $\kappa_{\text{max}}$ .
3. Mettre en relation les quantités de matière des réactifs  $n_i$  et  $n_E$ .

#### Aide pour l'exercice 16

1. Écrire les demi-équations dans le bon sens puis les combiner pour éliminer les électrons.
2. Repérer la quantité ajoutée et conclure sur le rôle de cette espèce.
3. S'approprier les données de l'énoncé sur les teintes.

#### Aide pour l'exercice 20

1. Identifier la mesure qui apparaît bien différente des autres de la série.
2. Il s'agit de la valeur moyenne.
3. Utiliser un tableur ou la calculatrice pour le calcul.
4. Comptabiliser le nombre de mesures effectuées.

#### Aide pour l'exercice 21

Les quantités de matière des réactifs introduits à l'équivalence respectent les proportions stœchiométriques de la réaction.



## Synthèse

### 23 Teneur en vitamine C d'un jus de fruit

→ Analyser, réaliser, valider



La vitamine C ou acide ascorbique  $C_6H_8O_6$  contenue dans une ampoule de jus de fruit peut être titré par une solution de diiode  $I_2$  selon le protocole suivant :

Dans un erlenmeyer, introduire  $V = 10,0$  mL de jus de fruit de l'ampoule puis titrer ce jus avec une solution de diiode à la concentration  $C' = 2,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

#### Données

- Couples mis en jeu :  $I_2(\text{aq}) / I^-(\text{aq})$  et  $C_6H_8O_6(\text{aq}) / C_6H_8O_6(\text{aq})$ .
  - $M(\text{acide ascorbique}) = 176 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- Faire un schéma légendé du montage de titrage.
  - Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
  - Établir la relation traduisant l'équivalence du titrage.
  - Déterminer la quantité de matière de vitamine C dans l'ampoule.
  - L'étiquette de ces ampoules indique 5 mg d'acide ascorbique. Vérifier si les résultats expérimentaux sont en accord avec l'étiquette.

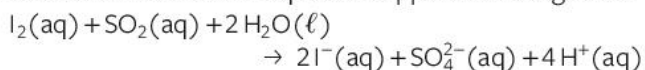
### 24 Composition d'un vin

→ S'approprier, analyser, réaliser, valider

La teneur maximale en dioxyde de soufre  $SO_2$  d'un vin est imposée par une réglementation européenne.

Un volume  $V_1 = 20,0$  mL de vin blanc limpide très peu coloré en vert pâle, 4 mL d'acide sulfurique incolore et 1 mL d'empois d'amidon également incolore sont introduits dans un erlenmeyer.

Le mélange est titré par une solution aqueuse de diiode  $I_2(\text{aq})$  de concentration  $C_2 = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . L'équivalence est obtenue après avoir versé un volume  $V_E = 6,3$  mL de solution de diiode. L'équation support du dosage est :



#### Doc. 1 Extrait de la réglementation sur le vin

Réglementation européenne :

« La concentration en masse en dioxyde de soufre ne doit pas dépasser  $210 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  dans un vin blanc ».

#### Doc. 2 Principe du titrage du vin

En présence d'empois d'amidon, le diiode donne à une solution aqueuse une teinte bleu foncé. Les ions iode  $I^-(\text{aq})$ , les ions sulfate  $SO_4^{2-}(\text{aq})$  et le dioxyde de soufre en solution sont incolores.



Donnée.  $M(SO_2) = 64,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

- Justifier le changement de teinte attendu.
- Déterminer la concentration en quantité de matière  $C_1$  en dioxyde de soufre de ce vin et en déduire que sa concentration en masse  $C_{\text{mexp}}$  est égale à  $0,201 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .
- Justifier que cette concentration est conforme à la réglementation européenne.

### 25 Acide oxalique dans les feuilles d'épinards

→ Analyser, réaliser

L'acide oxalique  $H_2C_2O_4(\text{aq})$  est présent dans les feuilles d'épinards.



Lors d'un contrôle de qualité, la teneur massique en acide oxalique des feuilles fraîches d'épinards est déterminée.

Un prélèvement de 20,0 mL d'une solution obtenue après macération des feuilles est titré par une solution acidifiée de permanganate de potassium ( $K^+(\text{aq}) + MnO_4^-(\text{aq})$ ) de concentration effective  $[MnO_4^-] = 5,00 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Le volume versé à l'équivalence est  $V_E = 11,2$  mL.

Donnée.  $M(H_2C_2O_4) = 90 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

- Établir le tableau d'avancement de la réaction.
- Calculer la quantité de matière d'acide oxalique dans le prélèvement.
- En déduire la masse d'acide oxalique qu'il a fallu peser pour obtenir, dans une fiole jaugée de 100,0 mL, la solution titrée.

## 26 Aide p. 78 Pluies acides

→ S'approprier, réaliser, valider



Le dioxyde de soufre issu de l'activité humaine est émis par les centrales thermiques. La dissolution totale de ce gaz dans la vapeur d'eau de l'atmosphère conduit à la formation d'espèces acides, d'où l'appellation « pluies acides ». Une chercheuse souhaite déterminer la concentration en dioxyde de soufre d'une eau de pluie récupérée à proximité d'une centrale thermique.

### Doc. 1 Protocole expérimental

La chercheuse fait « barboter » pendant soixante heures,  $10,0 \text{ m}^3$  de gaz émis par la centrale dans  $1,0 \text{ L}$  d'eau : la solution  $S_0$  obtenue est analysée.

Elle place  $25,0 \text{ mL}$  de la solution  $S_0$  dans un erlenmeyer et verse ensuite, goutte à goutte, une solution de permanganate de potassium de concentration  $1,00 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  jusqu'à persistance d'une coloration violette.

Le volume de solution de permanganate de potassium alors versé est de  $5,4 \text{ mL}$ .

### Doc. 2 Normes de qualité de l'air

Seuil d'information et de recommandation :  $300 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  de  $\text{SO}_2$  en moyenne sur 1 heure.

### Données

- Couples mis en jeu :  $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) / \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$  et  $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) / \text{SO}_2(\text{aq})$ .
- $M(\text{SO}_2) = 64,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Solutions aqueuses	Couleurs des solutions aqueuses
Solution d'acide sulfurique ( $2\text{H}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ )	Incolore
Solution de sulfate de manganèse ( $\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ )	Incolore
Solution de permanganate de potassium ( $\text{K}^+(\text{aq}) + \text{MnO}_4^-(\text{aq})$ )	Violet
Solution de dioxyde de soufre $\text{SO}_2(\text{aq})$	Incolore

- Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
- Calculer la quantité de matière d'ions permanganate versée à l'équivalence.
- En utilisant la relation à l'équivalence, déterminer la quantité de dioxyde de soufre dans l'air.
- En déduire la concentration en masse du dioxyde de soufre.
- Comparer la concentration obtenue aux normes de la qualité de l'air.

## 27 Analyse chimique d'un anti-mousse

→ Raisonner, réaliser

Pour freiner l'apparition de mousse dans la pelouse, les jardiniers peuvent utiliser du sulfate de fer(II).

Les ions fer(II) contenus dans un produit anti-mousse peuvent être titrés par une solution de dichromate de potassium ( $2 \text{K}^+(\text{aq}) + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})$ ).

### Données

- Couples mis en jeu :  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) / \text{Cr}^{3+}(\text{aq})$  orange ;  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$  vert.
- $M(\text{Fe}) = 56,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

### Doc. 1 Protocole expérimental

Dans un erlenmeyer,  $V = 20,0 \text{ mL}$  de solution d'anti-mousse commerciale diluée au dixième (S) et  $1 \text{ mL}$  d'acide sulfurique ( $2\text{H}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) sont introduits.

Cette solution est titrée par une solution de dichromate de potassium de concentration effective en ions dichromate  $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Un titrage grossier donne un volume versé à l'équivalence  $V_{1E} = 18,0 \text{ mL}$  et un titrage précis donne  $V_{2E} = 18,2 \text{ mL}$ .

- Écrire l'équation de réaction support du titrage.
- Expliquer comment est repérée l'équivalence du titrage.
- Déterminer la concentration en quantité de matière en ions fer(II) dans la solution commerciale.
- En déduire la masse en ions fer(II)  $m_{\text{fer}}$  dans  $1 \text{ L}$  de solution commerciale.

### Différenciation

Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 26

- Écrire les demi-équations dans le bon sens.
- Les ions permanganate sont dans la burette : il faut donc utiliser  $V_E$ .
- Respecter les proportions stœchiométriques.
- Regrouper les informations connues sur le dioxyde de soufre pour calculer la masse dans l'échantillon prélevé.





## Problèmes

### 28 Détermination de la teneur en soufre d'un combustible

Le fioul est un combustible issu du raffinage du pétrole. Il est essentiellement utilisé pour le chauffage et comme carburant pour les moteurs diesel.

Le rendement de sa combustion est de 83 %, mais elle produit des résidus néfastes pour l'environnement comme les  $\text{NO}_x$  et le dioxyde de soufre.

La législation française impose que le pourcentage en masse en soufre dans le fioul soit inférieur ou égal à 0,3 %.

#### Doc. 1 : Protocole suivi pour déterminer la teneur en soufre

1. Brûler 100 g de fioul dans l'air. Le dioxyde de soufre contenu dans les gaz issus de la combustion du fioul se dissout totalement dans  $V_0 = 500$  mL d'eau.

2. Prélever un volume  $V = 10,0$  mL.

3. Titrer avec une solution acidifiée de permanganate de potassium de concentration effective :

$$[\text{MnO}_4^-] = 5,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Le volume versé à l'équivalence est  $V_E = 12,5$  mL.

#### Doc. 2 : La notion de pourcentage en masse

Le pourcentage en masse  $p$  d'une espèce chimique  $X$  contenue dans un échantillon de masse  $m$  est donnée par la relation suivante :

$$p = \frac{m_X}{m_{\text{échantillon}}}, \text{ exprimé en } \%$$

**Donnée.** Les couples mis en jeu :



► Préciser si le fioul testé est conforme à la législation.

### Différenciation

#### Apprendre à résoudre 28

1. Donner l'équation support du titrage à l'aide des demi-équations d'oxydoréduction.

2. Écrire la relation à l'équivalence entre les quantités de matière des réactifs.

3. Calculer la quantité de matière de  $\text{SO}_2$ .

4. En déduire la masse de soufre dans l'échantillon de fioul.

5. Répondre au problème en calculant le pourcentage en masse.

### 29 Solution de Bétadine

La Bétadine® contient de la polyvidone iodée. Lors de son utilisation, la polyvidone libère des molécules de diiode  $\text{I}_2(\text{aq})$ , connue pour ses vertus antiseptiques.

#### Doc. 1 : Étiquette d'une dose de Bétadine® à 10 %

##### COMPOSITION

Polyvidone iodée : 0,5 g  
par flacon de 5 mL

Excipient : nonoxynol 9, acide citrique monohydraté, hydroxyde de sodium, glycérol, hydrogénophosphate de sodium dihydraté, eau purifiée.



#### Doc. 2 Protocole de titrage du diiode contenu dans la bétadine

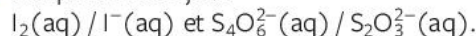
Un volume  $V = 10,0$  mL de Bétadine® est titré par une solution de thiosulfate de sodium, de concentration effective en ions thiosulfate  $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}] = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Le volume de solution titrante versé lorsque l'on observe un changement de couleur est  $V_E = 8,6$  mL.

#### Données

• Masse molaire de la polyvidone iodée  $M = 2\,344 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

• Couples mis en jeu :



► Indiquer si le volume versé à l'équivalence trouvé lors du titrage de la Bétadine® est en accord avec la composition indiquée sur l'étiquette.

### 30 Calcul d'incertitude

12 groupes au sein d'une classe réalisent le titrage des ions fer(II) en milieu acide par les ions permanganate.

#### Doc. 1 Protocole du dosage

Prélever un volume  $V = 20,0$  mL de solution de sulfate de fer ( $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) acidifiée à l'aide d'une pipette jaugée et introduire ce prélèvement dans un erlenmeyer.

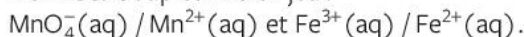
Effectuer le titrage à l'aide d'une solution de permanganate de potassium ( $\text{K}^+(\text{aq}) + \text{MnO}_4^-(\text{aq})$ ) de concentration effective en ions permanganate  $[\text{MnO}_4^-] = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

#### Doc. 2 Repérage de l'équivalence

Les volumes équivalents relevés sur les 12 binômes sont les suivants :

Binôme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$V_E$ (mL)	12,0	12,5	11,8	12,0	7,0	12,1	12,4	12,5	11,7	12,1	15,4	11,9

**Donnée.** Couples mis en jeu :



► Déterminer la concentration effective en ions fer(II) ainsi que son incertitude-type et exprimer le résultat sous forme d'un intervalle. ➔ Fiche 13 p. 362

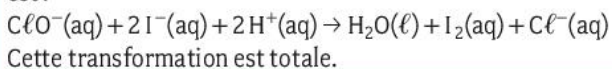
## 31 Titrage « en retour » de l'eau de Javel

L'eau de javel est une solution aqueuse contenant des ions hypochlorite  $\text{ClO}^-(\text{aq})$  dont l'efficacité dépend de la concentration de ces ions. Cette solution est titrée par une méthode indirecte dite « en retour ».

### Doc. 1 Principe de la manipulation

Un excès d'ions iodure  $\text{I}^-(\text{aq})$   $V' = 20 \text{ mL}$  est ajouté à un volume  $V = 10,0 \text{ mL}$  de solution d'eau de Javel dilué au dixième. Les ions hypochlorite  $\text{ClO}^-(\text{aq})$  oxydent en milieu acide les ions iodure  $\text{I}^-(\text{aq})$ .

L'équation de la réaction modélisant la transformation est :



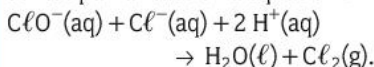
### Doc. 2 Titration du diiode

Le diiode formé est titré à l'aide d'une solution de thiosulfate de sodium de formule  $(2 \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq}))$  de concentration effective en ions thiosulfate  $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}] = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Le volume versé à l'équivalence est  $V_{\text{versé}, E} = 10,0 \text{ mL}$ .

### Doc. 3 Degré chlorométrique °Chl

En milieu acide, l'eau de Javel subit une transformation totale représentée par la réaction d'équation :



Cette transformation permet de définir le degré chlorométrique. Celui-ci est égal au volume, exprimé en litres, de dichlore produit par litre d'eau de Javel.



**Donnée.** Volume molaire d'un gaz  $V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

► Vérifier l'indication portée sur la bouteille commerciale d'eau de Javel et commenter le résultat.

## Objectif BAC

## 32 Titration des ions nitrate

Les ions nitrate  $\text{NO}_3^-$  épandus et en excès sont emportés par les eaux de pluie dans les sols et les rivières.

À l'origine des phénomènes d'eutrophisation (croissance excessive des algues), les ions nitrates sont toxiques pour l'homme.

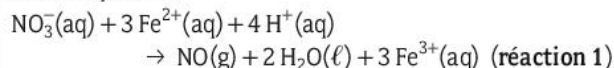


### Doc. 1 Normes de potabilité des eaux françaises

Minéraux	Valeurs limites ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
Sulfate $\text{SO}_4^{2-}$	250
Nitrate $\text{NO}_3^-$	50
Chlorure $\text{Cl}^-$	250
Potassium $\text{K}^+$	12

### Doc. 2 Titration en retour

Un titrage en retour se fait en deux étapes. Les ions nitrate réagissent de façon totale avec un excès connu d'ions fer(II) selon l'équation :



Puis, les ions fer(II) n'ayant pas réagi sont titrés par une solution de dichromate de potassium (réaction 2).

### Doc. 3 Protocole suivi

**Étape 1** Introduire  $V_{\text{eau}} = 50 \text{ mL}$  d'eau de source dans un erlenmeyer. Ajouter  $V_1 = 100 \text{ mL}$  d'une solution acidifiée contenant des ions  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ ,  $n_i(\text{Fe}^{2+})$  de concentration effective en ions fer(II)  $[\text{Fe}^{2+}] = 1,00 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  et porter à ébullition.

**Étape 2** Titrer les ions fer(II) restant,  $n_{\text{restant}}(\text{Fe}^{2+})$  par une solution de dichromate de potassium  $(2 \text{K}^+(\text{aq}) + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}))$  de concentration effective  $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] = 3,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , pour un volume versé à l'équivalence  $V_{\text{versé}, E} = 10,2 \text{ mL}$ .

**Données.** Couples mis en jeu :

- $\text{NO}_3^-(\text{aq}) / \text{NO}(\text{g})$ .
- $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) / \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ .
- $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) / \text{Cr}^{3+}(\text{aq})$ .
- $M(\text{NO}_3^-) = 62,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

1. Retrouver l'équation de la réaction 2.
  2. Faire un schéma annoté du dispositif de titrage.
  3. Dresser le tableau d'avancement et utiliser l'équivalence pour déterminer  $n_{\text{restant}}(\text{Fe}^{2+})$ .
  4. Calculer la quantité initiale d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  puis en déduire la quantité ayant réagi lors de la réaction 1.
- Montrer que l'eau analysée respecte les normes imposées.



# Structure et propriétés des molécules et des ions

*Comment peut-on relier la structure d'une molécule ou d'un ion à certaines de ses propriétés ?*

## Objectifs

Établir le schéma de Lewis d'une entité

➤ Activité 1 p. 82

Interpréter la géométrie d'une entité

➤ Activité 2 p. 83

Déterminer le caractère polaire d'une liaison

➤ Activité 3 p. 84

Déterminer le caractère polaire ou apolaire d'une molécule

➤ Activité 4 p. 85

— La cuisine moléculaire est apparue ces dernières années grâce à une meilleure connaissance des structures et propriétés des entités chimiques.

## 1 Établir le schéma de Lewis d'une entité

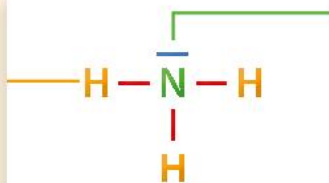
Les engrais azotés, comme le nitrate d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) fabriqué à partir de l'ammoniac  $\text{NH}_3$ , sont les engrais les plus utilisés en agriculture pour pallier une carence en azote chez certaines plantes.

Existe-t-il un point commun structural entre l'ion ammonium et l'ammoniac ?

### Doc. 1 Méthode pour déterminer le schéma de Lewis d'une molécule

Exemple de la molécule d'ammoniac  $\text{NH}_3$ .

Configuration électronique de l'hydrogène [ $1\text{H}$ ] =  $1s^1$ .  
Chaque atome d'hydrogène possède 1 électron de valence. Il doit gagner 1 seul électron pour avoir la même configuration électronique stable que l'hélium.



Configuration électronique de l'azote [ $7\text{N}$ ] =  $1s^2 2s^2 2p^3$ .  
L'azote possède 5 électrons de valence. Il doit **gagner 3 électrons** sur sa couche de valence pour avoir la même configuration électronique stable que le gaz noble le plus proche (néon).

Nombre total  $N_v$  d'électrons de valence dans  $\text{NH}_3$  :  $5 + 3 \times 1 = 8$  soit 4 doublets d'électrons.

L'atome d'azote forme 3 doublets liants pour s'associer aux 3 atomes d'hydrogène.

Il reste 1 doublet non liant sur l'azote.

N s'entoure de 4 doublets (8 électrons comme le néon).

H s'entoure d'un doublet (2 électrons comme l'hélium).

### Doc. 2 Méthode pour déterminer le schéma de Lewis d'un ion

Un ion est une entité chargée positivement (cation) ou négativement (anion). Il est essentiel de tenir compte de la charge de l'ion dans la détermination du nombre total  $N_v$  d'électrons de valence.

#### Appropriation et analyse

→ S'approprier

→ S'approprier, analyser

→ Analyser, réaliser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Communiquer

- 1 Préciser ce que représentent un tiret entre un atome d'azote et un atome d'hydrogène et le tiret situé au-dessus de l'atome d'azote.
- 2 Indiquer s'il faut, par rapport à une entité neutre, ajouter ou enlever des électrons au nombre  $N_v$  dans le cas d'un anion puis dans le cas d'un cation.
- 3 À l'aide des docs 1 et 2 et de la **Classification périodique en couverture**, proposer les schémas de Lewis de la molécule de diazote  $\text{N}_2$  et de l'ion ammonium  $\text{NH}_4^+$ .
- 4 Justifier la stabilité de l'atome d'azote dans une molécule d'ammoniac où il forme 3 liaisons covalentes et dans un ion ammonium où il en forme 4.
- 5 Proposer les schémas de Lewis des molécules  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  et des ions  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HO}^-$  et  $\text{O}^{2-}$ .
- 6 Lister les étapes qui permettent d'établir le schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion mono ou polyatomique.

**DIFFÉRENCIATION** : Bonus

## 2 Interpréter la géométrie d'une entité

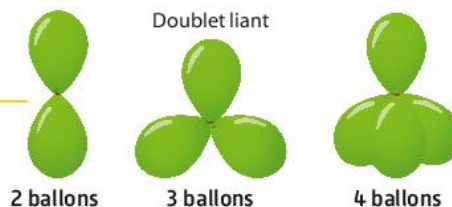
Le schéma de Lewis de la molécule d'eau pourrait nous laisser croire que sa géométrie est linéaire. Or, celle-ci est coudée. Cette géométrie lui confère des propriétés physico-chimiques très particulières.

Comment justifier que la molécule d'eau ne soit pas linéaire mais coudée ?

### Doc. 1 Modèle de répulsion de Gillespie

Plusieurs ballons de baudruche reliés par leur embouchure adoptent une géométrie particulière et modélisent ainsi les géométries digonale, trigonale et tétraogonale des molécules à 2, 3 et 4 doublets liants.

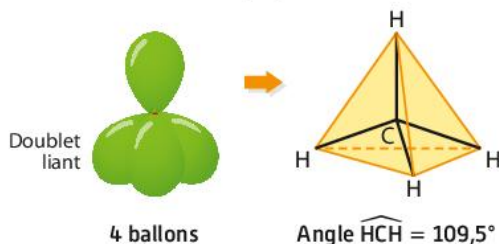
Dans le modèle de Gillespie, ce sont les doublets liants ou non liants autour de l'atome central d'une molécule qui jouent le rôle des ballons. Constitués d'une paire d'électrons (chargés négativement), les doublets se repoussent au maximum dans l'espace afin d'être les plus éloignés possibles les uns des autres.



### Doc. 2 Géométrie d'une molécule simple

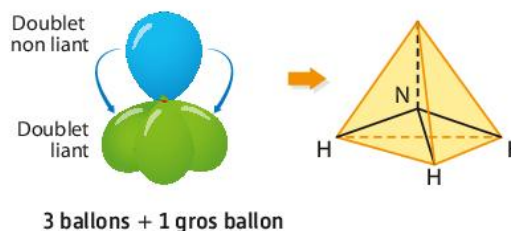
#### Molécule à 4 doublets liants ( $\text{CH}_4$ )

Quatre doublets liants forment un tétraèdre dont le centre est occupé par l'atome central.



#### Molécule à 3 doublets liants et 1 non liant ( $\text{NH}_3$ )

Un doublet non liant est plus répulsif qu'un doublet liant. Les doublets liants forment une pyramide à base triangulaire.



### Mise en œuvre

→ S'approprier, analyser, réaliser

1 Sur un smartphone, télécharger et ouvrir l'application « Mirage – géométrie des molécules ». Étudier le couple de marqueurs du méthane (cartes 2-7) et le couple de marqueurs de l'ammoniac (3-8) disponibles sur <http://mirage.ticedu.fr/?p=2324>. Justifier la géométrie de ces deux molécules.

2 Dans la molécule de méthane, l'angle  $\widehat{\text{HCH}}$  est de  $109,5^\circ$ . Donner la valeur qui serait attendue de l'angle  $\widehat{\text{HNN}}$  dans la molécule d'ammoniac. Expliquer.

3 En réalité, l'angle  $\widehat{\text{HNN}}$  n'est que de  $106,7^\circ$ . Proposer une explication.

4 L'ion oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+$  a une géométrie pyramidale et l'ion ammonium  $\text{NH}_4^+$ , une géométrie tétraédrique. À partir des schémas de Lewis de ces ions polyatomiques, justifier ces structures.

### Conclusion

5 Justifier, à partir de son schéma de Lewis, la forme coudée de la molécule d'eau et l'écart de la valeur de l'angle  $\widehat{\text{HOH}}$  de  $104,5^\circ$  par rapport à la valeur de  $109,5^\circ$ . Valider en étudiant le couple de cartes 4-9 de l'eau  $\text{H}_2\text{O}$ .

### De l'activité au cours

→ Valider

6 Expliquer comment interpréter la géométrie d'une molécule simple à partir de son schéma de Lewis.

### 3

## Déterminer le caractère polaire d'une liaison

Dans les molécules de dichlore  $\text{Cl}_2$  et de chlorure d'hydrogène  $\text{HCl}$ , un atome de chlore établit, respectivement, une unique liaison covalente avec un atome de chlore, et une liaison avec un atome d'hydrogène.

Les électrons de la liaison covalente sont-ils équitablement partagés par les atomes ?

#### Doc. 1 L'électronégativité d'un atome

Atome peu électronégatif      Atome très électronégatif



L'électronégativité est une grandeur qui traduit la capacité que possède un atome à attirer vers lui les électrons participant à une liaison covalente. Dans la molécule de chlorure d'hydrogène  $\text{HCl}$ , l'atome de chlore, plus électronégatif que l'atome d'hydrogène, attire davantage le doublet d'électrons de son côté ou vers lui.

#### Doc. 2 Échelle d'électronégativité de Pauling

L'électronégativité de Pauling d'un atome est notée  $\chi$  (khi). C'est un chiffre compris entre 0 et 4. Plus l'électronégativité est élevée, plus l'atome considéré est électronégatif. Elle augmente de la gauche vers la droite sur une ligne et du bas vers le haut dans une colonne.

L'atome le plus électronégatif est l'atome de fluor. L'électronégativité des gaz nobles n'est pas définie.

H							He
2,2							
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
1,0	1,6	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
0,9	1,3	1,6	1,9	2,2	2,6	3,2	

#### Doc. 3 Charges électriques partielles

- La liaison  $\text{A-B}$  est polarisée si la différence d'électronégativité entre les deux atomes A et B est supérieure ou égale à 0,4 ( $\chi_A - \chi_B \geq 0,4$ ).
- L'atome A, le plus électronégatif, attire davantage les électrons de la liaison vers lui que le second atome. Il porte une charge électrique partielle négative notée  $\delta^-$  et sera noté  $\text{A}^{\delta^-}$ .
- L'atome B, le moins électronégatif, a perdu partiellement le doublet d'électrons et porte une charge électrique partielle positive  $\delta^+$  et sera noté  $\text{B}^{\delta^+}$ . Les charges électriques partielles  $\delta^-$  et  $\delta^+$  respectent la neutralité de la molécule et sont donc égales en valeur absolue.
- La formule de la molécule  $\text{A-B}$  s'écrit :  $\text{A}^{\delta^-}-\text{B}^{\delta^+}$ .

#### Appropriation et analyse

→ S'approprier, analyser

1 Parmi les liaisons suivantes  $\text{H-F}$ ,  $\text{B-H}$ ,  $\text{O-H}$ ,  $\text{F-F}$ ,  $\text{C-H}$  et  $\text{N-H}$ , indiquer celles qui sont polarisées et celles qui ne le sont pas. Expliquer.

2 Représenter les charges partielles sur les liaisons polarisées.

#### Conclusion

3 Déterminer si la liaison covalente dans les molécules de dichlore et de chlorure d'hydrogène est ou non polarisée. Si oui, représenter les molécules en y indiquant les charges partielles.

#### De l'activité au cours

→ Valider

4 Expliquer comment déterminer si une liaison est polarisée ou non.

DIFFÉRENCIATION : ➔ Bonus

## 4 Déterminer le caractère polaire ou apolaire d'une molécule

Un solvant moléculaire contient des molécules électriquement neutres. Or, il est possible d'attirer un mince filet de ce liquide moléculaire polaire, s'écoulant d'une burette graduée, avec une baguette électrisée par frottement.

Le cyclohexane peut-il lui aussi être attiré par un matériau chargé par électrisation ?

### Doc. 1 Une drôle d'expérience



Constitué de molécules polaires, le filet de liquide qui s'écoule de la burette est attiré par un tube chargé.

### Matériel et produits disponibles

Burette graduée • Bécher de 100 mL  
• Bâton d'ébonite • Chiffon.

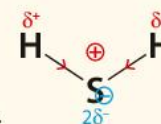
### Doc. 2 Quelques solvants disponibles

Acétone	Cyclohexane	Éthanol	Eau

### Vocabulaire

• Une molécule est **polaire** si les centres des charges partielles négatives et positives sont différents.

Exemple : la molécule de sulfure d'hydrogène  $H_2S$ .



• Une molécule est **apolaire** si les deux centres des charges partielles sont confondus.

Exemple : la molécule de dioxyde de carbone  $CO_2$ .



### Mise en œuvre

→ Réaliser

→ Analyser, raisonner

### Conclusion

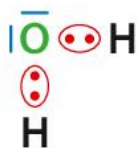
### De l'activité au cours

→ Communiquer

- Déterminer, en réalisant l'expérience, si l'eau distillée est attirée par une baguette électrisée.
- Choisir un autre solvant disponible et reprendre l'expérience précédente en la présentant à vos camarades.
- Dessiner les formules semi-développées des molécules de solvant du doc. 2, en respectant les orientations des liaisons dans l'espace.
- Déterminer les liaisons polarisées de chaque molécule, représenter les centres des charges partielles positives et négatives de la molécule et en déduire si celle-ci est polaire.
- Indiquer s'il est possible d'attirer un mince filet de cyclohexane avec une baguette électrisée. Justifier.
- Donner les conditions nécessaires pour qu'une molécule soit qualifiée de polaire.

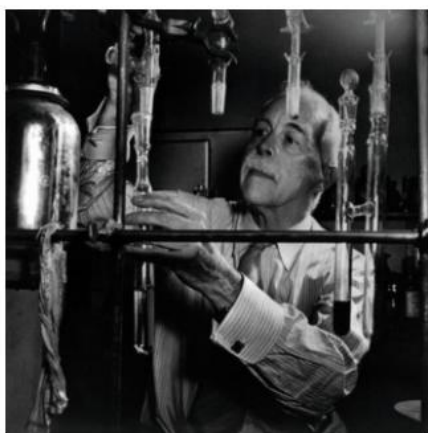
DIFFÉRENCIATION : → Aide → Exercice supplémentaire

Dans la molécule d'eau  $\text{H}_2\text{O}$ , un atome d'oxygène partage deux de ses électrons de valence avec deux électrons de deux atomes d'hydrogène.



Il reste sur l'atome d'oxygène quatre électrons de valence qui sont répartis dans deux **doublets non liants**.

Doc. 1. Modèle de Lewis de la molécule d'eau.



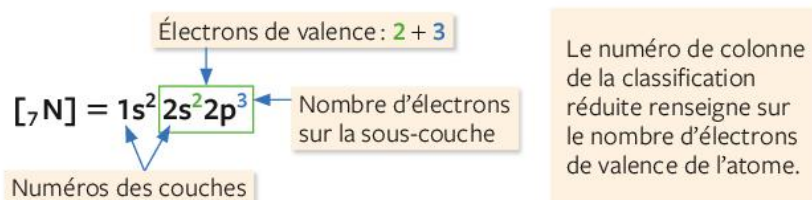
Doc. 2. Gilbert Lewis est un chimiste américain connu pour ses travaux sur les doublets et la découverte des liaisons covalentes.

## A Schéma de Lewis d'une molécule ou d'un ion

### 1 Modèle de Lewis de la liaison chimique

► En formant des molécules, les atomes s'associent de façon à acquérir la configuration électronique stable du gaz noble de numéro atomique le plus proche dans la classification périodique.

L'ensemble des **électrons de valence** (électrons de la dernière couche) se répartissent en **doublets liants** et **doublets non liants** (doc. 1).



► Un **doublet liant** ou **liaison covalente** résulte de la mise en commun de **2 électrons de valence par 2 atomes** ; chaque atome apportant un électron.

► Un **doublet non liant** est constitué de deux électrons non-partagés par un atome.

► Une liaison formée de plusieurs doublets d'électrons est qualifiée de **liaison multiple**. Elle peut être double ou triple.

→ Acquis 2<sup>de</sup>

### 2 Établir le schéma de Lewis d'une entité

1 Calculer le nombre total  $N_v$  d'électrons de valence, à partir des configurations électroniques des atomes présents dans l'entité.

2 En déduire le nombre de doublets liants et non liants :  $\frac{N_v}{2}$ .

3 Placer au centre de la molécule l'atome qui doit gagner le plus grand nombre d'électrons. Répartir les doublets liants avec les autres atomes et les doublets non liants de façon à acquérir la configuration stable du gaz noble de numéro atomique le plus proche dans la classification périodique.

4 Former, si nécessaire, des liaisons multiples et vérifier que les atomes des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> période de la classification périodique ont une stabilité maximale en étant entourés de 8 électrons (4 doublets) – à l'exception de l'hydrogène qui ne s'entoure que de 2 électrons (1 doublet).



Pour un cation  $C^{x+}$ , le nombre d'électrons de valence doit être diminué de  $x$  soit  $(N_v - x)$  et pour un anion  $A^{y-}$ , le nombre d'électrons de valence doit être augmenté de  $y$  soit  $(N_v + y)$ .

### Schémas de Lewis de l'ammoniac et de l'ion ammonium

Entité	Nombre d'électrons de valence $N_v$ dans l'entité	Formule de Lewis
Ammoniac $NH_3$	N : 5 électrons de valence H : 1 électron de valence $N_v = 5 + 3 \times 1 = 8$ soit 4 doublets 3 doublets liants 1 doublet non liant	$\begin{array}{c} \text{H} - \bar{\text{N}} - \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$
Ion ammonium $NH_4^+$	N : 5 électrons de valence H : 1 électron de valence $N_v = 5 + 4 \times 1 - 1 = 8$ soit 4 doublets 4 doublets liants	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} - \text{N} - \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array} \right]^+$

### → Activité 1

► Un atome à qui il **manque un doublet d'électrons** pour obtenir la même configuration électronique stable que celle du gaz noble de numéro atomique le plus proche, possède une **lacune électronique**, notée  $\square$  (doc. 3).

La configuration électronique de l'ion hydrogène  $H^+$  est  $1s^0$ .

Il lui manque donc deux électrons pour avoir la même configuration électronique stable que le gaz noble le plus proche :  $[_2He] = 1s^2$ .

L'ion  $H^+$  porte une lacune électronique et sera noté  $\square H^+$ .


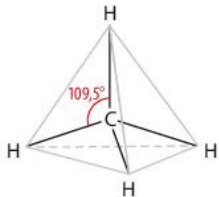
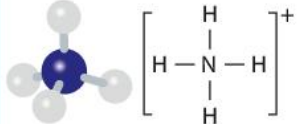
### Doc. 3. Lacune électronique.

## B Géométrie des entités moléculaires ou ioniques

► Les doublets liants ou non liants exercent entre eux des **forces électriques répulsives**.

Dans le modèle de Gillespie, les doublets se repoussent au maximum dans l'espace afin d'être **les plus éloignés possibles** les uns des autres. Il est ainsi possible, à partir du schéma de Lewis d'une molécule, de **prévoir la géométrie** adoptée par des atomes liés à un atome central.

► Pour une molécule constituée d'un atome central entouré de **4 doublets** (liants ou non liants), l'éloignement maximal des doublets aboutit à former un **tétraèdre** dont le **centre est occupé par l'atome central**.




Entité	Modèle moléculaire/ Schéma de Lewis	Géométrie
Méthane		
Ion ammonium		Tétraèdre : angles de $109,5^\circ$

### Histoire

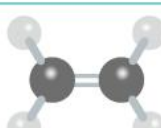
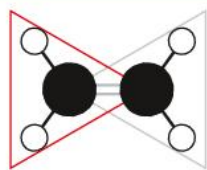
Ronald J. Gillespie, un chimiste anglais, a participé au développement du modèle VSEPR qui permet de prédire la géométrie des molécules à partir des répulsions entre les électrons de valence.

## Histoire

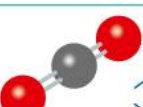
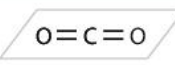
Linus Pauling est un chimiste américain qui a fait de nombreux travaux de recherche. Ceux sur la liaison chimique lui ont valu le prix Nobel en 1954. Il propose notamment la théorie qui permet d'expliquer les phénomènes d'hybridation des orbitales s et p et la géométrie tétraédrique. En s'intéressant à la liaison ionique, il a amélioré aussi la notion d'électronégativité. Fait rare, il obtient un deuxième prix Nobel pour sa campagne contre les essais nucléaires en 1962.

Entité	Modèle moléculaire/ Schéma de Lewis	Géométrie
Ammoniac	 $\text{H}-\overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{N}}}-\text{H}$	Pyramide trigonale
Ion oxonium	 $\left[ \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{O}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array} \right]^+$	Pyramide à base triangulaire Angles de $106,7^\circ$ : doublet non liant plus répulsif qu'un doublet liant
Eau	 $\text{H}-\overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{O}}}-\text{H}$	Coudée Coudée en forme de V Angles de $104,5^\circ$ du fait des deux doublets non liants

► Si, dans une molécule, l'atome central ne comporte pas de doublets non liants et est lié **avec trois autres atomes**, alors la géométrie de la molécule est **triangulaire plane** ou **trigonale**.

Éthylène	 $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C}=\text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$	 Molécule trigonale plane Angles de $120^\circ$
----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

► Si, dans une molécule, l'atome central ne comporte pas de doublets non liants et est lié **avec deux autres atomes**, alors la géométrie de la molécule est **linéaire** ou **digonale**.

Dioxyde de carbone	 $\text{O}=\text{C}=\text{O}$	 Molécule linéaire
--------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------

→ **Activité 2**

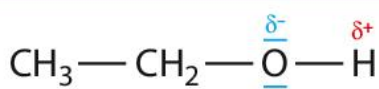
## Polarité des entités moléculaires

### 1 Électronégativité des atomes et polarisation d'une liaison covalente

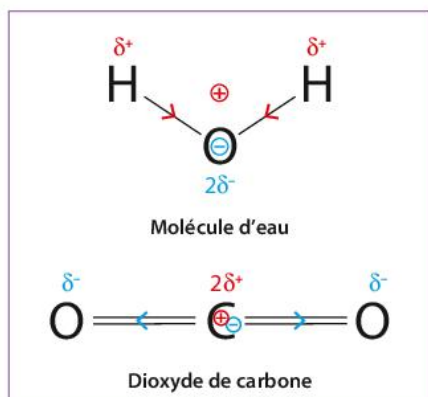
► L'**électronégativité**, notée  $\chi$  (khi), d'un atome traduit sa **capacité à attirer vers lui le doublet d'électrons** d'une liaison covalente dans laquelle il est engagé.

### Éviter les erreurs...

Une molécule qui contient des liaisons polarisées n'est pas nécessairement polaire.



Doc. 4. Liaison O – H polarisée dans la molécule d'éthanol.



Doc. 5. Molécules d'H<sub>2</sub>O polaire et de CO<sub>2</sub> apolaire.

► Plus l'électronégativité d'un atome est élevée et plus il attire à lui un doublet d'électrons d'une liaison.

### Extrait de l'échelle de l'électronégativité de Pauling

Électronégativité $\chi$	H							He
	2,2							
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
	1,0	1,6	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
	0,9	1,3	1,6	1,9	2,2	2,6	3,2	

L'atome le plus électronégatif est l'atome de fluor.

L'électronégativité des gaz nobles n'est pas définie.

► Une liaison A–B est dite **polarisée** si la différence d'électronégativité entre les deux atomes vérifie :  $\chi_A - \chi_B \geq 0,4$ .

► L'atome **A**, le **plus électronégatif**, attire davantage les électrons de la liaison vers lui que le second atome. Il porte une **charge électrique partielle négative** notée  $\delta^-$  et sera noté  $A^{\delta^-}$ . L'atome **B**, le **moins électronégatif**, a perdu partiellement le doublet d'électrons et porte une **charge électrique partielle positive**  $\delta^+$  et sera noté  $B^{\delta^+}$ .

► Une liaison polarisée est notée  $A^{\delta^-} - B^{\delta^+}$ . Les charges électriques partielles  $\delta^-$  et  $\delta^+$  respectent la neutralité de la molécule et sont donc égales en valeur absolue. (doc. 4).

Remarque : Lorsque la différence d'électronégativité entre les deux atomes est très forte, le doublet d'électrons est totalement capté par l'atome le plus électronégatif et les deux atomes deviennent des ions : c'est le cas des **solides ioniques**.

→ **Activité 3**

## 2 Molécules polaires et apolaires

► Une molécule est **polaire**

- si elle contient au moins une liaison polarisée,
- et si le « centre géométrique » des charges positives est différent de celui des charges négatives.

La molécule constitue alors un dipôle électrique.

C'est le cas par exemple de la molécule d'eau.

► Si les deux « centres géométriques » des charges partielles positives  $\oplus$  et négatives  $\ominus$  sont confondus alors la molécule est **apolaire**. C'est le cas par exemple de la molécule de dioxyde de carbone. (doc. 5).

► La polarité des molécules impacte certaines caractéristiques physiques (températures de fusion et d'ébullition, solubilité...) ou chimiques (réactivité).

→ **Activité 4**

## Schéma de Lewis d'une molécule, d'un ion mono ou polyatomique

1

Rechercher la configuration électronique de l'atome central, c'est-à-dire celui ayant le plus grand nombre d'électrons à gagner sur sa couche de valence pour être stable.

Entité moléculaire ou ionique

2

Rechercher les configurations électroniques des autres atomes afin de déterminer leur nombre d'électrons de valence.

3

Calculer le nombre total  $N_v$  d'électrons de valence  
Déterminer le nombre de doublets liants et non liants et en déduire le schéma de Lewis.  
Pour les ions, ajouter ou retrancher les électrons excédentaires ou en défaut à  $N_v$ .

## Géométrie des entités moléculaires ou ioniques

Molécules	Représentation de Lewis	Doublet de l'atome central	Répartition des doublets dans l'espace	Modèle spatial	Forme de la molécule
Méthane CH <sub>4</sub>		4 liaisons simples			Molécule tétraédrique
Amoniac NH <sub>3</sub>		3 liaisons simples et 1 doublet non liant			Molécule pyramidale
Eau H <sub>2</sub> O		2 liaisons simples et 2 doublets non liants			Molécule plane coudée
Méthanal CH <sub>2</sub> O		2 liaisons simples et 1 double liaison			Molécule triangulaire
Dioxyde de carbone CO <sub>2</sub>		2 liaisons doubles			Molécule linéaire

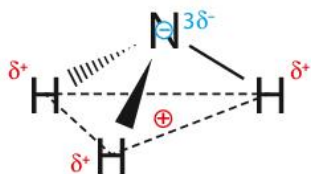
## Cas d'entités avec des liaisons simples et des lacunes électroniques

Nombre de doublets autour de l'atome central	0 doublet non liant	
	2	
	3	
	4	
1 doublet non liant	2	
	3	
	4	
	5	
2 doublets non liants	3	
	4	
	5	
	6	

## Polarité d'une entité moléculaire

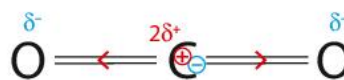
### Molécule polaire

Centres géométriques des charges négatives  $\ominus$  et positives  $\oplus$  non confondus



### Molécule apolaire

Centres géométriques des charges négatives et positives confondus



## Résoudre un exercice

### Énoncé

Au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, il était d'usage d'humidifier un linge de chloroforme pour anesthésier un patient. Cette pratique sera abandonnée quelques années plus tard du fait d'un risque de syncope mortelle. Le chloroforme a pour formule brute  $\text{CHCl}_3$ .

- Déterminer le nombre total d'électrons de valence des atomes présents dans la molécule de chloroforme.
- Donner son schéma de Lewis.
- Expliquer pourquoi le chloroforme a une structure tétraédrique.
- Le chloroforme est-il polaire ou apolaire ? Expliquer.



### Résolution

1. Il faut rechercher les configurations électroniques des différents atomes engagés dans la molécule de chloroforme :

$[_6\text{C}] = 1s^2 2s^2 2p^2$  soit 4 électrons de valence (colonne 14).

$[_1\text{H}] = 1s^1$  soit 1 électron de valence (colonne 1).

$[_{17}\text{Cl}] = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$  soit 7 électrons de valence (colonne 17).

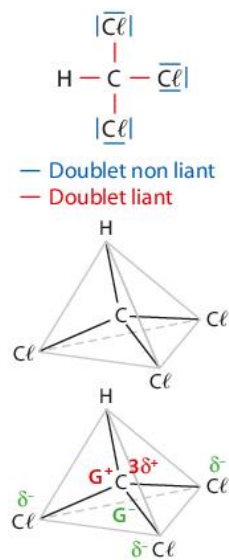
Nombre total d'électrons de valence :

$$N_v = 4 + 1 + 3 \times 7 = 26$$

2. Le schéma de Lewis du chloroforme contient 13 doublets d'électrons. L'atome de carbone a le plus d'électrons à gagner sur sa couche de valence pour acquérir la même configuration électronique stable que le gaz noble le plus proche : il est l'atome central.

3. L'atome de carbone forme 4 doublets, il se situe au centre d'un tétraèdre dont les sommets sont occupés par l'atome d'hydrogène et les trois atomes de chlore.

4. La liaison C–Cl est polarisée. Chaque atome de chlore porte une charge partielle négative  $\delta^-$  et l'atome de carbone une charge partielle  $3\delta^+$ . Le centre des charges négatives  $G^-$  se situe au centre du triangle et ne coïncide pas avec celui des charges positives  $G^+$  : la molécule de chloroforme est polaire.



→ Exercice 15 p. 93

### Conseils

- Rechercher les configurations électroniques stables de chaque atome.
- Répartir la totalité des doublets en identifiant l'atome central.
- Connaître la géométrie adoptée par 4 doublets.
- Rechercher des liaisons polarisées et prendre en compte la géométrie.

## Des exercices avec différenciation

Structure et propriétés des molécules et des ions

Schéma de Lewis d'une entité

15 - 35 - 39

Géométrie des entités

22 - 35 - 39

Polarité des entités

29

## Révision rapide

## QUIZ

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.



### 1 Les liaisons suivantes sont polarisées :

- A: N=N                      B: C-H  
C: C=O                      D: C-C

### 2 Si $\chi_A - \chi_B \geq 0$ alors :

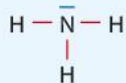
- A: A est plus électropositif que B.  
B: A est plus électronégatif que B.  
C: B est plus électronégatif que A.  
D: B est plus électropositif que A.

### 3 La molécule d'eau est :



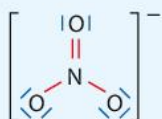
- A: polaire.                      B: apolaire.  
C: plane.                        D: linéaire.

### 4 La molécule d'ammoniac est :



- A: pyramidale.                B: polaire.  
C: plane.                        D: polarisée.

### 5 L'ion nitrate dont le schéma de Lewis est représenté ici, a une structure :



- A: plane.                        B: tétraédrique.  
C: pyramidale.                D: coudée.

### 6 L'ion azoture $\text{N}_3^-$ :

- A: a 5 électrons de valence.  
B: a 16 électrons de valence.  
C: a 14 électrons de valence.  
D: est un cation.

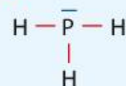
### 7 L'ion nitronium $\text{NO}_2^+$ :

- A: est un anion.  
B: est polyatomique.  
C: a 8 doublets d'électrons de valence.  
D: a 7 doublets d'électrons de valence.

### 8 Le méthane $\text{CH}_4$ :

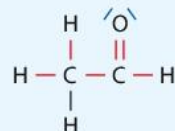
- A: est une molécule apolaire.  
B: est une molécule polaire.  
C: a une structure tétraédrique.  
D: est une molécule plane.

### 9 La phosphine $\text{PH}_3$ :



- A: est une molécule polaire.  
B: est une molécule apolaire.  
C: a une structure pyramidale.  
D: a une structure coudée.

### 10 La molécule d'éthanal dont le schéma de Lewis est :



- A: a une géométrie tétraédrique autour du premier carbone.  
B: a une géométrie trigonale plane autour du second carbone.  
C: a 14 électrons de valence.  
D: a 18 électrons de valence.

### 11 Une liaison entre deux atomes A et B est polarisée si :

- A:  $|\chi_A - \chi_B| = 0,4$                 B:  $|\chi_A - \chi_B| \geq 0,4$   
C:  $|\chi_A - \chi_B| < 0,4$                 D:  $|\chi_A - \chi_B| > 0,4$

### 12 Une molécule est polaire si :

- A: elle n'a aucune liaison polarisée.  
B: elle a une liaison polarisée.  
C: les centres géométriques des charges partielles positives et négatives sont différents.  
D: les centres géométriques des charges partielles positives et négatives sont confondus.

### 13 Un composé ionique est formé de deux éléments qui :

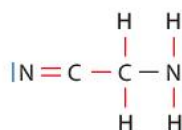
- A: ont une différence d'électronégativité nulle.  
B: ont une faible différence d'électronégativité.  
C: ont une forte différence d'électronégativité.  
D: sont des gaz nobles.



## Entraînement

### Schéma de Lewis d'une entité

**14** On donne ci-dessous un schéma de Lewis de la molécule d'aminonitrile trouvé sur internet.



1. Donner sa formule brute.
2. Déterminer le nombre total d'électrons de valence des atomes présents dans cette molécule.
3. En déduire le nombre de doublets formés puis vérifier s'il correspond au schéma de Lewis proposé. Sinon, indiquer les corrections nécessaires.

**15** Aide p. 94 Le trichlorure d'azote  $\text{NCl}_3$  est un gaz qui se forme dans les halls des piscines suite aux réactions entre le dichlore et des composés azotés.

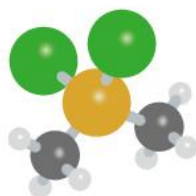
► Donner les schémas de Lewis du dichlore et du trichlorure d'azote.

**16** L'ion nitronium a pour formule  $\text{NO}_2^+$ .

1. Déterminer le nombre d'électrons de valence de cet ion.
2. En déduire le nombre de doublets liants et non liants.
3. Proposer un schéma de Lewis pour cet ion.

**17** Représenter les schémas de Lewis des gaz nobles hélium He et xénon Xe.

**18** Le diméthylchlorosilane est un gaz très inflammable utilisé lors de la synthèse des silicones. La formule brute de ce gaz représenté ci-dessous est  $\text{SiCl}_2\text{C}_2\text{H}_6$ .



1. Établir la configuration électronique de tous les atomes de cette molécule sachant que l'ordre de remplissage des orbitales atomiques est  $1s2s2p3s3p$ .

➔ Classification périodique en couverture

2. Établir le schéma de Lewis de cette molécule.
3. Préciser si cette molécule comporte des liaisons polarisées.
4. Déterminer si cette molécule est polaire.

### En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**19** L'ion méthanolate a pour formule  $\text{CH}_3\text{O}^-$ .

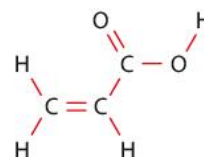
1. Déterminer le nombre d'électrons de valence de cet ion.
2. En déduire le nombre de doublets liants et non liants.
3. Proposer un schéma de Lewis pour cet ion.

### Critères d'évaluation

Toutes les réponses sont rédigées dans un français correct.

- 1 La charge de l'ion est prise en compte.
- 2 Un doublet est une paire d'électrons.
- 3 Le schéma de Lewis est correct (nombre total de doublets et nombre de doublets entourant chaque atome).

**20** La formule développée de la molécule d'acide acrylique fait apparaître les liaisons entre tous les atomes de la molécule.



1. Donner la formule brute de cette molécule.
2. Déterminer le nombre d'électrons de valence de l'atome d'oxygène. ➔ Classification périodique en couverture
3. Indiquer la modification à apporter à la formule ci-dessus pour obtenir le schéma de Lewis de la molécule.

### Critères d'évaluation

- 1 Tous les atomes et leurs nombres sont cités. La formule est correcte.
- 2 Le nombre d'électrons est exact.
- 3 La modification est correcte.

### Géométrie des entités

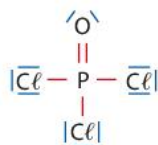
**21** ➔ Pour poursuivre l'activité 1 p. 82

La phosphine, de formule  $\text{PH}_3$ , est un agent de fumigation utilisé pour traiter les denrées alimentaires stockées.

1. L'atome de phosphore se situe dans la même colonne que l'azote. Donner le schéma de Lewis de la phosphine.
2. Justifier la géométrie pyramidale à base triangulaire de cette molécule.

# Exercices

**22** Aide p. 94 À partir de la 3<sup>e</sup> ligne de la classification périodique, certains atomes peuvent s'entourer de plus de 8 électrons du fait de la présence d'autres orbitales atomiques. C'est le cas du phosphore de la molécule de trichlorure de phosphore qui a pour schéma de Lewis :



- Justifier la géométrie tétraédrique de cette molécule.
- L'angle  $\widehat{\text{ClPCl}}$  est de 103°. Justifier l'écart de valeur par rapport à l'angle de 109° dans la molécule de méthane CH<sub>4</sub>.

**23** L'ion cyanate a pour formule OCN<sup>-</sup>. Son schéma de Lewis est :

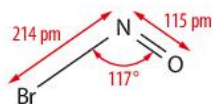


- Dénombrer le nombre d'électrons de valence dans cet ion.
- Vérifier que chaque atome est bien entouré d'un nombre correct de doublets d'électrons.
- Justifier la géométrie linéaire de l'ion cyanate.

**24** L'ion amidure est un anion de formule NH<sub>2</sub><sup>-</sup>.

- Donner le schéma de Lewis de cet ion.
- En déduire sa géométrie.

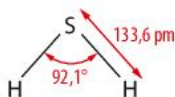
**25** Le bromure de nitrosyle est un gaz rouge qui peut être synthétisé lors de la transformation du dibrome avec le monoxyde d'azote. La géométrie de cette molécule est représentée ci-contre.



- Donner les formules brutes du dibrome et du monoxyde d'azote.
- Représenter le schéma de Lewis de la molécule de dibrome.
- Écrire et ajuster l'équation chimique de la réaction de synthèse du bromure de nitrosyle.
- Interpréter la géométrie de cette molécule à partir de son schéma de Lewis.

## Polarité des entités

**26** La formule incomplète du schéma de Lewis de la molécule de sulfure d'hydrogène H<sub>2</sub>S est donnée ici.

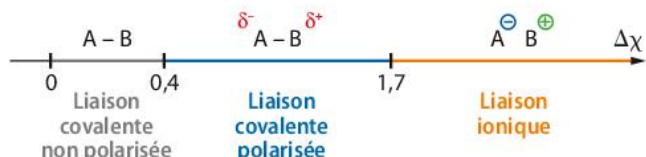


- Corriger son schéma de Lewis.
- Montrer que les liaisons de cette molécule sont polarisées.

- Représenter les charges partielles associées à ces liaisons.
- La molécule de sulfure d'hydrogène est-elle polaire ?

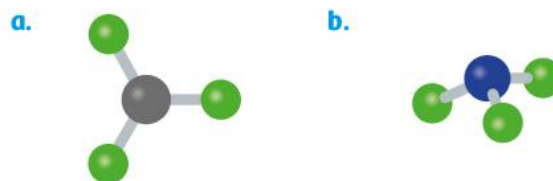
**27** Justifier, à partir de son schéma de Lewis, la géométrie linéaire de la molécule de cyanure d'hydrogène HCN.

**28** On note A l'atome le plus électronégatif. La nature de la liaison entre deux atomes A et B dépend de la différence d'électronégativité notée  $\Delta\chi = (\chi_A - \chi_B)$  entre ces deux atomes.



► Déterminer la nature de la liaison dans le chlorure de lithium LiCl, le chlorure d'hydrogène HCl, le dichlore Cl<sub>2</sub> et le chlorure de magnésium MgCl<sub>2</sub>.

**29** Aide p. 94 Le trifluorure de bore BF<sub>3</sub> est une molécule triangulaire plane (a) alors que celle du trifluorure d'azote NF<sub>3</sub> est pyramidale (b).



- Rechercher les liaisons polarisées dans ces deux molécules. Justifier.
- Placer des charges partielles sur les liaisons polarisées.
- Indiquer la molécule polaire et la molécule apolaire. Justifier.
- Quel atome de ces deux molécules possède une lacune électronique. Justifier.
- Interpréter la géométrie de chaque molécule.

## Différenciation

### Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 15

Rechercher le nombre d'électrons de valence dans les entités puis le nombre de doublets à répartir.

#### Aide pour l'exercice 22

- Relier schéma de Lewis et géométrie.
- Tenir compte des doublets non liants.

#### Aide pour l'exercice 29

- Prendre en compte l'électronégativité des atomes.
- Reprendre la définition d'une liaison polarisée.
- Placer les centres géométriques des charges partielles  $\delta^+$  et  $\delta^-$  de chaque molécule.

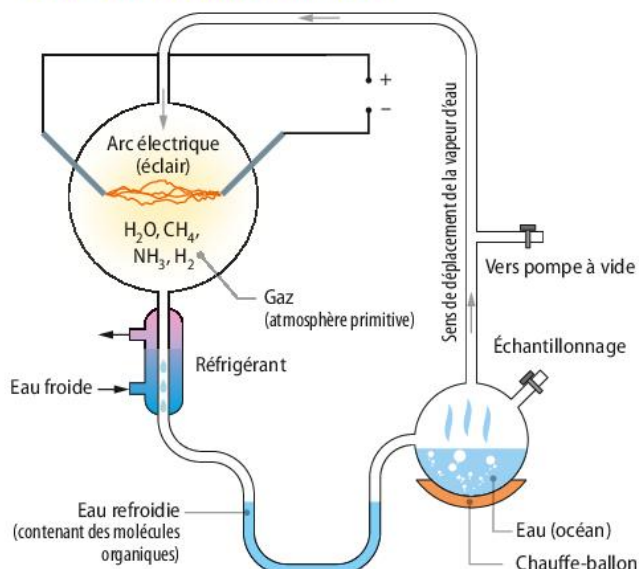




## Synthèse

### 30 Expérience de Miller

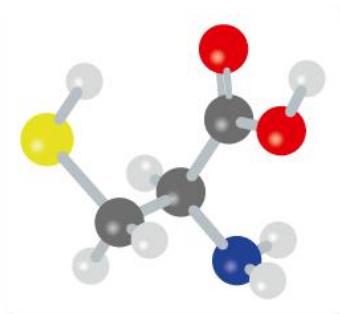
→ S'approprier, analyser, raisonner



Stanley Miller a cherché à reproduire les conditions de la Terre primitive en introduisant dans un ballon du méthane  $\text{CH}_4$ , de l'ammoniac  $\text{NH}_3$ , du dihydrogène  $\text{H}_2$  et de l'eau  $\text{H}_2\text{O}$ .

Il a soumis ce mélange à des décharges électriques et a obtenu des molécules organiques comme le cyanure d'hydrogène  $\text{HCN}$ , le formaldéhyde  $\text{H}_2\text{CO}$  et des acides aminés qui sont à la base de la constitution des protéines.

1. Dénombrer le nombre d'électrons de valence des atomes présents dans les molécules de cyanure d'hydrogène et de formaldéhyde.
2. En déduire le nombre de doublets liants et non liants de chaque molécule.
3. Proposer un schéma de Lewis pour chaque molécule.
4. La molécule de cystéine, dont le modèle moléculaire est donné ci-dessous, est un acide aminé contenant du soufre :



Donner le schéma de Lewis de la cystéine.

### 31 Les alcènes

→ S'approprier, analyser, raisonner

Les alcènes sont des hydrocarbures insaturés dont la formule brute s'écrit  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ , avec  $n$  un nombre entier supérieur ou égal à 2.

Un alcène comporte une double liaison entre deux atomes de carbone.

1. Donner les formules brutes des deux premiers alcènes.
2. Représenter le schéma de Lewis du premier alcène, appelé éthylène.
3. Cette molécule est-elle polaire ? Expliquer.

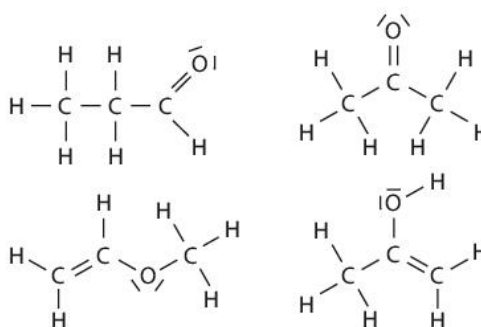
### 32 L'acétone

→ S'approprier, analyser, valider

L'acétone est un solvant organique de formule brute  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ , très utilisé pour dissoudre par exemple les gommes, les huiles...

Claire a trouvé 9 schémas de Lewis différents ayant pour formule brute  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  : ce sont des isomères.

Elle en a recopié quatre.



1. Deux molécules sont isomères si elles ont même formule brute mais des formules développées différentes. Les quatre molécules sont-elles isomères ?
2. Recopier le schéma de Lewis de l'acétone sachant que cette molécule possède un plan de symétrie.
3. Justifier la géométrie triangulaire plane de l'acétone.
4. Représenter les charges partielles associées aux liaisons polarisées.
5. Cette molécule est-elle polaire ? Expliquer.

### 33 Le phosgène

→ Analyser, valider

Le phosgène, de formule brute  $\text{COCl}_2$ , est un gaz toxique de la catégorie des suffocants (comme le dichlore).

Il a été utilisé comme gaz de combat lors de la première guerre mondiale.

1. Proposer le schéma de Lewis de la molécule de phosgène.
2. Justifier la géométrie triangulaire plane de cette molécule.

## 34 Halogénure d'hydrogène

→ S'approprier, réaliser, analyser

Le dihydrogène réagit avec les molécules de dichlore pour donner du chlorure d'hydrogène  $\text{HCl}$  qui est gazeux à température ambiante.

Le chlorure d'hydrogène réagit avec l'eau pour former des ions oxonium et chlorure.

On obtient ainsi une solution d'acide chlorhydrique.

1. Écrire et ajuster les deux équations de réaction décrites.
2. Établir les schémas de Lewis de toutes les entités chimiques qui interviennent dans ces réactions.
3. Ces entités sont-elles polaires ?
4. On utilise du difluor à la place du dichlore. Que peut-on prévoir ?

## 35 Aide p. 96 Des ions pour digérer

→ Analyser, raisonner, valider

Dans les eaux de boisson, l'alcalinité est due principalement à la présence d'ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$  et d'ions hydrogencarbonate  $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ .

Ces deux ions contribuent à une bonne digestion par notre organisme.

1. Rechercher le nombre total de doublets formés par chacun des deux ions.
2. Proposer un schéma de Lewis pour l'ion hydrogencarbonate et l'ion carbonate.
3. Justifier la géométrie triangulaire plane de l'ion hydrogencarbonate.

## 36 La synthèse du Téflon®

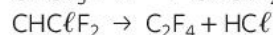
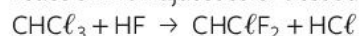
→ Analyser, réaliser, valider



Le tétrafluoroéthène, de formule brute  $\text{C}_2\text{F}_4$ , intervient dans la synthèse du Téflon®. C'est un polymère utilisé pour fabriquer des ustensiles de cuisine car il résiste à la chaleur, aux acides et est un bon anti-adhésif.

Le tétrafluoroéthène est synthétisé en deux étapes. On fait d'abord réagir du chloroforme  $\text{CHCl}_3$  et du fluorure d'hydrogène  $\text{HF}$ . Puis sous l'effet de la chaleur, le chlorodifluorométhane  $\text{CHClF}_2$  obtenu se décompose en

chlorure d'hydrogène  $\text{HCl}$  et en tétrafluoroéthène  $\text{C}_2\text{F}_4$ . Les deux étapes sont modélisées par les équations de réaction non ajustées ci-dessous :



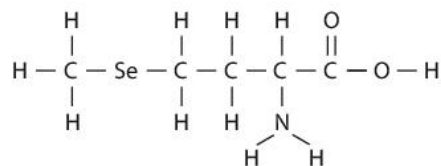
1. Ajuster ces équations chimiques.
2. Représenter les schémas de Lewis des molécules  $\text{HF}$ ,  $\text{CHClF}_2$  et  $\text{C}_2\text{F}_4$ .
3. Justifier la géométrie tétraédrique du chlorodifluorométhane.
4. Cette molécule est-elle polaire ? Expliquer.

## 37 Un acide aminé rare

→ Analyser

La sélénocystéine est un acide aminé rare comportant du sélénium et entrant dans la composition de certaines enzymes.

On donne ci-dessous sa formule semi-développée.



1. Donner la formule brute de cette molécule.
2. Déterminer à l'aide de la classification périodique, le nombre d'électrons de valence de chaque atome.
3. Compléter la formule développée afin d'obtenir le schéma de Lewis de la sélénocystéine.

## 38 Les molécules $\text{H}_2\text{O}$ et $\text{BeH}_2$

→ Analyser, valider

L'hydruure de béryllium est un composé chimique de formule  $\text{BeH}_2$ .

1. Proposer un schéma de Lewis pour cette molécule.
2. L'atome de béryllium est-il entouré de 8 électrons ? Que faut-il ajouter ?
3. Justifier que l'hydruure de béryllium soit une molécule linéaire alors que la molécule d'eau est coudée.

### Différenciation

Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 35

1. Tenir compte de la charge des ions dans la détermination du nombre total d'électrons de valence dans l'entité.
2. Répartir le nombre de doublets obtenus pour chaque entité en vérifiant que chaque atome s'entoure de 8 électrons à l'exception de l'hydrogène (2 électrons).
3. Observer le nombre de doublets formés par l'atome central.



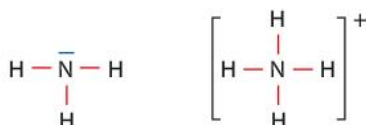
## Problèmes

### 39 Acide de Lewis

Un acide de Lewis est une entité chimique ayant un atome possédant une lacune électronique.

1. Expliquer pourquoi l'ion hydrogène  $H^+$  est un acide de Lewis.
2. Justifier le nom de proton donné à cet ion.
3. L'ammoniac est une base et peut capter un proton pour former un ion ammonium  $NH_4^+$ .

Expliquer la formation de cet ion à partir d'une molécule d'ammoniac en exploitant leurs schémas de Lewis :



4. Proposer le schéma de Lewis du chlorure d'aluminium  $AlCl_3$  et montrer qu'il s'agit d'un acide de Lewis.
5. Le chlorure d'aluminium peut réagir avec un ion chlorure pour former un ion tétrachloroaluminate(III) de formule  $AlCl_4^-$ .  
Donner le schéma de Lewis de l'ion chlorure puis expliquer la formation de l'ion  $AlCl_4^-$  à partir de chlorure d'aluminium.
6. Justifier la géométrie tétraédrique de l'ion tétrachloroaluminate(III).

### Différenciation

#### Apprendre à résoudre 39

1. Revoir la notion de lacune électronique.
2. Déterminer le schéma de Lewis d'un ion en tenant compte de sa charge électrique et du nombre d'électrons de valence de l'atome.
3. Appliquer les règles de stabilité à tous les atomes d'une molécule.

### 40 Triangle de Van Arkel et Ketelaar

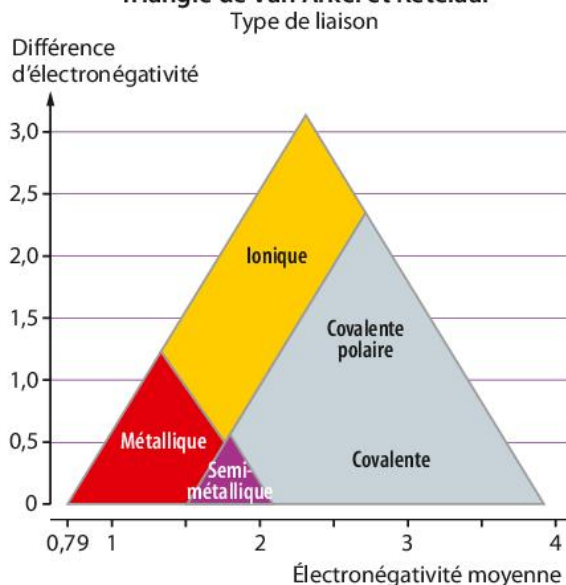
Il y a approximativement 36 substances binaires formées par les 9 premiers éléments chimiques.

Le type de liaison entre les atomes est déterminé par une combinaison de deux facteurs : l'électronégativité moyenne des deux atomes présents dans le solide et la différence d'électronégativité entre les deux atomes.

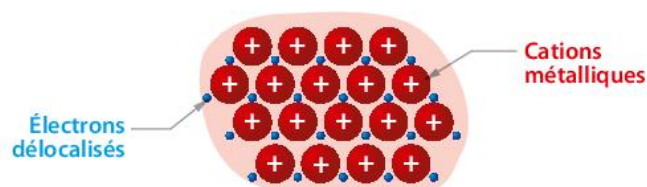
Le triangle de Van Arkel et Ketelaar peut être utilisé pour classer la substance binaire.

	H	He	Li	Be	B	C	N	O	F
H	H <sub>2</sub>								
He									
Li	LiH		Li						
Be	BeH <sub>2</sub>		Li <sub>2</sub> Be	Be					
B	BH <sub>3</sub>		Li <sub>3</sub> B	Be <sub>2</sub> B	B				
C	CH <sub>4</sub>		Li <sub>4</sub> C	Be <sub>2</sub> C	B <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	C			
N	NH <sub>3</sub>		Li <sub>3</sub> N	Be <sub>3</sub> N <sub>2</sub>	BN	C <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>		
O	H <sub>2</sub> O		Li <sub>2</sub> O	BeO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	
F	HF		LiF	BeF <sub>2</sub>	BF <sub>3</sub>	CF <sub>4</sub>	NF <sub>3</sub>	OF <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>

### Triangle de Van Arkel et Ketelaar



Les métaux sont constitués d'un réseau cristallin formé d'ions immergés dans une sorte de mer d'électrons délocalisés dans la totalité du métal.



1. Combien de composés binaires peut-on obtenir avec les cinq premiers éléments chimiques.
2. Citer et nommer quelques exemples.
3. Décrire un cristal métallique et un cristal ionique.
4. Comment peut-on déterminer la nature d'un cristal ?
5. Déterminer la nature cristalline du fluorure d'hydrogène HF et du lithium.

## 41 Le sable de la dune du Pilat



De nombreuses roches minérales ainsi que le sable contiennent de la silice minérale dont la formule chimique est  $\text{SiO}_2$ . La silice minérale s'altère par contact avec l'eau et le dioxyde de carbone présent dans les eaux de pluie souterraines et se transforme en silice dissoute dont la formule chimique est  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ .

- Déterminer la colonne dans laquelle se situe l'élément silicium. Par comparaison avec une molécule simple dont on précisera le nom, proposer le schéma de Lewis de la silice.
- Donner le schéma de Lewis de la silice dissoute  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ .
- Justifier la géométrie tétraédrique de cette molécule.



En anglais

## 42 Lewis dot Structures

- Draw the Lewis dot structures for each of the following molecules:  $\text{CH}_2\text{F}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  and  $\text{OF}_2$ .
- Define the geometry of these molecules using the words linear, trigonal plan, tetrahedral, bent, trigonal pyramid. Are these polar or non-polar molecules?



### Vocabulaire :

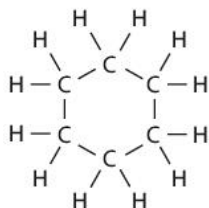
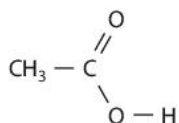
- Trigonal** : triangulaire
- Tetrahedral** : tétraédrique
- Bent** : coudé

# Objectif BAC

## 43 Four à micro-ondes

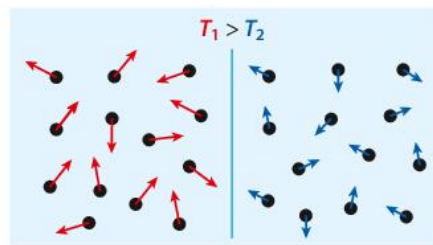
### Doc. 1 Formules développées

L'acide éthanoïque  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$  et le cyclohexane  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  sont des liquides dont les formules développées sont :



### Doc. 2 Agitation thermique

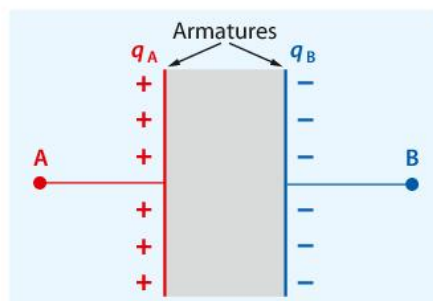
Les entités chimiques sont animées d'un mouvement désordonné appelé agitation thermique qui augmente avec la température.



Le transfert d'énergie thermique d'un corps chaud vers un corps froid peut s'expliquer au niveau microscopique par le fait qu'une molécule très rapide peut transférer de l'énergie à une autre lors d'une collision et ainsi augmenter sa vitesse.

### Doc. 3 Principe de fonctionnement simplifié d'un four à micro-ondes

Dans un four à micro-ondes, un magnétron produit une onde électromagnétique périodique. Pour simplifier, on ne considèrera que le champ électrique créé et on assimilera le four à deux armatures métalliques parallèles A et B de charges électriques opposées  $q_A$  et  $q_B$ . Sous l'effet d'une tension variable, ces charges électriques changent de signe à une fréquence généralement de 2,4 GHz.



- Représenter les schémas de Lewis des molécules du doc. 1.
- Déterminer si ces molécules sont polaires.
- Représenter les forces électriques exercées sur les charges partielles d'une molécule d'eau placée dans ce champ électrique.
- Comment s'oriente la molécule d'eau sous l'effet de ces forces?
- Expliquer ce qui se passe si on change les signes des charges électriques des armatures.
- Déterminer la période  $T$  du phénomène.
- Expliquer comment ce four permet de chauffer un aliment constitué essentiellement d'eau.
- Peut-on chauffer de l'acide éthanoïque ou du cyclohexane avec un four à micro-ondes? Justifier.



# Cohésion et dissolution des solides

*Quelles interactions assurent  
la cohésion des solides ?*

## Objectifs

Expliquer la cohésion  
des solides

🕒 Activité 1 p. 100

Expliquer la dissolution  
d'un composé ionique

🕒 Activité 2 p. 101

Calculer les concentrations  
des ions dans une solution

🕒 Activité 3 p. 102

Titrer des ions en solution

🕒 Activité 4 p. 103

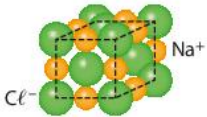
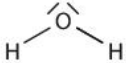
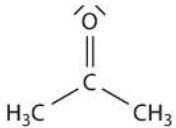
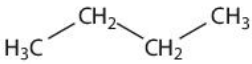
Le gecko est un reptile capable  
de se déplacer sur un mur vertical  
ou même au plafond grâce  
aux interactions de van der Waals,  
également responsables  
de la cohésion de certains solides.

## 1 Expliquer la cohésion des solides

L'oxygène et le soufre font partie de la même famille chimique et forment des composés analogues, par exemple l'eau et le sulfure d'hydrogène. La température de fusion de l'eau  $\text{H}_2\text{O}$  est de  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , celle du sulfure d'hydrogène  $\text{H}_2\text{S}$  est de  $-85,5\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Comment expliquer la différence de température de fusion de l'eau et du sulfure d'hydrogène ?**




### Doc. 1 Quelques données à la pression atmosphérique

Chlorure de sodium $\text{NaCl}$		$\theta_{\text{fus}} = 801\text{ }^\circ\text{C}$
Eau (glace) $\text{H}_2\text{O}$		$\theta_{\text{fus}} = 0\text{ }^\circ\text{C}$
Propanone $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$		$\theta_{\text{fus}} = -95\text{ }^\circ\text{C}$
Butane $\text{C}_4\text{H}_{10}$		$\theta_{\text{fus}} = -138\text{ }^\circ\text{C}$

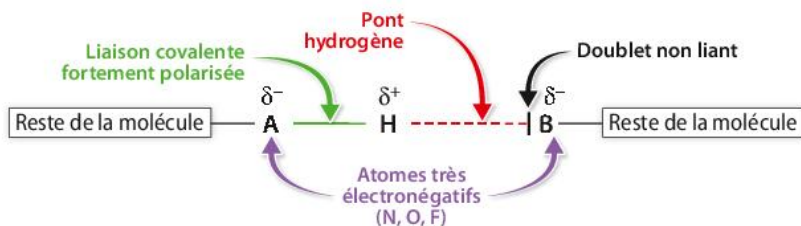
### Doc. 2 Les interactions entre entités chimiques

Il existe trois types d'interactions permettant d'assurer la cohésion des solides.

- L'interaction électrostatique entre les ions des composés ioniques ➔ chapitre 11 est une interaction forte ( $800\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  pour  $\text{NaCl}$ ).
- Les interactions de van der Waals entre molécules polaires ou entre molécules apolaires sont relativement faibles.

Type d'interaction	Modèle du phénomène électrostatique mis en jeu	Énergie croissante
Entre molécules polaires	 Les molécules s'orientent de manière à maximaliser les attractions $\delta^+/\delta^-$ et à minimaliser les répulsions $\delta^-/\delta^-$ ou $\delta^+/\delta^+$ .	
Entre molécules apolaires	 Une molécule apolaire peut se polariser car son nuage électronique se déforme et elle peut polariser par influence une autre molécule.	

- Les ponts hydrogène spécifiques à certaines molécules sont des interactions relativement fortes.



### Appropriation et analyse

➔ S'approprier, analyser, raisonner

➔ Valider

➔ Analyser

### Conclusion

### De l'activité au cours

➔ Communiquer

- 1 Indiquer les espèces moléculaires et les composés ioniques du doc. 1. Déterminer, à partir des valeurs d'électronégativité, quelles sont les molécules polaires et indiquer leurs charges partielles. ➔ Tableau p. 89
- 2 Associer à chaque solide du doc. 1, le(s) type(s) d'interaction(s) responsable(s) de leur cohésion.
- 3 Certaines molécules font intervenir plusieurs interactions : leurs énergies s'additionnent. Classifier les solides du doc. 1 selon l'intensité globale des interactions.
- 4 Expliquer le décalage entre la température de fusion de l'eau et celle du sulfure d'hydrogène.
- 5 Décrire les interactions responsables de la cohésion des solides.

 DIFFÉRENCIATION : ➔ Bonus

## 2 Expliquer la dissolution d'un composé ionique

Le sel ou chlorure de sodium  $\text{NaCl}$  est un solide ionique dont la solubilité dépend du solvant. Il est par exemple très soluble dans l'eau, peu soluble dans l'éthanol et très peu soluble dans le cyclohexane.

Pourquoi le sel se dissout-il dans l'eau ?

### Doc. 1 Interaction électrique

Deux charges électriques ponctuelles et immobiles  $q_A$  et  $q_B$  séparées d'une distance  $d_{AB}$  sont en interaction électrostatique et exercent l'une sur l'autre une force :

$$F = k \times \frac{|q_A| \times |q_B|}{d_{AB}^2}$$

Norme de la force (N) →  $F$   
Constante →  $k$   
Charges électriques (C) →  $|q_A| \times |q_B|$   
Distance (m) →  $d_{AB}^2$

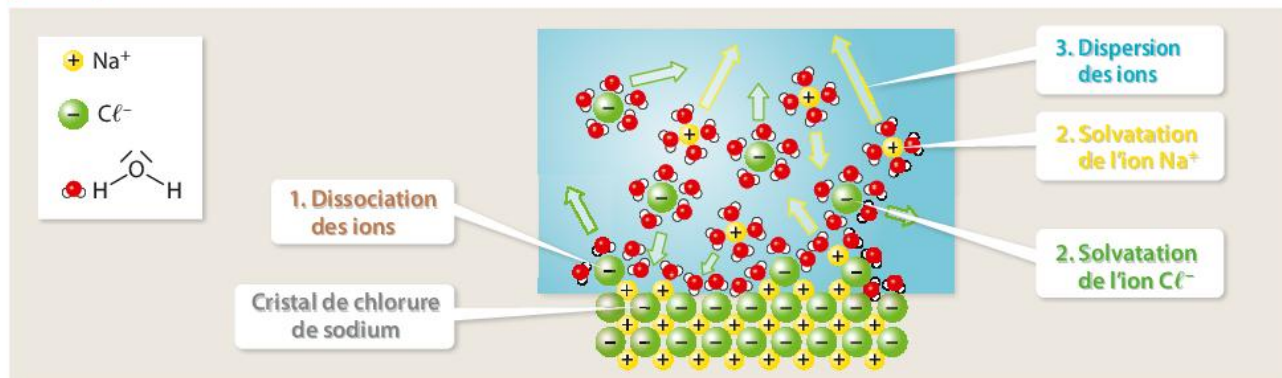
### Doc. 2 La constante $k$ dépend du milieu

Milieu	$k$ ( $\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ )
Air	$9,0 \times 10^9$
Cyclohexane $\text{C}_6\text{H}_{12}$	$4,5 \times 10^9$
Éthanol $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$	$3,8 \times 10^8$
Eau	$1,1 \times 10^8$

### Doc. 3 Agitation thermique

Les particules d'un liquide sont en constante agitation thermique avec une vitesse d'agitation qui augmente avec la température.

### Doc. 4 Dissolution du chlorure de sodium dans l'eau



### Appropriation et analyse

→ S'approprier, analyser

→ Réaliser

→ Analyser, communiquer

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Valider, communiquer

- Expliquer pourquoi les molécules d'eau peuvent exercer une force de nature électrostatique sur un ion et justifier leur orientation à proximité des ions.
- Calculer et comparer les valeurs des forces électrostatiques qui s'exercent entre un ion sodium et un ion chlorure séparés d'une distance  $d_{AB} = 2,0 \text{ nm}$  lorsque ces ions sont placés dans l'air, dans l'eau et dans l'éthanol ( $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ).
- Expliquer pourquoi la dispersion des ions est plus efficace dans l'eau que dans l'éthanol.
- Expliquer pourquoi le sel est soluble dans l'eau mais pas dans le cyclohexane de formule brute  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ .
- Décrire comment l'eau parvient à dissocier le cristal et à solvater les ions libérés. Expliquer la dispersion des ions.

DIFFÉRENCIATION : Aide

# 3

## Calculer les concentrations des ions dans une solution

Les circuits imprimés peuvent être fabriqués par gravure chimique de plaques d'époxy recouvertes de cuivre. Le cuivre métallique situé en dehors des portions de circuit est éliminé par les ions  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  contenus dans une solution de chlorure de fer(III).

**Comment déterminer les concentrations effectives des différents ions présents dans une solution de chlorure de fer(III) ?**

**Doc. 1** Fabrication d'un circuit imprimé



**Doc. 2** Le chlorure de fer(III)

Le chlorure de fer(III) est un solide ionique très hygroscopique, c'est-à-dire qui absorbe facilement l'humidité de l'air.



**Doc. 3** Préparation d'une solution de chlorure de fer(III)

On prépare au laboratoire une solution de chlorure de fer(III) par dissolution du solide ionique hexahydraté, de formule  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ . La dissolution dans l'eau est très exothermique et forme une solution de couleur orange-brun.



**Doc. 4** Concentration en soluté et concentration effective d'un ion

Concentration en quantité de matière de soluté ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$$C(A) = \frac{n(A)}{V}$$

Quantité de soluté A dissous (mol)  
Volume de solution (L)

Concentration effective de l'ion X ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$$[X] = \frac{n(X)}{V}$$

Quantité d'ions X (mol)  
Volume de solution (L)

### Appropriation et analyse

→ S'approprier, réaliser

→ Analyser

→ Analyser, réaliser

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Valider, communiquer

- Calculer la masse molaire du chlorure de fer(III) hexahydraté dont la formule est donnée dans le doc. 3.
- Ajuster l'équation de la réaction de dissolution dans l'eau du chlorure de fer(III) hexahydraté :  $\text{FeCl}_3(\text{s}) \rightarrow \dots \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \dots \text{Cl}^{-}(\text{aq})$ .
- Calculer les quantités de matière d'ions fer(III) et d'ions chlorure obtenues par dissolution d'une masse  $m_0 = 2,71 \text{ g}$  de chlorure de fer(III) hexahydraté. Il est possible de s'aider d'un tableau descriptif de l'évolution du système chimique.
- En déduire les concentrations effectives de chacun des deux ions dans cette solution.
- Donner les relations entre la concentration en quantité de matière  $C(\text{FeCl}_3)$  en chlorure de fer(III) et les concentrations effectives en ions  $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$  et  $\text{Cl}^{-}(\text{aq})$ .
- Expliquer la méthode permettant de déterminer les concentrations effectives des ions en solution en fonction de la concentration en quantité de matière de soluté apporté.



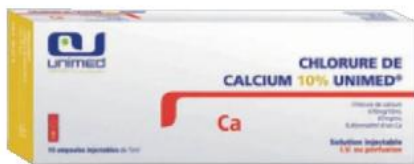
## 4 Titrer des ions en solution

Le chlorure de calcium injectable à 10% est utilisé dans les hôpitaux pour traiter l'hypocalcémie aigue chez l'adulte (taux de calcium dans le sang anormalement bas).

Les ions calcium et chlorure ont-ils la même concentration dans une ampoule de médicament injectable ?

### Doc. 1 Solution à titrer

Une ampoule de 5 mL de ce médicament contient 335 mg de chlorure de calcium dihydraté  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .



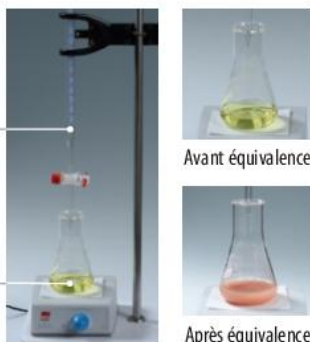
### Matériel disponible

Pipettes jaugées de 1 mL, 10 mL • Fiole jaugée de 100 mL • Burette graduée • Bêchers et erlenmeyers de 100 mL • Agitateur magnétique et barreau aimanté • Éprouvettes graduées de 10 mL et 20 mL • 1 ampoule de 5 mL de solution à titrer • Solution de nitrate d'argent • Solution d'EDTA • Solution de chromate de potassium • Solution de NET • Solution de NET.

### Doc. 2 Titrage des ions chlorure

Solution de nitrate d'argent ( $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$ ),  $[\text{Ag}^+] = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$V_S = 20,0 \text{ mL}$  de solution diluée S + 10 mL d'une solution de chromate de potassium (jaune) à  $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

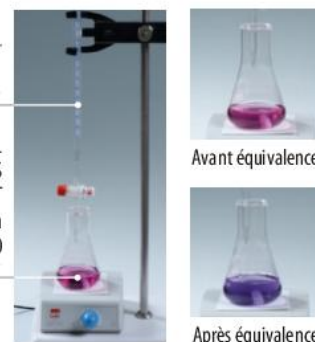


L'équation de la réaction de titrage s'écrit :  $\text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$

### Doc. 3 Titrage des ions calcium

Solution d'EDTA contenant des ions  $\text{Y}^{4-}$   $[\text{Y}^{4-}] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$V_S = 20,0 \text{ mL}$  de solution diluée S + quelques gouttes de NET + environ 20 mL de solution tampon de  $\text{pH} = 10$



L'équation simplifiée de la réaction de titrage s'écrit :  $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{Y}^{4-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaY}^{2-}(\text{aq})$  (ion complexe).

### Mise en œuvre

- S'approprier, analyser
- Réaliser
- S'approprier, analyser
- Analyser, communiquer

- 1 Donner le protocole pour diluer 100 fois un volume de 1 mL de la solution contenue dans une ampoule.
- 2 Préparer 100 mL de solution diluée, notée S.
- 3 Mettre en œuvre le protocole expérimental permettant le titrage soit des ions chlorure, soit des ions calcium dans un volume  $V_S = 20,0 \text{ mL}$  de solution S.
- 4 Déterminer la relation entre les quantités de matière à l'équivalence puis retrouver soit la concentration en ions chlorure  $[\text{Cl}^-]$ , soit la concentration en ions calcium  $[\text{Ca}^{2+}]$  dans une ampoule de médicament.

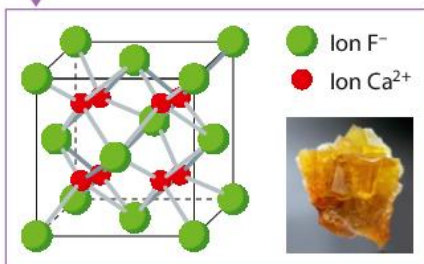
### Conclusion

- 5 En utilisant le doc. 1, calculer les concentrations théoriques effectives en ions chlorure et calcium. Comparer avec les valeurs obtenues par l'expérience et conclure.

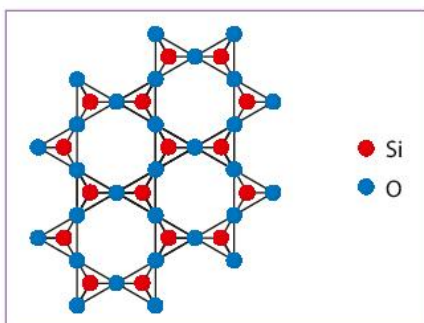
### De l'activité au cours

- Communiquer

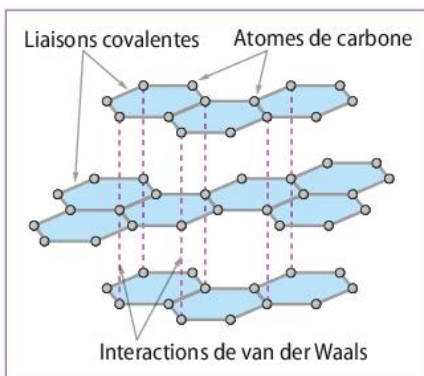
- 6 Expliquer la démarche suivie pour calculer les concentrations effectives des ions à partir de la masse de soluté et de l'équation de dissolution.



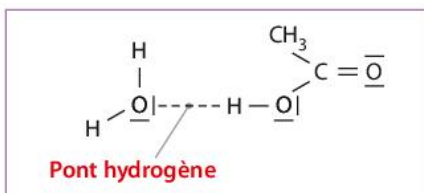
**Doc. 1.** Le cristal de fluorure de calcium  $\text{CaF}_2(\text{s})$  contient un ion calcium  $\text{Ca}^{2+}$  pour deux ions fluorure  $\text{F}^-$ .



**Doc. 2.** Organisation cristalline de la silice  $\text{SiO}_2$  dans un cristal de quartz.



**Doc. 3.** Dans le graphite, les atomes de carbone sont regroupés en plans ou feuillets, uniquement liés entre eux par des interactions de van der Waals.



**Doc. 4.** Pont hydrogène entre l'atome d'hydrogène de la molécule d'acide acétique (ou éthanoïque) et l'atome d'oxygène de la molécule d'eau.

## A Structure et cohésion d'un solide ionique

Un **solide ionique** ou cristal ionique est constitué de cations et d'anions disposés de **façon ordonnée dans l'espace**.

Il est **électriquement neutre** : les charges positives des cations sont compensées par les charges négatives des anions.

Sa formule, dite **formule statistique**, indique la nature et la proportion des ions présents sans en mentionner les charges (**doc. 1**).

Dans un cristal ionique, les ions exercent les uns sur les autres des **forces d'interaction électrostatique** soit attractives (entre deux ions de charge de signes opposés), soit répulsives (entre deux ions de charge de même signe).

Cependant, chaque ion s'entoure d'ions de charges de signes contraires afin que les attractions l'emportent sur les répulsions.

La **cohésion d'un cristal ionique** est assurée par des **interactions ioniques**, c'est-à-dire par des **interactions électrostatiques** entre les ions de charges contraires du cristal.

L'interaction ionique est une interaction **forte**.

→ **Activité 1**

## B Cohésion d'un solide moléculaire

Un solide moléculaire est constitué de **molécules**. Il est **cristallin** si elles sont **arrangées de façon ordonnée**, sinon il est **amorphe** (**doc. 2**).

Leur cohésion est assurée par **deux types d'interactions électrostatiques**, plus faibles que celles qui assurent la cohésion des solides ioniques : les **interactions de van der Waals** (**doc. 3**) et les **ponts hydrogène** (**doc. 4**).

### 1 Interactions de van der Waals

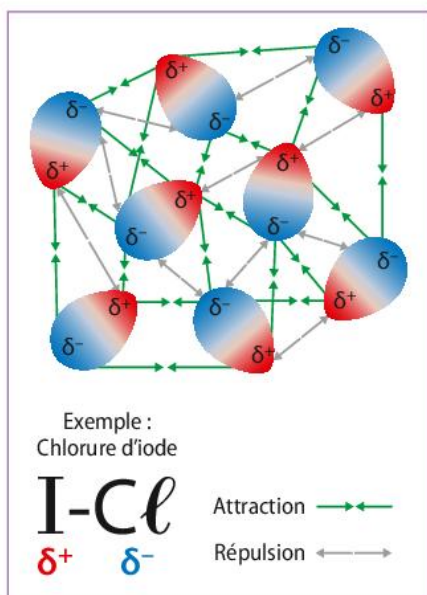
Les interactions de **van der Waals entre molécules** sont :

- de **type électrostatique** ;
- **attractives** ;
- à **courte portée** ( $< 10^{-9}$  m).

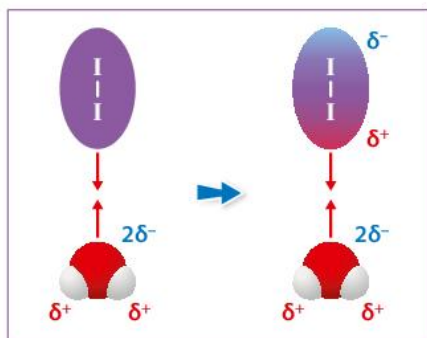
Elles sont qualifiées d'interactions intermoléculaires, par opposition aux liaisons intramoléculaires comme les liaisons covalentes qui s'établissent entre les atomes d'une même molécule.

Ces interactions s'établissent **entre les nuages électroniques des entités**. Les valeurs de ces **forces** sont **faibles** comparativement aux liaisons covalentes et aux liaisons ioniques, et concernent les molécules polaires comme apolaires.

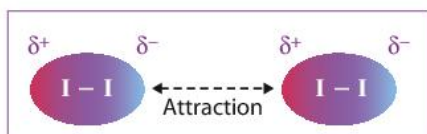
Les interactions de van der Waals sont d'autant plus fortes que les électrons sont nombreux et que la molécule est volumineuse.



Doc. 5. Interactions entre molécules polaires.



Doc. 6. La molécule d'eau, polaire, polarise (déforme) par influence le nuage électronique de la molécule de diiode apolaire. La polarisation de la molécule de diiode est temporaire.



Doc. 7. Une molécule de diiode apolaire peut se polariser un court instant car la répartition de ses électrons est fluctuante. Elle peut polariser une molécule de diiode voisine et l'attirer.

Les interactions de van der Waals sont classées en trois types.

### a. Interaction entre les charges partielles de deux molécules polaires

► Les molécules **polaires s'orientent** de telle sorte que l'atome portant une charge partielle  $\delta^+$  soit attiré par l'atome portant une charge partielle  $\delta^-$ .

► Plus les molécules sont **polaires** et plus les interactions de van der Waals sont **fortes**. (doc. 5).

### b. Interaction entre une molécule polaire et une molécule apolaire

► Une **molécule polaire** peut induire une déformation du nuage électronique d'une molécule **apolaire** voisine et ainsi la **polariser temporairement** par influence.

► Les interactions de van der Waals entre molécules polaires et apolaires sont **plus faibles** que celles entre deux molécules polaires. Elles sont d'autant **plus intenses** qu'elles s'établissent entre une molécule **fortement polaire** et une molécule apolaire **fortement polarisable** (donc de grande taille) (doc. 6).

### c. Interaction entre deux molécules apolaires

► En raison du mouvement incessant des électrons dans une molécule, celle-ci présente à chaque instant une **polarisation**, bien que la polarisation dans le temps soit nulle. C'est pourquoi elle peut **polariser** par influence une molécule apolaire voisine.

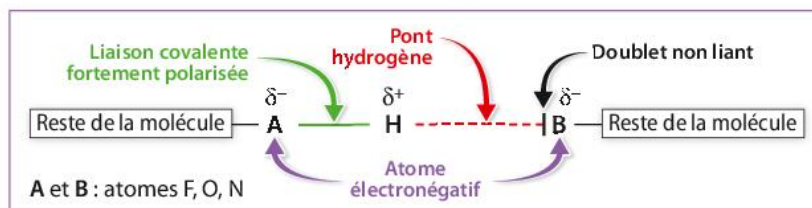
► Les interactions de van der Waals entre deux espèces apolaires sont d'autant **plus fortes** que les espèces considérées sont **polarisables** (doc. 7).

Les interactions de van der Waals sont **prépondérantes** dans les molécules **apolaires** de **tailles importantes** et dans les molécules **polaires**.

## 2 Pont hydrogène

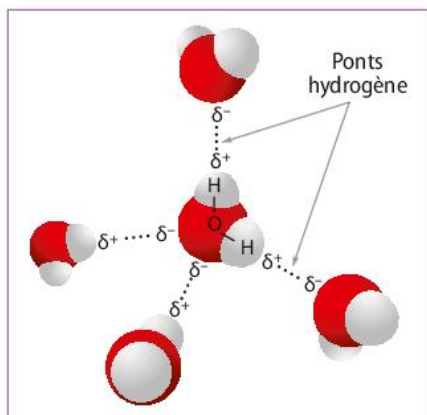
► Un **pont hydrogène** peut s'établir entre des molécules identiques ou différentes (liaison intermoléculaire) ou entre atomes d'une même molécule (liaison intramoléculaire).

Il correspond à une **interaction électrostatique attractive** qui s'établit entre une molécule possédant un **atome d'hydrogène** lié à un **atome de forte électronégativité** (liaisons O - H, N - H, F - H), et une autre molécule comportant un **atome électro-négatif** (O, N, F) possédant au moins un doublet non liant (doc. 8).



Doc. 8. Pont hydrogène. A et B sont des atomes F, O, ou N.

► Un **pont hydrogène** est une interaction **plus forte qu'une interaction de van der Waals** et n'existe que si les atomes sont suffisamment proches (séparés de 0,1 à 0,5 nm). C'est ce type d'interaction qui maintient par exemple ensemble les deux brins de la molécule d'ADN.



**Doc. 9.** Les ponts hydrogène entre les molécules d'eau expliquent sa température de vaporisation élevée : il faut apporter beaucoup d'énergie pour s'opposer à toutes ces interactions attractives.

### 3 Interactions intermoléculaires et propriétés physico-chimiques

Les interactions intramoléculaires lient les atomes dans une molécule et sont responsables de leur stabilité ; les interactions intermoléculaires sont responsables des propriétés physico-chimiques.

Les **températures de fusion et d'ébullition** d'un corps pur sont élevées lorsque des interactions intermoléculaires nombreuses et intenses peuvent s'établir entre les molécules (**doc. 9**).

Plus les molécules d'un soluté peuvent établir d'interactions avec les molécules d'un solvant, plus grande sera la **solubilité** de ce soluté dans ce solvant, pour une température donnée. Il en est de même pour la miscibilité entre deux liquides.

Les interactions ioniques sont plus fortes que les interactions intermoléculaires, il est donc nécessaire de fournir aux solides ioniques davantage d'énergie thermique pour rompre ces interactions.

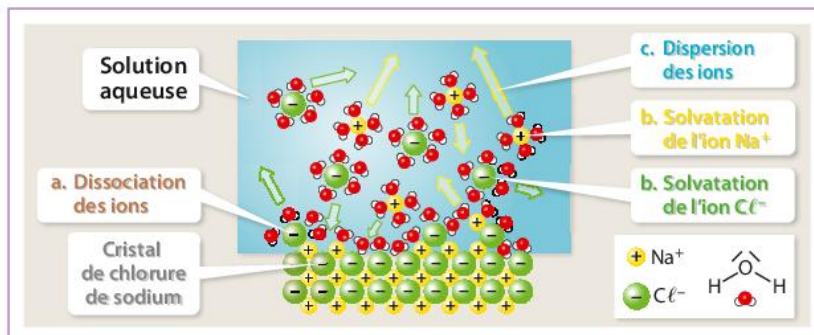
**Les températures de changements d'état des composés ioniques sont en général plus élevées que celles des corps purs moléculaires.**

→ **Activité 1**

## C Dissolution d'un solide ionique

### 1 Processus de dissolution

La dissolution d'un solide ionique s'effectue en trois étapes (**doc. 10**).



**Doc. 10.** Exemple de la dissolution du chlorure de sodium dans l'eau

#### a. Dissociation

Sous l'effet des interactions électrostatiques s'exerçant entre l'eau (solvant) et les ions à la surface du cristal, celui-ci finit par se **dissocier**.

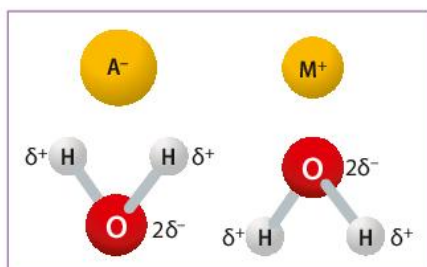
#### b. Solvation des ions libérés

Les ions s'entourent de molécules d'eau et s'isolent les uns des autres. Les ions **solvatés** ou hydratés (dans le cas où le solvant est l'eau) sont notés avec le symbole (aq), par exemple  $\text{Na}^+(\text{aq})$  (**doc. 11**).

#### c. Dispersion

Sous l'effet de l'agitation thermique et selon la nature du solvant, les ions solvatés se **dispersent** dans le solvant.

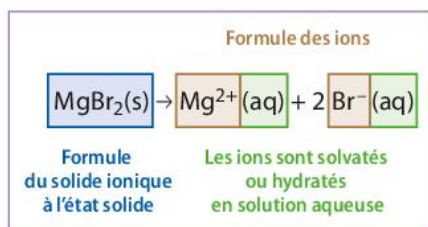
→ **Activité 2**



**Doc. 11.** Hydratation ou solvation d'un anion et d'un cation dans l'eau.

Solide ionique	Solubilité (g · L <sup>-1</sup> à 20 °C)
Chlorure de sodium NaCl(s)	358,5
Chlorure de calcium CaCl <sub>2</sub> (s)	745
Chlorure de fer(III) FeCl <sub>3</sub> (s)	920

**Doc. 12.** Solubilités de quelques solides ioniques à 20 °C dans l'eau.



**Doc. 13.** Équation de la réaction de dissolution du bromure de magnésium dans l'eau. Il se forme deux ions Br<sup>-</sup> pour compenser les deux charges positives d'un ion Mg<sup>2+</sup>.

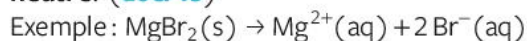
### Ne pas confondre...

... la concentration en quantité de matière de soluté apporté, notée  $C(A)$ , et la concentration effective d'un ion en solution, notée  $[X]$ .

## 2 Équation de la réaction de dissolution

Les solides ioniques sont **très solubles** dans les solvants polaires comme l'eau (**doc. 12**).

Toute dissolution d'un soluté dans un solvant est modélisée par une réaction dont l'équation traduit la **conservation des éléments et des charges électriques**. Une solution ionique est **électriquement neutre**. (**doc. 13**)



→ **Activité 3**

## 3 Concentration en quantité de matière des ions en solution

**a. Concentration en quantité de matière de soluté apporté**

$$C(A) = \frac{n(A)}{V}$$

$C(A)$  : concentration en quantité de matière de soluté apporté en moles par litre (mol · L<sup>-1</sup>)

$n(A)$  : quantité de matière de soluté A en moles (mol)

$V$  : volume de la solution en litres (L)

**b. Concentration effective**

La **concentration effective** d'une espèce chimique X réellement présente en solution s'écrit :

$$[X] = \frac{n(X)}{V} = \text{nbre stœch.} \times C$$

$[X]$  : concentration effective de l'ion en moles par litre (mol · L<sup>-1</sup>)

$n(X)$  : quantité de matière de l'espèce X en moles (mol)

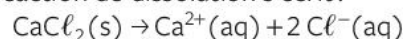
$V$  : volume de la solution en litres (L)

**nbre stœch.** : nombre stœchiométrique de l'espèce X dans l'équation de la réaction de dissolution

$C$  : concentration en quantité de matière de soluté apporté en moles par litres (mol · L<sup>-1</sup>)

**c. Exemple : la dissolution de chlorure de calcium dans l'eau**

L'équation de la réaction de dissolution s'écrit :



D'après l'équation de dissolution, lorsque 1 mole de CaCl<sub>2</sub> se dissocie, il se forme dans l'eau : 1 mole d'ions Ca<sup>2+</sup> et 2 moles d'ions Cl<sup>-</sup>.

Il en découle :

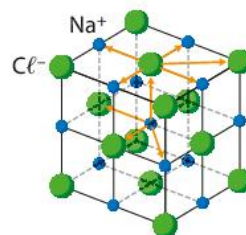
$$n(\text{Ca}^{2+}) = n(\text{CaCl}_2) \text{ donc } [\text{Ca}^{2+}] = \frac{n(\text{Ca}^{2+})}{V} = \frac{n(\text{CaCl}_2)}{V} = C;$$

$$n(\text{Cl}^{-}) = 2n(\text{CaCl}_2) \text{ donc } [\text{Cl}^{-}] = \frac{n(\text{Cl}^{-})}{V} = \frac{2 \times n(\text{CaCl}_2)}{V} = 2 \times C.$$

→ **Activité 4**

## Structure et cohésion d'un solide ionique

- Interaction électrostatique attractive entre les ions de signes opposés
- Solide ionique = Solide électriquement neutre
- Interaction de forte intensité



## Cohésion d'un solide moléculaire

### Interactions de van der Waals

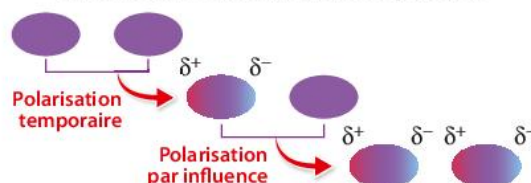
- Interaction attractive entre les nuages électroniques
- Faible intensité

#### Interaction entre molécules polaires



Les molécules s'orientent de manière à maximaliser les attractions  $\delta^+ / \delta^-$  et à minimaliser les répulsions  $\delta^- / \delta^-$  ou  $\delta^+ / \delta^+$

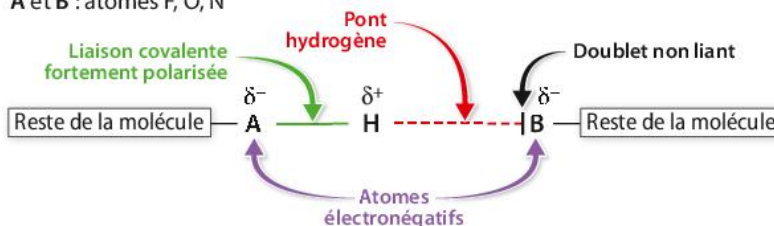
#### Interaction entre molécules apolaires



### Pont hydrogène

- Interaction électrostatique attractive entre un atome d'hydrogène H, lié à un atome A très électronégatif, et une molécule possédant un atome B électronégatif avec au moins un doublet non liant.
- Intensité moyenne

A et B : atomes F, O, N



## Dissolution d'un solide ionique

## Résoudre un exercice

### Énoncé

Le sulfate de sodium est un composé ionique utilisé, entre autres, dans le domaine de la santé. Il peut être conditionné en sachet de masse  $m = 30$  g contenant du sulfate de sodium décahydraté de formule  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ .

Un patient prépare une solution par dissolution d'un sachet dans un verre contenant  $V = 15$  cL d'eau distillée.

- Déterminer la formule de l'ion sodium en utilisant la classification périodique.
- En déduire la formule de l'ion sulfate.
- Écrire l'équation de la réaction modélisant la dissolution dans l'eau du sulfate de sodium.
- Calculer la concentration effective en ions sodium et en ions sulfate dans le verre d'eau.



### Conseils

- Rechercher la configuration électronique stable de l'atome de sodium.
- Un solide ionique est électriquement neutre.
- L'équation de la réaction de dissolution doit traduire la conservation des éléments chimiques et de la charge électrique.
- Prendre en compte les nombres stœchiométriques dans l'équation de la réaction de dissolution.

### Résolution

1. L'atome de sodium est situé dans la colonne 1 de la classification périodique. En perdant un électron, il forme un ion  $\text{Na}^+$  qui a la même configuration électronique que le gaz noble le plus proche (néon).

2. Le sulfate de sodium possède deux ions sodium pour un ion sulfate. Le solide ionique étant électriquement neutre, un ion sulfate doit compenser les deux charges positives de deux ions sodium. Sa formule est donc :  $\text{SO}_4^{2-}$ .

3.  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow 2\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 10\text{H}_2\text{O}(\ell)$

4. La masse molaire du sulfate de sodium décahydraté vaut :  
 $M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 2 \times M(\text{Na}) + M(\text{S}) + 14 \times M(\text{O}) + 20 \times M(\text{H})$   
 $M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 2 \times 23,0 + 32,1 + 14 \times 16,0 + 20 \times 1,0$   
 $M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 322,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

La quantité  $n$  de sulfate de sodium introduite dans l'eau est :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{30}{322,1} = 9,3 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

La concentration  $C$  de soluté apporté vaut :

$$C = \frac{n}{V} = \frac{9,3 \times 10^{-2}}{(15 \times 10^{-2})} = 6,2 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

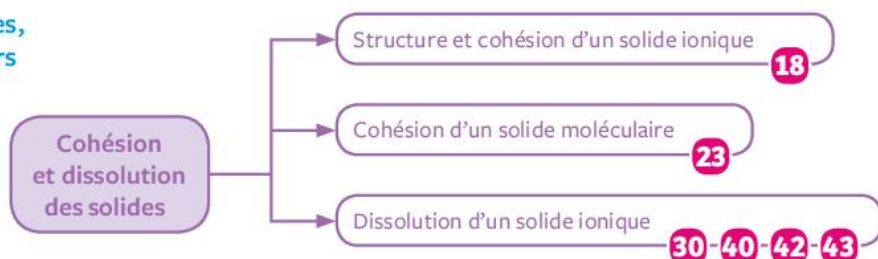
D'après les nombres stœchiométriques de l'équation de la question 3, on en déduit que :

$$[\text{Na}^+] = 2 \times C = 1,2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ et } [\text{SO}_4^{2-}] = C = 6,2 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

→ Exercice 31 p. 112

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ



Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

**1** La cohésion d'un cristal ionique est assurée par des interactions :

- A : à distance.                      B : magnétiques.  
C : de contact.                      D : électrostatiques.

**2** Un pont hydrogène est une interaction plus forte qu'une :

- A : interaction de van der Waals.  
B : interaction ionique.  
C : liaison covalente.  
D : interaction gravitationnelle.

**3** Le fluorure de magnésium est un solide ionique dont la formule est :

- A : MgF.              B : MgF<sub>2</sub>.              C : Mg<sub>2</sub>F<sub>2</sub>.              D : Mg<sub>2</sub>F.

**4** Le sulfure de potassium est un solide ionique dont la formule est :

- A : Po<sub>2</sub>S.              B : SK<sub>2</sub>.              C : K<sub>3</sub>S.              D : K<sub>2</sub>S.

**5** Le sulfure de sodium contient des ions :

- A : K<sup>+</sup>.              B : Na<sup>-</sup>.              C : Na<sup>+</sup>.              D : S<sup>2-</sup>.

**6** L'iodure de magnésium est un solide ionique de formule :

- A : MgI.              B : I<sub>2</sub>Mg.              C : Mg<sub>2</sub>I.              D : MgI<sub>2</sub>.

**7** L'oxyde de sodium est un solide ionique de formule :

- A : NaO.              B : Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.              C : Na<sub>2</sub>O.              D : NaO<sub>2</sub>.

**8** Quelle(s) molécule(s) peu(ven)t établir des ponts hydrogène ?

- A : CO<sub>2</sub>.              B : H<sub>2</sub>S.              C : NH<sub>3</sub>.              D : HF.

**9** Lorsqu'on dissout du bromure de potassium dans l'eau, on obtient des ions :

- A : Br<sup>-</sup>.              B : Br<sup>-</sup>.              C : K<sup>2+</sup>.              D : K<sup>+</sup>.

**10** On prépare une solution de chlorure de magnésium de concentration en soluté apporté C. Les concentrations effectives des ions en solution sont :

- A : [Mg<sup>2+</sup>] =  $\frac{C}{2}$ .              B : [Mg<sup>2+</sup>] = C.  
C : [Cl<sup>-</sup>] = C.              D : [Cl<sup>-</sup>] = 2 × C.

**11** On prépare une solution d'iodure de potassium de concentration en soluté apporté C.

Les concentrations effectives des ions en solution sont :

- A : [K<sup>+</sup>] = C.              B : [K<sup>+</sup>] = 2 × C.  
C : [I<sup>-</sup>] = C.              D : [I<sup>-</sup>] =  $\frac{C}{2}$ .

**12** Une solution de chlorure d'aluminium de concentration en quantité de matière de soluté apporté C contient des ions Al<sup>3+</sup> et Cl<sup>-</sup> :

- A : [Al<sup>3+</sup>] = C.              B : [Al<sup>3+</sup>] =  $\frac{C}{3}$ .  
C : [Al<sup>3+</sup>] =  $\frac{[Cl^-]}{3}$ .              D : [Cl<sup>-</sup>] = 3 × C.

**13** Une solution de chlorure de fer(III) contient des ions fer(III) (Fe<sup>3+</sup>) dont la concentration effective est de 0,30 mol · L<sup>-1</sup>. La concentration effective des ions chlorure est égale à :

- A : 0,30 mol · L<sup>-1</sup>.              B : 0,15 mol · L<sup>-1</sup>.  
C : 0,10 mol · L<sup>-1</sup>.              D : 0,90 mol · L<sup>-1</sup>.

**14** Laquelle de ces étapes n'est pas une étape de la dissolution d'un solide ionique :

- A : dispersion.              B : solvatation.  
C : fusion.              D : dissociation.

**15** On prépare une solution de chlorure de sodium par dissolution de 1,17 g de chlorure de sodium dans une fiole jaugée de 250 mL. La concentration en quantité de matière de soluté apporté C est :

- A : 8,0 × 10<sup>-5</sup> mol · L<sup>-1</sup>.              B : 8,0 × 10<sup>-2</sup> mol · L<sup>-1</sup>.  
C : 0,0080 mol · L<sup>-1</sup>.              D : 0,080 mol · L<sup>-1</sup>.

**16** On dispose d'une solution mère de chlorure de cuivre(II) de concentration effective en ions chlorure 1,2 mol · L<sup>-1</sup> que l'on dilue 10 fois. La concentration en quantité de soluté apporté de la solution fille est :

- A : 12 mol · L<sup>-1</sup>.              B : 0,12 mol · L<sup>-1</sup>.  
C : 0,24 mol · L<sup>-1</sup>.              D : 0,060 mol · L<sup>-1</sup>.

**17** Une solution fille de chlorure de calcium a été obtenue en diluant 20 fois une solution mère. La concentration effective des ions calcium présents dans la solution fille est de 0,10 mol · L<sup>-1</sup>. La concentration en quantité de matière de soluté de la solution mère est :

- A : 5,0 × 10<sup>-3</sup> mol · L<sup>-1</sup>.              B : 4,0 mol · L<sup>-1</sup>.  
C : 2,0 mol · L<sup>-1</sup>.              D : 1,0 × 10<sup>-2</sup> mol · L<sup>-1</sup>.





## Entraînement

### Cohésion d'un solide ionique

**18** Aide p. 112 Le bromure de potassium  $\text{KBr}(s)$  est un solide ionique dont la température de fusion est de  $724^\circ\text{C}$ . Il est utilisé comme antispasmodique et sédatif (calme l'anxiété).

- Déterminer à l'aide de la classification périodique les formules des ions présents dans ce solide.
- Indiquer le type de liaison responsable de la cohésion de ce solide.

**19** Certains médicaments, commercialisés sous la forme d'ampoules buvables, permettent de traiter les troubles légers du sommeil, l'irritabilité et la nervosité. Un des principes actifs est le bromure de calcium.

► Donner la formule chimique du bromure de calcium à l'état solide sachant qu'il contient des ions bromure  $\text{Br}^-$ .

**20** Le sulfure d'aluminium est un composé ionique contenant des ions monoatomiques formés à partir des éléments soufre et aluminium.

- Déterminer à l'aide de la classification périodique les formules des ions présents dans ce solide.
- En déduire la formule chimique de ce solide ionique.
- Expliquer la cohésion du sulfure d'aluminium.

### Cohésion d'un solide moléculaire

**21** Dans les conditions normales de température et de pression, le diiode est un solide gris qui passe directement de l'état solide à l'état gazeux par sublimation. C'est un produit irritant qui doit être manipulé avec précaution. La température de fusion du diiode  $\text{I}_2$  est de  $114^\circ\text{C}$ .

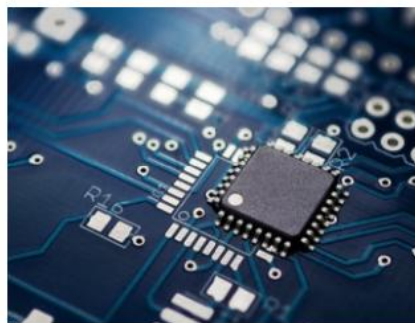
► Identifier le type d'interaction qui assure la cohésion du diiode.



**22** Le fluorure d'hydrogène est solide pour des températures inférieures à  $-84^\circ\text{C}$ .

► Indiquer les types d'interactions intervenant entre les molécules de fluorure d'hydrogène  $\text{HF}$ .

**23** Aide p. 112 Le silane, de formule  $\text{SiH}_4$ , est un gaz utilisé par exemple dans la fabrication des semi-conducteurs.

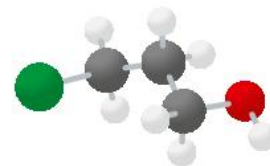


► Expliquer s'il est possible ou non d'établir un pont hydrogène entre une molécule de silane et une molécule d'eau.

**24** Le fluorométhane est une molécule de formule brute  $\text{CH}_3\text{F}$ .

- Préciser si deux molécules de fluorométhane peuvent ou non établir un pont hydrogène entre elles.
- Indiquer si ces molécules peuvent établir des ponts hydrogène avec des molécules d'eau.
- Représenter les éventuels ponts hydrogène que peuvent établir ces molécules.

**25** Le modèle moléculaire du 3-chloropropan-1-ol est représenté ci-contre :



- Écrire le schéma de Lewis de cette molécule.
- Identifier les types d'interactions qui peuvent s'établir entre deux molécules de 3-chloropropan-1-ol.
- Représenter les éventuels ponts hydrogène que peuvent établir ces deux molécules.

**26** La molécule d'ammoniac a pour formule brute  $\text{NH}_3$ .



- Indiquer si cette molécule est polaire.
- Préciser les interactions pouvant s'établir entre deux molécules d'ammoniac.

**27** Les épaisses couches nuageuses de Neptune paraissent bleues du fait de la présence de méthane  $\text{CH}_4$  gazeux. Les longs nuages blancs contiennent des cristaux de glace de méthane.



- Représenter le schéma de Lewis du méthane.
- Préciser si cette molécule est polaire.
- Indiquer la nature des interactions responsables de la cohésion de la glace de méthane.

## Dissolution d'un solide ionique

**28** Le sulfate d'aluminium diminue le pH du sol et convient aux plantes acidophiles, comme les bleuets ou les hortensias. La formule des ions sulfate est  $\text{SO}_4^{2-}$ .

► Écrire l'équation de la réaction de dissolution dans l'eau du sulfate d'aluminium de formule  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{s})$ .

**29** Un mélange pyrotechnique contient généralement un oxydant comme des ions nitrate, chlorate ou perchlorate et un réducteur comme du carbone, du soufre, du magnésium ainsi que des composés ioniques métalliques à l'origine de la couleur.



Pour obtenir une couleur rouge, on ajoute par exemple du carbonate de lithium  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ .

Le nitrate de baryum  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  permet d'obtenir une coloration verte.

- Déterminer, à l'aide de la classification périodique, les formules des ions monoatomiques lithium et baryum.
- En déduire les formules des ions polyatomiques nitrate et carbonate.
- Écrire l'équation de la réaction de dissolution de chacun de ces composés dans l'eau.

**30** Aide p. 112 Écrire l'équation de réaction de dissolution dans l'eau de chacun des composés ioniques suivants :

- le chlorure de cuivre(II)  $\text{CuCl}_2(\text{s})$  ;
- l'iode de potassium  $\text{KI}(\text{s})$  ;
- le permanganate de potassium  $\text{KMnO}_4(\text{s})$  ;
- le dichromate de potassium  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7(\text{s})$ .

**31** Koray doit préparer 200,0 mL de solution de chlorure de cuivre(II) de concentration en quantité de matière de soluté  $C(\text{CuCl}_2) = 0,25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , à partir de chlorure de cuivre dihydraté de formule  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

- Préciser le type d'opération (dissolution ou dilution) que doit réaliser Koray.
- Déterminer la masse de chlorure de cuivre dihydraté qu'il doit prélever.
- Écrire l'équation de la réaction de dissolution du chlorure de cuivre dans l'eau.
- Donner le protocole expérimental que doit suivre Koray.

## En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**32** On prépare par dissolution à partir de chlorure de baryum dihydraté ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), une solution de concentration en quantité de matière de soluté  $C = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

- Écrire l'équation de la réaction de dissolution du chlorure de baryum dans l'eau.
- Déterminer les concentrations effectives des ions présents en solution.

### Critères d'évaluation

Toutes les réponses sont rédigées dans un français correct.

- L'équation de la réaction est correctement ajustée.
- Les relations entre les concentrations effectives des ions, la concentration en soluté apporté et les nombres stœchiométriques sont convenablement écrites.

**33** On prépare par dissolution, à partir de chlorure de calcium dihydraté ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), une solution de concentration effective en ions chlorure  $[\text{Cl}^-] = 0,15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

- Écrire l'équation de la réaction de dissolution du chlorure de calcium dans l'eau.
- Déterminer la concentration en quantité de matière  $C$  en soluté apporté et la concentration effective des ions calcium en solution.

### Critères d'évaluation

Toutes les réponses sont rédigées dans un français correct.

- L'équation de la réaction est correctement ajustée.
- Les relations entre les concentrations effectives des ions, la concentration en soluté apporté et les nombres stœchiométriques sont convenablement écrites.

## Différenciation

### Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 18

- Rechercher le nombre d'électrons de valence de chaque atome puis l'ion stable monoatomique correspondant.
- Tenir compte des entités présentes.

#### Aide pour l'exercice 23

Rechercher la définition d'un pont hydrogène et être attentif aux éléments chimiques impliqués.

#### Aide pour l'exercice 30

Rechercher les formules des ions constituant le solide ionique et respecter le principe de conservation des éléments et des charges électriques.



## Synthèse

### 34 Sel de Mohr

→ Réaliser, analyser

Le sel de Mohr est un solide ionique contenant des ions ammonium  $\text{NH}_4^+$ , fer (II) et sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$ .

On prépare 250 mL d'une solution de sel de Mohr par dissolution de 2,0 g de soluté de formule  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .



1. Calculer la concentration en quantité de matière de soluté de la solution.
2. Écrire l'équation de la réaction modélisant la dissolution du sel de Mohr dans l'eau.
3. En déduire les concentrations effectives de tous les ions présents dans cette solution.
4. Donner le protocole expérimental permettant de préparer cette solution.

### 35 Mélange de solutés

→ Réaliser

On prépare une solution de 500 mL par dissolution de 1,20 g de chlorure de sodium et de 1,20 g de chlorure de magnésium.

1. Lister les ions présents dans cette solution.
2. Calculer les concentrations effectives de tous les ions présents dans la solution.

### 36 Caractérisation des ions sulfate

→ S'appropriier, analyser

Le chlorure de baryum est un solide ionique constitué des éléments baryum et chlore. En solution aqueuse, les ions baryum réagissent avec les ions sulfate  $\text{SO}_4^{2-}$  et donnent un précipité blanc qui est un composé ionique.

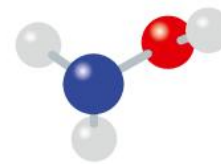


1. Déterminer, en repérant les positions des éléments chlore et baryum dans la classification périodique, le nombre d'électrons de valence de ces deux atomes.
2. En déduire les formules des ions chlorure, baryum et du solide ionique correspondant.
3. Écrire l'équation de la réaction modélisant la dissolution du chlorure de baryum dans l'eau.
4. Donner le nom et la formule du précipité blanc.

### 37 Hydroxylamine

→ Analyser, communiquer

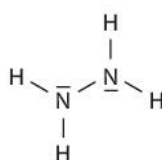
Le modèle moléculaire de la molécule d'hydroxylamine est donné ci-contre.



1. Donner le schéma de Lewis de la molécule d'hydroxylamine.
2. Indiquer les liaisons polarisées dans cette molécule.
3. Représenter, sur le schéma de Lewis, les charges partielles associées aux liaisons polarisées.
4. Préciser si des ponts hydrogène peuvent exister entre des molécules d'hydroxylamine.
5. Décrire les interactions de van de Waals exercées entre deux molécules d'hydroxylamine.

### 38 Hydrazine

→ Analyser, réaliser



L'hydrazine, dont la formule développée est donnée ci-contre, est utilisée dans le domaine de l'aérospatial comme ergol dans les moteurs à faible poussée permettant le positionnement orbital des satellites et sondes spatiales.

Un ergol est une substance destinée à fournir l'énergie pour la propulsion d'une fusée.

La poussée est assurée par l'ammoniac  $\text{NH}_3$  et le diazote produit lors de la décomposition de l'hydrazine en présence d'un catalyseur, comme l'iridium. Un catalyseur est une espèce chimique qui accélère une transformation chimique mais qui n'intervient pas dans l'équation de la réaction modélisant la transformation.



1. Écrire et ajuster l'équation de la réaction de décomposition de l'hydrazine.
2. Indiquer les types d'interaction pouvant intervenir entre :
  - a. deux molécules de diazote ;
  - b. deux molécules d'ammoniac ;
  - c. deux molécules d'hydrazine ;
  - d. une molécule d'ammoniac et une molécule d'hydrazine ;
  - e. une molécule de diazote et une molécule d'ammoniac ;
  - f. une molécule de diazote et une molécule d'hydrazine.

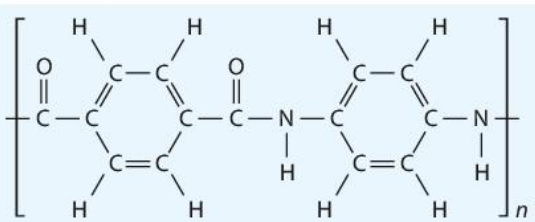
## 39 Un matériau aux propriétés étonnantes

→ Analyser, communiquer

### Doc. 1 Le kevlar

Le kevlar est un polymère constitué par la répétition périodique d'un motif élémentaire, appelé monomère. Il peut être filé et utilisé comme fibre synthétique. C'est un matériau rigide avec une résistance à la traction qui est supérieure à celle de l'acier.

Il est utilisé dans la conception de gilet pare-balles.



### Doc. 2 Énergie des interactions

Le tableau ci-dessous donne l'énergie qu'il faut fournir pour séparer les ions ou les molécules.

Espèces chimiques en interaction	Énergie moyenne (kJ · mol <sup>-1</sup> )
Ions	400 à 1 000
Ion et molécule polaire	40 à 200
Molécules polaires	5 à 25
Molécule polaire et apolaire	2 à 10
Molécules apolaires	0,05 à 40
Pont hydrogène	8 à 40

1. Classer les forces de cohésion liant les espèces chimiques selon un axe croissant.
2. Recopier la formule d'un monomère et représenter sa formule de Lewis.
3. Représenter sur cette formule les charges partielles associées aux liaisons polarisées.
4. Préciser le type de liaison permettant d'expliquer la cohésion et les propriétés mécaniques du kevlar.
5. Représenter ces liaisons à l'aide d'un schéma.

## 40 Aide p. 114 Mélange de deux solutions ioniques

→ S'approprier, analyser

On dispose d'une solution S<sub>1</sub> de chlorure de cuivre(II) (Cu<sup>2+</sup>(aq) + 2Cl<sup>-</sup>(aq)) de concentration en quantité de matière de soluté C<sub>1</sub> = 2,00 × 10<sup>-2</sup> mol · L<sup>-1</sup> et d'une solution S<sub>2</sub> de chlorure de zinc(II) (Zn<sup>2+</sup>(aq) + 2Cl<sup>-</sup>(aq)) de concentration en quantité de matière C<sub>2</sub> = 1,00 × 10<sup>-2</sup> mol · L<sup>-1</sup>.

1. Donner les formules des deux solides ioniques utilisés.

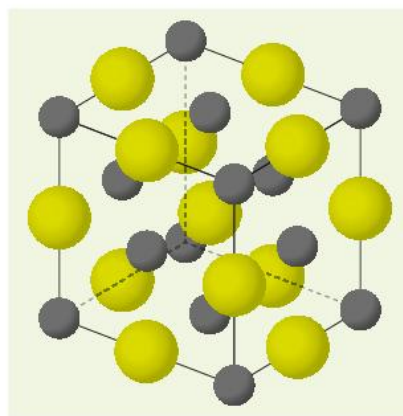
2. Calculer les concentrations effectives des ions dans chacune des deux solutions S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub>.

3. On mélange un volume V<sub>1</sub> = 50,0 mL de solution S<sub>1</sub> avec un volume V<sub>2</sub> = 30,0 mL de solution S<sub>2</sub>. Aucune réaction chimique ne se produit lors de ce mélange. Exprimer les concentrations effectives de chaque ion dans le mélange, en fonction de C<sub>1</sub>, V<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> et V<sub>2</sub>, puis calculer leurs valeurs.

## 41 Loi de Coulomb et solide ionique

→ Réaliser, analyser

La galène est une espèce minérale composée de sulfure de plomb de formule PbS. Ce composé correspond à une répétition dans l'espace de la maille cristalline cubique. Les ions plomb sont situés aux sommets de cette maille cubique de côté a = 592 pm.



Maille élémentaire du sulfure de plomb. Les ions plomb et sulfure sont respectivement représentés en gris et en jaune.

1. Déterminer la formule de l'ion sulfure qui est l'ion monoatomique issu du soufre S.
2. En déduire la formule de l'ion plomb.
3. Calculer la valeur de la force électrique exercée :
  - a. par un ion plomb sur un ion sulfure voisin ;
  - b. par un ion sulfure sur un ion sulfure voisin.
4. Représenter à l'échelle 1 cm pour 5,0 × 10<sup>-9</sup> N, les forces électriques exercées sur un ion sulfure par les ions sulfure et plomb les plus proches.
5. Que peut-on dire de la somme vectorielle de toutes ces forces ? Conclure.

### Différenciation

Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 40

1. Un solide ionique est électriquement neutre et symbolisé par sa formule statistique.
2. Prendre en compte les nombres stœchiométriques dans l'équation de dissolution de chaque solide ionique.
3. Déterminer les quantités de matière de chaque ion dans le mélange et faire attention au volume final.



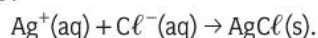
## Problèmes

### 42 Méthode de Mohr

#### Doc. 1 Titrage des ions chlorure par la méthode de Mohr

À l'aide d'une burette graduée, on ajoute une solution, de concentration connue, de nitrate d'argent à un volume connu de solution contenant des ions chlorure à doser par titrage.

Au cours de ce titrage, les ions chlorure et les ions argent précipitent pour donner du chlorure d'argent selon l'équation chimique :



La méthode de Mohr consiste à ajouter 10 mL de chromate de potassium à  $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  dans la solution titrée.

Avant l'équivalence, les ions argent réagissent avec les ions chlorure.

Après l'équivalence, lorsque tous les ions chlorure ont été consommés, les ions argent réagissent alors avec les ions chromate pour former un précipité rouge brique.

#### Doc. 2 Solution de chlorure d'aluminium

On prépare dans un premier temps, 250 mL de solution S à partir de chlorure d'aluminium  $\text{AlCl}_3(\text{s})$  solide.

On dilue cette solution 20 fois pour obtenir 100 mL de solution fille S'.

#### Doc. 3 Mise en œuvre du titrage

On prélève 20,0 mL de solution S' que l'on titre par la méthode de Mohr avec une solution de nitrate d'argent de concentration en soluté apporté :  $C = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Le précipité rouge apparaît pour un volume de nitrate d'argent versé  $V_E = 16,5 \text{ mL}$ .

► Déterminer la concentration des ions aluminium présents dans la solution S.

#### Différenciation

Apprendre à résoudre 42

1. Écrire la relation liant les quantités de matière des réactifs de la réaction de titrage à l'équivalence.
2. Déterminer la concentration molaire des ions titrés dans la solution fille.
3. Déterminer la concentration molaire de l'ion titré dans la solution mère en utilisant le facteur de dilution.
4. Écrire l'équation de la réaction modélisant la dissolution du solide ionique pour déterminer les relations entre la concentration en quantité de matière en soluté apporté et les concentrations effectives des ions en solution.

### 43 Mélange de solutions ioniques

On mélange dans un bécher 50,0 mL d'une solution  $S_1$  de sulfate de cuivre(II) ( $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) de concentration en soluté apporté  $C_1 = 0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  avec un volume  $V_2 = 150 \text{ mL}$  d'une solution de sulfate de sodium ( $2\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) de concentration en soluté apporté  $C_2 = 0,15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Il ne se produit aucune réaction chimique entre les espèces présentes.



► Déterminer les concentrations effectives de chacun des ions présents dans ce mélange.

#### Différenciation

Apprendre à résoudre 43

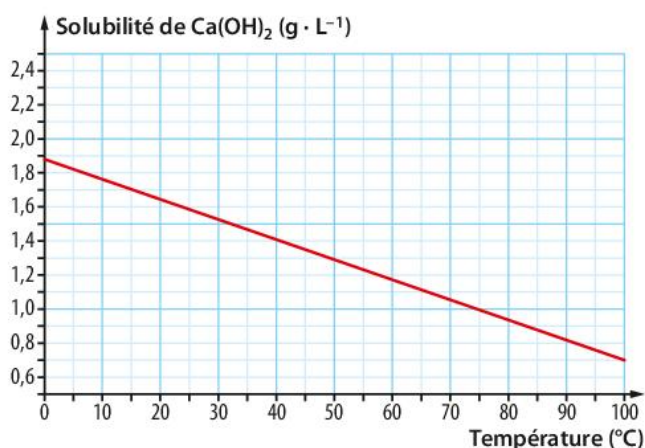
1. Écrire les équations des réactions de dissolution des solides ioniques.
2. Calculer les quantités de matière des ions présents.
3. Déterminer le volume final du mélange.

### 44 Solubilité de la chaux

La chaux est un composé ionique constitué d'ions calcium et hydroxyde de formule  $\text{HO}^-$ .

La solubilité d'un composé ionique représente la masse maximale de ce composé que l'on peut dissoudre par litre de solution.

On prépare à partir de 0,80 g de chaux une solution aqueuse  $S_1$  de 250 mL dont la température est de  $25^\circ\text{C}$ . Cette solution est filtrée et récupérée dans un erlenmeyer.



► Déterminer les concentrations effectives des ions présents dans le filtrat à  $25^\circ\text{C}$ .



En anglais

## 45 Endothermic dissolution

Three steps are required to dissolve an ionic solid:

- 1<sup>st</sup> step: ions are separated from the crystalline structure by molecules of water; this process is endothermic.
- 2<sup>nd</sup> step: molecules of water break hydrogen bonds and move away from each other, therefore making room for ions. This process is also endothermic.
- 3<sup>rd</sup> step: ions are solvated. In this case, the solvent being water, they are hydrated. Every ion is surrounded by molecules of water, whose orientation depends on the ionic charge. This process is exothermic.

Depending on the relative importance of every step, the global balance can be exothermic, athermic or endothermic. The dissolution of calcium nitrate,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(\text{s})$ , in water is accompanied by a cooling. The energy corresponding to this dissociation is  $+19,2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

1. Write the equation for the dissolution reaction of  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(\text{s})$  in water.

2. Indicate and justify whether this dissolution is endothermic or exothermic.

42.7 g of calcium nitrate is dissolved in a calorimeter containing 100 g of water at  $\theta_1 = 18.1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

After stirring and after the complete dissolution of the solid, water temperature stabilizes at  $\theta_2 = 7.0 \text{ }^\circ\text{C}$ . The calorimeter is perfectly isolated from its surrounding environment. The energy associated with the dissolution of the ionic solid can be calculated from the relation:  $E = -C_{\text{water}} \times m_{\text{water}} \times \Delta\theta$  with  $C_{\text{water}} = 4.18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ , the heat capacity of water.

3. Calculate the energy associated with the dissolution of calcium nitrate. Discuss its sign.

4. Compare with the theoretical value and propose explanations that may justify the difference.



### Vocabulaire :

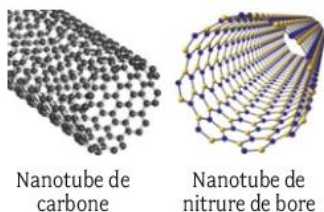
Heat capacity : capacité calorifique

## 46 Nitrure de bore

Le nitrure de bore fait partie des matériaux super-durs très utilisés dans le domaine des abrasifs. Comme le carbone, il peut former des feuilles d'un seul atome d'épaisseur qui peuvent s'enrouler pour former des nanotubes presque aussi résistants que les nanotubes de carbone.

### Doc. 1 Des nanotubes de nitrure de bore

Les nanotubes de nitrure de bore prennent l'avantage sur ceux en carbone dans les matériaux composites de par leurs très fortes liaisons avec les matrices en polymère.



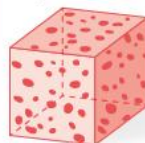
Nanotube de carbone

Nanotube de nitrure de bore

### Doc. 2 Matériau composite

Un matériau composite est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles. Il est essentiellement formé d'une matrice polymère (constituée de carbone d'hydrogène, d'oxygène, d'azote), céramique ou métallique dans laquelle se trouve un renfort qui assure la tenue mécanique du matériau composite.

Composite à particules



Composite à fibres



Composite laminé



### Doc. 3 Énergie des interactions

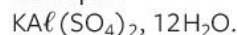
Espèces chimiques en interaction	Énergie moyenne ( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )
Ions	400 à 1000
Ion et molécule polaire	40 à 200
Molécules polaires	5 à 25
Molécule polaire et apolaire	2 à 10
Molécules apolaires	0,05 à 40
Pont hydrogène	8 à 40

- Proposer une hypothèse permettant d'expliquer *a priori* l'avantage des nanotubes de nitrure de bore sur les nanotubes de carbone. ➔ Tableau p. 89

## Objectif BAC

### 47 Solubilité et concentrations effectives

L'alun de potassium, appelé aussi disulfate d'aluminium et de potassium, est un sel double de formule chimique :



Il régule la transpiration et empêche le développement des bactéries responsables de la formation d'odeurs désagréables.

Sa solubilité dans l'eau à  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  est de  $59 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

On dissout à  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , 3,80 g d'alun de potassium dans 50,0 mL d'eau distillée puis on filtre la solution obtenue.

- Déterminer les concentrations effectives des différents ions présents dans le filtrat.





 **VIDÉO** présentation du chapitre

# Solubilité et extraction

*Comment les solutés organiques hydrophiles ou lipophiles interagissent-ils avec des solvants ?*

## Objectifs

Expliquer la solubilité dans un solvant

 Activité 1 p. 118

Réaliser une extraction liquide-liquide

 Activité 2 p. 119

Déterminer le rendement d'une extraction liquide-liquide

 Activité 3 p. 120

Illustrer les propriétés des savons

 Activité 4 p. 121

— La recette du savon de Marseille reste inchangée depuis des centaines d'années.

### 1 Expliquer la solubilité dans un solvant

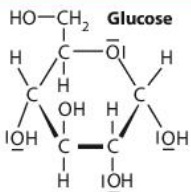
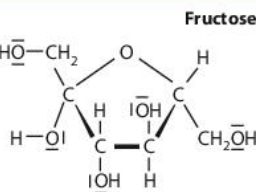
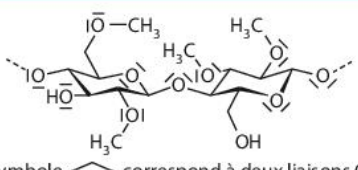

L'utilisation de solvants pour éliminer des salissures sur des surfaces de différentes natures est fréquente. Pour que le nettoyage soit efficace, il faut savoir choisir le bon solvant.

→ Quel solvant peut éliminer quelle tache ?

#### Vocabulaire

Un soluté peut être de type moléculaire, polaire ou apolaire, ou ionique. Il se dissout dans un solvant quand des interactions existent entre eux.

#### Doc. 2 Produits de la vie quotidienne

Produit	Molécule majoritaire
Miel	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <math>\text{HO}-\text{CH}_2</math>    <b>Glucose</b> </div> <div style="text-align: center;"> <math>\text{HO}-\text{CH}_2</math>    <b>Fructose</b> </div> </div>
Huile d'olive	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{O}-\text{C}(\text{O})-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_2-\text{C}(\text{H})=\text{C}(\text{H})-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_2-\text{O}-\text{C}(\text{O})-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_2-\text{C}(\text{H})=\text{C}(\text{H})-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_2-\text{O}-\text{C}(\text{O})-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_2-\text{C}(\text{H})=\text{C}(\text{H})-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3 \end{array}$
Rouge à lèvres	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-(\text{CH}_2)_{29}-\text{CH}_3$
Gouache	 Le symbole  correspond à deux liaisons C-C

#### Doc. 1 Solubilité dans l'eau

Nature du soluté et longueur de sa chaîne carbonée	Solubilité dans le solvant eau, à 20 °C
Méthanol : $\text{CH}_3\text{OH}$	Soluble en toutes proportions
Éthanol : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$	Soluble en toutes proportions
Butan-1-ol : $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	$77 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
Pentan-1-ol : $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_2-\text{OH}$	$22 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
Hexan-1-ol : $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_2-\text{OH}$	$5,9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
Dodecan-1-ol : $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{CH}_2-\text{OH}$	$0,004 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

#### Matériel et produits disponibles

- Tubes à essais avec bouchons
- Bêchers
- Morceaux de tissu
- Spatule
- Baguette en verre
- Chlorure de sodium
- Diode
- Eau
- Cyclohexane
- Produits du doc. 2.

#### Protocole

##### 1. Dissolutions

- 1.1 Dans deux tubes à essais, introduire quelques cristaux de chlorure de sodium et ajouter 2 mL d'eau dans l'un et de cyclohexane dans l'autre. Boucher et agiter. Travailler sous la hotte pour ajouter le cyclohexane.
- 1.2 Effectuer le même mode opératoire mais en remplaçant le chlorure de sodium par des cristaux de diode.

##### 2. Lavage

Réaliser des taches semblables de rouge à lèvres, miel, gouache et huile d'olive sur deux morceaux de tissu. Le premier sera plongé dans un bûcher rempli d'eau, le deuxième dans un bûcher rempli de cyclohexane.

#### Mise en œuvre

→ Réaliser, analyser

→ S'approprier

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Communiquer

- 1 Réaliser les protocoles en notant vos observations dans un tableau.
- 2 À l'aide du doc. 1, indiquer l'influence de la longueur de la chaîne hydrocarbonée sur la solubilité dans l'eau.
- 3 À l'aide du doc. 2, classer les solutés utilisés selon leur type et indiquer pour chacun le solvant approprié pour le dissoudre.
- 4 Justifier l'usage des solvants appropriés pour éliminer les taches.
- 5 Émettre des hypothèses sur les conditions de solubilité d'une espèce chimique dans un solvant en fonction de sa nature et de celle du solvant.



## 2 Réaliser une extraction liquide-liquide

Des flacons de Bétadine périmée sont retrouvés dans la pharmacie d'un hôpital. La Bétadine contient du diiode, une molécule toxique pour le milieu aquatique. Elle doit être recyclée.

Comment extraire le diiode de la Bétadine?

### Doc. 1 Mélange aqueux de sulfate de cuivre(II) et de rouge de méthyle

• Ce mélange contient du rouge de méthyle, un solide moléculaire de formule  $C_{15}H_{15}N_3O_2$ . Cette molécule est peu polaire.



• Extraction



### Doc. 3 La Bétadine

La Bétadine est un antiseptique et désinfectant à base de diiode  $I_2$ , indiqué pour l'antisepsie des plaies ou des brûlures superficielles.



### Matériel et produits disponibles

Ampoule à décanter • Béchers • Mélange aqueux de sulfate de cuivre(II) et de rouge de méthyle • Bétadine.

### Doc. 2 Caractéristiques chimiques

• Solubilité du rouge de méthyle :

Solvant	Eau	Éthanol	Cyclohexane	Dichlorométhane
Solubilité	Faible	Grande	Grande	Grande

• Solubilité du diiode :

Solvant	Eau	Éthanol	Cyclohexane	Dichlorométhane
Solubilité	Faible	Moyenne	Grande	Grande

• Miscibilité de quelques solvants l'un avec l'autre :

Miscibilité avec :	Eau	Éthanol	Cyclohexane
L'eau		Totale	Nulle
L'éthanol	Totale		Très faible
Le cyclohexane	Nulle	Très faible	
Le dichlorométhane	Très faible	Non précisé	

• Caractéristiques de différents solvants :

Solvant	Nature	Masse volumique (g · L <sup>-1</sup> )	Pictogramme de sécurité
Éthanol	Polaire	780	
Cyclohexane	Apolaire	790	
Dichlorométhane	Polaire	1 330	

### Démarche expérimentale

→ Réaliser

→ S'approprier

→ Analyser

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Valider

**1** Utiliser le cyclohexane pour extraire le rouge de méthyle du mélange aqueux (doc. 1), à l'aide de l'ampoule à décanter. → Fiche 3 p. 352

**2** Indiquer sur un schéma le nom, la position et le contenu de chaque phase puis valider le solvant pour cette extraction à l'aide du doc. 2.

**3** Proposer un protocole permettant de séparer le diiode de la Bétadine (doc. 3).

**4** Réaliser l'extraction puis préciser sur un schéma la position, le contenu ainsi que le nom de chaque phase dans l'ampoule à décanter.

**5** Justifier le choix du solvant utilisé pour séparer le diiode de la Bétadine.

**6** Résumer le principe d'une extraction liquide-liquide.

### 3 Déterminer le rendement d'une extraction liquide-liquide

L'extraction liquide-liquide est une opération très courante dans l'industrie chimique. Un bon procédé industriel doit notamment être fiable, efficace et économique.

Comment obtenir le meilleur rendement d'extraction ?

#### Protocoles d'extraction du diiode par du cyclohexane

##### Protocole 1

Dans une ampoule à décanter, verser un volume  $V_5 = 100$  mL de solution S de diiode.

Sous la hotte, y ajouter un volume  $V_1 = 20,0$  mL de cyclohexane.

Agiter, laisser décanter et récupérer la phase aqueuse dans un bêcher noté Protocole 1.



##### Protocole 2

2.1 Suivre le protocole 1 mais en utilisant un volume  $V_2 = 10$  mL de cyclohexane.

2.2 Récupérer la phase aqueuse de l'étape 2.1, la verser dans une autre ampoule à décanter et réaliser une nouvelle extraction avec un volume  $V_2 = 10,0$  mL de cyclohexane.

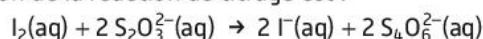
Récupérer la phase aqueuse dans un bêcher noté protocole 2.

Attention : la solution de cyclohexane et de diiode ne doit pas être jetée dans l'évier mais récupérée dans un bidon spécial de récupération des déchets chimiques.

#### Doc. 1 Dosage du diiode dans la phase aqueuse

En présence de thiodène ou d'empois d'amidon, doser un volume  $V_A = 20$  mL de phase aqueuse par une solution de thiosulfate de sodium ( $2 \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ ) à la concentration  $C_B = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

L'équation de la réaction de titrage est :



#### Doc. 2 Rendement d'une extraction

Le rendement  $r$  d'une extraction est égal à la quantité de matière de soluté passé dans le solvant extracteur, divisé par la quantité de matière de soluté présent dans le solvant initial avant l'extraction.

#### Matériel et produits disponibles

Solution S : solution aqueuse de diiode à la concentration  $C = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  • Cyclohexane • Solution aqueuse de thiosulfate de sodium à la concentration  $C_B = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  • Thiodène ou empois d'amidon • Ampoule à décanter • Éprouvette graduée • Pipette jaugée de 10 mL et 20 mL • Burette graduée • Agitateur magnétique • Barreau aimanté.

Remarque : on peut remplacer le cyclohexane par de l'huile de colza.

1 Faire le schéma du montage permettant de doser la quantité de matière de diiode restant dans la phase aqueuse.

APPEL n° 1 pour présenter le schéma ou en cas de difficulté.

2 Réaliser les extractions décrites dans le protocole.

3 Prélever un volume  $V = 20$  mL de chacune des phases aqueuses obtenues et réaliser le dosage du diiode restant. Noter la valeur des deux volumes équivalents.

APPEL n° 2 pour réaliser le premier dosage ou en cas de difficulté.

4 Calculer la quantité de matière initiale de diiode  $n_0(\text{I}_2)$  présente dans le volume  $V = 20$  mL de solution S.

5 À partir de l'équation de dosage et du volume équivalent du premier dosage, déterminer la quantité de matière de diiode ( $n_1(\text{I}_2)$ ) restant dans le volume  $V = 20$  mL de la phase aqueuse issue du premier dosage. En déduire la valeur du rendement de l'extraction.

APPEL n° 3 en cas de difficulté.

6 De la même manière, déterminer la quantité de matière de diiode restant dans la phase aqueuse issue de l'extraction 2 ( $n_2(\text{I}_2)$ ). Déduire la valeur du rendement de l'extraction.

7 En s'appuyant sur les résultats expérimentaux, rédiger un protocole d'extraction permettant d'obtenir le meilleur rendement d'extraction possible.

APPEL n° 4 en cas de difficulté.

Mettre en œuvre un protocole

# 4 Illustrer les propriétés des savons

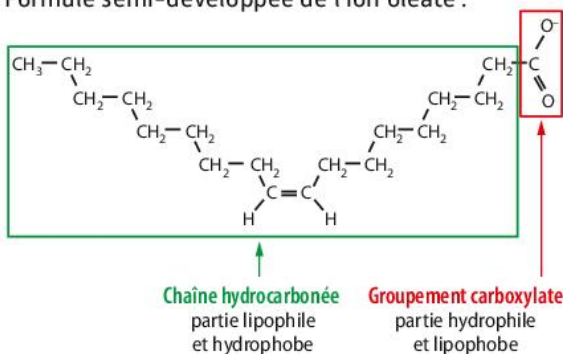
Utilisé pour éliminer les salissures sur la peau et le linge, le savon est le produit cosmétique le plus répandu dans le monde.

Quelle particularité du savon lui donne cette action lavante ?

Doc. 1 Le savon et les micelles

Le principal constituant d'un savon est un ion carboxylate, comme par exemple l'ion oléate issu de l'huile d'olive.

Formule semi-développée de l'ion oléate :



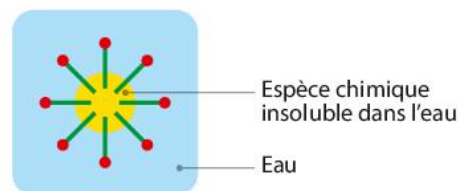
Représentation simplifiée de l'ion oléate :



Doc. 2 Les micelles

Quand la concentration de savon est suffisante, il se forme des micelles qui peuvent renfermer des espèces chimiques insolubles dans l'eau.

Schéma simplifié d'une micelle :



Protocole

1. Pouvoir mouillant

- 1.1 Déposer une goutte d'eau et une goutte d'eau savonneuse sur une surface lisse. Observer.
- 1.2 Préparer 2 béchers contenant à ras bord respectivement de l'eau et de l'eau savonneuse. Déposer délicatement un morceau de tissu épais à leur surface.

2. Pouvoir émulsifiant

Préparer 2 tubes à essais contenant respectivement de l'eau distillée et de l'eau savonneuse, ajouter 5 gouttes d'huile dans chacun des tubes et agiter.

3. Limite d'utilisation

Préparer 4 tubes à essais contenant respectivement de l'eau distillée, de l'eau salée, une solution de chlorure de calcium, une solution de chlorure de fer(III). Ajouter environ 1 mL d'eau savonneuse et agiter.

Matériel et produits disponibles

- Eau distillée • Eau savonneuse • Huile • Solution de chlorure de calcium • Solution de chlorure de fer(III) • Tissu épais • Béchers • Tubes à essais avec bouchons.

Mise en œuvre

→ Réaliser, analyser

1 Réaliser l'étape 1 du protocole qui illustre le pouvoir mouillant. Préciser comment se manifeste le pouvoir mouillant de l'eau et expliquer l'intérêt de l'améliorer pour le lavage.

2 Réaliser l'étape 2 du protocole et expliquer le pouvoir émulsifiant du savon.

3 Réaliser l'étape 3 du protocole et préciser les limites d'utilisation d'un savon.

Conclusion

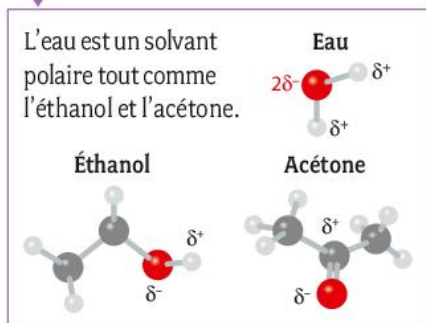
4 Expliquer pourquoi la présence d'une partie lipophile et d'une partie hydrophile est indispensable à l'action d'un savon sur une tache.

De l'activité au cours

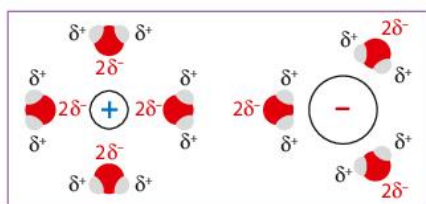
→ Communiquer

5 Résumer l'action du savon sur une tache lors du lavage à l'aide de schémas.

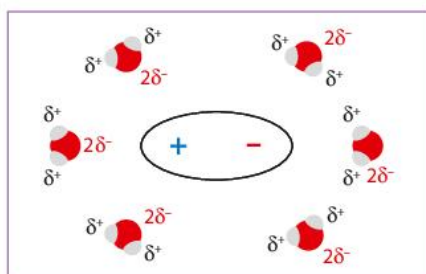
DIFFÉRENCIATION : Aide protocole



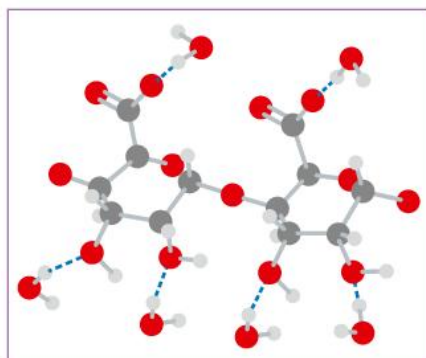
**Doc. 1.** Les molécules polaires se comportent comme un dipôle électrique.



**Doc. 2.** Cas d'une dissolution d'un composé ionique dans l'eau.



**Doc. 3.** Les molécules d'eau s'orientent autour du dipôle et dissolvent la molécule.



**Doc. 4.** Ponts hydrogène (tirets bleus) entre l'alginate et l'eau.

## A Solubilité dans un solvant

### 1 Définition

La **solubilité**, grandeur physique notée  $s$ , désigne la **quantité de matière** maximum  $n_{\max}$  d'un soluté, solubilisée dans 1 L de solvant à une température donnée.

$$s = \frac{n_{\max}}{V_{\text{solvant}}}$$

$s$  : solubilité en moles par litre ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$n_{\max}$  : quantité de matière en moles (mol)

$V_{\text{solvant}}$  : volume en litres (L)

Elle peut aussi être définie comme la **masse** maximale de soluté solubilisée dans 1 L de solvant. Elle est alors donnée en  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

### 2 Conditions de solubilité

Lorsqu'un soluté se dissout dans un solvant pour former un mélange homogène appelé solution, les espèces chimiques du soluté se dispersent et interagissent avec les molécules du solvant.

Les interactions mises en jeu peuvent être différentes selon la nature du soluté et celle du solvant.

#### a. Cas des solutés ioniques

Ils sont très solubles dans l'eau ou de manière générale dans tous les solvants polaires (**doc. 1**).

Les composés ioniques sont solubles dans les solvants polaires car ils s'entourent de molécules du solvant avec lesquelles se créent des **interactions de nature électrostatique** (**doc. 2**).

#### b. Cas des solutés moléculaires

► Si le soluté est constitué de molécules **polaires**.

– Il est alors soluble dans les **solvants polaires** grâce à des **interactions de van der Waals**. Ici, les interactions de van der Waals sont de type « dipôle permanent-dipôle permanent », car les molécules polaires peuvent être considérées comme des dipôles électriques.

Des molécules polaires, notamment celles qui comportent moins de cinq atomes de carbone dans leur groupe hydrocarboné, sont fortement solubles dans l'eau (**doc. 3**).

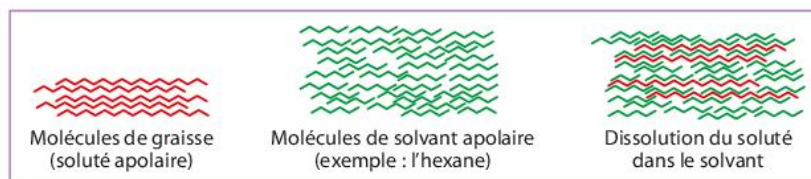
– Certains solutés polaires sont susceptibles de former aussi des **ponts hydrogène** lorsque les molécules contiennent des groupes X-H, avec X=F, O ou N. Elles sont donc très solubles dans les solvants portant également un groupe X-H (**doc. 4**).

► Si le soluté est constitué de molécules **apolaires**.

Le soluté est alors soluble dans les **solvants apolaires**. Les molécules de soluté s'entourent de molécules de solvant grâce à des **interactions de van der Waals**, de type « dipôle induit-dipôle induit » car

les molécules apolaires se comportent comme des dipôles induits sous l'influence d'autres molécules. Ce phénomène provoque la dissolution du soluté dans le solvant.

Le cyclohexane, les essences, l'éther diéthylique, tout comme les lipides sont des solvants apolaires.



**Doc. 5. Solubilité de molécules de graisse (apolaires) dans un solvant apolaire.**

**Remarque :** Certaines molécules apolaires peuvent se polariser sous l'action de molécules polaires de solvant. Les interactions de van der Waals peuvent alors s'établir. Ce phénomène explique la solubilité de certains solutés apolaires dans des solvants polaires.

En **règle générale**, un composé ionique ou polaire sera très bien solubilisé dans un solvant polaire, tandis qu'un composé apolaire le sera mieux dans un solvant apolaire.

→ **Activité 1**

### Éviter les erreurs...

Deux liquides sont miscibles s'ils se ressemblent, le proverbe « qui se ressemble, s'assemble » s'applique pour expliquer la miscibilité de deux espèces.

## B Extraction d'une espèce

### 1 Miscibilité

Deux **liquides** A et B sont dits **miscibles** quand ils se mélangent totalement l'un avec l'autre. Les interactions entre les molécules A et B sont de même nature que les interactions entre deux molécules A et entre deux molécules B.

### 2 Extraction liquide-liquide

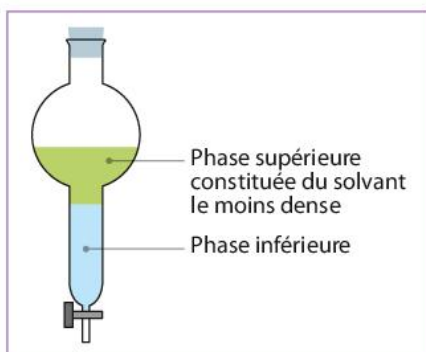
► L'extraction liquide-liquide consiste à faire passer, par solubilisation, un composé du solvant initial dans un autre solvant, appelé **solvant extracteur**. Pour cela :

- le solvant extracteur et le solvant initial ne doivent pas être miscibles ;
- l'espèce à extraire doit être plus soluble dans le solvant extracteur que dans le solvant initial.

► Une extraction est réalisée dans une ampoule à décanter (**doc. 6**). L'agitation, le dégazage puis la décantation sont nécessaires pour réaliser l'extraction. ➔ **Fiche 3 p. 352**

Si le solvant extracteur utilisé est une espèce chimique organique (molécule constituée d'atomes de carbone), alors la phase correspondante est appelée **phase organique**.

► Pour extraire une molécule polaire ou un composé ionique d'un milieu, le rendement sera meilleur avec un solvant polaire. Pour extraire une molécule apolaire, il sera préférable d'utiliser un solvant apolaire.



**Doc. 6. Extraction liquide-liquide après décantation.**

## Vocabulaire

- Hydro : du grec ὑδωρ (hydōr) « eau ».
- Lipo : du grec λίπος (lípos) « gras ».
- -phile : du grec φιλεω (phileo) « aimer ».
- -phobe : du grec φόβος (phóbos) « peur ».

## Ne pas confondre...

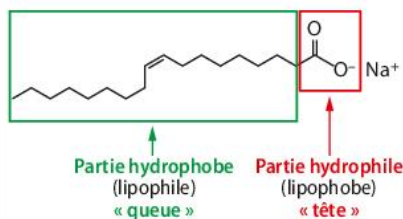
...solubilité et miscibilité.

On utilise « solubilité » pour parler d'un soluté qui se dissout dans un solvant et « miscibilité » pour deux liquides qui peuvent se mélanger.

L'oléate de sodium est une espèce chimique très souvent utilisée dans le savon de Marseille.



Sa formule brute est  $C_{18}H_{33}O_2Na$ . En solution, on peut le représenter avec la formule topologique suivante :



Doc. 8. Les substances ioniques qui constituent le savon.

## Densité et masse volumique

La densité  $d$  d'une espèce est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique d'une espèce de référence  $\rho_{\text{réf}}$ . Pour un liquide, la masse volumique de référence est celle de l'eau  $\rho_{\text{réf}} = \rho_{\text{eau}}$ .

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}}$$

$d$  : densité sans unité

$\rho$  : masse volumique en grammes par litre ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

→ Activités 2 et 3

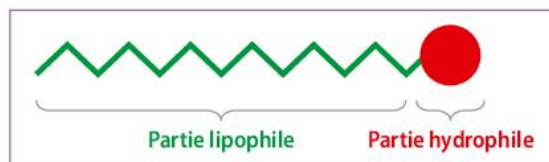
## C Molécules organiques amphiphiles

## 1 Définition

Les molécules **amphiphiles** sont des molécules qui possèdent une partie **soluble dans l'eau** (hydrophile) et une **partie soluble dans les graisses** (lipophile).

La partie hydrophile est polaire ou ionique.

La partie lipophile est apolaire.



Doc. 7. Schéma d'une molécule amphiphile

La partie **hydrophile** n'a aucune affinité avec les solvants apolaires et notamment les graisses : elle est **lipophobe**.

La partie **lipophile** n'a aucune affinité avec les solvants polaires et notamment l'eau : elle est **hydrophobe**.

Les savons, les détergents ou les émulsifiants sont des molécules amphiphiles, ils sont aussi appelés **tensioactifs**.

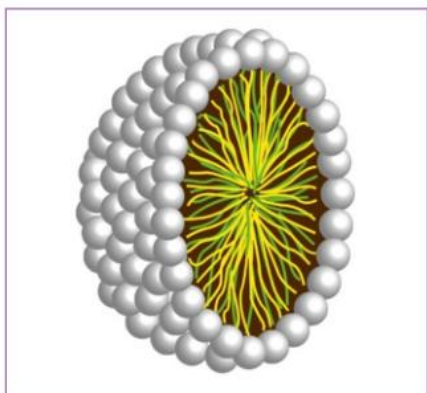
## Remarques :

- Les espèces qui peuvent se dissoudre dans l'eau sont des composés ioniques ou des composés hydrophiles et lipophobes.
- Les molécules qui peuvent se dissoudre dans les solvants apolaires comme les lipides sont des composés lipophiles et hydrophobes.

## 2 Les savons

## a. Caractère amphiphile des savons

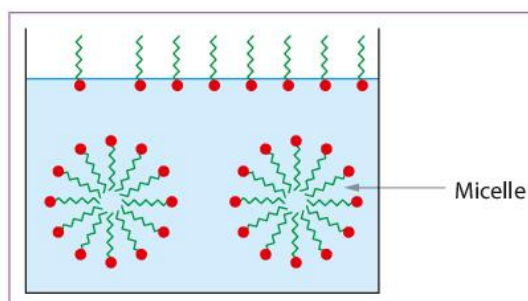
- La « tête » du savon est un groupement carboxylate ( $\text{COO}^-$ ) qui est hydrophile car il crée des interactions avec l'eau.
- La « queue » du savon est une longue chaîne hydrocarbonée qui constitue la partie hydrophobe et lipophile car elle crée des interactions avec les lipides. Elle est apolaire (doc. 8).



Doc. 10. Une représentation 3D d'une micelle.

### b. Propriétés lavantes

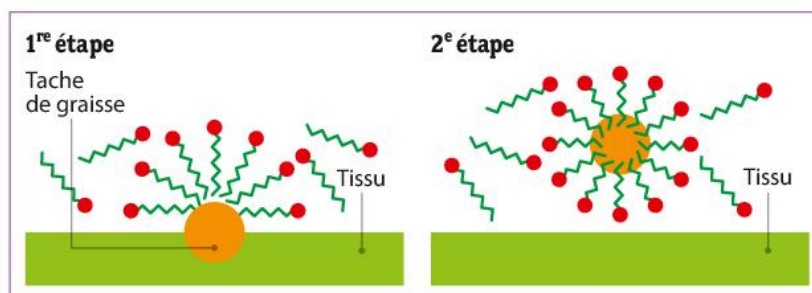
Dans une eau savonneuse à faible concentration, les ions carboxylate occupent la surface de l'eau, ce qui modifie la tension superficielle de l'eau. L'excédent s'organise en petites sphères appelées **micelles**.



Doc. 9. Schéma d'une micelle.

La **formation de micelles** (doc. 10) rend possible la dissolution dans l'eau d'une tache d'huile présente par exemple sur un tissu. Cette tache se laisse entourer par la partie lipophile du savon alors que la partie hydrophile entraîne la tache vers l'eau.

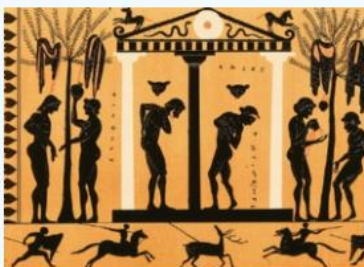
- 1<sup>re</sup> étape : les ions carboxylate entourent la graisse par leur partie lipophile.
- 2<sup>e</sup> étape : un globule de corps gras se forme. La graisse est entraînée hors du tissu lors du rinçage. D'autres ions carboxylate se fixent aussi sur le tissu ce qui évite la re-déposition du globule de graisse.



Doc. 11. Les deux étapes de la formation d'une micelle.

#### Histoire

Dans l'antiquité on savait déjà fabriquer le savon à partir des graisses animales ou végétales que l'on chauffait avec de la cendre.



Scène de toilette Égyptienne

### 3 Autres applications

► Grâce à leur structure amphiphile, les tensioactifs sont mis à profit dans de nombreuses applications industrielles et notamment dans les formulations des **détergents** mais aussi des cosmétiques : shampoings, bains moussants, gels douches, dentifrices, produits de maquillage...

► Les tensioactifs sont aussi très souvent utilisés dans le domaine **alimentaire** pour stabiliser les **émulsions** avec les lécithines.

Dans une émulsion, les molécules tensioactives enrobent les gouttelettes du corps gras et se fixent à elles par leur partie lipophile pour former des globules de corps gras. Grâce à leur surface hydrophile, chargée négativement, les globules se repoussent et des interactions de nature électrostatique avec des molécules d'eau peuvent s'établir, ce qui permet de stabiliser les émulsions.

#### → Activité 4

## Solubilité

Quantité de matière maximale de soluté solubilisé en mol

$$s = \frac{n_{\max}}{V_{\text{solvant}}}$$

Solubilité en mol · L<sup>-1</sup> ← Volume de solvant en L

ou

Masse maximale de soluté solubilisé en g

$$s = \frac{m_{\max}}{V_{\text{solvant}}}$$

Solubilité en g · L<sup>-1</sup> ← Volume de solvant en L

### Interaction en fonction du type de soluté et de solvant

► **Soluté ionique**  
dissous dans un **solvant polaire**



► **Soluté moléculaire polaire**  
dissous dans un **solvant polaire**

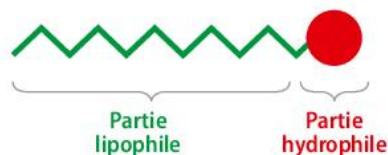


► **Soluté moléculaire apolaire**  
dissous dans un **solvant apolaire**

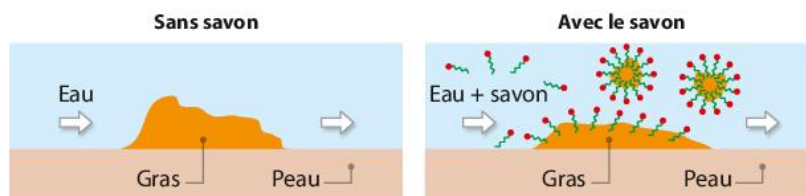


## Molécule amphiphile

### Structure générale d'un savon

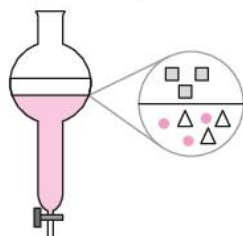


### Action du savon sur une tache grasse



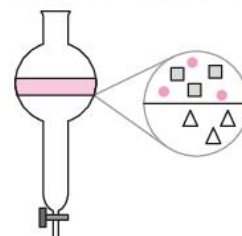
## Extraction liquide-liquide

### Avant agitation



- △ Solvant initial
- Solvant extracteur (ici, moins dense que le solvant initial)
- Espèce chimique à extraire

### Après agitation et décantation







## Résoudre un exercice

### Énoncé

La teinture d'iode est un antiseptique contenant du diiode et de l'iodure de potassium dissous dans l'éthanol.

Le diiode est extrait de cette solution par une extraction liquide-liquide réalisée avec du tétrachlorométhane (solvant très toxique  ).

L'éthanol de densité égale à  $d_E = 0,79$  n'est pas soluble dans le tétrachlorométhane (de densité  $d_T = 1,6$ ).

- Justifier le fait que le diiode soit plus soluble dans le tétrachlorométhane que dans l'éthanol.
- Faire un schéma de l'ampoule à décanter avant agitation puis après agitation et décantation. Identifier les phases et donner leur composition.

Espèce chimique	Polarité
Éthanol	Polaire
Tétrachlorométhane	Apolaire
Diiode	Apolaire
Iodure de potassium	Ionique

#### Doc. 1 Polarité des espèces chimiques

Dans l'éthanol	Faible
Dans le tétrachlorométhane	Forte

#### Doc. 2 Solubilité du diiode

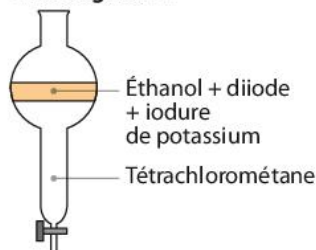
### Conseils

- Comparer la polarité des solvants et des solutés.
- Comparer la densité des solvants.
  - La phase inférieure contient le solvant le plus dense.

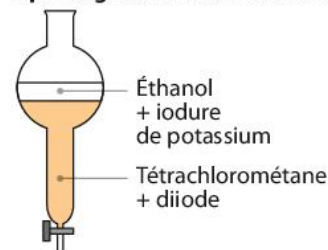
### Résolution

- Le diiode étant une molécule apolaire, il est plus soluble dans le tétrachlorométhane (solvant apolaire) que dans l'éthanol (solvant polaire).
- Schéma de l'ampoule à décanter.

#### Avant agitation



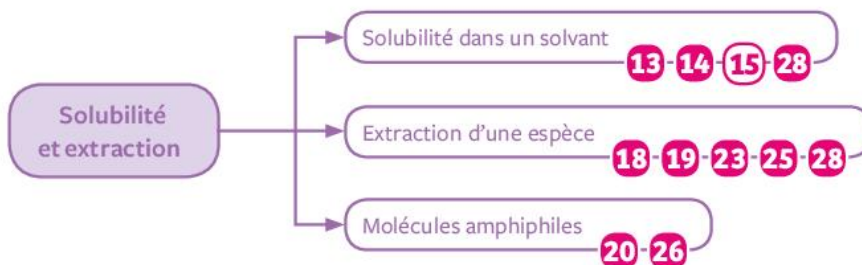
#### Après agitation et décantation



→ Exercice 17 p.129

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.



**1** Lors d'une extraction par solvant, le composé à extraire :

A : est plus soluble dans le solvant extracteur que dans le solvant de départ.

B : est plus soluble dans le solvant de départ que dans le solvant extracteur.

C : doit avoir une densité inférieure à 1.

D : doit avoir une densité supérieure à 1.

**2** Quand deux liquides ne se mélangent pas, on dit qu'ils sont :

A : solubles.

B : non solubles.

C : miscibles.

D : non miscibles.

**3** Lorsque deux liquides ne sont pas miscibles, celui qui a la plus petite densité :

A : surnage. B : constitue la phase organique.

C : constitue la phase supérieure.

D : constitue la phase inférieure.

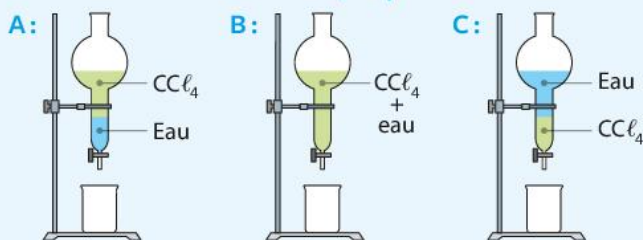
**4** Pour séparer deux liquides non miscibles, on utilise :

A : un appareil à distiller. B : un filtre.

C : une éprouvette graduée. D : une ampoule à décanter.

**5** Le tétrachlorométhane, de formule  $\text{CCl}_4$ , a une densité par rapport à l'eau  $d = 1,6$ . Il est non miscible avec l'eau.

Parmi les schémas suivants, lequel est correct ?



D : On ne peut pas savoir.

**6** L'éthanol de formule  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$  est :

A : une molécule polaire.

B : insoluble dans un solvant polaire.

C : soluble dans l'eau.

D : soluble dans un solvant apolaire.

**7** L'eau est un solvant :

A : polaire. B : apolaire. C : hydrophobe. D : ionique.

**8** Le cyclohexane est un solvant :

A : polaire. B : apolaire. C : électrique. D : ionique.

**9** Un savon a la structure suivante :

A : la partie A est hydrophile.

B : la partie A est lipophile.

C : la partie B est hydrophile.

D : la partie B est lipophile.



## FOCUS MATHS

### Les unités dans le calcul de la densité

Pour calculer la densité  $d$  d'une espèce chimique à partir de sa masse volumique  $\rho$  par la formule  $\frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}}$ , la masse volumique de cette espèce et celle de l'eau doivent être exprimées dans la même unité.

### Application à la chimie

#### 10 Exercice résolu

Un volume d'éthanol  $V = 0,500 \text{ L}$  a une masse de  $395 \text{ g}$ . Donnée. Masse volumique de l'eau  $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

► Calculer la densité de l'éthanol.

#### Solution commentée

La masse volumique de l'eau est donnée en  $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , la masse volumique de l'éthanol doit donc aussi être donnée en  $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ . Dans le calcul de la masse volumique, le volume d'éthanol sera alors exprimé en mL et la masse en g :

$$\rho_{\text{éthanol}} = \frac{m_{\text{éthanol}}}{V_{\text{éthanol}}} = \frac{395}{0,500 \times 10^3} = 0,79 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

Calcul de la densité de l'éthanol :

$$d_{\text{éthanol}} = \frac{\rho_{\text{éthanol}}}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{0,79}{1,0} = 0,79$$

#### 11 Exercice d'application

Le tétrachlorométhane est un solvant organique non miscible avec l'eau. Un volume  $V = 5,0 \text{ mL}$  de masse  $m = 7,95 \text{ g}$  est versé dans une ampoule à décanter contenant de l'eau.

Donnée. Masse volumique de l'eau  $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

► Indiquer où se place ce solvant par rapport à l'eau dans l'ampoule à décanter.



## Entraînement

### Solubilité dans un solvant

**12** Indiquer si les affirmations suivantes sont vraies ou fausses. Corriger celles qui sont fausses.

- La molécule d'eau est polaire car l'atome d'oxygène O attire vers lui les doublets d'électrons qui le lient aux deux atomes d'hydrogène H.
- Une espèce ionique ou polaire est plus soluble dans un solvant apolaire comme le cyclohexane que dans un solvant polaire comme l'eau.
- De façon générale, ce sont les molécules apolaires qui sont les plus solubles dans l'eau.
- Entre les molécules d'eau polaires et les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  du cristal de chlorure de sodium, des interactions de nature électrostatique permettent la destruction du cristal ionique.
- Les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  peuvent se disperser dans l'eau.
- Une molécule amphiphile possède toujours une extrémité lipophile et une autre extrémité hydrophobe.
- La partie hydrophile d'une molécule amphiphile est en général constituée d'une longue chaîne carbonée.

**13** Aide p. 130

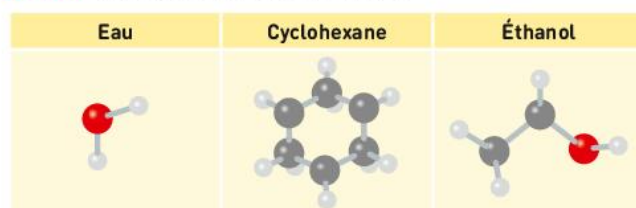
- Dire si la molécule de sulfure d'hydrogène  $\text{H}_2\text{S}$  est polaire ou non.
- Peut-on dissoudre  $\text{H}_2\text{S}$  dans l'eau? Dans le cyclohexane?

#### Données

Électronégativités :  $\chi(\text{H}) = 2,2$  ;  $\chi(\text{O}) = 3,4$  ;  $\chi(\text{S}) = 2,6$ .

**14** Aide p. 130

#### Doc. 1 Structure d'espèces chimiques



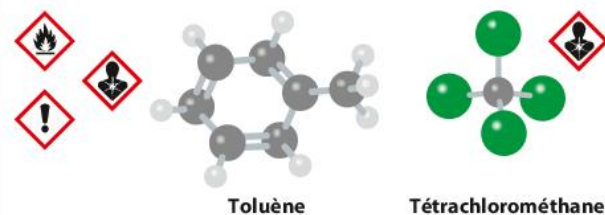
#### Données

Atome	H	O	C	Cl
Électronégativité	2,2	3,4	2,5	3,2
Numéro atomique	1	8	6	17

- Justifier le fait que le chlorure de fer(III) soit soluble dans l'eau.
- Les deux autres solvants peuvent-ils être choisis pour dissoudre le chlorure de fer(III)?

**15** Aide p. 130 Le toluène et le tétrachlorométhane sont deux solvants liquides à température ambiante.

#### Doc. 1 Modèles moléculaires



- Indiquer si ces solvants sont polaires ou apolaires. Justifier.
- En déduire si le diiode est soluble dans le toluène et le tétrachlorométhane.

### Extraction d'une espèce

**16** L'huile essentielle de menthe poivrée aide à lutter contre le mal des transports. L'un de ses constituants est la menthone. Pour extraire celle-ci d'une solution aqueuse, il est possible de réaliser une extraction liquide-liquide. L'alcool et l'eau sont miscibles. L'éther et le benzène ne sont pas miscibles avec l'eau.

#### Doc. 1 Solubilité de la menthone ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )

Solvant	Eau	Éther	Éthanol	Benzène
Solubilité	Faible	Grande	Grande	Grande
Pictogramme de sécurité				

► Indiquer quel solvant est utilisable pour réaliser cette extraction et préciser les précautions à prendre.

**17** L'extrait de vanille naturel contient de la vanilline (peu polaire), de l'acide vanillique et de l'acide hydroxybenzylique. Pour extraire la vanilline de la gousse de vanille, il faut diluer l'extrait de vanille dans de l'eau puis réaliser une extraction liquide-liquide en utilisant du trichlorométhane.

#### Données

- Trichlorométhane

Solubilité de	la vanilline	l'acide vanillique	l'acide hydroxybenzylique
Solubilité dans l'eau	Faible	Grande	Grande
le trichlorométhane	Grande	Faible	Faible

• Densités :  $d_{\text{eau}} = 1$  ;  $d_{\text{trichlorométhane}} = 1,5$ .

- Le trichlorométhane étant une molécule apolaire, l'eau et le trichlorométhane sont-ils miscibles? Justifier.
- Justifier la faible solubilité de la vanilline dans l'eau et sa grande solubilité dans le trichlorométhane.
- Faire le schéma de l'ampoule à décanter après agitation et décantation lors de l'extraction liquide-liquide.

## En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**18** Aide p. 130 Le diiode est faiblement soluble dans l'eau mais très soluble dans le cyclohexane et le tétrachlorométhane.

### Données

Miscibilité :	Eau	Cyclohexane	Tétrachlorométhane
Eau		Nulle	Nulle
Cyclohexane	Nulle		Grande
Tétrachlorométhane	Nulle	Grande	

• Densités :

$$d_{\text{eau}} = 1; d_{\text{cyclohexane}} = 0,78; d_{\text{tétrachlorométhane}} = 1,6.$$

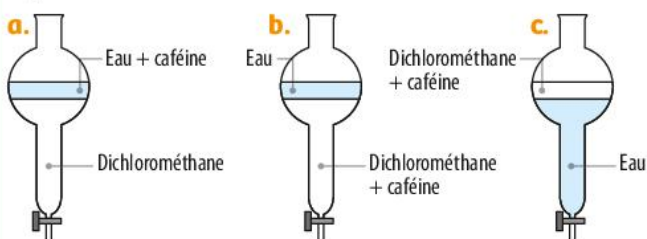
► Schématiser un tube à essai contenant :

- De l'eau et du cyclohexane avec un peu de diiode.
- De l'eau et du tétrachlorométhane avec un peu de diiode.
- Du cyclohexane et du tétrachlorométhane avec un peu de diiode.

### Critères d'évaluation

- La position des phases est argumentée.
- Toutes les informations utiles ont été prises en compte.
- Le schéma est lisible et correct et il est légendé.

**19** Aide p. 130 L'extraction de la caféine d'une solution aqueuse est réalisée avec du dichlorométhane.



### Données

Solvant	Densité	Solubilité de la caféine (à 20 °C)
Dichlorométhane	1,33	Forte
Eau	1,00	Faible

► Identifier le schéma représentant l'ampoule à décantier pour cette extraction après agitation et décantation.

### Critères d'évaluation

- La réponse est rédigée dans un français correct.
- Les arguments sont détaillés, la position des phases est justifiée en prenant en compte les caractéristiques chimiques des produits.

## Molécules organiques amphiphiles

**20** Aide p. 130 Les molécules amphiphiles sont utilisées en cuisine pour réaliser des émulsions.

En fonction de la position de la phase aqueuse et de la phase huileuse, deux types d'émulsions existent :

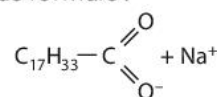
– une émulsion eau dans huile (E/H) si la phase aqueuse est dans la micelle et la phase huileuse autour, c'est le cas du beurre.

– une émulsion huile dans eau (H/E) si la phase huileuse est dans la micelle et la phase aqueuse autour, c'est le cas du lait.

► Représenter une micelle présente dans le beurre et une micelle présente dans le lait.

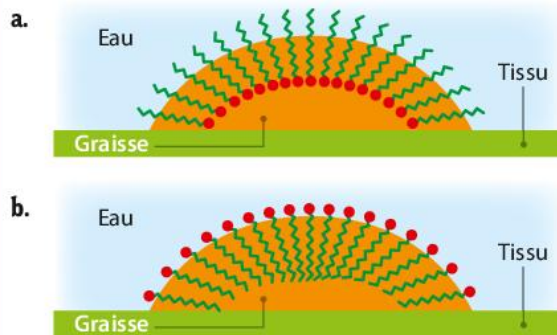
**21** L'oléate de sodium est un savon de formule :

► Dessiner l'ion oléate et entourer les parties hydrophile et lipophile.



**22** On cherche à représenter l'action d'un savon.

### Doc. 1 Deux versions de l'attaque d'une salissure par un savon



► Dire quel est le schéma le plus plausible.

### Différenciation

#### Aides aux exercices

#### Aide pour les exercices 13 et 15

• Pour qu'une molécule soit polaire, il faut non seulement que des liaisons soient polarisées mais aussi que les barycentres des charges positives et négatives soient différents.

#### Aide pour l'exercice 14

• Le chlorure de fer (III) est un composé ionique.

#### Aide pour les exercices 18 et 19

• Pour évaluer la densité d'une phase, on se base uniquement sur la densité du solvant.

#### Aide pour l'exercice 20

• Une émulsion d'eau dans l'huile implique que l'espèce la plus importante est l'huile.





## Synthèse

### 23 Aide p. 132 Odeur d'amande

→ Analyser, réaliser, communiquer

L'essence d'amande amère (sirop d'orgeat, frangipane) a une odeur caractéristique ; c'est celle du benzaldéhyde. On extrait le benzaldéhyde à l'aide d'une ampoule à décanter qui contient 10 mL de sirop d'orgeat (solution aqueuse). Après avoir ajouté 5 mL du solvant choisi, l'ampoule est agitée puis le contenu est laissé à décanter.

#### Doc. 1 Caractéristiques des espèces chimiques

	Miscibilité avec l'eau	Température d'ébullition	Densité	Sécurité
Benzaldéhyde	Faible	178 °C	1,04	
Eau		100 °C	1,00	
Ether diéthylique	Non miscible	34 °C	0,71	 par inhalation
Éthanol	Illimitée	78 °C	0,79	 par ingestion

1. Indiquer quel solvant, parmi ceux proposés, convient le mieux. Justifier.
2. Réaliser le schéma de l'ampoule à décanter en fin d'extraction.
3. Expliquer comment éliminer le solvant afin de récupérer le benzaldéhyde pur.

### 24 Extraction de l'acide chrysophanique

→ Analyser, réaliser

Les racines de rhubarbe permettent de teindre les fibres textiles en jaune, résistant à la lumière et au lavage. Leurs propriétés dites tinctoriales sont principalement dues à la présence de l'acide chrysophanique. La première étape de l'extraction de ce composé commence par une hydrodistillation qui permet d'obtenir une solution aqueuse d'acide chrysophanique. Il faut ensuite extraire l'acide coloré de la solution aqueuse obtenue.

#### Doc. 1 Caractéristiques des espèces chimiques

	Sécurité / risques	Miscibilité avec l'eau	Masse volumique (g · cm <sup>-3</sup> )	Solubilité de l'acide chrysophanique
Benzène	Inflammable Toxique	Insoluble	0,88	Très soluble
Acétone	Inflammable	Soluble	0,79	Très soluble
Acide acétique (Présent dans le vinaigre)	Corrosif	Soluble	1,06	Soluble
Eau			1,00	Faiblement soluble

1. Proposer un protocole qui permet de réaliser l'opération désirée.
2. Faire un schéma de la manipulation en indiquant où se situent les différentes espèces mis en jeu au cours de l'opération, avant et après extraction.

### 25 Aide p. 132 Extraction et clou de girofle

→ Analyser, réaliser

Le clou de girofle est un bouton floral séché qui contient une grande quantité d'huile essentielle très riche en eugénol et en acétylèugénol.

#### Doc. 1 Caractéristiques des espèces chimiques

	Solubilité		
	Dans l'eau	Dans l'eau salée	Dans l'éther
Eugénol	Faible	Nulle	Grande
Ion eugénate	Grande	Grande	Nulle
Acétylèugénol	Faible	Nulle	Grande
Chlorure de sodium	Grande		Nulle

Densités :

- de l'eau :  $d_{\text{eau}} = 1$  ;
- de l'eau salée :  $d_{\text{eau salée}} = 1,1$  ;
- de l'huile essentielle :  $d_{\text{huile essentielle}} < 1$  ;
- de l'éther :  $d_{\text{éther}} = 0,71$ .

#### Doc. 2 Extraction de l'eugénol du clou de girofle

1. **Extraction liquide-liquide.** La première étape consiste à récupérer, par hydrodistillation, un mélange d'huile essentielle de clou de girofle et d'eau. Après ajout de chlorure de sodium, ce mélange est introduit dans une ampoule à décanter avec de l'éther.
2. **Séparation de l'eugénol et de l'acétylèugénol.** La phase organique récupérée contient un mélange d'eugénol et d'acétylèugénol dans l'éther. Cette solution est mise dans une ampoule à décanter avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium. Au contact de l'hydroxyde de sodium, l'eugénol se transforme en ion eugénate.
3. **Extraction de l'eugénol.** Dans la phase aqueuse recueillie, une solution d'acide chlorhydrique est introduite. Au contact de l'acide chlorhydrique, l'ion eugénate se transforme en eugénol. Cette solution est mise dans une ampoule à décanter en présence d'éther.

1. Pour chaque étape du **doc. 2**, représenter l'ampoule à décanter après agitation et décantation.
2. Justifier l'utilisation de chlorure de sodium dans l'étape 1 et de l'hydroxyde de sodium dans l'étape 2.
3. À la fin de l'étape 3, indiquer quelle phase doit être récupérée.

## 26 Aide p. 132 Une recette de mousse au chocolat

→ Analyser, réaliser, communiquer

Voici une recette spéciale de mousse au chocolat.

### Doc. 1 Le chocolat-chantilly, une mousse de chocolat

Une mousse au chocolat est une mousse de blancs d'œuf battus en neige à laquelle on ajoute du chocolat.

Ne pourrait-on pas directement introduire des bulles dans du chocolat ?

**Étape 1** Préparer une émulsion de chocolat en plaçant dans une casserole un peu d'eau, puis des morceaux de chocolat, en remuant et en chauffant l'ensemble. La matière grasse du chocolat forme une émulsion avec l'eau.

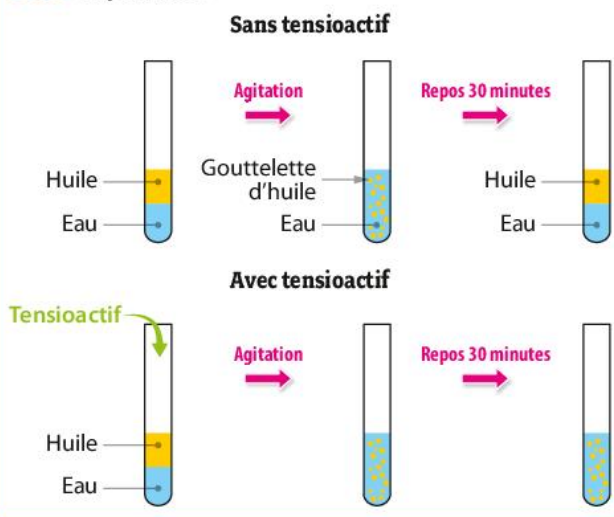
**Étape 2** Réaliser une mousse en fouettant l'émulsion après avoir posé la casserole contenant l'émulsion sur des glaçons ou dans un bac d'eau froide, afin de faire cristalliser la matière grasse. Ceci stabilisera les bulles d'air dans la masse.

D'après *L'Actualité chimique* - Hervé This - mai 2008 - n° 319

### Doc. 2 Composition d'un chocolat noir à pâtisser

Ingrédients : sucre, pâte de cacao, beurre de cacao, émulsifiant (lécithine de tournesol), extrait naturel de vanille. Traces : fruits à coque, lait. Cacao : 52 % minimum.

### Doc. 3 Expériences



1. La première étape de la recette du «chocolat-chantilly» permet de réaliser une émulsion, de type «matière grasse dans eau». Réaliser un schéma représentant une micelle de type « matière grasse dans eau » et placer les mots de légende : matière grasse, eau, partie lipophile et partie hydrophile.

2. Justifier la nécessité de fouetter le mélange et indiquer le rôle du refroidissement lors de la deuxième étape du doc. 1.



En anglais

## 27 About perfume

The composition of fragrances is an art managed only by a few people in the world.

Among a large set of techniques used by perfumers, extraction is a usual process. A solvent is used to dissolve the odorous substance before evaporating. Ether was originally chosen as the solvent. However, being expensive and inflammable, it has been replaced nowadays by ethanol or hexane. The choice of the solvent depends on its solubility and boiling temperature.

Extraction has been practiced since the 18th century and follows these steps:

- Solvent and plants are mixed together in an extraction tank. It may take several days for the solvent to become fragrant through maceration.
- The mix is then brought to a boil in order to eliminate the solvent. The evaporation temperature of the solvent is indeed lower than the one of essential oils. The residual mix is called "concrete".
- The essence is washed and purified with alcohol, and is turned into a pure essence called absolute.



### Vocabulaire :

- **Raw material** : matières premières
- **Fragrance, perfume** : senteur
- **Concrete** : essence concrète
- **Absolute** : absolue
- **Solvent** : solvant

1. Which technique is usually used in perfumery?
2. Why has ether been replaced by ethanol or hexane?
3. Which criteria are relevant in order to choose the solvent?
4. How can a solvent incorporate perfumes?
5. How is the final essence called?

### Différenciation

Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 23

- Pour le choix d'un solvant extracteur, plusieurs critères sont à prendre en compte, la sécurité en fait partie.

#### Aide pour l'exercice 25

- Une ampoule à décanter est utile lorsque deux liquides sont non miscibles.

#### Aide pour l'exercice 26

- Un émulsifiant est une molécule amphiphile.



## Problèmes

### 28 Des solutions antiseptiques

Deux solutions médicamenteuses antiseptiques ont été mélangées par erreur. Comme elles ne sont pas destinées au même laboratoire de retraitement des déchets chimiques, il est nécessaire de les séparer.

#### Doc. 1 Présentation des deux médicaments

- Le Ramet Dalibour est une solution de sulfate de cuivre, les ions cuivre ayant des propriétés antiseptiques notamment pour les affections de la peau.
- La Bétadine est une solution aqueuse contenant essentiellement du diode, ayant aussi des propriétés antiseptiques.

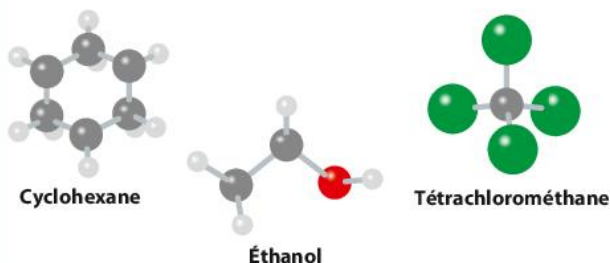
#### Doc. 2 Solubilité, miscibilité et densité d'espèces chimiques

	Eau	Éthanol	Cyclohexane	Tétrachlorométhane	Sulfate de cuivre	Diode
Eau		miscible	non miscible	non miscible	soluble	très peu soluble
Éthanol	miscible		non miscible	miscible	très peu soluble	soluble
Cyclohexane	non miscible	non miscible		miscible	non soluble	très soluble
Tétrachlorométhane	non miscible	miscible	miscible		non soluble	soluble

	Eau	Éthanol	Tétrachlorométhane	Cyclohexane
Densité	1,00	0,78	1,59	0,77

#### Doc. 3 Structure de quelques solvants



► Expliquer et justifier la démarche nécessaire pour séparer les espèces chimiques présentes dans le mélange.

#### Différenciation Apprendre à résoudre 28

1. Lister les données de l'énoncé et extraire les informations utiles : identifier la composition de la solution de départ.
2. Analyser les propriétés des espèces présentes pour répondre à la question posée.

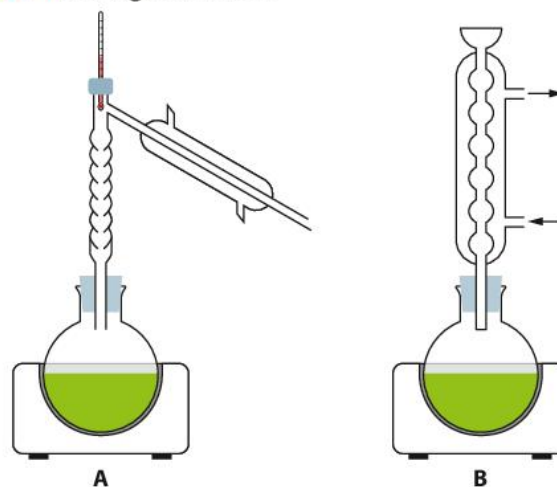
### 29 La caféine dans le thé

Contrairement à certaines idées reçues, le thé contient bien de la caféine.



La caféine, présente dans certains médicaments ou dans certaines boissons énergisantes, peut être extraite des feuilles de thé.

#### Doc. 1 Montages en chimie



A : Montage de distillation fractionnée  
B : Montage de chauffage à reflux

#### Doc. 2 Quelques caractéristiques physiques de l'eau et du dichlorométhane

	Eau	Dichlorométhane
$\theta_{\text{ébullition}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	100	40
Solubilité de la caféine à 25 °C (g · L <sup>-1</sup> )	22	142
Solubilité de la caféine à 80 °C (g · L <sup>-1</sup> )	180	Très très élevée
Densité	1,00	1,33
Masse volumique (g · mL <sup>-1</sup> )	1,00	1,33
Miscibilité avec l'eau	-	Non miscible

► Détailler et expliquer la démarche expérimentale à établir permettant d'extraire la caféine dans les feuilles de thé.

## 30 La sauce sublime le plat

Dans un livre de techniques culinaires on trouve un chapitre intitulé : *Sauces émulsionnées* dans lequel on distingue notamment les sauces émulsionnées instables froides, et les sauces émulsionnées stables froides.

### Doc. 1 Trois sauces du chapitre Sauces émulsionnées

#### La vinaigrette

Phase huileuse : huile  
Phase aqueuse : vinaigre  
Sel et poivre



#### La mayonnaise

Phase huileuse : huile  
Phase aqueuse : vinaigre  
et éventuellement moutarde et eau provenant du jaune d'œuf  
Émulsifiant : lécithine du jaune d'œuf



#### L'aïoli

Phase huileuse : huile d'olive  
Phase aqueuse : pulpe de l'ail  
Émulsifiant : pulpe d'ail



► Parmi les trois sauces présentées dans le **doc. 1**, expliquer pourquoi l'une d'elle peut être qualifiée de « sauce émulsionnée instable », et dire laquelle.

## Objectif BAC

## 31 Les odeurs des fruits

### Doc. 1 Protocole expérimental

**Étape 1** Prélever le zeste de deux oranges, les mixer et les introduire dans un ballon avec de l'eau distillée. Réaliser le montage d'hydrodistillation et porter à ébullition. Recueillir le distillat dans une éprouvette graduée.

**Étape 2** Verser le distillat dans un verre à pied. Ajouter un peu d'une solution saturée de chlorure de sodium et agiter.

**Étape 3** Verser dans une ampoule à décanter. Introduire quelques millilitres de dichlorométhane dans l'ampoule, agiter en purgeant régulièrement. Laisser décanter et récupérer la phase organique. Introduire dans la phase organique une spatule de sulfate de magnésium anhydre.

**Étape 4** Identifier les espèces chimiques par chromatographie.

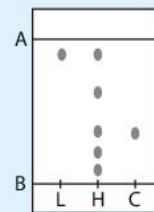
### Doc. 2 Caractéristiques d'espèces chimiques

Nom courant :	Limonène	Citral	Eau salée	Dichlorométhane
$M$ (g · mol <sup>-1</sup> )	136,2	152,2		85
$d$	0,842	0,888	1,1	1,3
$\theta_{\text{vap}}$ (°C) sous 1,013 bar	177	229		40
Solubilité (g pour 100 mL) dans :	l'eau	tps	tps	
	l'eau salée	i	i	
	l'éther	≠	≠	
	le cyclohexane	≠	≠	
	le dichlorométhane	≠	≠	

tps : très peu soluble i : insoluble, ≠ : soluble en toutes proportions

### Doc. 3 Chromatogramme obtenu après l'étape 4

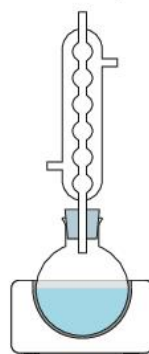
**Dépôts réalisés :**  
limonène L,  
huile essentielle H  
et citral C.



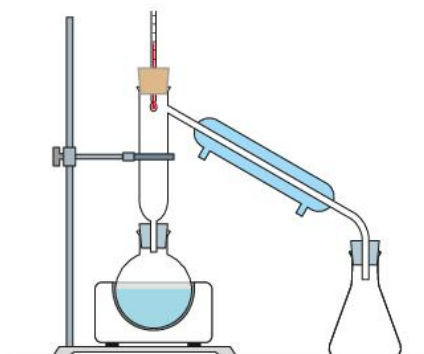
L'écorce de nombreux agrumes contient du limonène L et du citral C. Les huiles essentielles sont des mélanges de composés organiques peu solubles dans l'eau qui confèrent aux plantes et aux fruits leur odeur.

L'huile essentielle est extraite par hydrodistillation. Elle est ensuite isolée par une technique appropriée. Le composé principal de l'huile est identifié par chromatographie.

1. Indiquer le montage adapté à la manipulation décrite dans l'étape 1.



Montage A



Montage B

2. Pour l'étape 3 du **doc. 1**, représenter l'ampoule à décanter en justifiant les positions respectives des deux phases. Préciser, en le justifiant, la phase dans laquelle se trouve majoritairement l'huile essentielle.

3. Commenter l'efficacité de cette extraction.





VIDÉO présentation du chapitre

# Structure des composés organiques

*Quelle est la structure d'une entité organique ?*

## Objectifs

Les familles des composés organiques

➔ Activité 1 p. 136

### Téléchargeable

Visualiser la géométrie des molécules organiques

➔ Activité 

La nomenclature des composés organiques

➔ Activité 2 p. 137

Identifier une famille par spectroscopie infra rouge

➔ Activité 3 p. 138

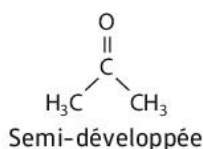
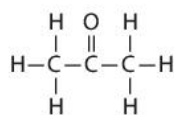
Grâce aux recherches effectuées sur la structure de l'ADN, de gros progrès sont réalisés pour soigner les maladies génétiques.

### 1 Les familles de composés organiques

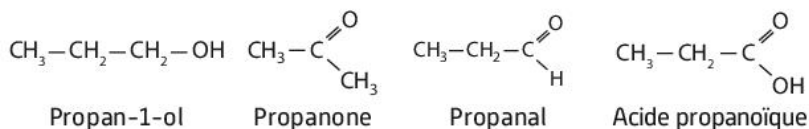
Les molécules organiques (constituées principalement d'atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote) sont représentées de différentes manières.

Comment classer les espèces chimiques organiques par famille ?

**Doc. 1** Différentes « formules » de la molécule de propanone (acétone)



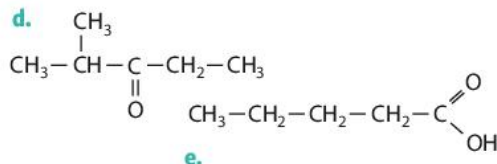
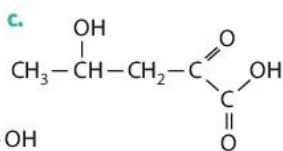
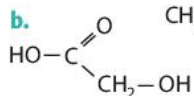
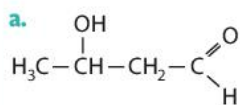
**Doc. 2** La chaîne carbonée, squelette de la molécule organique



**Doc. 3** Une famille chimique, un groupe caractéristique

<b>Famille</b>	Alcool $\begin{array}{c}   \\ -\text{C}-\text{OH} \\   \end{array}$	Cétone $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{C}-\text{C} \\   \quad   \end{array}$	Aldéhyde $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{C}-\text{C} \\   \quad \text{H} \end{array}$	Acide carboxylique $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C} \\   \\ \text{OH} \end{array}$
<b>Groupe caractéristique</b>	Groupe hydroxyle -OH	Groupe carbonyle $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}- \\   \end{array}$	Groupe carboxyle $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C} \\   \\ \text{O}- \end{array}$	

**Doc. 4** Exemples de molécules



#### Mise en œuvre

→ Réaliser, analyser



→ S'approprier, analyser

→ Analyser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Communiquer

- Ouvrir le logiciel « chems sketch » en cliquant sur l'icône . À l'aide de la fiche technique  Fiche Chems sketch, représenter la molécule de propanone (doc. 1) en modèle éclaté. Indiquer pourquoi les représentations du doc. 1. de cette molécule sont trompeuses.
- Indiquer quelles liaisons simples ou doubles sont visibles dans la formule semi-développée du doc. 1.
- À l'aide des documents, indiquer ce qui différencie un aldéhyde d'une cétone.
- Recopier les molécules du doc. 4 et entourer puis nommer les groupes caractéristiques.
- Indiquer ce qui permet de différencier les familles organiques.

- Expliquer de quelle façon l'appartenance à une famille peut se lire dans le nom de la molécule.

 DIFFÉRENCIATION : ➔ Activité supplémentaire

## 2 La nomenclature des composés organiques

Depuis la suppression des gaz fluorocarbonés qui détruisent la couche d'ozone, l'isopentane (2-méthylbutane) et l'isobutane (2-méthylpropane) sont utilisés comme gaz propulseurs dans les cosmétiques, comme la mousse à raser.

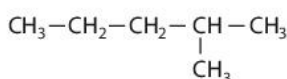
Quelles sont les formules de ces deux molécules ?

### Doc. 1 Les alcanes

La nomenclature générale a pour base celle des alcanes.

- Alcanes linéaires : un atome de carbone est lié, au plus, à deux autres atomes de carbone :  $\text{CH}_4$  méthane ;  $\text{CH}_3\text{—CH}_3$  éthane ;  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$  propane ;  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$  butane ;  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$  pentane.

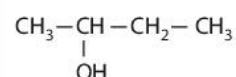
- Alcanes ramifiés : un atome de carbone, au moins, est lié à trois autres atomes de carbones : 2-méthylpentane.



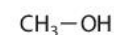
### Doc. 2 Alcools



Éthan-1-ol ou éthanol

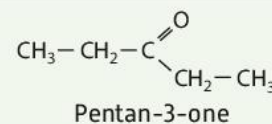
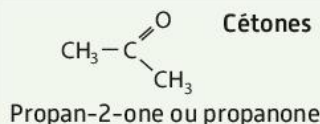
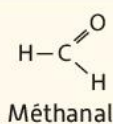
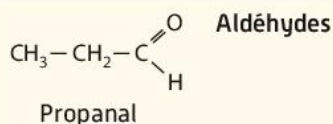


Butan-2-ol

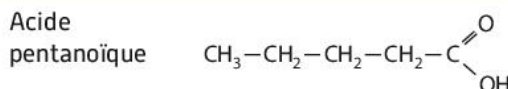
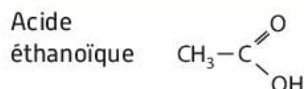


Méthanol

### Doc. 3 Aldéhydes et cétones



### Doc. 4 Acides carboxyliques



### Appropriation et analyse

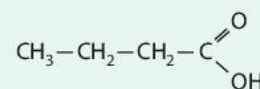
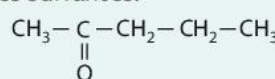
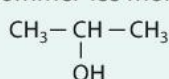
→ S'approprier

1 Les « indices de position » du groupe caractéristique pour l'alcool éthan-1-ol, et la cétone propan-2-one, sont inutiles. De même, les familles organiques « aldéhyde et acide carboxylique » n'ont pas besoin d'indice de position pour repérer leur groupe caractéristique. Justifier.

→ Valider

2 Justifier les noms des molécules données dans les docs 2, 3 et 4.

3 Nommer les molécules suivantes.



4 Écrire la formule semi-développée des molécules suivantes : éthanal, butanone, acide méthanoïque et 3-méthylpentane.

### Conclusion

5 Donner les formules semi-développées de l'isopentane et de l'isobutane. Construire ces deux molécules à l'aide de modèles moléculaires.

### De l'activité au cours

→ Valider

6 Dessiner une carte mentale permettant de justifier le nom associé à la formule semi-développée d'une molécule et inversement.

### 3 Identifier une famille par spectroscopie infrarouge

En Novembre 2014, la sonde Rosetta se pose sur la comète surnommée Tchouri et détecte la présence de molécules organiques. En tant que technicien, vous êtes chargé d'identifier deux de ces molécules par spectroscopie infrarouge.

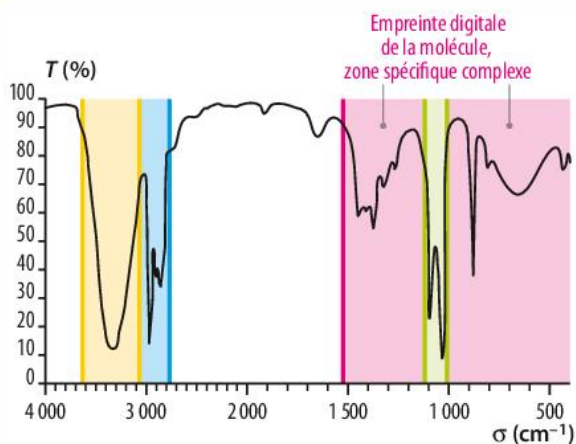
Quelle est la formule développée de ces molécules organiques ?

#### Doc. 1 La sonde Philae contient un analyseur nommé VIRTIS

L'analyseur est chargé de rechercher la présence de molécules organiques qui seraient la preuve de traces de vie dans l'espace.



#### Doc. 3 Le spectre de l'éthanol liquide



#### Doc. 2 La spectroscopie infrarouge

- Dans une molécule, les liaisons peuvent absorber un rayonnement infrarouge, pour vibrer et tourner. Chaque type de liaison (O—H, C—O, C—H, ...) absorbe une bande de longueurs d'onde  $\lambda$  bien déterminée. Ces bandes de longueurs d'onde caractérisent des liaisons chimiques spécifiques dans l'échantillon, et permettent d'identifier les groupes caractéristiques présents dans la molécule.

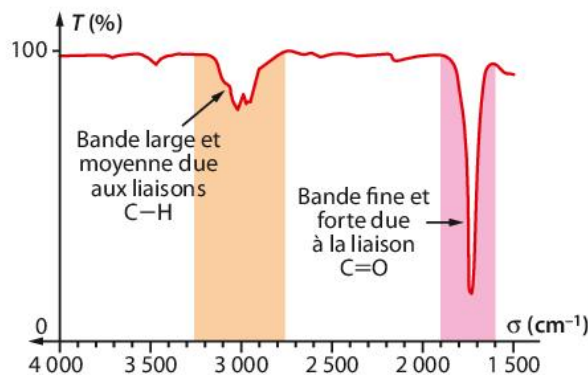
- Le spectre représente la transmittance  $T$  en fonction du nombre d'onde  $\sigma$ . La transmittance portée en ordonnée est définie par

$$T = \frac{I}{I_0}$$

$I_0$  : intensité lumineuse reçue par l'espèce chimique  
 $I$  : intensité transmise après absorption  
 $T$  varie de 0 % à 100 % (ou 1).

Sur l'axe des abscisses orienté vers la gauche est représenté le nombre d'onde  $\sigma$  en  $\text{cm}^{-1}$  :

$$\sigma = \frac{1}{\lambda}$$
 avec  $\lambda$  la longueur d'onde exprimée en cm.

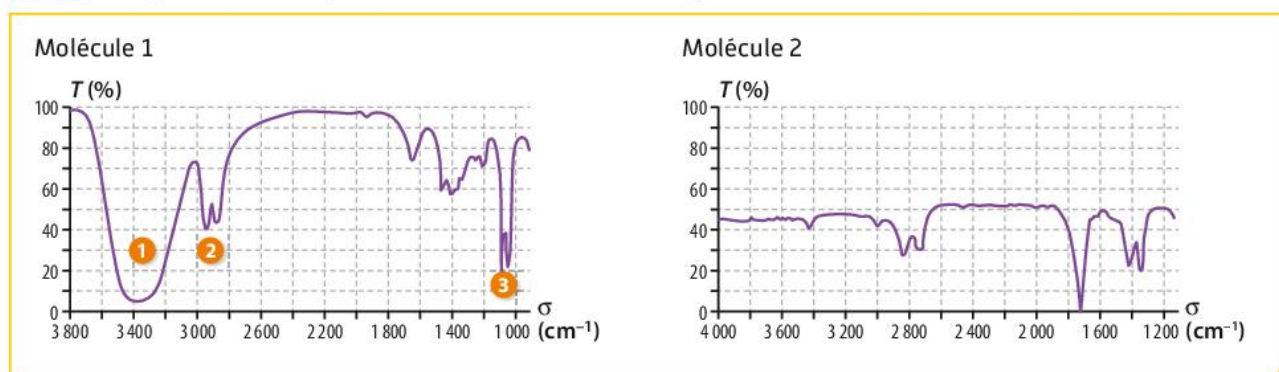


Chaque bande d'absorption est caractérisée par sa largeur (fine, moyenne ou large) et par son intensité (forte ou moyenne) qui traduit l'importance de l'absorption.

Les bandes d'absorption correspondant à  $\sigma < 1500 \text{ cm}^{-1}$  constituent l'empreinte digitale de la molécule, peu de bandes d'absorption y sont identifiables.

**Doc. 4 Les caractéristiques des bandes d'absorption pour quelques liaisons**

Liaison	Nombre d'ondes ( $\text{cm}^{-1}$ )	Intensité et commentaire
Liaison OH libre (non liée)	Entre 3 590 et 3 650 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte et fine
Liaison OH liée (liaison hydrogène)	Entre 3 200 et 3 600 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte et large
Liaison C=O	Entre 1 625 et 1 820 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte et de largeur moyenne
Liaison C=O des acides carboxyliques	Entre 1 660 et 1 740 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte
Liaison C-H de CHO (carbone trigonal)	Entre 2 650 et 2 800 $\text{cm}^{-1}$	Bande moyenne
Liaison C-H (carbone tétraédrique)	Entre 2 800 et 3 000 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte
Liaison C-O des alcools	Entre 1 000 et 1 150 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte
Liaison OH des acides carboxyliques	Entre 2 500 et 3 300 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte et large
Liaison C-O des acides carboxyliques	Entre 1 200 et 1 320 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte

**Doc. 5 Le spectre d'absorption des deux molécules analysées sur Tchouri**

**Mise en œuvre**

→ Analyser



→ S'approprier, réaliser

→ S'approprier

→ Analyser, s'approprier

**Conclusion**
**De l'activité au cours**

→ Communiquer

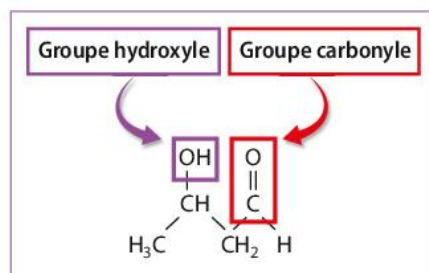
- Vérifier que le domaine des nombres d'onde du spectre de l'éthanol appartient au domaine de longueur d'onde du rayonnement infrarouge entre 750 nm et 20  $\mu\text{m}$ .
- Écrire les formules semi-développée et développée de l'éthanol.
- Ouvrir le logiciel Chems sketch en cliquant sur l'icône  .  
 → **Fiche Chems sketch**. Représenter la molécule de l'éthanol en modèle éclaté.
- Identifier les liaisons de l'éthanol correspondant aux bandes d'absorption marquées sur le doc. 3 à l'aide du doc. 4.
- Identifier les liaisons correspondant aux 3 bandes d'absorptions de la molécule 1 du doc. 5.
- Identifier les bandes d'absorption du spectre de la molécule 2 du doc. 5. En déduire la famille à laquelle appartient cette deuxième molécule.
- D'autres analyses ont permis de trouver que la molécule 1 de formule brute  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$  a deux groupes caractéristiques identiques et que la formule de la molécule 2 est  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ . Écrire la formule développée de chaque molécule et donner le nom de la molécule 2.

- Expliquer comment la spectroscopie infrarouge permet d'identifier des groupes caractéristiques.

 **DIFFÉRENCIATION** : → Bonus → Aide (docs 2 et 3)

À la formule brute  $C_3H_6O$  correspondent deux molécules dont les formules semi-développées sont  $CH_3-CH_2-CHO$  (le propanal) et  $CH_3-CO-CH_3$  (la propanone).

**Doc. 1.** La formule brute ne précise pas l'enchaînement entre les différents atomes ; c'est le rôle de la formule semi-développée.



**Doc. 2.** Deux groupes caractéristiques dans une même molécule.

## A Familles organiques

Des molécules organiques différentes peuvent avoir une même formule brute  $C_xH_yO_z$ , qui définit la nature des atomes et leur nombre. Une formule semi-développée permet de représenter les liaisons (C-C, C-O, etc.) et de visualiser plus précisément les molécules correspondant à cette formule brute (**doc. 1**).

Les molécules organiques possèdent toutes un squelette carboné ; celui-ci correspond à une ou plusieurs liaisons C-C.

Le squelette carboné est saturé si tous les atomes de carbone sont tétraédriques (ils sont associés avec quatre atomes voisins, comme le permet la configuration électronique externe de l'élément carbone).

### 1 Groupes caractéristiques

Il existe des groupes caractéristiques qui influencent les propriétés physico-chimiques des molécules.

Groupe hydroxyle	Groupe carbonyle	Groupe carboxyle
-OH	$\begin{array}{c} \diagup \\ C=O \\ \diagdown \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\ // \\ -C- \\ \backslash \\ O- \end{array}$

Ces groupes caractéristiques peuvent exister seuls ou ensemble dans les molécules (**doc. 2**).

### 2 Familles organiques

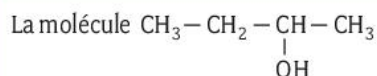
Les molécules organiques appartiennent à des familles ; le groupe caractéristique et parfois sa position sur le squelette carboné (noté R) déterminent son appartenance.

Famille	Formule brute	Groupe caractéristique	Formule générale	Exemple
Alcool	$C_nH_{2n+2}O$	-OH	R-OH	$CH_3-CH_2-OH$ éthanol
Aldéhyde	$C_nH_{2n}O$	$\begin{array}{c} \diagup \\ C=O \\ \diagdown \end{array}$	$R-C \begin{array}{l} //O \\ \backslash H \end{array}$	$CH_3-C \begin{array}{l} //O \\ \backslash H \end{array}$ éthanal
Cétone	$C_nH_{2n}O$ $n \geq 3$	$\begin{array}{c} \diagup \\ C=O \\ \diagdown \end{array}$	$R-C \begin{array}{l} //O \\ \backslash R \end{array}$ $R-C \begin{array}{l} //O \\ \backslash R \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\    \\ H_3C-C-CH_3 \end{array}$ propanone
Acide carboxylique	$C_nH_{2n}O_2$	$\begin{array}{c} O \\ // \\ -C- \\ \backslash \\ O- \end{array}$	$R-C \begin{array}{l} //O \\ \backslash OH \end{array}$	$CH_3-CH_2-C \begin{array}{l} //O \\ \backslash OH \end{array}$ acide propanoïque

$n$  est un nombre entier, non nul et positif ;

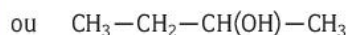
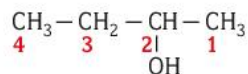
R représente un atome d'hydrogène ou une chaîne alkyle (chaîne carbonée constituée de liaisons C-C, saturée en hydrogène).

→ **Activité 1**



appartient à la famille des alcools et se nomme butan-2-ol.

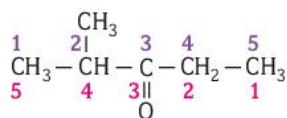
La chaîne carbonée principale contient quatre carbones (**butan**), comprend le groupe caractéristique OH (**ol**) et est numérotée de droite à gauche.



**Doc. 3.** Le nom et la forme de la molécule sont liés, ici le butan-2-ol.

### Éviter les erreurs...

Les indices de position « 1 » ne sont généralement pas indiqués. Les groupes caractéristiques des aldéhydes et des acides carboxyliques sont toujours en position « 1 ».



La chaîne carbonée principale comprend le groupe caractéristique (C=O) qui impose prioritairement son indice de position : **3**.

La numérotation de gauche à droite ou de droite à gauche donne le même indice. La ramification, le groupe méthyle  $-\text{CH}_3$ , sera liée au carbone de la chaîne principale avec l'indice le plus petit possible : **2**.

**Doc. 4.** Exemple pour nommer une molécule présentant un groupe alkyle : la molécule 2-méthylpentan-3-one.

## B Nomenclature

### 1 Molécules linéaires

La nomenclature (c'est-à-dire la manière de nommer) des molécules organiques linéaires repose sur celle des alcanes linéaires : les atomes de carbone de la molécule sont liés à deux autres carbones.

#### La chaîne carbonée principale :

- comprend le groupe caractéristique (OH, CO ou  $-\text{COO}-$ ) ;
- est numérotée de telle manière que le carbone portant le groupe caractéristique présente l'indice de position le plus petit possible.

#### Son nom :

- dérive de l'alcane linéaire du même nombre d'atomes de carbone ;
- contient le suffixe de la famille organique qui remplace le -e final de l'alcane.

Exemple **doc. 3**.

Famille organique	Alcool	Aldéhyde	Cétone	Acide carboxylique
Suffixe	-ol	-al	-one	-oïque
Exemple	$\text{CH}_3 - \text{OH}$ méthanol	$\text{CH}_3 - \text{CHO}$ éthanal	$\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{CH}_3$ propan-one	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$ acide butanoïque
Nombre de carbones de la chaîne principale	1 C	2 C	3 C	4 C

→ **Activité 2**

### 2 Molécules ramifiées

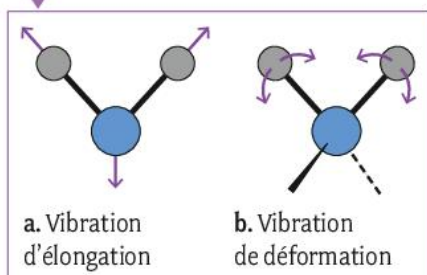
La nomenclature des molécules organiques ramifiées repose sur celle des alcanes ramifiés.

Les groupes alkyles sont des groupes d'atomes de carbones qui sont liés à la chaîne carbonée principale.

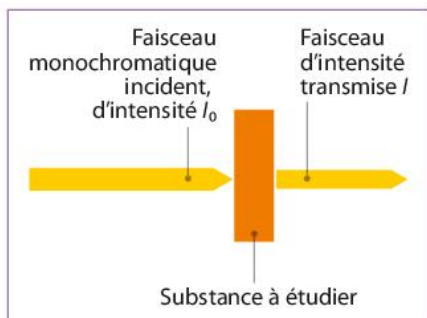
	Nom systématique	
	Groupe	Substituant
$\text{CH}_3 -$	méthyle	méthyl-
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 -$	éthyle	éthyl-
$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$	propyle	propyl-

Le nom d'un groupe alkyle respecte les mêmes règles des molécules linéaires : la chaîne carbonée principale comprend le groupe caractéristique (C=O) qui impose prioritairement son indice de position.

La ramification (groupe méthyle  $-\text{CH}_3$ ) sera liée au carbone de la chaîne principale avec l'indice le plus petit possible (exemple **doc. 4**).



Doc. 5. Représentation des excitations possibles.



Doc. 6. Définition de la transmittance  $T = \frac{I}{I_0}$ .

### Histoire

Les rayons infrarouges furent découverts en 1800 par un astronome. Cette découverte scientifique fut utilisée en chimie à partir du  $xx^e$  siècle pour étudier les propriétés de la matière.

Le spectre infrarouge fut normalisé : par convention la transmittance  $T$  est en ordonnées, et le nombre d'onde  $\sigma$  est sur l'axe des abscisses, orienté de la droite vers la gauche.

### Éviter les erreurs...

Les longueurs d'onde  $\lambda$  sont généralement données en nanomètres. Il faut les convertir en cm avant de calculer le nombre d'onde.

$$1 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ cm}$$

Exemple :

$$\text{Si } \lambda = 10\,000 \text{ nm} = 10^{-3} \text{ cm}$$

$$\text{Alors } \sigma = 1\,000 \text{ cm}^{-1}$$

## C Spectroscopie infrarouge

### 1 Absorption dans l'infrarouge

La lumière infrarouge (IR) possède une énergie capable d'exciter les liaisons chimiques ; celles-ci subissent alors des modes de vibration d'élongation et de déformation (doc. 5).

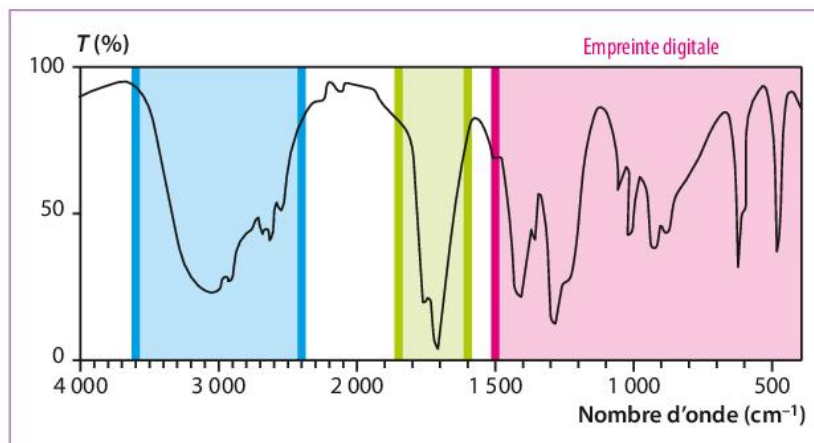
La spectroscopie IR permet d'identifier la **nature des liaisons** des molécules organiques. Elle permet d'identifier des **groupes caractéristiques**, mais pas d'identifier le squelette d'une molécule.

La spectroscopie infrarouge utilise des rayonnements entre 2,5 et 20  $\mu\text{m}$ .

### 2 Aspect d'un spectre infrarouge

Le spectrophotomètre infrarouge génère un balayage de faisceaux monochromatiques qui traversent l'échantillon à analyser. La mesure des intensités incidente  $I_0$  et transmise  $I$  permet d'obtenir la transmittance (doc. 6).

Le spectre infrarouge représente la transmittance  $T$  en fonction du nombre d'onde  $\sigma$  (l'inverse de la longueur d'onde).



Doc. 7. Spectre infrarouge ou spectre IR.

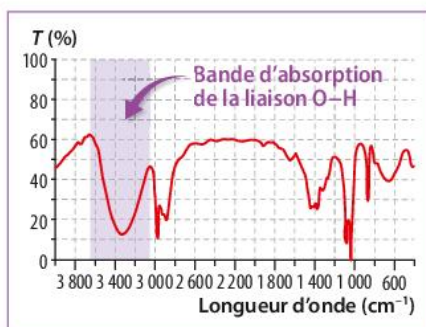
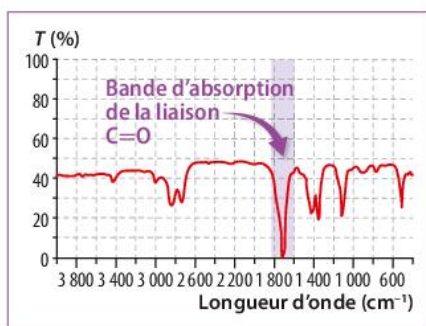
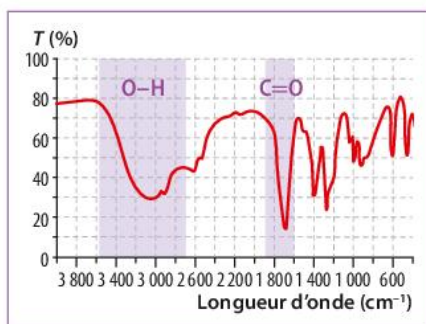
Sur l'axe vertical est représentée la **transmittance** :  $T = \frac{I}{I_0}$ , avec  $I_0$  l'intensité lumineuse reçue par l'espèce chimique et  $I$ , l'intensité transmise après absorption.  $T$  varie de 0% à 100% (ou 1).

Sur l'axe horizontal est représenté le **nombre d'onde** :  $\sigma = \frac{1}{\lambda}$ , avec  $\lambda$  la longueur d'ondes exprimée en centimètres,  $\sigma$  s'exprime en  $\text{cm}^{-1}$ .

Le spectre infrarouge présente un profil complexe, du fait des nombreuses liaisons susceptibles de vibrer. Il est composé de **deux zones principales** :

- une partie complexe ( $1\,500 \text{ cm}^{-1} > \sigma > 500 \text{ cm}^{-1}$ ), propre à chaque molécule est appelée « **empreinte digitale** » ;
- une partie comprise entre  $4\,000 \text{ cm}^{-1}$  et  $1\,500 \text{ cm}^{-1}$ , qui présente la plupart des bandes d'absorption des liaisons OH, C—H, C—C, C=O, C—N, N—H.



Doc. 8. Spectre de l'éthanol  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ .Doc. 9. Spectre de l'éthanal  $\text{CH}_3\text{-CHO}$ .

Doc. 10. Exemple d'analyse des bandes d'absorption pour le spectre d'absorption infrarouge de l'acide éthanoïque.

### 3 Bandes d'absorption

Une **bande d'absorption** est une bande de longueurs d'onde du spectre infrarouge qui correspond à une **baisse de transmittance**.

Elle peut être plus ou moins large sur le spectre d'absorption, selon la liaison qu'elle caractérise : bande d'absorption large (plus de  $500\text{ cm}^{-1}$ ) pour la liaison OH d'un alcool liquide ; bande d'absorption fine (moins de  $300\text{ cm}^{-1}$ ) pour la liaison  $\text{C}=\text{O}$  d'un composé carbonylé.

Exemples docs 8 et 9.

→ **Activité 3**

### 4 Analyse du spectre IR d'une molécule organique

L'identification de la fonction organique d'une molécule nécessite d'utiliser une **table de spectroscopie IR** (☛ Fiche 11 p. 360), où la **nature** de la liaison est associée à la **largeur** de la bande d'absorption en nombre d'onde.

Exemple doc. 10 : la présence des deux bandes d'absorption prouve la présence d'une fonction organique  $\text{COOH}$ , composée d'une liaison  $\text{C}=\text{O}$  et d'une liaison  $\text{O}-\text{H}$  : on sait donc à partir de ce spectre que la molécule est un acide carboxylique.

### 5 Cas particulier de la liaison OH

Un spectre IR permet de détecter des liaisons hydrogène (groupe OH lié) qui s'établissent entre molécules d'alcool.

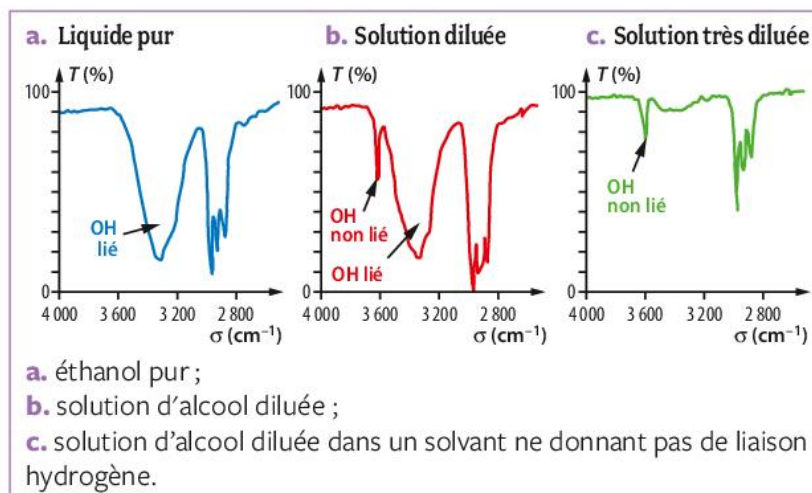
On distingue deux cas, selon l'état de l'alcool : liquide (pur) ou dilué.

#### a. Alcool liquide

Dans le cas d'un alcool liquide, la bande d'absorption de liaisons OH donne une bande large entre  $3200$  et  $3600\text{ cm}^{-1}$ .

#### b. Alcool dilué

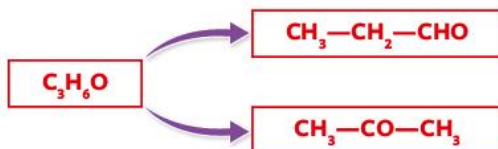
Dans le cas d'une dilution, il apparaît une bande étroite entre  $3590$  et  $3650\text{ cm}^{-1}$ . Exemples doc. 11.



Doc. 11. Spectres comparés d'une même molécule chimique, à l'état liquide pur ou en solution aqueuse.

## Formules brutes et semi-développées

À partir d'une formule brute, il existe plusieurs formules semi-développées.



## Groupes caractéristiques

Distinguer le squelette carboné d'une molécule complexe et repérer le ou les groupes caractéristiques dans celle-ci.

$-OH$	$\begin{array}{c} \diagup \\ C=O \\ \diagdown \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\ // \\ -C \\ \backslash \\ O- \end{array}$
Groupe hydroxyle	Groupe carbonyle	Groupe carboxyle

## Nomenclature

Indique le nombre d'atomes de carbone de la chaîne principale

préfixe(s)

radical

suffixe

Indique la nature et la position d'éventuelles ramifications de la chaîne carbonée ou de groupes caractéristiques secondaires

Indique la nature et la position du groupe caractéristique principal et donc la famille chimique

Le nom de la molécule comprend un suffixe :

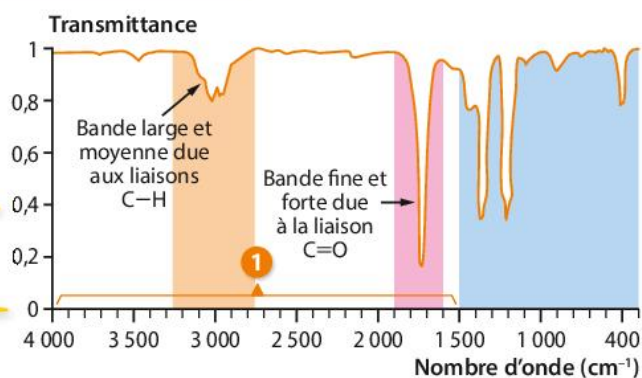
	Alcool	Aldéhyde	Aétone	Acide carboxylique
Suffixe	-ol	-al	-one	Acide ...-oïque

## Spectroscopie infrarouge

Il faut comparer les bandes d'absorption au-delà de  $1500\text{ cm}^{-1}$  (zone 1) avec une table de référence pour déterminer les groupes caractéristiques.

Une faible valeur de transmittance correspondant à une forte absorption.

L'axe des abscisses est orienté vers la gauche.

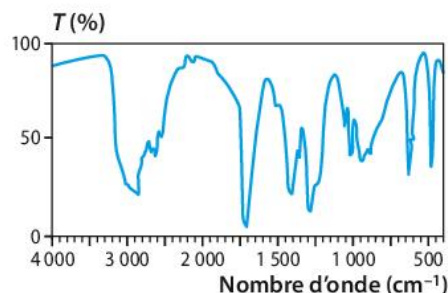


## Résoudre un exercice

### Énoncé

Un étudiant chimiste trouve sur un flacon la formule brute  $C_2H_4O_2$ ; il pense avoir reconnu l'acide éthanoïque et réalise un spectre IR pour vérifier son hypothèse.

1. Écrire la formule semi-développée de l'acide éthanoïque.
2. À quelle famille appartient cette molécule ?
3. Repérer les liaisons caractéristiques de celui-ci.
4. À l'aide d'une table des nombres d'onde vérifier son hypothèse. ➔ Fiche 11 p. 360

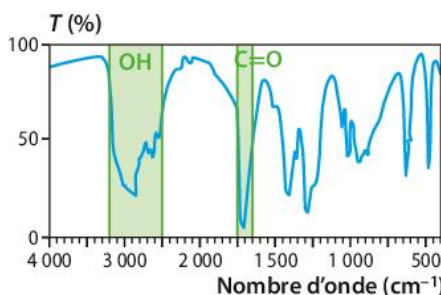


### Conseils

1. Si besoin, écrire toutes les formules semi-développées des molécules de même formule brute.
2. Savoir combien de familles organiques de molécules monofonctionnelles contiennent deux atomes d'oxygène.
3. Pour bien visualiser, entourer les liaisons importantes autres que C—C et C—H, sur la ou les molécules écrites.
4. Ne pas hésiter, si possible, à surligner les bandes d'absorption fortes au-dessus de  $1\ 500\text{ cm}^{-1}$  sur le spectre IR.

### Résolution

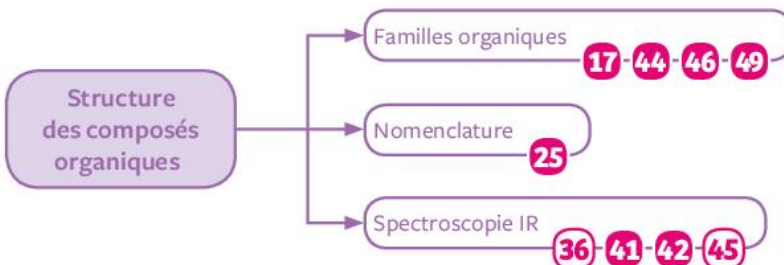
1. La formule de l'acide éthanoïque est  $\text{CH}_3-\text{C} \begin{matrix} \text{OH} \\ \diagup \\ \text{O} \end{matrix}$ .
2. Cette molécule appartient à la famille des acides carboxyliques  $\text{R}-\text{COOH}$ .
3. Cette molécule possède deux liaisons très reconnaissables sur un spectre IR : C=O et OH.
4. La table des nombres d'onde donne :  
 $2\ 500-3\ 200\text{ cm}^{-1}$  pour la bande OH d'un acide carboxylique ;  
 $1\ 660-1\ 740\text{ cm}^{-1}$  pour la bande C=O d'un acide carboxylique.  
 Ces deux bandes d'absorption se retrouvent facilement sur le spectre IR, donc l'espèce chimique inconnue est bien l'acide éthanoïque.



➔ Exercice 37 p. 148

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.



**1** Le groupe hydroxyle est :

- A : OH.      B : CH<sub>3</sub>.      C : C=O.      D : COOH.

**2** Un alcool comporte :

- A : un groupe carbonyle.      B : un groupe carboxyle.  
C : un groupe hydroxyle.      D : aucun groupe.

**3** Un aldéhyde comporte :

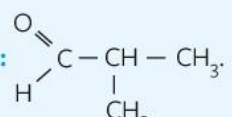
- A : un groupe carboxyle.      B : aucun groupe.  
C : un groupe carbonyle.      D : un groupe hydroxyle.

**4** CH<sub>3</sub>-CO-CH<sub>3</sub> est :

- A : un aldéhyde.      B : un acide carboxylique.  
C : une cétone.      D : un alcool.

**5** Le 2-méthylpropanal est :

- A : CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CHO.      B : 

- C : .      D : CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-COOH.

**6** C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O est la formule brute :

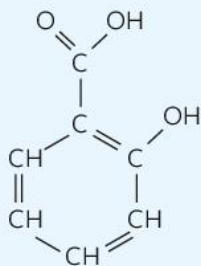
- A : d'un alcool.      B : d'une cétone.  
C : d'un aldéhyde.      D : d'un acide carboxylique.

**7** La formule  $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$  est :

- A : une formule brute.      B : une formule semi-développée.  
C : celle d'une cétone.      D : celle d'un acide carboxylique.

**8** Cette molécule a comme groupe(s) caractéristique(s) :

- A : hydroxyle et carbonyle.  
B : carbonyle.  
C : hydroxyle et carboxyle.  
D : carboxyle.

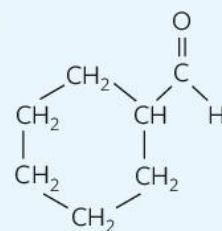


**9** La formule brute d'une cétone est :

- A : identique à celle d'un aldéhyde.  
B : identique à celle d'un alcool.  
C : identique à celle d'un acide carboxylique.  
D : différente de celle d'un aldéhyde.

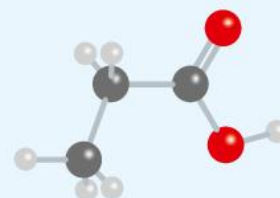
**10** Cette molécule appartient à la famille des :

- A : alcools.  
B : aldéhydes.  
C : cétones.  
D : acides carboxyliques.



**11** Cette molécule est :

- A : le propan-1-ol.  
B : l'acide propanoïque.  
C : le propanal.  
D : la propanone.

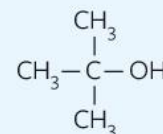


**12** L'acide butanoïque possède :

- A : 4 atomes de carbones, 2 atomes d'oxygène, 6 atomes d'hydrogène.  
B : 5 atomes de carbone, 2 atomes d'oxygène, 8 atomes d'hydrogène.  
C : 4 atomes de carbone, 1 atome d'oxygène, 6 atomes d'hydrogène.  
D : 4 atomes de carbone, 2 atomes d'oxygène, 8 atomes d'hydrogène.

**13** Cette molécule est :

- A : le 2-méthylpropan-2-ol.  
B : le butan-2-ol.  
C : le méthyl-2-propanol.  
D : le méthylpropan-2-ol.



**14** Un spectre IR présente :

- A : la transmittance  $T$  en abscisse.  
B : le nombre d'onde  $\sigma$  en ordonnée.  
C : le nombre d'onde  $\sigma$  en abscisse.  
D : la transmittance  $T$  en ordonnée.

**15** Un spectre IR permet de déterminer :

- A : la formule brute d'une molécule.  
B : la formule semi-développée d'une molécule.  
C : le groupe caractéristique d'une molécule.  
D : les liaisons dans une molécule.

**16** Le spectre IR d'un acide carboxylique comprend deux bandes d'absorption dues à :

- A : une liaison OH et une liaison CH.  
B : un groupe carboxyle et une liaison OH.  
C : une liaison OH et une liaison C=O.  
D : un groupe carboxyle.



## Entraînement

### Familles organiques

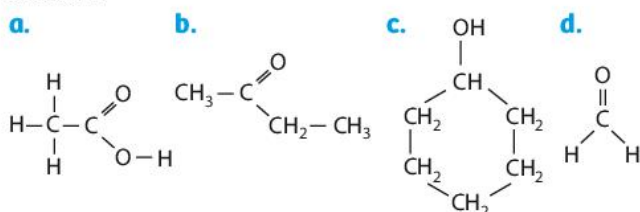
**17** Aide p. 148 Donner toutes les formules semi-développées des molécules linéaires correspondant à la formule brute  $C_6H_{12}O$ .

### 18 Exercice inversé

Chaque phrase est une réponse. Proposer une ou des questions appropriées à la réponse donnée.

- L'éthanol appartient à la famille des alcools.
- Les alcools et les acides carboxyliques possèdent un groupe caractéristique hydroxyle.
- Non, il existe plusieurs formules semi-développées.
- Les aldéhydes et les cétones.

**19** Donner le nom de la famille organique des composés suivants.



**20** Donner le nom de la famille organique des composés suivants. a. Propanal. b. Éthanol.  
c. 2-méthylbutanal. d. Acide pentanoïque.

**21** Lister et nommer les molécules de formule brute  $C_5H_{10}O$  appartenant à la famille des cétones.

**22** Écrire les formules semi-développées des molécules contenant 4 atomes de carbone pour les familles alcool, aldéhyde, cétones et acides carboxyliques.

**23** Le benzaldéhyde, composé chimique à odeur d'amande, sert en parfumerie ou en pâtisserie.

► Associer à chacune des formules brutes suivantes le nom de leur molécule.

$C_6H_5-COOH$ ,  $C_6H_5-CH_2OH$  et  $C_6H_5-CHO$ .  
Benzaldéhyde, acide benzoïque, alcool benzylique.



**24** 1. Écrire les formules semi-développées des composés ayant pour formule brute :  $C_2H_6O$  ;  $CH_2O_2$  ;  $C_2H_4O$ .

2. Indiquer à quelles familles ils appartiennent.

### Nomenclature

**25** Aide p. 148 Écrire la formule des deux aldéhydes possédant quatre atomes de carbone et donner leur nom.

**26** L'alcool amylique de formule brute  $C_5H_{12}O$  provient de la fermentation de la fécule de pomme de terre.

► Trouver les formules semi-développées et les noms de tous les alcools linéaires de formule brute  $C_5H_{12}O$ .



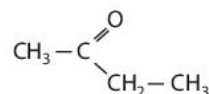
**27** Donner les familles des trois molécules ci-dessous et en déduire leur nom.

- $CH_3-(CH_2)_4-CO-CH_2-CH_3$
- $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-COOH$
- $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CHO$

**28** Écrire la formule développée des alcools suivants.

- Propan-2-ol
- Butan-1-ol
- Méthanol
- 2-méthylbutan-2-ol

**29** Choisir le nom de cette molécule parmi les propositions suivantes.



- Butanal
- Butan-3-one
- Acide butanoïque
- Butan-2-one

**30** Écrire les formules développées des espèces suivantes et préciser à quelle famille elles appartiennent.

- HCHO
- $CH_3-CH_2-CH_2-COOH$
- HCOOH
- $CH_3-CH_2-CH_2-OH$

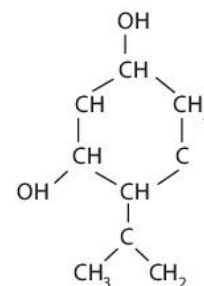
**31** Les vapeurs d'éthanol sont oxydées, en présence de cuivre, en acide éthanoïque.

- Écrire les formules de l'éthanol et de l'acide éthanoïque.
- À quelles familles appartiennent ces deux molécules ?

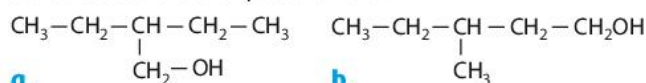
**32** La formule semi-développée ci-contre est mal écrite.

1. Corriger les erreurs en écrivant la formule semi-développée correctement.

2. Nommer cette molécule.



**33** Dire si les deux molécules suivantes sont identiques ou non.



- 
-

# Exercices

**34** Écrire la formule développée et le nom des composés suivants.

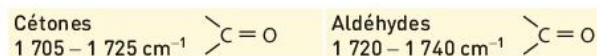


**35** Combien y a-t-il de molécules correspondant à la formule brute  $C_4H_{10}O$ ? Deux, trois, quatre ou cinq?

## Spectroscopie IR

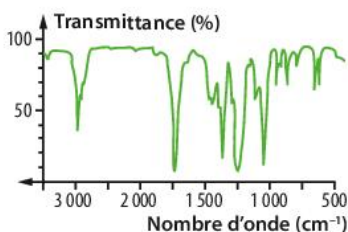
**36** Aide p. 148 Un aldéhyde et une cétone ont la même formule brute  $C_3H_6O$ .

Données



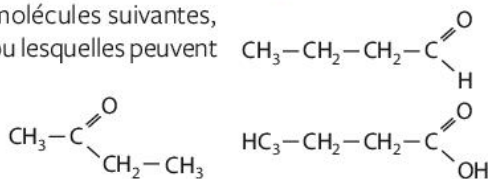
► Peut-on, grâce à leur spectre IR respectif, les identifier sans aucun doute possible?

**37** Une molécule de formule brute  $C_4H_8O$  présente un spectre IR ci-contre.



1. Dire si la molécule possède une liaison OH ou  $C=O$  ou ( $C=O$  et  $O-H$ ). ➔ Fiche 11 p. 360

2. Parmi les molécules suivantes, dire laquelle ou lesquelles peuvent avoir ce spectre IR.



## Différenciation

Aides aux exercices

Aide pour l'exercice **17**

- À quelle famille appartient une molécule de formule brute  $C_nH_{2n}O$ ?
- Commencer par écrire une chaîne carbonée principale de 6 atomes de carbone. Placer le groupe caractéristique.

Aide pour l'exercice **25**

Retrouver le groupe caractéristique d'un aldéhyde, et le radical correspondant à quatre atomes de carbone.

Aide pour l'exercice **36**

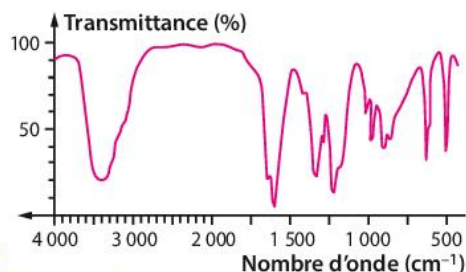
Évaluer les données, et proposer des conditions pour répondre à la question.

## En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**38** 1. Écrire la formule semi-développée d'un acide carboxylique.

2. Le spectre IR ci-contre pourrait-il appartenir à un acide carboxylique?



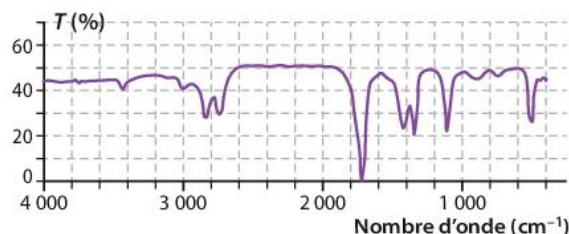
➔ Fiche 11 p. 360

## Critères d'évaluation

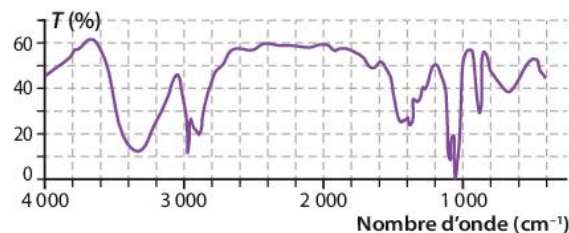
- 1 Écrire la formule d'un acide simple comme l'acide méthanoïque avec un atome de carbone ; c'est le groupe caractéristique qui est important à déterminer.
- 2 Repérer les bandes d'absorption pouvant appartenir à un acide carboxylique et conclure.

**39** L'éthanol est transformé en éthanal dans notre organisme. Voici les spectres de ces deux espèces chimiques.

### Doc. 1 Spectre IR 1



### Doc. 2 Spectre IR 2



1. Écrire les formules semi-développées de l'éthanol et de l'éthanal.
2. Associer chaque espèce à son spectre IR. ➔ Fiche 11 p. 360

## Critères d'évaluation

- 1 Les formules semi-développées permettent de visualiser les groupes caractéristiques.
- 2 Les alcools et les aldéhydes ont un groupe caractéristique correspondant à une seule liaison.



## Synthèse

### 40 À la campagne

→ Réaliser, analyser

L'acide propanoïque, appelé également acide propionique, est un fongicide qui peut éviter la fermentation dans le foin.



Le propan-1-ol est oxydé par l'ion permanganate, en excès, en acide propanoïque.

Le propan-1-ol est oxydé par l'ion permanganate, en défaut, en propanal.

Le propan-2-ol est oxydé en propanone par l'ion permanganate, qu'il soit en excès ou en défaut.

► Écrire les formules et les noms des familles chimiques de ces cinq espèces organiques.

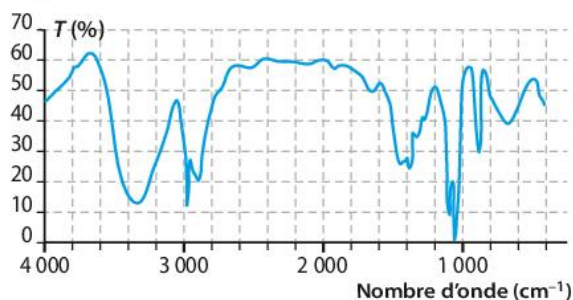
### 41 Aide p. 150 Formol impropre à la consommation

→ Analyser

La vente d'alcool frelaté est une pratique courante, en absorber peut avoir des conséquences dramatiques. Celui-ci contient de l'éthanol qui peut être coupé avec de nombreuses espèces chimiques toxiques dont le méthanal appelé le « formol ».

#### Doc. 1 Spectre d'absorption infrarouge de la boisson analysée

➔ Fiche 11 p. 360

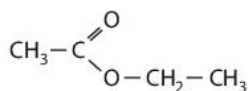


► Aidez la ou le chimiste à déterminer si du formol est présent dans la boisson analysée par spectroscopie IR.

### 42 Aide p. 150 Vérifier la pureté d'une espèce

→ Analyser, communiquer

La réaction entre l'éthanol et l'acide éthanóique forme une espèce chimique appartenant à la famille des esters, de formule:



Après avoir isolé cet ester des réactifs, il faut vérifier s'il est pur : débarrassé des impuretés d'acide éthanóique et d'alcool.

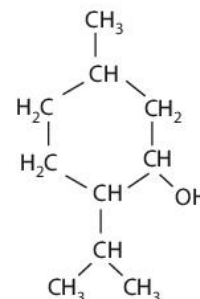
► Quelle méthode d'analyse peut être utilisée ? Justifier.

### 43 Histoire des sciences Le menthol

→ Analyser, valider

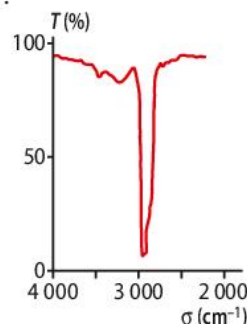
Découvert au Japon il y a plus de 2 000 ans, le menthol est un composé organique.

Synthétisé pour la première fois en 1171, on peut aussi l'obtenir par extraction à partir de l'huile principale de menthe poivrée, ou d'autres huiles principales de menthe.

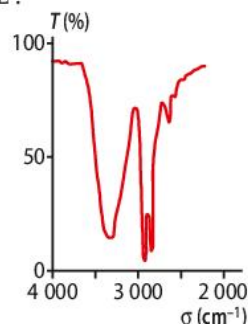


#### Doc. 1 Deux extraits de spectre IR

N° 1 :



N° 2 :



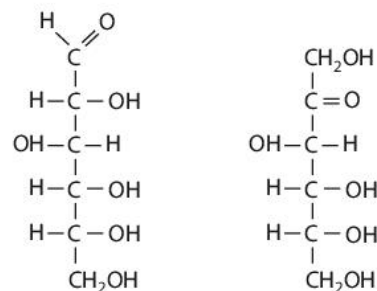
- Nommer la famille organique du menthol.
- L'un des deux spectres du doc. 1 pourrait être celui du menthol. Dire lequel et justifier. ➔ Fiche 11 p. 360

### 44 Aide p. 150 Sirop de glucose-fructose : isoglucose

→ Analyser, communiquer

Le sirop isoglucose massivement utilisé dans les boissons et desserts sucrés contient deux sucres, le glucose et le fructose (50/50) ; ce sirop, par la forte proportion de fructose, est soupçonné d'être responsable de l'obésité.

#### Doc. 1 Une formule du glucose et une formule du fructose



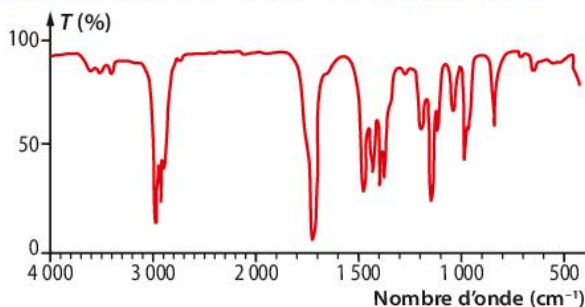
- Repérer les groupes caractéristiques dans les deux molécules.
- Lister les similitudes et différences de ces deux molécules.

## 45 Aide p. 150 Une molécule à découvrir

→ Analyser

Soit une molécule linéaire de formule brute  $C_5H_{10}O$ .

### Doc. 1 Spectre IR de cette molécule → Fiche 11 p. 360



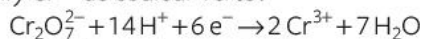
- Justifier si cette molécule peut être le pentan-1-ol ou non.
- Déduire du **doc. 1** sa famille chimique (alcool, aldéhyde, cétone ou acide carboxylique).
- Sachant que la numérotation de la chaîne principale peut se faire indifféremment de gauche à droite ou de droite à gauche, donner le nom cette molécule.

## 46 Aide p. 150 Alcotest chimique

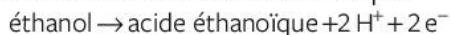
→ Analyser

Les alcolests chimiques utilisent les transformations suivantes.

La réduction de l'ion bichromate  $Cr_2O_7^{2-}$  de couleur orange en ions chrome(III)  $Cr^{3+}$  de couleur verte :



L'oxydation de l'éthanol en acide éthanoïque :



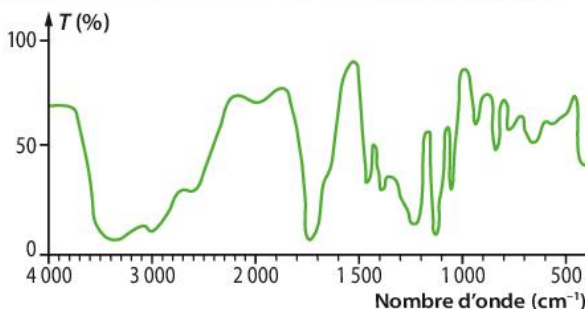
- Écrire l'équation-bilan de l'oxydation de l'éthanol en acide éthanoïque.
- Expliquer l'évolution de la couleur d'un alcolest chimique utilisé lors d'un contrôle positif d'alcoolémie.

## 47 L'acide lactique

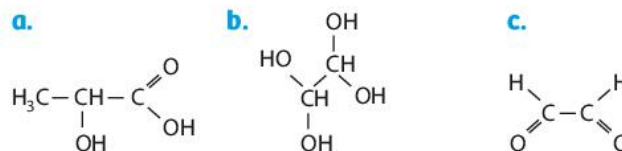
→ Analyser, s'appropriier, communiquer

Dans le lait et les produits laitiers, l'acide lactique provient de la dégradation du lactose par les bactéries.

### Doc. 1 Spectre IR de l'acide lactique → Fiche 11 p. 360



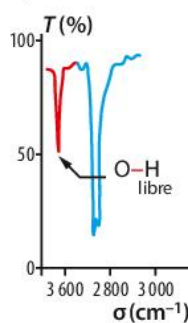
► Choisir la bonne formule semi-développée de l'acide lactique parmi les suivantes. Justifier.



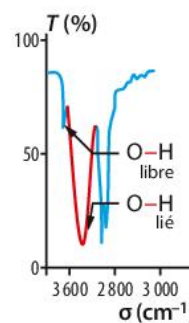
## 48 DÉFI La spécificité des alcools

→ S'appropriier, analyser, valider

### Doc. 1 Extrait n° 1 d'un spectre IR d'un alcool



### Doc. 2 Extrait n° 2 d'un spectre IR



- À l'aide des termes « forte ou moyenne » ; « fine ou large », définir la bande d'absorption centrée sur  $3600\text{ cm}^{-1}$  environ.
- Donner la différence entre le spectre du **doc. 1** et celui du **doc. 2**.
- Interpréter l'évolution de la bande d'absorption de la liaison OH.
- Associer chaque spectre à l'état liquide et gazeux de cet alcool et justifier la différence.

## Différenciation

Aides aux exercices

### Aide pour l'exercice 41

Écrire les deux formules chimiques de l'éthanol et éthanal.

### Aide pour l'exercice 42

Écrire les formules de l'éthanol et de l'acide éthanoïque et les comparer avec celle de cet ester.

### Aide pour l'exercice 44

Repérer les groupes caractéristiques des deux molécules.

### Aide pour l'exercice 45

Repérer les bandes d'absorption OH et C=O (→ Fiche 11 p. 360) présentes dans le spectre.

### Aide pour l'exercice 46

- Repérer les réactifs et les produits de l'équation bilan.
- L'indicateur utilisé par l'appareil est un indicateur visuel.





## Problèmes

### 49 Oxydation des alcools



Il est demandé à des élèves de préparer des protocoles d'oxydation ménagée des trois alcools suivants : propan-2-ol ; 2-méthyl-propan-2-ol ; propan-1-ol.

#### Doc. 1 Classe d'un alcool

<b>Alcool primaire</b>	Le carbone lié au groupe hydroxyle est lié à un seul atome de carbone
<b>Alcool secondaire</b>	Le carbone lié au groupe hydroxyle est lié à deux atomes de carbone
<b>Alcool tertiaire</b>	Le carbone lié au groupe hydroxyle est lié à trois atomes de carbone

#### Doc. 2 Produits d'oxydation ménagée

- Le squelette carboné inchangé des alcools.
- La nouvelle fonction chimique aura le « même indice de position » que celle de l'alcool correspondant.

Propanal	Acide propanoïque	Propan-2-one
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CHO}$	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$	$\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$

► D'après les documents, justifier si les alcools choisis sont oxydables, ou non.

### Différenciation

Apprendre à résoudre 49

- Écrire les formules semi-développées des trois alcools et déterminer leur classe.
- Associer à chaque alcool, le ou les produits d'oxydation possibles, en gardant le même squelette carboné.
- Rédiger une conclusion sous forme de phrase.

### 50 DEFI Synthèse de la benzocaïne

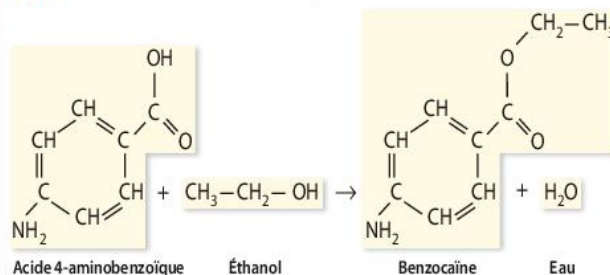
La benzocaïne (4-aminobenzoate d'éthyle) est une espèce chimique utilisée comme anesthésique.

C'est un composant actif des crèmes pour le traitement des coups de soleil.

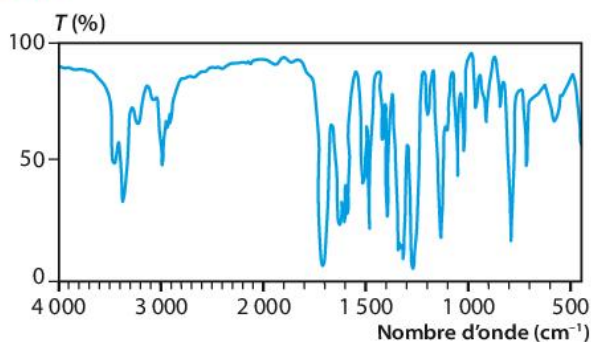
James est laborantin, il doit préparer de la benzocaïne suivant la technique de l'acétylation du groupe carboxyle (formation d'un ester).



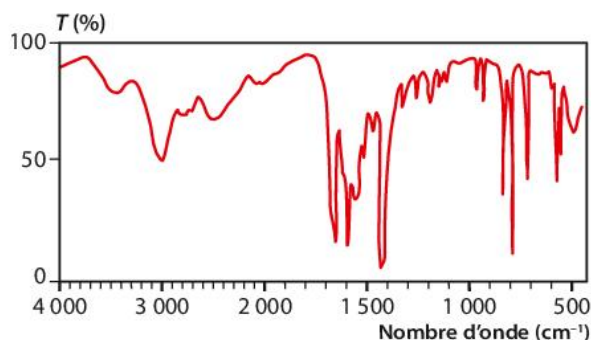
#### Doc. 1 Transformation chimique



#### Doc. 2 Spectre IR de référence de la benzocaïne



#### Doc. 3 Spectre IR de référence de l'acide 4-aminobenzoïque



#### Doc. 4 Extrait de la table de référence

Liaison OH des acides carboxyliques	Entre 2 500 et 3 300 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte et large
Liaison C=O des esters	Entre 1 700 et 1 750 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte et de largeur moyenne
Liaison C=O des acides carboxyliques	Entre 1 660 et 1 740 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte
Liaison C-H (carbone tétraédrique)	Entre 2 800 et 3 000 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte
Liaison C-O des acides carboxyliques	Entre 1 200 et 1 320 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte et fine
Liaison C-O-C des esters	Entre 1 050 et 1 300 $\text{cm}^{-1}$	Bande forte (1 ou 2 bandes)

► Aider James à trouver comment prouver que la benzocaïne qu'il aura synthétisée sera pure.

## 51 Composé carbonylé

Deux groupes d'élèves pendant un TP réalisent l'oxydation ménagée de l'éthanol :

- Le groupe 1 a réalisé l'oxydation de l'éthanol avec un oxydant (l'ion permanganate) en défaut ; les deux tests (1) et (2) ont été positifs et le test (3) négatif.
- Le groupe 2 a réalisé l'oxydation de l'éthanol avec un oxydant (l'ion permanganate) en excès ; les deux tests (1) et (2) ont été négatifs et le test (3) positif.

### Doc. 1 Test d'identification des aldéhydes, des cétones et des acides carboxyliques

	Aldéhyde	Cétone	Acide carboxylique
Test (1) 2,4-DNPH	Test positif	Test positif	Test négatif
Test (2) au réactif de Tollens	Test positif	Test négatif	Test négatif
Test (3) d'acidité (papier pH)	Test négatif	Test négatif	Test positif

### Doc. 2 Oxydation d'un alcool

L'oxydation complète d'un alcool correspond à la combustion d'un alcool avec formation de dioxyde de carbone et d'eau. L'oxydation ménagée d'un alcool correspond à une transformation du groupe caractéristique sans modifier le squelette carboné.

- Aider les deux groupes à conclure et à identifier la molécule organique obtenue.

## Objectif BAC

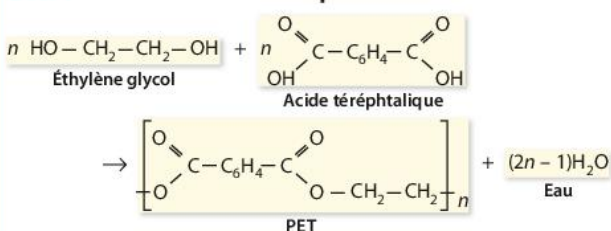
## 52 Fabrication d'un polymère : le PET

Le PET est l'un des polymères les plus utilisés : 59 millions de tonnes ont été produits en 2016, dont 16 millions de tonnes pour la fabrication de bouteilles en plastique recyclables.

Katel est technicienne de laboratoire. Elle réalise la transformation décrite dans le **doc. 1**, et réalise un spectre IR du produit obtenu (**doc. 4**).



### Doc. 1 Transformation chimique

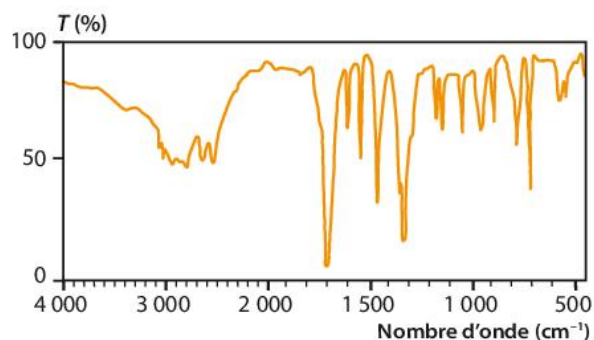


L'eau est éliminée par distillation.

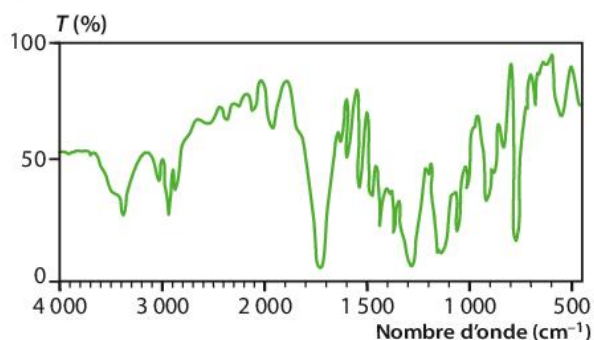
### Doc. 2 Données chimiques

-OH	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \mid \\ \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \mid \\ \text{O}-\text{R} \end{array}$
Alcool	Acide carboxylique	Ester

### Doc. 3 Spectre IR de l'acide téréphtalique



### Doc. 4 Spectre IR obtenu à partir du mélange réactionnel après une heure de transformation



### Doc. 5 Extrait de la table d'analyse de spectroscopie IR

Liaison	Nombre d'ondes (cm <sup>-1</sup> )	Intensité et commentaire
Liaison OH des acides carboxyliques	Entre 2 500 et 3 300 cm <sup>-1</sup>	Bande forte et large.
Liaison C=O des esters	Entre 1 700 et 1 750 cm <sup>-1</sup>	Bande forte et de largeur moyenne.
Liaison C=O des acides carboxyliques	Entre 1 660 et 1 740 cm <sup>-1</sup>	Bande forte.
Liaison C-H (carbone tétraédrique)	Entre 2 800 et 3 000 cm <sup>-1</sup>	Bande forte
Liaison C-O des acides carboxyliques	Entre 1 200 et 1 320 cm <sup>-1</sup>	Bande forte et fine
Liaison C-O des esters	Entre 1 210 et 1 260 cm <sup>-1</sup>	Bande forte et fine

- Analyser les documents, et conclure sur les résultats de la synthèse qu'a réalisée Katel, au bout d'une heure.

# Synthèse des composés organiques

*Comment fabriquer un composé organique et déterminer le rendement de la synthèse ?*



## Objectifs

Synthétiser une espèce chimique organique liquide

➔ Activité 1 p. 154

Séparer deux liquides par distillation

➔ Activité 2 p. 156

Synthétiser une espèce organique solide

➔ Activité 3 p. 157

### Téléchargeable

Purifier une espèce organique solide

➔ Activité 4 

— La bave d'escargot contient de l'allantoïne, un principe actif adoucissant et apaisant utilisé dans les cosmétiques. Elle est synthétisable au laboratoire.

### 1 Synthétiser une espèce chimique organique liquide

L'octan-2-one est une phéromone secrétée par les fourmis. Les chimistes cherchent à synthétiser cette phéromone pour remplacer un insecticide.

Comment synthétiser et isoler l'octan-2-one ?

#### Doc. 1 Les réactifs : octan-2-ol et acide acétique



L'octan-2-ol peut être produit à partir d'huile de ricin.

L'acide acétique, ou acide éthanoïque, est présent dans le vinaigre, produit depuis l'antiquité.



\*décroit avec la température

	$M$ (g · mol <sup>-1</sup> )	Densité $d$	Solubilité dans l'eau*	Solubilité dans l'eau salée*
Octan-2-ol C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	130,23	0,819	Faible	Très faible
Acide éthanoïque	60,05	1,049	Forte	Forte

#### Doc. 2 L'espèce d'intérêt : l'octan-2-one

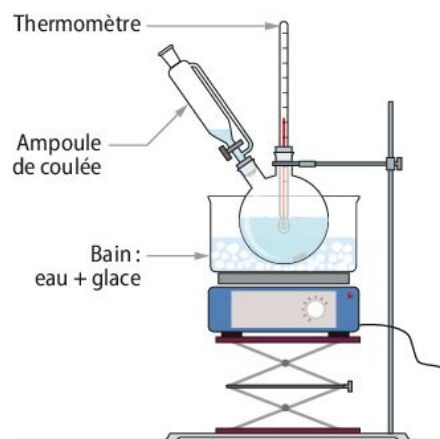
L'octan-2-one est produit naturellement par les fourmis.



\*décroit avec la température

	$M$ (g · mol <sup>-1</sup> )	Densité $d$	Solubilité dans l'eau*	Solubilité dans l'eau salée*
Octan-2-one C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	128,21	0,819	Faible	Très faible

#### Doc. 3 Montage de la synthèse



#### Matériel et produits disponibles

Ballon bicol • Ampoule de coulée • Cristallisoir • Éprouvette graduée de 25 mL • Ampoule à décantier de 250 mL • Erlenmeyer de 250 mL • Balance au dixième de gramme • Agitateur magnétique et turbulent • Thermomètre • Papier iodo-amidonné, qui prend une couleur violette en présence d'eau de Javel.

Eau + glace pilée • 40 mL d'eau de Javel (Na<sup>+</sup>(aq) + ClO<sup>-</sup>(aq)) à 2,6 mol · L<sup>-1</sup> • 5 mL d'octan-2-ol

• 10 mL d'acide acétique pur • Solution saturée d'hydrogénosulfite de sodium, qui sert à neutraliser l'excès d'eau de Javel • Solution saturée de chlorure de sodium • Solution d'hydrogénocarbonate de sodium à 5 %, qui sert à neutraliser l'acide restant • Sulfate de magnésium ou de sodium anhydre, qui sert à sécher le liquide obtenu • Solution de 2,4-DNPH, qui permet de mettre en évidence la cétone formée.

## Protocole

**Étape 1. Transformation chimique**

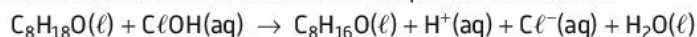
- 1.1 Réaliser le montage du doc. 3. Introduire l'eau de Javel dans l'ampoule de coulée d'une part, et l'octan-2-ol et l'acide acétique dans le ballon d'autre part.
- 1.2 Dès que la température dans le ballon est inférieure à 15 °C, faire couler l'eau de Javel goutte à goutte en veillant à ne pas dépasser 25 °C.
- 1.3 Lorsque toute l'eau de Javel est versée, descendre le bain d'eau glacée et laisser revenir à température ambiante, tout en agitant pendant 15 min.
- 1.4 Enlever l'ampoule de coulée et vérifier que l'eau de Javel est en excès à l'aide du papier iodo-amidonné. Si l'eau de Javel n'est pas en excès, ajouter quelques mL d'eau de Javel dans le mélange et refaire une vérification.
- 1.5 Replacer l'ampoule de coulée et y verser 5 mL d'hydrogénosulfite de sodium.
- 1.6 Faire couler goutte à goutte jusqu'à ce que la coloration jaunâtre due à l'eau de Javel disparaisse.

**Étape 2. Séparation de la phase organique**

- 2.1 Récupérer le turbulent avec une tige magnétique.
- 2.2 Transvaser le contenu du ballon à l'aide d'un entonnoir dans l'ampoule à décanter.
- 2.3 Rincer le ballon avec 20 mL d'eau distillée froide et récupérer cette eau de lavage dans l'ampoule à décanter.
- 2.4 Ajouter dans l'ampoule à décanter 50 mL d'une solution de chlorure de sodium saturée préalablement refroidie dans le bain eau-glace.
- 2.5 Agiter l'ampoule à décanter et laisser reposer quelques minutes. ➔ Fiche 3 p. 352
- 2.6 Éliminer la phase aqueuse. Laver la phase organique avec 10 mL de solution d'hydrogénocarbonate. Laisser décanter et recueillir la phase organique.
- 2.7 Sécher la phase organique avec du sulfate de magnésium anhydre. Laisser décanter et verser dans un bécher de 50 mL préalablement taré.
- 2.8 Peser la phase organique et noter le résultat  $m_{\text{exp}}$ .

**Doc. 4 Équation de la réaction et tableau d'avancement**

L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique est la suivante :



L'ion hypochlorite se transforme en acide hypochloreux en milieu acide (c'est lui qui réagit avec l'octan-2-ol).

Tableau d'avancement à compléter.

Équation chimique		$\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}(\ell) + \text{ClOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}(\ell) + \text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$				
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)				
État initial	$x = 0$		0,104	0	Excès	Excès
État final	$x_f$				Excès	Excès

**Mise en œuvre**

➔ Réaliser

➔ Analyser, réaliser

➔ Réaliser

**Conclusion**
**De l'activité au cours**

➔ Valider

- 1 Lire l'étape 1 du protocole et indiquer les précautions de sécurité nécessaires. Réaliser l'étape 1 du protocole.
- 2 Lire l'étape 2 du protocole et justifier l'utilisation d'eau salée, d'hydrogénocarbonate de sodium et de sulfate de magnésium utilisés pour purifier l'octan-2-one. Donner les positions respectives des phases organiques et aqueuses dans l'ampoule à décanter puis réaliser l'étape 2 du protocole.
- 3 Compléter le tableau d'avancement pour cette transformation (doc. 4).  
➔ Fiche 12 p. 361
- 4 Calculer la masse  $m_{\text{th}}$  d'octan-2-one qui peut être synthétisée.
- 5 Calculer le rendement de la synthèse de l'octan-2-one réalisée.

- 6 Décrire les différentes étapes d'une synthèse organique.

DIFFÉRENCIATION : ➔ Activité supplémentaire

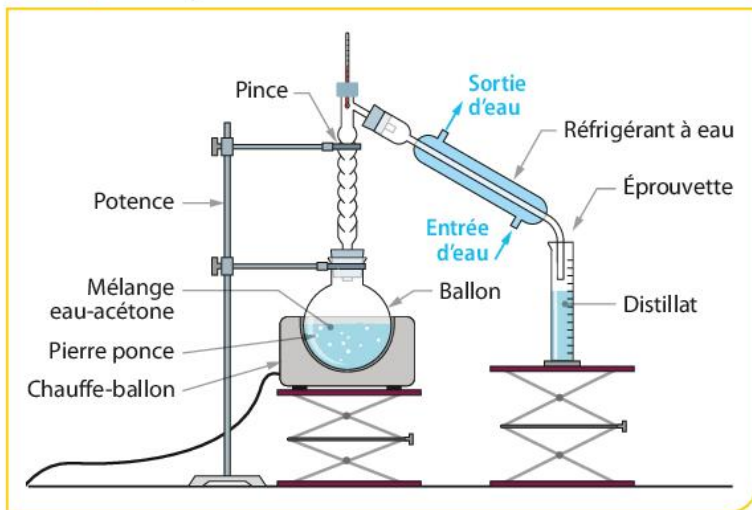
## Mettre en œuvre un protocole

### 2 Séparer deux liquides par distillation

Un mélange 50/50 en eau et acétone a été utilisé pour purifier une espèce chimique après synthèse. Cependant, ce mélange a été préparé en trop grande quantité.

Comment séparer l'acétone de l'eau, ces deux liquides étant miscibles en toute proportion ?

#### Doc. 1 Montage de distillation fractionnée



#### Protocole

1. Mettre dans un ballon de 250 mL, environ 50 mL du liquide à distiller.
2. Ajouter quelques grains de pierre ponce.
3. Réguler le thermostat pour avoir une ébullition douce et récupérer par distillation environ 40 % du volume initial.

#### Doc. 3 Données chimiques

Température d'ébullition sous la pression atmosphérique :  
**Acétone : 56 °C**  
**Eau : 100 °C**

#### Doc. 2 Tests caractéristiques

• Sur un verre de montre, verser une goutte d'un liquide sur la poudre blanche de sulfate de cuivre anhydre. En présence d'eau, le solide bleuit.



• Mettre dans un tube à essais 1 mL de 2,4-DNPH et ajouter deux trois gouttes du liquide à tester. La présence d'une cétone dans le liquide testé formera un précipité orange avec la 2,4-DNPH.



#### Matériel et produits disponibles

Ballon • Chauffe-ballon  
 • Pierre ponce • Éprouvette graduée • Réfrigérant droit  
 • Thermomètre • Colonne de distillation • Supports et pinces • Tube à essai • Verre de montre • Mélange 50/50 eau-acétone • Sulfate de cuivre anhydre • 2,4-DNPH.

#### Mise en œuvre

→ Réaliser

→ S'approprier

→ Réaliser, analyser

**1** Réaliser le montage du doc. 1 puis la distillation du mélange eau-acétone (protocole).

**2** Relever la température du thermomètre en tête de colonne, lors du passage du premier solvant liquide. En déduire la nature du solvant (doc. 3).

**3** À l'aide du doc. 2, faire un test pour vérifier la nature du distillat.

**4** À l'aide du doc. 2, vérifier la pureté du distillat.

#### Conclusion

**5** Indiquer sur quelle propriété repose la séparation de l'acétone et de l'eau.

#### De l'activité au cours

→ Communiquer

**6** Expliquer la méthode de séparation de deux liquides miscibles par distillation.

**DIFFÉRENCIATION** : Exercice supplémentaire

Mettre en œuvre un protocole

### 3 Synthétiser une espèce organique solide

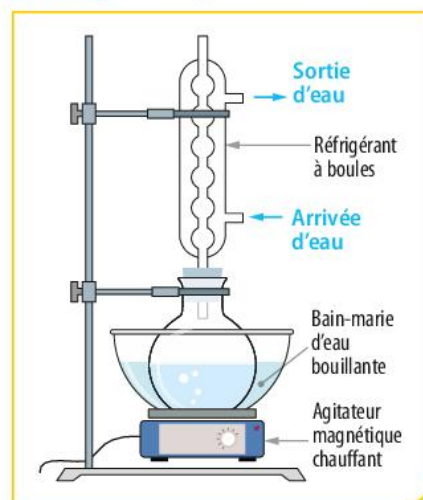
La consoude est une plante qui contient de l'allantoïne, un composé aux vertus apaisantes utilisé dans l'industrie pharmaceutique. L'allantoïne peut aussi être synthétisée à partir d'urée et d'acide glyoxylique.

Quel est le rendement de la synthèse ?

Doc. 1 Données physico-chimiques

	Acide glyoxylique	Urée	Acide sulfurique	Allantoïne
Formule			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
M (g · mol <sup>-1</sup> )	74,0	60,0	98,0	158,0
Solubilité dans l'eau	Très soluble	Très soluble	Très soluble	Eau bouillante : 150 g · L <sup>-1</sup> Eau froide : 5 g · L <sup>-1</sup>
θ <sub>fusion</sub> (°C)	50 - 52	133 - 135		238 (décomposition)
Sécurité				

Doc. 2 Montage



Protocole

Étape 1 Transformation chimique

- Placer un barreau aimanté dans un ballon de 100 mL.
- En prenant les précautions de sécurité nécessaires, verser 13,6 g d'urée et 10,0 mL de solution aqueuse d'acide glyoxylique à 50 % en masse et de densité  $d = 1,34$  dans le ballon. Agiter manuellement jusqu'à obtention d'une solution limpide.
- À l'aide d'une pipette jetable, introduire très lentement 1,5 mL d'acide sulfurique concentré en actionnant l'agitateur magnétique.
- Réaliser le montage du doc. 2 et maintenir l'agitation, le chauffage et l'ébullition de l'eau pendant environ 35 minutes. Le milieu réactionnel se trouble avec l'apparition

d'un précipité blanchâtre au bout de 15 à 20 minutes. L'équation de réaction de cette transformation chimique s'écrit :  $2 \text{CH}_4\text{N}_2\text{O}(s) + \text{C}_2\text{H}_2\text{O}_3(s) \rightarrow \text{C}_4\text{H}_6\text{N}_4\text{O}_3(s) + 2 \text{H}_2\text{O}(\ell)$ , catalysée par l'acide sulfurique.

Étape 2 Isolement de l'allantoïne

- Refroidir le ballon dans la glace pendant quelques minutes.
- Faire une filtration sous-vide Fiche 11 p. 360 pour récupérer le solide.
- Rincer avec suffisamment d'eau glacée pour que les eaux de rinçage soient neutres. Sécher entre deux feuilles de papier filtre.
- Mettre à sécher à l'étuve à 90 °C pendant 15 min.

Mise en œuvre

→ Réaliser

→ Analyser, réaliser

→ Réaliser

Conclusion

De l'activité au cours

→ Communiquer

- Lire les pictogrammes de sécurité (doc. 1), et adopter les mesures de protection nécessaires. Réaliser l'étape 1 du protocole. Répondre à la question 2 durant l'étape 1.4.
- Déterminer la nature du réactif limitant, l'avancement maximum  $x_{\text{max}}$  et la masse maximum  $m_{\text{max}}$  d'allantoïne que l'on peut obtenir. Fiche 12 p. 361
- Réaliser l'isolement de l'allantoïne en suivant la partie 2 du protocole et peser la masse d'allantoïne obtenue  $m_{\text{exp}}$ .
- Déterminer le rendement  $r$  de la synthèse sachant qu'il est égal à  $\frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{max}}}$ .

- Résumer les étapes de la synthèse d'une espèce organique solide.



**Doc. 1.** Paracétamol et vêtements en matière synthétique : des applications de la chimie de synthèse organique.

## A Les quatre étapes d'une synthèse organique

La synthèse organique permet de fabriquer des espèces chimiques semblables à celles que l'on peut trouver dans la nature mais présentes en trop faible quantité.

De nouvelles molécules ont également été créées et trouvent des applications dans la vie quotidienne (**doc. 1**).

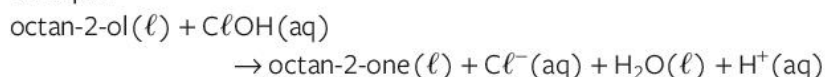
### 1 Transformation chimique

► L'espèce que l'on souhaite synthétiser est un des produits d'une transformation chimique entre au moins deux réactifs.

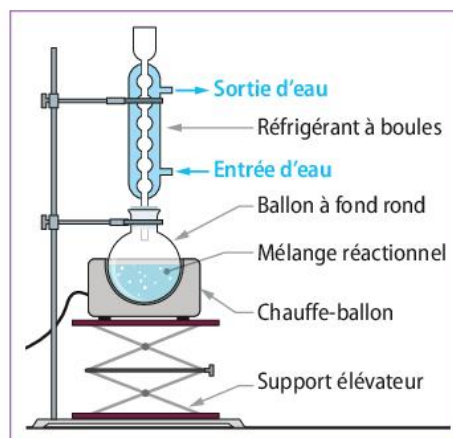
L'équation chimique modélisant la réaction s'écrit :

**Réactifs → Produits**

Exemple :



► La technique généralement utilisée pour réaliser la transformation chimique est le **chauffage à reflux**.



**Doc. 2.** Montage de chauffage à reflux.

Le chauffe-ballon permet d'augmenter la température du milieu réactionnel et ainsi la vitesse de la réaction. Le réfrigérant condense les vapeurs en évitant les pertes de composés et les émanations dans la salle.

→ **Activités 1 et 2**

### Histoire



1828, Friedrich Wöhler réussit la synthèse de l'urée. Pour la première fois une substance organique est synthétisée à partir de produits inorganiques.

### 2 Isolement du produit synthétisé

#### a. Cas d'un solide : filtration sous vide

À la fin de la synthèse, le produit synthétisé se retrouve avec d'autres espèces chimiques (réactif en excès, sous-produits de la synthèse, solvant, impuretés). Plusieurs techniques permettent de l'isoler. Le choix de la technique dépend de l'état physique du produit synthétisé.



## Histoire



En 1972, une équipe d'une centaine de chimistes dirigée par le prix Nobel de chimie de 1965,

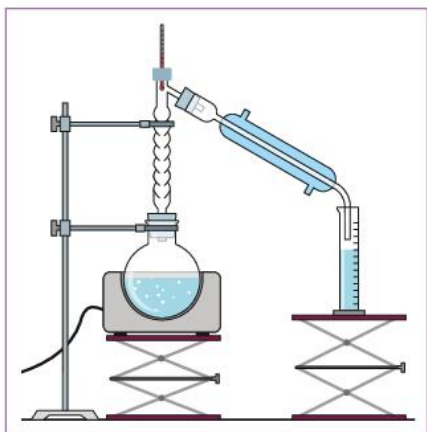
Robert Woodward, réussit, après douze ans de recherche, la synthèse totale de la vitamine B12, vitamine indispensable au bon fonctionnement du cerveau.

## Éviter les erreurs...

Le solvant extracteur doit :

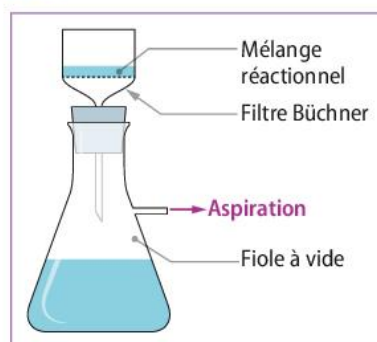
- ne pas être miscible avec le solvant initial ;
- mieux solubiliser l'espèce à extraire que le solvant initial.

Le solvant extracteur peut être plus dense ou bien moins dense que le solvant initial.



Doc. 5. Montage de distillation fractionnée.

Lorsqu'il s'agit d'un solide, une filtration simple ou une filtration sous vide est réalisée (doc. 3).



Doc. 3. Filtration sous vide.

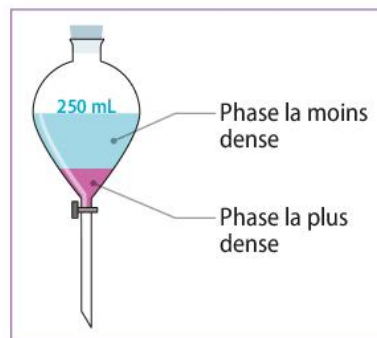
Le produit solide est récupéré dans le filtre Büchner. Les autres espèces, à l'état liquide, sont aspirées dans la fiole à vide.

## → Activité 1

## b. Cas d'un liquide : extraction liquide-liquide

Lorsque le produit synthétisé est un liquide, une extraction liquide-liquide est réalisée à l'aide d'une ampoule à décanter (doc. 4).

L'espèce synthétisée est isolée du reste du mélange réactionnel à l'aide d'un **solvant extracteur**. Il se forme deux phases que l'on sépare à l'aide de l'ampoule à décanter.



Doc. 4. Ampoule à décanter.

## → Activité 3

## 3 Purification du produit synthétisé

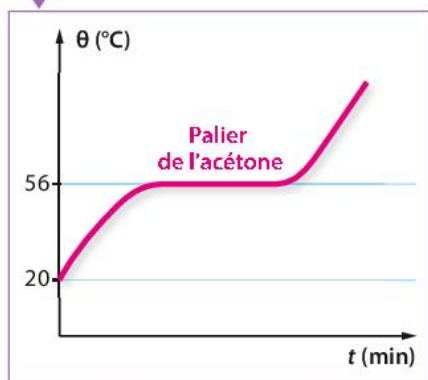
Cette étape a pour but d'éliminer la totalité des impuretés présentes à l'issue de la phase d'isolement. Les impuretés sont des résidus de réactifs, du solvant ou du catalyseur.

## a. Cas d'un liquide : lavage ou distillation fractionnée

Le liquide est purifié en effectuant différents lavages à l'aide d'une ampoule à décanter. Après chaque lavage et décantation, la phase organique est recueillie, puis elle est séchée à l'aide d'un sel anhydre (par exemple le sulfate de magnésium anhydre).

Une **distillation fractionnée** (doc. 5) peut être réalisée. Cette technique est basée sur les différences de température d'ébullition entre le produit synthétisé et les impuretés.

La séparation par distillation n'est possible que si les températures d'ébullition diffèrent d'au moins 10 °C.



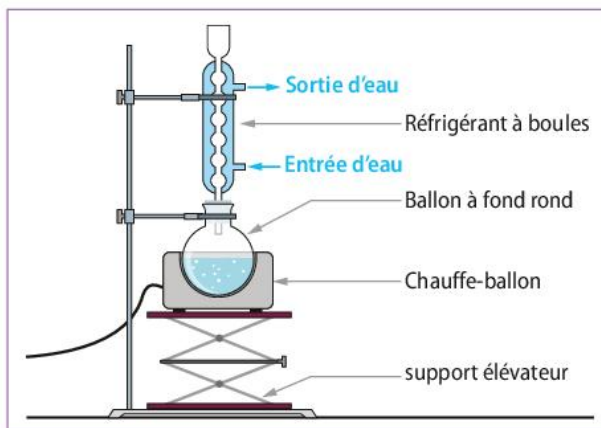
**Doc. 6.** Lors de la distillation fractionnée d'un mélange eau-acétone, un palier de température à 56 °C est observé, c'est la température d'ébullition de l'acétone.

### Principe de la distillation fractionnée :

- ▶ En chauffant le mélange, des vapeurs s'élèvent dans la colonne de distillation (ou colonne de Vigreux). Elles sont plus riches en composés les plus volatils, mais contiennent aussi les autres espèces du mélange.
- ▶ Au contact des pointes de la colonne, les composés les moins volatils se condensent, ainsi en montant dans la colonne les vapeurs s'enrichissent en composé le plus volatil.
- ▶ Il faut régler le chauffage de manière à ce que la température en haut de la colonne soit égale à la température d'ébullition du composé chimique le plus volatil, ce qui permet de transférer dans le réfrigérant des vapeurs qui vont être condensées et s'écouler par le réfrigérant à eau.
- ▶ La température va rester stable jusqu'à ce que la totalité de ce composé soit évaporé (**doc. 6**).

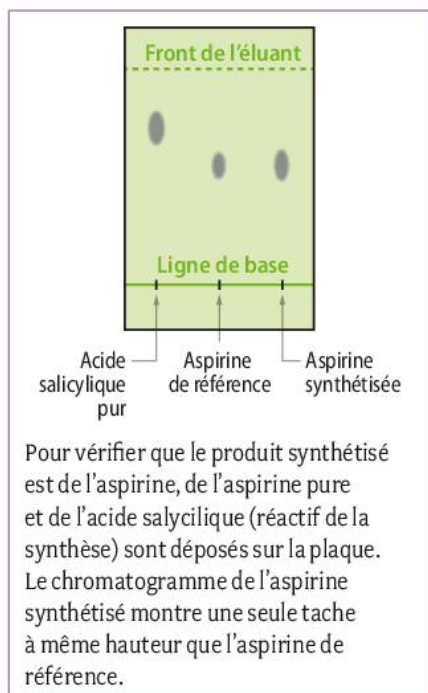
### b. Cas d'un solide : recristallisation

Le solide impur est dissous dans le solvant à chaud, puis par refroidissement lent de la solution, le solide recristallise tandis que les impuretés restent en solution et sont éliminées par filtration sous vide la plupart du temps (**doc. 7**).



**Doc. 7.** Montage de recristallisation.

Si le solvant choisi est un solvant organique, un montage à reflux peut être utilisé pour recristalliser.



**Doc. 8.** Chromatogramme.

## 4 Analyse du produit synthétisé

À la fin de la synthèse, différentes techniques d'analyse permettent d'identifier le produit obtenu et de vérifier s'il est pur.

### a. Chromatographie sur couche mince

Si le chromatogramme de l'espèce synthétisée ne présente qu'une tache alors le produit de synthèse est pur. Il est nécessaire de déposer sur la plaque des produits de référence.

En CCM deux substances migrant à la même hauteur sont identiques (**doc. 8**).



Doc. 9. Banc Kofler.



Doc. 10. Réfractomètre.

- Pour un solide :

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

avec  $n$  la quantité de matière (mol),  
 $m$  la masse (g)  
 et  $M$  la masse molaire ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ).

- Pour une espèce en solution :

$$n = C \times V$$

avec  $n$  la quantité de matière (mol),  
 $C$  la concentration molaire ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ),  
 et  $V$  le volume (L).

Doc. 11. Formules de détermination de quantités de matière.

## b. Mesure d'un point de fusion pour un solide

Chaque solide possède un point de fusion spécifique.

Le banc Kofler (doc. 9) permet de mesurer la température de ce point de fusion. Il est constitué d'une plaque chauffante dont la température varie entre environ 40 °C et 260 °C.

Il doit être étalonné à l'aide de substances de référence.

Une fois cette opération réalisée, l'échantillon solide est glissé progressivement de la droite vers la gauche jusqu'à ce qu'il fonde.

Il suffit alors de lire la température à l'aide de la graduation.

➔ Fiche 10 p. 359

## c. Autres méthodes d'identification

► Pour un liquide, l'indice de réfraction est spécifique. Il se mesure à l'aide d'un réfractomètre (doc. 10).

► Il existe également des tests de reconnaissance :

- le test au sulfate de cuivre anhydre pour vérifier la présence d'eau.
- le test à la 2,4-DNPH pour mettre en évidence les aldéhydes et les cétones.

► La spectroscopie IR (pour la chimie organique) permet aussi d'identifier des espèces.

➔ Activité 3

## B Rendement de la synthèse

Le rendement est le rapport entre la quantité de matière (doc. 11) de produit synthétisé réellement obtenu et la quantité maximale théorique.

$$r = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{th}}}$$

$r$  : rendement, sans unité, de valeur inférieure ou égale à 1

$n_{\text{exp}}$  : quantité de matière de produit réellement obtenue, en moles (mol)

$n_{\text{th}}$  : quantité de matière de produit maximale théoriquement obtenue, en moles (mol)

La quantité  $n_{\text{th}}$  se calcule à l'aide de l'équation de la transformation et d'un tableau d'avancement. ➔ Fiche 12 p. 361

Remarque : le rendement peut également s'exprimer en fonction de la masse de produit réellement synthétisé  $m_{\text{exp}}$  et de la masse maximale théorique  $m_{\text{th}}$ .

$$r = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{th}}}$$

$r$  : rendement, sans unité, de valeur inférieure ou égale à 1

$m_{\text{exp}}$  : masse de produit réellement obtenue, en grammes (g)

$m_{\text{th}}$  : masse de produit maximale théoriquement obtenue, en grammes (g)

➔ Activités 1 et 2

## Les quatre étapes d'une synthèse organique

Transformation chimique

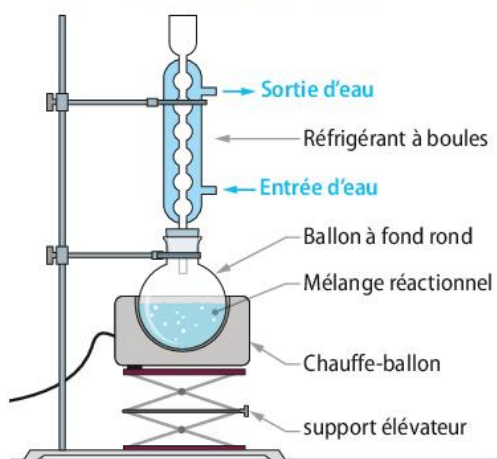
Isolement

Purification

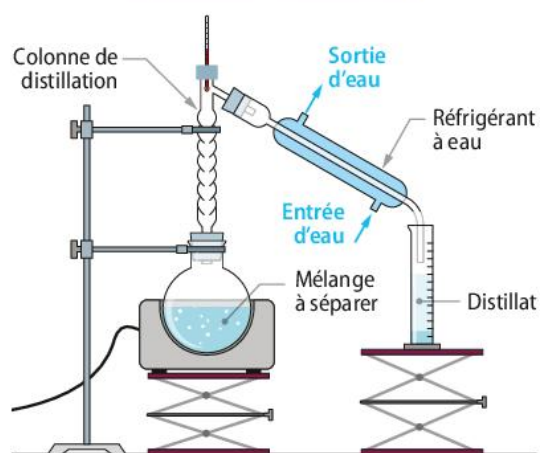
Analyse

## Montages utilisés en synthèse

Transformation chimique :  
chauffage à reflux



Purification :  
distillation fractionnée




## Rendement d'une synthèse

$$r = \frac{\overset{\text{mol}}{n_{\text{exp}}}}{\underset{\text{mol}}{n_{\text{th}}}} \quad \text{ou} \quad r = \frac{\overset{\text{g}}{m_{\text{exp}}}}{\underset{\text{g}}{m_{\text{th}}}}$$

## Résoudre un exercice

### Énoncé

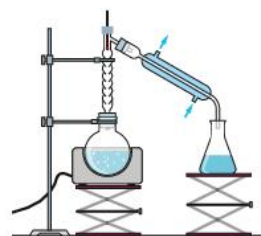
Un mélange de 8,0 mL d'acide méthanoïque, de 8,0 mL d'éthanol absolu et de quelques gouttes d'acide sulfurique concentré  est porté à ébullition (**doc. 1**). Le distillat est recueilli tant que la température de tête de colonne est de l'ordre de 54 °C. Après séchage, il reste 7,0 mL de distillat.

L'équation de la réaction qui modélise la transformation chimique est la suivante.  
 $\text{HCOOH}(\ell) + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\ell) \rightarrow \text{HCOOCH}_2\text{CH}_3(\ell) + \text{H}_2\text{O}(\ell)$

- Justifier le choix du montage de distillation fractionnée.
- Déterminer la nature du réactif limitant et la valeur de l'avancement maximum  $x_{\text{max}}$ .





→ Fiche 12 p. 361

- En déduire le rendement de la synthèse.



Doc. 1 Montage de distillation fractionnée

### Doc. 2 Données chimiques

Acide méthanoïque 	Éthanol 	Méthanoate d'éthyle  
$M = 46,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $\rho = 1,22 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ $\theta_{\text{eb}} = 100,7 \text{ }^\circ\text{C}$	$M = 46,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $\rho = 0,79 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ $\theta_{\text{eb}} = 78,5 \text{ }^\circ\text{C}$	$M = 74,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $\rho = 0,91 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ $\theta_{\text{eb}} = 54,3 \text{ }^\circ\text{C}$

### Résolution

- Le montage de distillation fractionnée peut être utilisé puisque le produit synthétisé est un liquide et les températures d'ébullition des différentes espèces sont différentes de plus de 10 °C.

$$2. n_i(\text{HCOOH}) = 1,22 \times \frac{8,0}{46} = 0,21 \text{ mol}; n_i(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 0,79 \times \frac{8,0}{46} = 0,14 \text{ mol.}$$

Si l'acide méthanoïque est limitant  $n_i(\text{HCOOH}) - x_{\text{max}} = 0$

$$\text{donc } x_{\text{max}} = n_i(\text{HCOOH}) = 0,21 \text{ mol.}$$

Si l'éthanol est limitant  $n_i(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) - x_{\text{max}} = 0$

$$\text{donc } x_{\text{max}} = n_i(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 0,14 \text{ mol.}$$

Le réactif limitant est celui conduisant à la plus petite valeur de l'avancement maximum : l'éthanol est donc le réactif limitant et  $x_{\text{max}} = 0,14 \text{ mol}$ .

- Le rendement est défini par  $r = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{th}}}$ .

D'après l'équation :  $n_{\text{th}}(\text{HCOOCH}_2\text{CH}_3) = x_{\text{max}} = 0,14 \text{ mol}$  ;

$$n_{\text{exp}}(\text{HCOOCH}_2\text{CH}_3) = 0,91 \times \frac{7,0}{74} = 0,09 \text{ mol}$$

$$\text{Le rendement est donc : } r = \frac{0,09}{0,14} = 0,63 = 63 \%$$

→ Exercice 30 p. 167

### Conseils

- Calculer les quantités de matière de réactifs. Utiliser les formules  $n = \frac{m}{M}$  et  $m = \rho \cdot V$ . Réaliser éventuellement un tableau d'avancement pour trouver l'avancement maximum.

- Utiliser les résultats précédents et la formule du rendement. Exprimer le rendement en pourcentage.

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.

Synthèse des composés organiques

Les quatre étapes d'une synthèse organique

14-35

Rendement de la synthèse

26-31

## Révision rapide

## QUIZ



Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

**1** Dans une synthèse organique, il n'y a pas d'étape :

- A: de transformation chimique.
- B: de purification.
- C: de transformation physique.
- D: d'analyse.

**2** Une distillation fractionnée permet :

- A: de réaliser une transformation chimique.
- B: de purifier le produit de la synthèse.
- C: d'isoler le produit de la synthèse.
- D: d'analyser le produit de la synthèse.

**3** Dans un montage à reflux, le réfrigérant permet :

- A: d'évacuer les vapeurs formées.
- B: de condenser les vapeurs formées.
- C: d'accélérer la transformation chimique.
- D: d'éviter les pertes de matière.

**4** La recristallisation repose sur la différence de :

- A: solubilité entre les impuretés et le composé à purifier.
- B: densité entre les impuretés et le composé à purifier.
- C: solubilité entre le solvant et le composé à purifier.
- D: température d'ébullition entre les impuretés et le composé à purifier.

**5** Lors d'une synthèse, le chauffage a pour but :

- A: de faire passer les réactifs à l'état gazeux.
- B: d'accélérer la transformation chimique.
- C: d'augmenter le rendement de la synthèse.
- D: d'éliminer les impuretés.

**6** Pour savoir si un composé est pur, on peut :

- A: réaliser une chromatographie sur couche mince.
- B: mesurer sa température d'ébullition.
- C: mesurer sa température de fusion.
- D: mesurer son pH.

**7** Le pictogramme  signifie :

- A: que le produit est corrosif.
- B: qu'il faut manipuler le produit avec des gants.
- C: qu'il faut mettre des lunettes de protection pour manipuler le produit.
- D: que le produit est inflammable.

**8** Pour séparer une espèce solide d'un liquide, on peut :

- A: réaliser une filtration sous vide.
- B: réaliser une distillation.
- C: réaliser une filtration simple.
- D: utiliser une ampoule à décanter.

**9** Pour choisir un solvant d'extraction, il est nécessaire :

- A: que le composé à extraire soit soluble dans ce solvant.
- B: que le composé à extraire ne soit pas soluble dans ce solvant.
- C: que le composé à extraire et ce solvant aient une température d'ébullition différente.
- D: de regarder les pictogrammes des flacons des différents solvants.

**10** Une chromatographie sur couche mince (CCM) permet :

- A: de purifier l'espèce chimique synthétisée.
- B: de séparer quantitativement l'espèce chimique synthétisée.
- C: d'identifier l'espèce chimique synthétisée avec des étalons.
- D: de déterminer un point de fusion d'une espèce chimique.

**11** Le rendement d'une synthèse organique est donné par :

$$A: \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{th}}} \quad B: \frac{n_{\text{exp}}}{m_{\text{exp}}} \quad C: \frac{n_{\text{th}}}{n_{\text{exp}}} \quad D: \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{th}}}$$

**12** Un produit liquide synthétisé peut être identifié en :

- A: réalisant une CCM.
- B: réalisant un test d'identification.
- C: pesant le produit formé.
- D: mesurant son point de fusion.

**13** Un produit solide synthétisé peut être identifié en :

- A: mesurant son point de fusion.
- B: mesurant son indice de réfraction.
- C: pesant le produit formé.
- D: réalisant un test d'identification.



## Entraînement

### Les quatre étapes de la synthèse organique

**14** Aide p. 166 La dernière étape de la synthèse de la vitamine A consiste à chauffer à reflux un mélange de deux réactifs. Le rendement de la transformation est de 90%.

Donnée.  $M_{\text{vitamine A}} = 286 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .



- Rappeler le rôle du chauffage dans cette étape de la synthèse.
- Expliquer pourquoi on chauffe «à reflux».
- Déterminer la masse de vitamine A, notée  $m_{\text{exp}}$ , obtenue si la quantité de matière théorique obtenue est  $n_{\text{th}} = 0,035 \text{ mol}$ .

#### En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**15** Une cétone peu soluble dans l'eau a été synthétisée à l'aide d'une solution aqueuse de permanganate. Il faut la séparer de l'eau avant purification.

- Donner le nom du dispositif à utiliser.
- Sachant que cette cétone est moins dense que l'eau, schématiser les deux phases dans le dispositif utilisé.

#### Critères d'évaluation

- Le dispositif a été dessiné correctement, ou bien il a été nommé.
- Le schéma est clair, lisible et légendé, les noms des deux phases sont indiqués.

**16** Un solide en phase aqueuse est synthétisé. Après l'étape de la transformation chimique, il faut réaliser l'étape de séparation.

- Donner le nom du dispositif à utiliser pour la séparation.
- Expliquer succinctement le principe de ce dispositif ; on pourra s'aider d'un schéma.

#### Critères d'évaluation

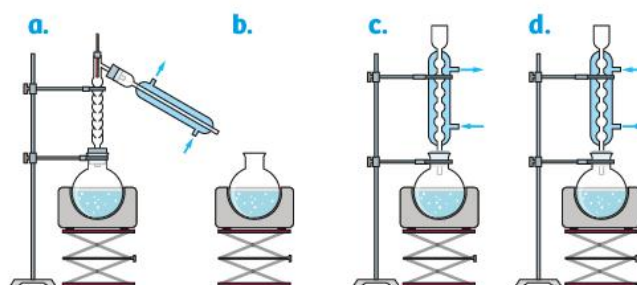
- Le dispositif a été dessiné correctement, ou bien il a été nommé.
- Le schéma est lisible et correctement annoté et légendé, et l'aspiration de l'air est représentée. S'il n'y a pas de schéma, la réponse est donnée dans un français correct.

### 17 Exercice inversé

Chaque phrase est une réponse. Proposer une ou des questions appropriées à la réponse donnée.

- Le ballon est surmonté d'un réfrigérant à eau.
- Ce dispositif permet de distiller le liquide le plus volatil.
- L'ampoule à décanter est utilisée dans ce dispositif.

**18** Indiquer parmi les montages suivants celui qui correspond au montage de chauffage à reflux.



**19** Rose doit réaliser une extraction liquide-liquide de manière à isoler le composé qu'elle vient de synthétiser en solution aqueuse.

Elle choisit l'éthanol comme solvant.

Données	Eau	Éther diéthylique	Éthanol
Formule	H <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> -O-CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -OH
Miscibilité dans l'eau		Très faible	Totale
Solubilité du composé dans le solvant (g · L <sup>-1</sup> )	2,4	23	43

- Argumenter sur le choix de Rose à l'aide des données.
- Décrire le protocole détaillé à mettre en œuvre pour réaliser cette extraction.

**20** Au laboratoire, il est demandé de réaliser une extraction liquide-liquide pour isoler les deux espèces du **doc. 1**.



Le benzaldéhyde est présent dans l'arôme cerise.

#### Doc. 1 Données chimiques des espèces à extraire

Espèce chimique	Solubilité dans l'eau	Solubilité dans l'alcool	Solubilité dans l'acétone
Acide benzoïque	Peu soluble	Très soluble	Soluble
Benzaldéhyde	Peu soluble	Soluble en toutes proportions	Très soluble

- Choisir le solvant d'extraction approprié pour chacune des deux espèces chimiques.

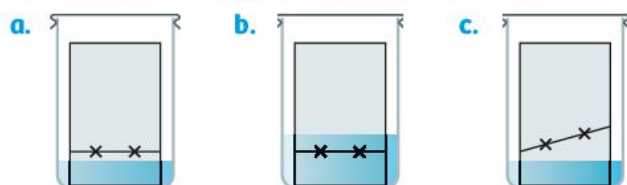
# Exercices

**21** Margot doit réaliser la synthèse de l'aspirine. Elle a retrouvé les différentes parties du protocole expérimental mais dans le désordre.

- A. Mesurer le point de fusion des cristaux obtenus.
- B. Les cristaux récupérés contiennent des impuretés. Les purifier par recristallisation. Filtrer de nouveau sur Büchner et sécher à l'étuve.
- C. Introduire dans un ballon 6,0g d'acide salicylique, 12 mL d'anhydride éthanoïque et quelques gouttes d'acide sulfurique. Chauffer à reflux pendant 30 minutes.
- D. Ajouter de l'eau froide dans le milieu réactionnel. Filtrer le mélange obtenu sur Büchner et récupérer les cristaux d'aspirine.

► Donner l'ordre correct des étapes de cette synthèse.

**22** Pour analyser un produit synthétisé, trois élèves ont réalisé une chromatographie sur couche mince.

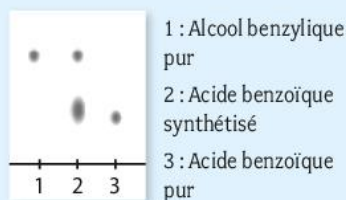


► Analyser les chromatogrammes et déterminer les erreurs commises sur chacun d'eux.

**23** Une CCM est réalisée pour vérifier la pureté de l'acide benzoïque synthétisé à partir d'alcool benzylique.

► Dire si le produit synthétisé est pur ou non.

## Doc 1 Chromatogramme

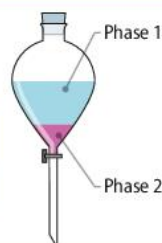


**24** Le limonène, que l'on trouve dans l'écorce d'orange, sert de matière première à la fabrication de carvone, utilisée comme arôme alimentaire. À l'issue de la synthèse, on obtient un mélange de deux phases : une phase aqueuse et une phase organique constituée principalement de carvone.

## Doc. 1 Après décantation

### Données

Espèce chimique	Carvone	Limonène	Eau
Densité	0,96	0,84	1,0



► Désigner la phase du schéma du doc. 1 où se trouve la carvone. Justifier.

**25** La dernière étape de la synthèse du camphre est l'oxydation en phase aqueuse du bornéol. L'excès d'oxydant est détruit et le camphre est séparé du mélange réactionnel par une extraction liquide-liquide.

Données	Bornéol	Camphre
Solubilité dans l'eau	Presque insoluble	Très peu soluble
Solubilité dans l'éthanol	Forte	Forte
Solubilité dans l'éther diéthylique	Soluble	Très soluble

► Choisir le solvant d'extraction le plus adéquat pour cette extraction.

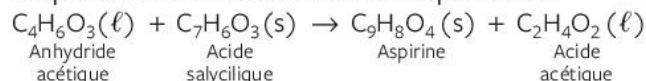
## Rendement de la synthèse

**26** Aide p. 166 Chloé et Antonin réalisent la synthèse d'un composé organique solide. Ils obtiennent, après purification, une masse  $m = 1,63$  g de ce composé. La masse théorique est  $m_{th} = 2,11$  g.

► Calculer le rendement de la réaction.

**27** Karim veut fabriquer de l'aspirine.

L'équation de la transformation chimique s'écrit :



Le réactif limitant est l'acide salicylique, et il en utilise une quantité  $n = 5 \times 10^{-2}$  mol.

Donnée.  $M(\text{Aspirine}) = 180,7 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

► Calculer la masse d'aspirine que Karim peut synthétiser si le rendement de la réaction est de 60 %.

## 28 Calcul d'incertitude

Une classe de première a réalisé la synthèse du paracétamol.

### Doc. 1 Masses du produit sec obtenu par les différents groupes d'élèves

Groupe	1	2	3	4	5	6
$m$ (g)	2,42	2,45	2,35	2,21	2,40	2,18

1. Établir la valeur moyenne  $\bar{m}$ .
2. Déterminer l'écart-type expérimental  $\sigma_{n-1}$ .

## Différenciation

### Aides aux exercices

Aide pour l'exercice **14**

**3.** Calculer la masse théorique  $m_{th}$  de vitamine A à l'aide de la formule  $m = n \times M$ . Transformer la formule du rendement pour calculer  $m_{exp}$ .

Aide pour l'exercice **26**

Le rendement est une grandeur sans unité, qui doit être inférieure à 1, ou qui peut s'exprimer en pourcentage.





## Synthèse

### 29 Purifier l'aspirine

→ S'approprier, communiquer

Léna souhaite purifier l'aspirine qu'elle vient de synthétiser. Elle a trouvé le protocole suivant.

#### Doc. 1 Protocole de purification de l'aspirine

1. Mettre l'aspirine brute obtenue dans un bécher de 50 mL et ajouter 8 mL d'éthanol anhydre, puis chauffer jusqu'à dissolution de l'aspirine.
2. Ajouter 20 mL d'eau chaude et laisser refroidir environ 15 minutes sans agiter. L'aspirine pure cristallise lentement.
3. Finir de refroidir dans un bain de glace.
4. Réaliser une filtration sous vide. Rincer le bécher et le solide à l'eau froide.
5. Sécher à l'étuve.

#### Données

- L'anhydride éthanoïque et l'acide éthanoïque sont solubles dans l'eau et l'éthanol.
- L'acide salicylique est peu soluble dans l'eau à froid, mais soluble à chaud, et très soluble dans l'alcool et l'éther.
- L'aspirine est très peu soluble dans l'eau à froid, mais très soluble dans l'éthanol.

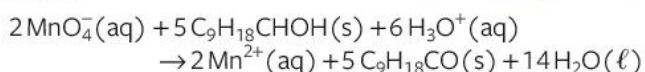
1. Rappeler le nom de la technique de purification décrite dans le doc. 1.
2. Expliquer à l'aide des données pourquoi l'éthanol est choisi pour réaliser l'étape 1 du doc. 1.
3. Expliquer pourquoi il faut refroidir dans les étapes 2 et 3 du doc. 1.
4. Argumenter pour justifier le choix d'une filtration sous vide plutôt qu'une filtration simple.

### 30 L'arôme de menthe

→ Analyser, réaliser

Maxime réalise la synthèse de la menthone (arôme de menthe) à partir du menthol.

L'équation de la transformation s'écrit :



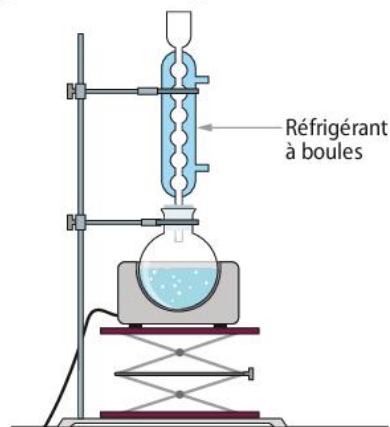
Maxime pèse une masse  $m_1 = 15,6 \text{ g}$  de menthol et mesure un volume  $V = 100 \text{ mL}$  de solution oxydante de concentration  $C = 0,80 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , acidifiée par quelques millilitres d'acide sulfurique concentré.

Il réalise le dispositif du chauffage à reflux (doc. 1).

Il obtient une masse  $m' = 11,2 \text{ g}$  de menthone.



#### Doc. 1 Dispositif du chauffage à reflux



#### Données

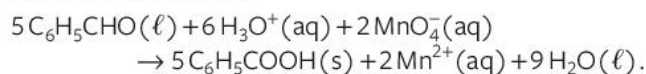
	Menthol	Menthone
Formule brute	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{CHOH}$	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{CO}$
Couleur	Blanche	Incolore
Masse molaire ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	156	154
$\theta_{\text{ébullition}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	215	209
$\theta_{\text{fusion}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	43	-6,5

1. Rappeler l'utilité du réfrigérant à boules dans le montage de chauffage à reflux. Justifier le terme «reflux».
2. Calculer les quantités de matière des deux réactifs.
3. Donner le réactif limitant et calculer la masse théorique maximale  $m_2$  de menthone pouvant être obtenue.
4. Exprimer puis calculer le rendement de la synthèse.

### 31 Aide p. 168 Rendement

→ Analyser, réaliser

On réalise la synthèse de l'acide benzoïque par oxydation du benzaldéhyde par le permanganate. La réaction de la transformation s'écrit :



On mélange un volume  $V = 4,0 \text{ mL}$  de benzaldéhyde avec une masse  $m = 3,16 \text{ g}$  de permanganate de potassium  $\text{KMnO}_4$  en présence d'un excès d'acide sulfurique. Après extraction et purification, on obtient  $3,9 \text{ g}$  d'acide benzoïque solide.

#### Données

Espèce chimique	Formule brute	Masse molaire ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	Masse volumique ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )
Acide benzoïque	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	122	1,3
Benzaldéhyde	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$	106	1,05
Acide sulfurique	$\text{H}_2\text{SO}_4$	98	1,8
Permanganate de potassium	$\text{KMnO}_4$	158	2,7

- Calculer le rendement de cette synthèse.

## 32 Choisir le bon solvant

→ Analyser, communiquer

Orane a réalisé la synthèse de l'aspirine à partir d'acide salicylique et d'anhydride éthanoïque. Elle a obtenu des cristaux blancs qu'elle doit maintenant purifier par recristallisation.



La recristallisation est basée sur la différence de solubilité à chaud et à froid entre le produit à synthétiser et les autres espèces. L'aspirine doit donc être dissoute dans un solvant chaud bien choisi. Après refroidissement lent, l'aspirine cristallise lentement et les impuretés restent dissoutes dans le solvant.

Données.

Espèce chimique	$\theta_{\text{fusion}}$	$\theta_{\text{ébullition}}$	Solubilité
Acide salicylique	159 °C	211 °C	Peu soluble dans l'eau à froid, soluble à chaud, très soluble dans l'alcool et l'éther
Anhydride éthanoïque	-73 °C	136 °C	Soluble dans l'eau et l'éthanol
Aspirine	135 °C	Se décompose à 140 °C	Soluble dans l'eau et l'éthanol

► En utilisant les données du tableau, déduire le solvant que doit utiliser Orane pour purifier l'aspirine.



En anglais

## 33 Reflux apparatus

Reflux refers to an organic chemistry technique used to heat a solution with an attached condenser to prevent organic compounds from escaping.

To tackle this problem, a condenser is attached to the boiling flask. The condenser is an open ended tube with an outer layer that allows water to flow around the tube and cool its walls. As a result, the vapors cool down, condense on the cool surface of the condenser and flow back into the flask.

Heating under reflux maintains the volume of the reaction mixture, prevents losses of products or changes in reagent concentrations.



Vocabulaire :

- Outer layer : couche externe

1. Draw and annotate the reflux apparatus.
2. Give two reasons to justify the use of a reflux apparatus in organic chemistry.

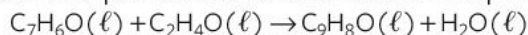
## 34 Synthèse de l'arôme de cannelle

→ Analyser, communiquer, réaliser

L'espèce chimique responsable de l'odeur de cannelle est le cinnamaldéhyde.

Les étapes de sa synthèse sont données dans le doc. 1.

On donne l'équation de la transformation chimique.



D'après l'équation de la réaction et les quantités de matière des réactifs, on aurait pu recueillir  $n'_3 = 4,9 \times 10^{-2}$  mol de cinnamaldéhyde.

Le volume de cinnamaldéhyde recueilli est  $V_3 = 4,5$  mL.

### Doc. 1 Synthèse du cinnamaldéhyde

1. On introduit 0,4 g d'hydroxyde de sodium et 2,0 mL d'éthanol dans un erlemeyer. On agite puis on laisse refroidir dans la glace. Sous la hotte, on ajoute 5,0 mL de benzaldéhyde et 5,0 mL d'éthanal puis on agite pendant 10 minutes à l'aide d'un agitateur magnétique.
2. Le contenu de l'erlemeyer est versé dans une ampoule à décanter. On observe deux phases et on recueille la phase organique dans laquelle se trouve le cinnamaldéhyde.
3. Le cinnamaldéhyde synthétisé est utilisé pour effectuer une chromatographie sur couche mince.

Données

Espèces (Formule brute)	Masse molaire ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	Masse volumique ( $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	Solubilité ou miscibilité dans l'eau
Hydroxyde de sodium (NaOH)	40	2,13	Très soluble
Éthanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$ )	46	0,8	Miscible
Benzaldéhyde ( $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$ )	106	1,04	Non miscible
Éthanal ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ )	44	0,79	Miscible
Cinnamaldéhyde ( $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}$ )	132	1,05	Non miscible

1. Calculer la quantité de matière  $n_1$  de benzaldéhyde et  $n_2$  d'éthanal introduits.
2. Calculer la quantité de matière  $n_3$  de cinnamaldéhyde synthétisé.
3. Calculer le rendement  $r$  de cette synthèse. Proposer une explication au fait que  $r$  soit inférieur à 100%.

### Différenciation

Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 31

Calculer les quantités de matière de permanganate de potassium et de benzaldéhyde. Déterminer le réactif limitant et calculer la quantité de matière d'acide benzoïque formé.



## Problèmes

### 35 Conditions d'une synthèse

L'acide benzoïque, est utilisé comme conservateur alimentaire. Il peut être synthétisé de deux façons.

#### Doc 1 Principe de la synthèse industrielle

L'acide benzoïque est obtenu par oxydation du toluène, à chaud et sous pression, par le dioxygène et en présence d'oxyde de vanadium qui accélère la réaction. Le toluène excédentaire s'évapore, se condense puis est recyclé dans le réacteur.

#### Doc 2 Principe de la synthèse réalisée au lycée

1. Chauffage d'un mélange d'alcool benzylique et de soude concentrée.
2. Ajout progressif d'une solution de permanganate de potassium et chauffage pendant 20 min.
3. Neutralisation de l'excès de permanganate et isolement de l'ion benzoate par filtration.
4. Passage en milieu acide concentré pour cristalliser l'acide benzoïque et purification de l'acide benzoïque.

#### Doc 3 Toxicologie des produits utilisés → Fiche 1 p. 350

Permanganate de potassium H272, H302.

Alcool benzylique H302 + H332, H319.

Dioxyde de manganèse H302 + H332.

Hydroxyde de sodium H290, H314.

Acide chlorhydrique H290, H314, H335.

Acide benzoïque H315, H318, H372.

Toluène H225, H304, H373.

Oxyde de vanadium

H302 + H332, H335, H341, H372, H411.

#### Doc 4 Quelques principes de la chimie verte

- Prévention
- Méthodes de synthèse moins dangereuses
- Solvants et auxiliaires moins polluants
- Conception de produits en vue de leur dégradation
- Une chimie plus fiable

► Argumenter pour désigner la synthèse qui se conforme le plus aux principes de la chimie verte.

### Différenciation

Apprendre à résoudre 35

1. Lister les produits des deux synthèses.
2. Comparer les risques liés à l'utilisation des produits lors des deux synthèses.

### 36 Synthèse du benzile

Le benzile est un intermédiaire dans la synthèse de la phénytoïne, principe actif utilisé dans le traitement de l'épilepsie.

#### Doc 1 Synthèse du benzile à partir de la benzoïne

##### Protocole 1

- Dans un ballon de 100 mL avec réfrigérant, introduire 2,00 g de benzoïne, 3,80 g d'acétate de cuivre, 15 mL d'acide acétique glacial et 5 mL d'eau. Porter le mélange à reflux pendant 40 min. Filtrer la solution chaude contenue dans le ballon sur Büchner.
- Transvaser le filtrat dans un bécher de 250 mL, rincer la fiole à l'eau glacée et refroidir le bécher de façon à ce que la cristallisation soit complète.
- Filtrer sur Büchner, laver le gâteau avec de l'eau glacée en contrôlant la qualité des lavages.
- Essorer et sécher le produit brut sur papier filtre. Sécher le produit à l'étuve à 80 °C.

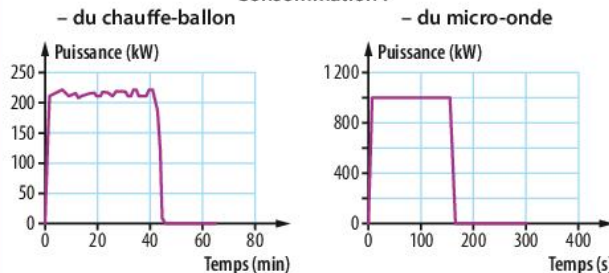
##### Protocole 2

- Dans un mortier, introduire 1 g de benzoïne, 500 mg de MnO<sub>2</sub>, 4 g de bentonite (argile). Bien mélanger au pilon pour obtenir une poudre homogène finement divisée.
- Transvaser la poudre dans un erlenmeyer de 100 mL, recouvrir d'un entonnoir puis chauffer sous micro ondes pendant 2,5 min. Laisser refroidir.
- Ajouter 15 ml d'éthanol chaud à 95 % (le chauffage de l'éthanol peut être fait au four micro-ondes, 25 à 30 s).
- Filtrer à chaud sur Büchner.
- Faire évaporer l'éthanol sur plaque chauffante. On obtient des cristaux jaune pâle.

#### Doc 2 Consommations énergétiques

Rappel. L'énergie électrique consommée s'écrit  $E = P \times \Delta t$ .

Consommation :



#### Doc 3 Données de sécurité → Fiche 1 p. 350

Acétate de cuivre H302, H410, H314.

Acide acétique glacial H314.

Oxyde de manganèse H302 + H332.

► Choisir le protocole qui minimise la consommation énergétique et la dangerosité des produits utilisés.

## Objectif BAC

### 37 Synthèse du propanal



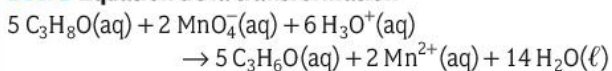
Le propanal est utilisé en parfumerie.

Vous faites un stage dans un laboratoire qui a pour client un parfumeur. Vous devez réaliser la synthèse du propanal à partir de propan-1-ol et de permanganate de potassium. Votre responsable vous procure quelques informations et documents nécessaires (docs 1 à 5).

#### Doc. 1 Extrait d'un manuel de chimie organique

L'oxydation du propan-1-ol donne un aldéhyde en présence d'un excès de propan-1-ol, ou un acide carboxylique en présence d'un excès de permanganate.

#### Doc. 2 Équation de la transformation



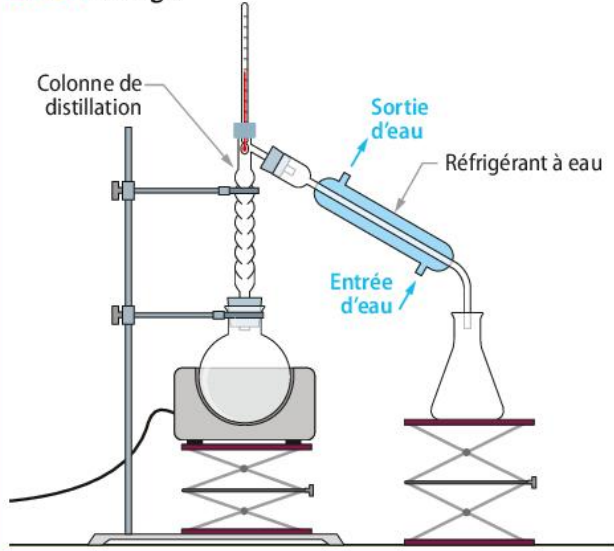
#### Doc. 3 Protocole

- Dans un montage de distillation avec réfrigérant, on place 50 mL d'une solution acidifiée de permanganate de potassium de concentration  $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et 5,0 mL de propan-1-ol.
- On chauffe doucement et les vapeurs montent dans la colonne, puis se condensent dans l'erlenmeyer situé en dessous du condenseur.
- On considèrera que l'acide est en excès.

#### Doc. 4 Caractéristiques de quelques composés

	Formule semi-développée	$\theta_{\text{fus}}$ (°C)	$\theta_{\text{eb}}$ (°C)	Densité	Masse molaire ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )
Propan-1-ol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$	-127	97,2	0,804	60
Propanal	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CHO}$	-81	48,8	0,807	58
Propanone	$\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$	-95	56,5	0,792	58
Acide propanoïque	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$	-22	141,1	0,992	72

#### Doc. 5 Montage

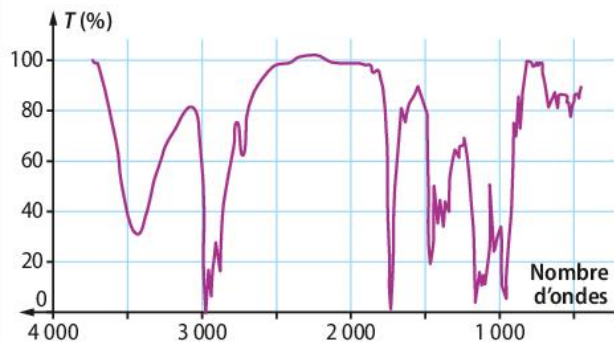


#### Doc. 6 Lecture du thermomètre durant la synthèse.

Lorsque les premières gouttes de distillat se condensent, on lit la température affichée par le thermomètre.



#### Doc. 7 Spectre IR du composé obtenu



1. Calculer la quantité de matière de permanganate de potassium introduit dans le ballon.
2. À l'aide des docs 3 et 4, montrer que la quantité de matière de propan-1-ol introduite est égale à 0,067 mol.
3. À l'aide des docs 1 et 3, déduire le produit de la synthèse.
4. Montrer que les informations données dans les docs 4, 6 et 7 confirment la réponse à la question précédente.



VIDÉO présentation du chapitre

# Combustions et enjeux de société

*Comment évaluer l'énergie libérée par une combustion ?*

## Objectifs

Modéliser une combustion par une réaction d'oxydoréduction

➔ Activité 1 p. 172

Estimer le pouvoir calorifique de l'éthanol

➔ Activité 2 p. 173

Interpréter une combustion au niveau microscopique

➔ Activité 3 p. 174

Associer les combustions aux enjeux de société

➔ Activité 4 p. 175

Lors du décollage, une fusée utilise l'énergie libérée par la combustion du dihydrogène.


## Concevoir un protocole



# 1 Modéliser une combustion par une réaction d'oxydoréduction

Au cours d'une combustion, un échange d'électrons a lieu entre le combustible et le comburant. Les atomes du combustible se combinent avec ceux du comburant et conduisent à la formation de produits.

→ **Comment faire le lien entre combustion et oxydoréduction ?**

### Doc. 1 Les combustions au quotidien

Le briquet	La gazinière alimentée par une bouteille de gaz	La bougie
		
Le combustible usuel est du butane ( $C_4H_{10}$ ).		Le combustible principal est la stéarine ( $C_{57}H_{110}O_6$ ).

Le barbecue à gaz	La flamme du soldat inconnu	Le brûleur d'un réchaud à fondue
		
Le combustible usuel est le propane ( $C_3H_8$ ).	Le combustible est le gaz naturel, mélange d'hydrocarbures composé à 95 % de méthane ( $CH_4$ ).	Le combustible est de l'éthanol ( $C_2H_6O$ ).

### Doc. 2 Modélisation de la combustion

Au cours d'une combustion, le combustible est oxydé par le comburant. Le combustible est un réducteur et le comburant est un oxydant. Cela signifie également que les atomes du combustible s'associent au dioxygène pour former les produits. La combustion peut donc être modélisée par une réaction d'oxydoréduction en phase gazeuse, bien que le transfert d'électrons ne soit pas modélisé dans des demi-équations comme c'est le cas dans une solution aqueuse.

### Doc. 3 Couples oxydant/réducteur

Pour la combustion complète du butane, les couples mis en jeu sont :



### Matériel et produits disponibles

Briquet • Éprouvette graduée de 10 mL • Tube à essais avec bouchon • Support de tubes à essai • Pince en bois • Coton-tige • Sulfate de cuivre anhydre • Eau de chaux.

### Démarche expérimentale

→ Analyser, communiquer

→ Réaliser

→ Analyser

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Communiquer

**1** Rappeler les noms des deux espèces chimiques produites lors d'une combustion.

**2** Proposer un protocole expérimental permettant de mettre en évidence les produits formés lors de la combustion du butane contenu dans le briquet.

→ Fiche 7 p. 356

**3** Faire valider le protocole et le mettre en œuvre. Noter les observations.

**4** Identifier le combustible et le comburant de la combustion étudiée.

**5** Écrire l'équation de la réaction modélisant la combustion étudiée dans l'expérience puis faire de même pour les autres combustibles du doc. 1.

**6** À l'aide du modèle de la réaction d'oxydoréduction, interpréter la combustion de l'éthanol dans l'air en rappelant les rôles joués par chaque substance.

 DIFFÉRENCIATION : → Bonus

**Mettre en œuvre un protocole**

**2 Estimer le pouvoir calorifique de l'éthanol**

Pour une utilisation en chauffage d'appoint, il existe dans le commerce des poêles au bioéthanol qui utilisent l'éthanol issu de betteraves ou de céréales comme combustible.

**L'éthanol est-il un combustible efficace pour se chauffer ?**

**Protocole**

1. Peser une lampe à éthanol et une canette en aluminium vide.
2. Mesurer la température de la salle à l'aide d'un thermomètre.
3. Dans la canette, verser 200 mL d'eau froide à une température d'environ 10 °C inférieure à celle de la salle.
4. Peser la canette avec l'eau.
5. Fixer la canette au-dessus de la lampe à éthanol.
6. Mesurer la température initiale  $\theta_i$  de l'eau.
7. Allumer la lampe à éthanol.
8. Chauffer l'eau jusqu'à une température finale d'environ 10 °C au-dessus de la température de la salle.
9. Mesurer la température finale  $\theta_f$  de l'eau.
10. Peser la lampe à éthanol après combustion.

**Doc. 1 Montage expérimental**



**Doc. 2 Calcul de l'énergie thermique reçue**

L'énergie thermique  $Q$  reçue par un système de masse  $m$  passant de la température  $\theta_i$  à la température  $\theta_f$  sans changer d'état est :

$$Q = m \times c \times (\theta_f - \theta_i)$$

$Q$  : énergie thermique en joules (J).  
 $m$  : masse du système en kilogrammes (kg).  
 $c$  : capacité thermique massique du matériau constituant le système en joules par kilogramme et par degré Celsius ( $J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ ).

**Données**

- $c_{eau} = 4\,180 J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$
- $c_{Al} = 897 J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$
- $\theta_i$  et  $\theta_f$  : températures initiale et finale en °C

**Doc. 3 Pouvoir calorifique massique de quelques combustibles**

Le pouvoir calorifique massique d'un combustible est l'énergie libérée par la combustion complète d'un kilogramme de ce combustible.

Combustible	Pouvoir calorifique massique (MJ · kg <sup>-1</sup> )
Méthane (gaz de ville)	50,0
Fioul domestique	38,0
Bois	15,0

**Mise en œuvre**

→ Réaliser

→ Analyser

**Conclusion**

**De l'activité au cours**

→ Communiquer

1. Mettre en œuvre le protocole et noter les résultats expérimentaux. Expliquer l'intérêt d'avoir des températures  $\theta_f$  et  $\theta_i$  à peu près symétriques par rapport à la température de la salle.
2. Calculer l'énergie thermique reçue par l'eau et la canette en aluminium.
3. Identifier l'origine de cette énergie, puis calculer le pouvoir calorifique massique de l'éthanol en  $MJ \cdot kg^{-1}$ .
4. Comparer la valeur expérimentale moyenne de la classe du pouvoir calorifique massique de l'éthanol à la valeur théorique égale à  $28,8 MJ \cdot kg^{-1}$ . Proposer des pistes pour améliorer la méthode de mesure. ➔ **Fiche 13 p. 362**
5. Justifier pourquoi l'éthanol n'est utilisé comme combustible qu'en chauffage d'appoint.
6. L'énergie molaire de combustion représente l'énergie libérée par une mole de combustible. À partir du pouvoir calorifique massique théorique de l'éthanol, calculer son énergie molaire de combustion  $E_{combustion}$  en  $J \cdot mol^{-1}$ .

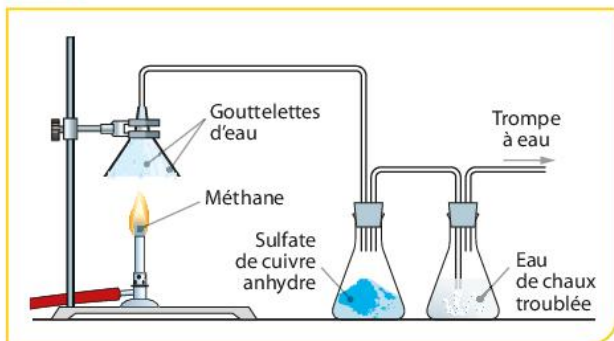
**DIFFÉRENCIATION** : ➔ Bonus

### 3 Interpréter une combustion au niveau microscopique

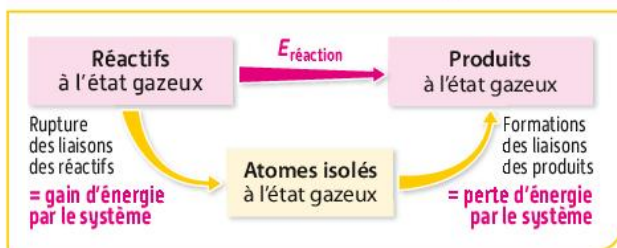
Lors d'une combustion, comme celle du méthane, des molécules disparaissent tandis que d'autres se forment en libérant de l'énergie thermique.

Comment évaluer l'énergie libérée par la combustion d'une mole de méthane ?

#### Doc. 1 Combustion du méthane



#### Doc. 2 Processus hypothétique d'une transformation chimique



#### Doc. 3 Énergie moyenne des liaisons covalentes

L'énergie de dissociation d'une liaison entre 2 atomes A et B notée  $D_{A-B}$  correspond à l'énergie nécessaire pour rompre cette liaison à l'état gazeux selon l'équation :  $A-B(g) \rightarrow A(g) + B(g)$

Liaison A-B	$D_{A-B}$ (kJ · mol <sup>-1</sup> )
C-H	413
C-O	358
O-H	463
C-C	348
O=O	498
C=O	798

#### Doc. 4 Conventions

L'énergie reçue par le système est comptée positivement.  
L'énergie libérée par le système est comptée négativement.

#### Appropriation et analyse

→ S'approprier, réaliser

- 1 Identifier les réactifs et les produits de la combustion du méthane puis écrire l'équation modélisant sa combustion.
- 2 À partir du doc. 2, modéliser la combustion du méthane en utilisant les formules développées des réactifs et des produits.
- 3 Inventorier le nombre et le type de liaisons covalentes rompues et formées au cours de la combustion.
- 4 Calculer l'énergie molaire reçue par le système chimique pour rompre toutes les liaisons des réactifs et l'énergie molaire libérée par le système pour former toutes les liaisons des produits lors de la combustion d'une mole de méthane.

#### Conclusion

- 5 En utilisant le schéma du doc. 2, en déduire l'énergie molaire de combustion du méthane. Commenter le signe de l'énergie molaire obtenue et la comparer à la valeur théorique  $E_{\text{combustion}} = -890 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  indiquée dans les tables.

#### De l'activité au cours

→ Communiquer

- 6 Résumer la méthode permettant d'évaluer l'énergie molaire de combustion d'un combustible.

**DIFFÉRENCIATION** : ➔ Exercice supplémentaire

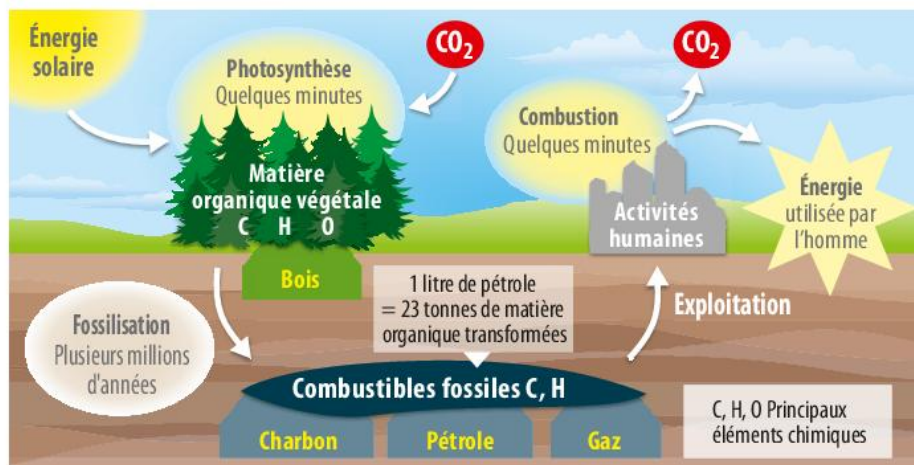


## 4 Associer les combustions aux enjeux de société

Les combustibles fossiles fournissent un peu plus de 80 % de l'énergie à l'échelle mondiale. Les défis climatiques et énergétiques actuels poussent les scientifiques à proposer de nouvelles alternatives.

Quels sont les défis lancés aux combustibles de nouvelle génération ?

### Doc. 1 Les combustibles fossiles

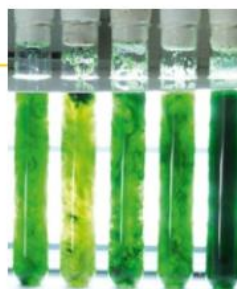


### Doc. 2 Les risques associés aux combustibles fossiles

Outre l'effet de serre, un exemple connu de risque associé à l'utilisation des combustibles fossiles est l'acidification des eaux des lacs d'Europe du Nord par les oxydes de soufre contenus dans les fumées des centrales à charbon et à fuel lourd. Celle-ci entraîne une destruction de la faune et de la flore. Une chaudière mal entretenue peut aussi conduire à la formation de monoxyde de carbone par combustion incomplète et provoquer des intoxications parfois mortelles.

### Doc. 3 Les microalgues : carburant du futur ?

Certaines espèces de microalgues produisent des réserves de lipides (source de biodiesel) allant jusqu'à 70 % de leur masse en acide gras. Ce sont donc des candidates intéressantes pour la production de biocarburants. Autre avantage : leur culture consomme peu d'énergie et ne nécessite aucune terre fertile ni apport en eau.



### Appropriation et analyse

→ Analyser

→ S'approprier, réaliser

→ Analyser, communiquer

- 1 Expliquer pourquoi les combustibles fossiles sont devenus des substances rares à l'échelle planétaire.
- 2 Citer les réactifs et produits mis en jeu dans la combustion des ressources fossiles et indiquer les risques qui sont associés à leur combustion. Présenter les réponses sous forme de tableau ou de carte mentale.
- 3 Expliquer pourquoi les microalgues intéressent particulièrement les chercheurs dans le domaine des biocarburants.

### Conclusion

- 4 Donner deux arguments expliquant le développement de la recherche sur les biocarburants. Un complément de réponse peut être apporté à l'aide du ➔ Bonus (question 4)

### De l'activité au cours

→ Communiquer

- 5 Expliquer la notion de « double défi » auquel doit faire face aujourd'hui la communauté internationale. Donner des exemples de solutions étudiées.

📁 DIFFÉRENCIATION : ➔ Bonus (doc. 3) ➔ Bonus



**Doc. 1.** Si l'une des trois composantes du « triangle du feu » – combustible, comburant et énergie d'activation – n'est pas présente ou disparaît pendant la combustion, le feu n'existe pas ou s'éteint.



**Doc. 2.** L'énergie libérée par la combustion du méthane (gaz naturel) est utilisée dans les gazinières.

• Sous le nom générique de « diester » sont regroupés les esters méthyliques d'acide gras que l'on incorpore au gazole.

Carburant	Teneur en diester
Gazole B7	Jusqu'à 7 %
Gazole B10	Jusqu'à 10 %

• Le bioéthanol peut être incorporé pur ou sous forme d'ETBE (éthyl tertio butyl éther) dans l'essence sans plomb :

Carburant	Teneur en biocarburant
SP95 ou SP98-E5	Jusqu'à 5 % de bioéthanol ou 15 % d'ETBE
SP95-E10	Jusqu'à 10 % de bioéthanol ou 22 % d'ETBE
E85	Entre 65 % et 85 %

**Doc. 3.** Les biocarburants.

## A Modélisation d'une combustion

### 1 Définition

► Un **combustible** est une substance chimique qui a la **propriété de brûler**.

► Un **comburant** est une substance chimique qui, sous certaines conditions et associée à un combustible, permet, grâce à un apport initial d'énergie, **d'initier une réaction de combustion**.

Le principal comburant est le **dioxygène présent dans l'air**.

► L'amorce d'une combustion nécessite une **énergie d'activation** apportée par une flamme, une étincelle, une augmentation de température (**doc. 1**).

► Une combustion est une **transformation chimique exothermique** (qui libère de l'énergie thermique) entre un combustible et un comburant.

### 2 Les combustibles

► Toutes les **molécules organiques** qui contiennent principalement des atomes de **carbone (C)** et d'**hydrogène (H)** sont des combustibles. Deux familles de molécules organiques sont très utilisées en tant que combustible :

les **alcane** ( $C_nH_{2n+2}$ )  
et les **alcools** ( $C_nH_{2n+2}O$ ).

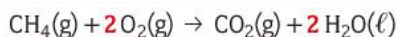
► Les **combustibles fossiles** (pétrole, gaz naturel et charbon) fournissent plus de 80 % de l'énergie utilisée dans le monde (**doc. 2**). Ce sont des résidus de matière organique ayant subi des transformations chimiques durant plusieurs millions d'années. Ils ne sont donc **pas renouvelables** à l'échelle de temps humaine.

► Les **biocarburants et biocombustibles** couvrent l'ensemble des carburants et combustibles produits à partir de la **biomasse** (matière première d'origine végétale, animale ou issue de déchets) et destinés à une **valorisation énergétique dans les transports et le chauffage**. Les biocarburants (ETBE, bioéthanol et diester) sont généralement incorporés dans les carburants d'origine fossile (**doc. 3**).

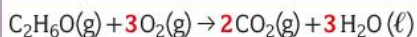
### 3 Équation d'une réaction de combustion

La combustion complète d'un **alcane** ( $C_nH_{2n+2}$ ) ou d'un **alcool** ( $C_nH_{2n+2}O$ ) en présence de dioxygène ( $O_2$ ) produit uniquement de l'**eau** ( $H_2O$ ) et du **dioxyde de carbone** ( $CO_2$ ).

Alcane / alcool + dioxygène → eau + dioxyde de carbone



**Doc. 4.** Modélisation de la combustion complète du méthane.



**Doc. 5.** Modélisation de la combustion complète de l'éthanol.

- Combustion du méthane  $\text{CH}_4$  avec formation de monoxyde de carbone :  

$$2\text{CH}_4(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\ell)$$
- Avec formation de carbone :  

$$\text{CH}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\ell)$$

**Doc. 6.** Équations de combustion incomplète du méthane.

► Au cours d'une combustion, le **combustible** (alcane ou alcool) se lie avec le dioxygène donc il joue le rôle de **réducteur** et le **dioxygène** joue le rôle d'**oxydant**.

Une combustion peut donc être **modélisée par une réaction d'oxydo-réduction** en phase gazeuse (**docs 4 et 5**).

► Lors d'une combustion si le **dioxygène n'est pas en quantité suffisante**, la combustion devient **incomplète** et produit du **carbone** (C) ou du **monoxyde de carbone** (CO) et de l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Il est nécessaire alors d'écrire une équation de combustion pour chaque espèce chimique carbonée formée. (**doc. 6**).

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore, inodore et toxique. Le carbone est une fine poudre noire qui, en brûlant, colore la flamme en jaune.

→ **Activité 1**

## B Aspect énergétique d'une combustion

### 1 Énergie libérée lors d'une combustion

Lors d'une combustion, l'**énergie chimique** stockée dans un combustible est convertie en **énergie thermique**.

► **Une combustion est toujours exothermique**, le système chimique libère de l'énergie.

Par convention, l'**énergie reçue** par une combustion est comptée positivement (**valeur positive**) et l'**énergie libérée** par une combustion est comptée négativement (**valeur négative**).

$E > 0$  car le système reçoit de l'énergie.



$E < 0$  car le système libère de l'énergie.

Convention des échanges énergétiques.

► L'**énergie molaire de combustion**  $E_{\text{combustion}}$  (**doc. 7**) est l'énergie libérée par la combustion complète d'une mole de combustible.

► L'**énergie libérée**  $E$  par la combustion complète de  $n$  moles de combustible dans le cas où le **dioxygène est en excès** est :

$$E = n \times E_{\text{combustion}}$$

$E$  : énergie libérée en joules (J)

$n$  : quantité de matière de combustible en moles (mol)

$E_{\text{combustion}}$  : énergie molaire de combustion en joules par mole ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

Combustible	Énergie molaire de combustion ( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )
Méthane	-890
Butane	-2 877
Éthanol	-1 368

**Doc. 7.** Énergie molaire de combustion de quelques combustibles

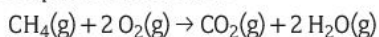
Combustible	$P_c$ (MJ · kg <sup>-1</sup> )
Essence sans plomb	43
Éthanol	29
Gaz naturel	55
Bois	15
Charbon	15-27

Doc. 8. Pouvoir calorifique massique de quelques combustibles usuels.

Liaison A-B	$D_{A-B}$ (kJ · mol <sup>-1</sup> )
C-H	413
C-O	358
O-H	463
C-C	348
C=O	798
O=O	498

Doc. 9. Énergies de liaison.

Soit l'équation de la combustion complète du méthane :



Au cours de la combustion :

- 4 liaisons C-H et 2 liaisons O=O sont rompues.
- 2 liaisons C=O et 4 liaisons O-H sont formées.

$$\begin{aligned} E_{\text{combustion}} &= (4 \times D_{\text{C-H}} + 2 \times D_{\text{O=O}}) \\ &\quad - (2 \times D_{\text{C=O}} + 4 \times D_{\text{O-H}}) \\ &= (4 \times 413 + 2 \times 498) \\ &\quad - (2 \times 798 + 4 \times 463) \\ &= -800 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}. \end{aligned}$$

Doc. 10. Évaluation de l'énergie molaire de la combustion complète du méthane.

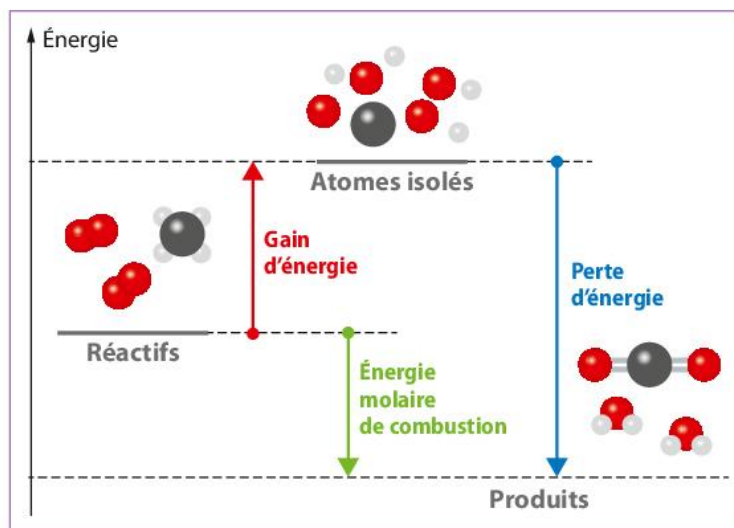
Le pouvoir calorifique massique  $P_c$  d'un combustible représente l'énergie libérée par la combustion complète d'un kilogramme de ce combustible. Il s'exprime en joules par kilogramme ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Il permet de comparer le pouvoir énergétique des combustibles (doc. 8).

→ Activité 2

## 2 Interprétation microscopique d'une combustion

Au cours d'une combustion, des liaisons covalentes sont rompues et d'autres sont formées, libérant ainsi de l'énergie.

Pour évaluer l'énergie molaire de combustion, on envisage un processus hypothétique au cours duquel toutes les liaisons des réactifs sont rompues pour donner des atomes isolés, à partir desquels se forment les liaisons des produits (doc. 9).



Modélisation hypothétique de la combustion du méthane

La rupture d'une liaison covalente nécessite un apport d'énergie au système chimique alors que la formation d'une liaison covalente libère de l'énergie.

Le bilan des énergies de liaisons rompues et formées permet d'évaluer l'énergie molaire de combustion (doc. 10) :

$$E_{\text{combustion}} \approx \sum D_{\text{A-B rompues}} - \sum D_{\text{A-B formées}}$$

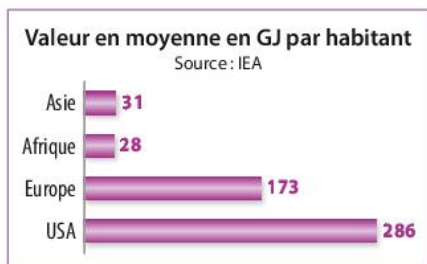
$E_{\text{combustion}}$  : énergie molaire de combustion en joules par mole ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

$D_{\text{A-B rompues}}$  : énergie des liaisons rompues en joules par mole ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

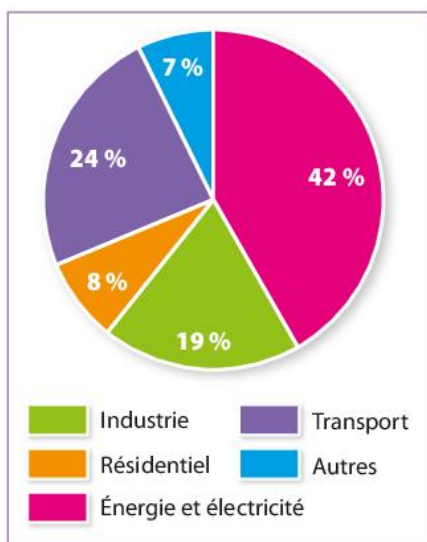
$D_{\text{A-B formées}}$  : énergie des liaisons formées en joules par mole ( $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

Le signe sigma, de symbole  $\Sigma$  : somme de tous les termes

→ Activité 3



**Doc. 11.** Consommation moyenne d'énergie primaire par habitant en 2015.



**Doc. 12.** Part des émissions de CO<sub>2</sub> par secteur d'activité dans le monde.

## C Combustion et enjeux de société

La question énergétique est au cœur des préoccupations internationales.

L'économie mondiale se trouve face à un double défi : **répondre aux besoins énergétiques croissants** afin de contribuer au développement des pays les plus pauvres (**doc. 11**) tout en **réduisant l'impact environnemental** de l'utilisation de ces énergies.

► Les combustions sont utilisées dans des domaines très variés tels que : **transport** (moteur à explosion) ; **domestique** (chauffage, cuisson des aliments, production d'eau chaude) ; **énergétique** (centrale thermique) ; **métallurgique** (pyrométallurgie, forgeage, fonderie), **astronautique** (propulsion des fusées).

► **Dans le domaine domestique**, les combustions présentent différents risques tels que : **incendie**, **explosion**, **asphyxie** par consommation du dioxygène, **intoxication** par production de monoxyde de carbone lors d'une combustion incomplète.

► L'utilisation de combustibles fossiles présente également **des risques pour l'être humain et son environnement** : réchauffement climatique dû aux gaz à effet de serre tel que le dioxyde de carbone, pollution atmosphérique, marées noires, explosions minières.

► Pour **réduire l'émission de gaz à effet de serre** (**doc. 12**) et **l'épuisement progressif des réserves de combustibles fossiles**, il est nécessaire d'agir sur plusieurs fronts :

– **Maîtriser la demande énergétique par un comportement plus responsable** des utilisateurs (consommer local, privilégier les transports en communs, réduire la consommation domestique) et la mise en place **de politiques d'incitation aux économies d'énergie** (développement des transports en commun, mesures réglementaires et fiscales pour améliorer l'isolation des bâtiments).

– **Améliorer l'efficacité énergétique** grâce à des systèmes plus performants de production et d'utilisation de l'énergie pour **diminuer la consommation d'énergies fossiles** (amélioration de l'efficacité des moteurs automobiles, des chaudières domestiques).

– **Émettre moins de CO<sub>2</sub>** par la **substitution progressive des énergies fossiles par des énergies renouvelables** (géothermie, énergie solaire, énergie éolienne) et **en augmentant l'utilisation de bioéthanol et du dihydrogène** dans le secteur des transports.

### → Activité 4

## Définir une combustion



### Réactifs

**Comburant**  
(Dioxygène  $O_2$   
présent dans l'air)

**Combustible organique**  
contenant des atomes de carbone  
et d'hydrogène (alcane, alcool)



### Produits

$H_2O + CO_2$   
Gaz à effet  
de serre



### Réaction exothermique

$$E = n \times E_{\text{combustion}}$$

$E$  : énergie libérée en joules (J)

$n$  : quantité de matière de combustible  
en moles (mol)

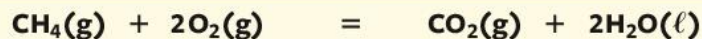
$E_{\text{combustion}}$  : énergie molaire de combustion  
en joules par mole ( $J \cdot mol^{-1}$ )

## Modéliser une combustion

### MODÈLE DE LA COMBUSTION = RÉACTION D'OXYDORÉDUCTION



## Évaluer l'énergie molaire d'une combustion

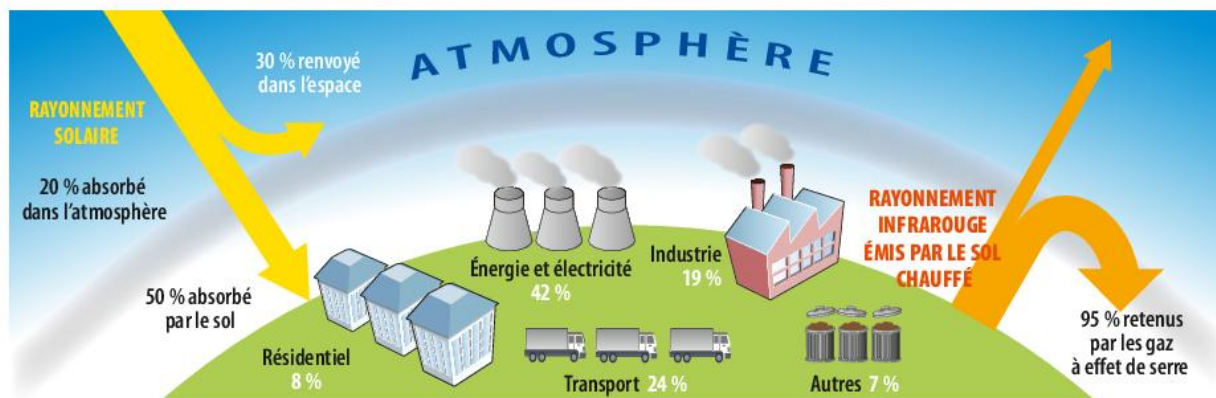


Énergie reçue  
lors de la rupture des liaisons

Énergie libérée  
lors de la formation des liaisons

$$E_{\text{combustion}} \approx \sum D_{\text{rompues}} - \sum D_{\text{formées}}$$

## Effet de serre et part des émissions de $CO_2$ par secteur dans le monde



## Résoudre un exercice

### Énoncé

Le diesel est un mélange de plusieurs dizaines d'hydrocarbures que l'on modélise par un « hydrocarbure moyen » appelé dodécane, de formule brute  $C_{12}H_{26}$ .

La consommation moyenne d'un véhicule diesel particulier est de 6,1 L de diesel pour 100 km.

Donnée.  $\rho_{\text{diesel}} = 830 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

1. Écrire l'équation de la réaction modélisant la combustion du diesel.
2. En supposant le dioxygène en excès, déterminer la masse de dioxyde de carbone rejeté en moyenne par un véhicule diesel pour 100 km parcouru.

### Conseils

- Ajuster les coefficients stœchiométriques de l'équation de combustion.
- Calculer la quantité de matière initiale de dodécane à partir du volume.
- D'après l'équation de combustion, établir la relation entre la quantité de matière de dodécane consommé et celle de dioxyde de carbone formé.
- Mentionner les unités des résultats et respecter les chiffres significatifs.

### Résolution

1.  $2 C_{12}H_{26}(\ell) + 37 O_2(g) \rightarrow 24 CO_2(g) + 26 H_2O(\ell)$
2. Calcul de la quantité de matière de dodécane consommé :

$$n_i(C_{12}H_{26}) = \frac{\rho_{\text{diesel}} \times V}{M(C_{12}H_{26})} = \frac{830 \times 6,1}{170,0} = 30 \text{ mol}$$

Le dioxygène étant en excès et d'après l'équation de combustion, on déduit que :

$$\begin{aligned} n_f(CO_2) &= 12 \times n_i(C_{12}H_{26}) \\ m_f(CO_2) &= n_f(CO_2) \times M(CO_2) \\ &= 12 \times n_i(C_{12}H_{26}) \times M(CO_2) \\ &= 12 \times 30 \times 44,0 = 1,6 \times 10^4 \text{ g} \end{aligned}$$

Le véhicule diesel rejette 16 kg de dioxyde de carbone pour 100 km parcourus.

→ Exercice 26 p. 185

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.



**1** Dans une combustion, le dioxygène joue le rôle de :

- A : comburant.                      B : carburant.  
C : oxydant.                          D : combustible.

**2** Le pétrole, le charbon et le gaz naturel sont des :

- A : biocombustibles.  
B : combustibles fossiles.  
C : sources d'énergie renouvelables.  
D : sources d'énergie non renouvelables.

**3** La combustion complète d'un alcane ou d'un alcool produit :

- A : de l'eau.                              B : du dioxyde de carbone.  
C : du dioxygène.                      D : du monoxyde de carbone.

**4** Au cours de la combustion d'un alcool :

- A : l'alcool est le réducteur et le dioxygène est l'oxydant.  
B : l'alcool est l'oxydant et le dioxygène est le réducteur.  
C : l'alcool se combine avec des atomes d'oxygène.  
D : l'alcool perd des atomes d'oxygène.

**5** L'énergie molaire de combustion  $E_{\text{combustion}}$  peut s'exprimer en :

- A :  $\text{mol} \cdot \text{J}^{-1}$ .    B :  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ .    C :  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ .    D :  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**6** Le pouvoir calorifique massique d'un combustible représente l'énergie libérée par la combustion :

- A : d'une mole de combustible.  
B : d'un kilogramme de combustible.  
C : d'un litre de combustible.  
D : d'un mètre cube de combustible.

**7** L'énergie de combustion est environ égale à :

- A : l'énergie des liaisons rompues.  
B : l'énergie des liaisons formées.  
C : l'énergie des liaisons formées moins celle des liaisons rompues.  
D : l'énergie des liaisons rompues moins celle des liaisons formées.

**8** L'énergie libérée  $E$  par la combustion de  $n$  moles de combustible est :

- A :  $E = \frac{E_{\text{combustion}}}{n}$ .                      B :  $E = n \times E_{\text{combustion}}$ .  
C :  $E = m \times E_{\text{combustion}}$ .                      D :  $E = \frac{E_{\text{combustion}}}{M}$ .

**9** Développer l'utilisation de biocarburants a pour objectif de :

- A : limiter l'utilisation des énergies fossiles.  
B : remplacer à très court terme toutes les énergies fossiles.  
C : limiter les émissions de gaz à effet de serre.  
D : augmenter le rendement des moteurs de voiture.

## FOCUS MATHS

### Comparer à une valeur de référence

À la fin d'une manipulation, il est souvent demandé de **comparer qualitativement** la valeur expérimentale  $x_{\text{exp}}$  à une valeur de référence  $x_{\text{réf}}$ .

Pour cela, il faut vérifier que  $x_{\text{exp}}$  se trouve dans l'intervalle  $[x_{\text{réf}} - 2u(x); x_{\text{réf}} + 2u(x)]$ , où  $u(x)$  représente l'incertitude-type sur la mesure  $x_{\text{exp}}$ .

### Application à la chimie

#### 10 Exercice résolu

Le pouvoir calorifique massique de l'éthanol  $P_{\text{C,réf}}$  est égal à  $29,0 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Un élève mesure et trouve  $P_{\text{C,exp}} = 27,2 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ . L'incertitude sur sa mesure, calculée en fonction du matériel utilisé Fiche 13 p. 362, est égale à  $u(P_C) = 1,2 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

► Comparer qualitativement  $P_{\text{C,exp}}$  et  $P_{\text{C,réf}}$ .

#### Solution commentée

L'intervalle dans lequel doit se trouver  $P_{\text{C,exp}}$  pour que le résultat soit conforme est

$[P_{\text{C,réf}} - 2u(P_C); P_{\text{C,réf}} + 2u(P_C)]$ , soit ici  $[27,2 - 2,4; 27,2 + 2,4]$ , donc  $[24,8; 29,6]$ , valeurs en  $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

$27,2 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  se trouve dans cet intervalle.

La mesure expérimentale est donc acceptable.

#### 11 Exercice d'application

Des résultats de mesures sur le gaz naturel sont donnés :  
Mesures 1 :  $P_{\text{C,exp1}} = 57,3 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  et  $u(P_C) = 3,0 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .  
Mesures 2 :  $P_{\text{C,exp2}} = 53,1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  et  $u(P_C) = 1,6 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

► Comparer qualitativement ces mesures avec  $P_{\text{C,réf}} = 55,0 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .





## Entraînement

### Modélisation d'une combustion

**12** Aide p. 184 Recopier et ajuster les coefficients stœchiométriques des équations de combustion complète ci-dessous :

- $C_8H_{18}(\ell) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(\ell)$ .
- $C_3H_8O(\ell) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(\ell)$ .
- $C_6H_{14}O(\ell) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(\ell)$ .

**13** Lors d'une combustion incomplète, il se forme du monoxyde de carbone et de l'eau.

- Écrire l'équation de la combustion incomplète du méthane ( $CH_4$ ).
- Écrire l'équation de la combustion incomplète de l'éthanol ( $C_2H_5OH$ ).
- Indiquer le danger de ces combustions incomplètes.

### Aspect énergétique d'une combustion

**14** Pour parcourir 100 km, la combustion du diesel dans le moteur d'un véhicule libère une énergie  $E = 230$  MJ.

#### Données

- $\rho_{\text{diesel}} = 0,835 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ .
- $P_{\text{C(diesel)}} = 44,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

- Calculer la masse de diesel consommé par le véhicule pour parcourir 100 km.
- En déduire la consommation du véhicule exprimée en litre de diesel pour 100 km.

**15** Aide p. 184 Un briquet contient 12,0 g de butane ( $C_4H_{10}$ ).

#### Données

- $D_{C-H} = 413 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $D_{C-C} = 348 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $D_{O=O} = 498 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $D_{O-H} = 463 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $D_{C=O} = 798 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

- Montrer que l'énergie molaire de combustion du butane est évaluée à  $-2603 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- Interpréter le signe de l'énergie molaire de combustion.
- Calculer l'énergie libérée par la combustion complète du butane contenu dans le briquet.



**16** Certains GPL (gaz pétrole liquéfié) sont constitués à 90 % de propane ( $C_3H_8$ ). Stockés en citerne chez un particulier, leur combustion permet d'assurer le chauffage et la production d'eau chaude de l'habitation.

#### Données

- $D_{C-H} = 413 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $D_{C=O} = 798 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $D_{C-C} = 348 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $D_{O=O} = 498 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- $D_{O-H} = 463 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**1.** Écrire l'équation de la combustion complète du propane.

**2.** Écrire la formule développée des réactifs et des produits puis faire l'inventaire des liaisons rompues et formées au cours de la combustion.

**3.** À partir des énergies de liaisons, évaluer l'énergie molaire de combustion du propane.



### En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**17** Julie réalise la combustion complète de 10 mL d'éthanol ( $C_2H_6O$ ) liquide dont l'énergie molaire de combustion vaut  $E_{\text{combustion}} = -1367 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Donnée.  $\rho_{\text{éthanol}} = 0,78 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

- Calculer la quantité de matière d'éthanol utilisé.
- Calculer l'énergie libérée par la combustion complète de l'éthanol.

#### Critères d'évaluation

- Une formule littérale liant quantité de matière, volume, masse volumique et masse molaire précède le calcul. Le résultat est correct.
- La formule littérale permettant de calculer l'énergie libérée est donnée. Le résultat est correct.

**18** Vincent réalise la combustion complète de 10 L de méthane ( $CH_4$ ) gazeux dont l'énergie molaire de combustion vaut  $E_{\text{combustion}} = -890 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Donnée.  $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

- Calculer la quantité de matière de méthane brûlé.
- Calculer l'énergie libérée par la combustion complète du butane.

#### Critères d'évaluation

- Une formule littérale liant quantité de matière, volume et volume molaire précède le calcul. Le résultat est correct.
- La formule littérale permettant de calculer l'énergie libérée est donnée. Le résultat est correct.

## Combustion et enjeux de société

### 19 Exercice inversé

Les trois phrases suivantes sont des réponses. Proposer une ou des questions appropriées à chaque réponse donnée.

1. Ceux-ci sont nombreux, comme le réchauffement climatique dû aux gaz à effet de serre ou la pollution de l'air.
2. La recherche autour de ceux-ci se développe pour anticiper l'épuisement des ressources fossiles.
3. Ce sont des carburants produits à partir de déchets organiques et parfois même à base d'algues.

### 20

« Lorsque les températures baissent, les risques d'intoxication au monoxyde de carbone (CO) augmentent. Chaque année, ce gaz toxique est responsable d'une centaine de décès en France. (...) Invisible, inodore et non irritant, le monoxyde de carbone résulte d'une mauvaise combustion au sein d'un appareil ou d'un moteur à combustion, par exemple, fonctionnant au gaz, au bois, au charbon, à l'essence, au fuel ou encore à l'éthanol. (...) Les premiers symptômes et les plus fréquents sont des maux de têtes, des nausées et des vomissements. Une intoxication importante peut conduire au coma et à la mort, parfois en quelques minutes. Il faut donc agir très vite (...) »

Extrait du *Républicain Lorrain*  
du 10 novembre 2018

1. Donner le type de combustible qui peut produire du monoxyde de carbone.
2. Préciser la signification de l'expression « mauvaise combustion ».
3. En prenant le cas du butane de formule brute  $C_4H_{10}$ , écrire l'équation d'une combustion produisant du monoxyde de carbone et de l'eau.
4. Justifier qu'une intoxication au monoxyde de carbone est particulièrement « sournoise ».

**21** Utiliser internet n'est pas neutre en terme écologique, par exemple chaque utilisateur de Facebook qui like, poke ou tag émet en moyenne 269 g de  $CO_2$  par mois. Facebook revendique 2,32 milliards d'utilisateurs actifs chaque mois.

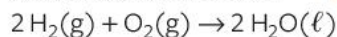
**Donnée.** 1 trajet aller-retour Paris-New York en avion émet 1 t de  $CO_2$ .

1. Calculer la masse de  $CO_2$  émis chaque mois par les utilisateurs de Facebook.
2. En déduire le nombre d'aller-retour Paris-New York équivalent à l'utilisation mensuelle de Facebook en termes de rejet de  $CO_2$ .

### Bonus

### 22 Aide p. 184

Des recherches s'inspirent actuellement de la photosynthèse pour créer des **feuilles artificielles** d'un genre un peu particulier : celles-ci décomposent l'eau grâce à la lumière du soleil et produisent du dihydrogène capable d'alimenter une pile à combustible dont l'équation de fonctionnement est :



Ces feuilles artificielles pourraient entrer dans la conception de panneaux solaires de nouvelle génération, pour la **production d'une électricité propre**.

1. Identifier le combustible produit grâce à l'action du soleil sur les feuilles artificielles.
2. Donner le nom de l'oxydant et du réducteur utilisés comme réactifs dans la pile à combustible.
3. Justifier les termes « production d'une électricité propre » à la fin du texte.

## Différenciation

### Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 12

- Vérifier la conservation des éléments chimiques en commençant par l'élément carbone.

#### Aide pour l'exercice 15

1. Après avoir écrit l'équation de combustion du butane, faire l'inventaire des liaisons rompues et formées lors de la combustion complète du butane.
2. L'énergie libérée par un système est négative et l'énergie reçue est positive.
3. Calculer la quantité de matière de butane contenu dans le briquet puis en déduire l'énergie libérée en utilisant l'énergie molaire de combustion.

#### Aide pour l'exercice 22

1. Identifier le réactif nécessaire au fonctionnement d'une pile à combustible.
2. Rappeler la principale conséquence sur l'environnement de la combustion d'une énergie fossile.



## Synthèse

### 23 Pouvoir calorifique de la paraffine

→ Analyser, réaliser

Les bougies chauffe-plat sont principalement constituées de paraffine ( $C_{25}H_{52}$ ). Une bougie chauffe-plat pèse initialement 12,3 g.

Cette bougie est utilisée pour chauffer 150 mL d'eau contenue dans un bécher de la température initiale  $\theta_i = 10,4^\circ\text{C}$  jusqu'à la température finale  $\theta_f = 39,4^\circ\text{C}$ .

À la fin de la combustion la bougie pèse 11,9 g.



#### Données

- Énergie thermique transférée à l'eau passant de la température  $\theta_i$  à la température  $\theta_f$ :  $Q = m_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} \times (\theta_f - \theta_i)$ .
- Capacité thermique massique de l'eau :  
 $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ .
- $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

- Schématiser l'expérience de mesure du pouvoir calorifique massique  $P_c$  de la paraffine.
- Calculer l'énergie thermique transférée à l'eau.
- En déduire le  $P_c$  de la paraffine.
- Sachant que  $u(P_c) = 2,0 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ , comparer le  $P_c$  expérimental de la paraffine à la valeur théorique qui vaut  $46,0 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

### 24 DÉFI Sucrer son café

→ S'appropriier, analyser, réaliser

Le sucre en poudre est constitué de saccharose de formule  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . La dégradation du saccharose dans le corps humain s'apparente à une combustion qui libère de l'énergie.

Donnée.  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ .

#### Doc. 1 Étiquette nutritionnelle du sucre en poudre

1 portion (5 g) contient					
Énergie	Sucres	Lipides	Acides gras saturés	Sodium	
20 kcal	5 g	0 g	0 g	0 g	
AJR 1 %	6 %	0 %	0 %	0 %	

- Écrire l'équation de combustion complète du saccharose.
- À l'aide du doc. 1, calculer l'énergie molaire de combustion du saccharose.
- Certaines personnes qui suivent un régime utilisent des sucrettes contenant de l'aspartame. Rechercher l'intérêt de l'utilisation de sucrettes dans le cas d'un régime.

### 25 Formule d'un alcane

→ Analyser, réaliser

La combustion complète d'un alcane, de formule générale  $C_xH_{2x+2}$ , en présence de dioxygène en excès est réalisée. À la fin de la combustion, 13,2 g de dioxyde de carbone et 6,3 g d'eau sont recueillis.

- Écrire l'équation de la combustion d'un alcane constitué d'un nombre  $x$  d'atomes de carbone.
- Calculer les quantités de matière de chaque produit à la fin de la combustion.
- À l'aide de l'équation de combustion et en raisonnant par proportionnalité, établir une relation entre les quantités de matière de produits dans l'état final et le nombre  $x$  d'atomes de carbone de l'alcane.
- En déduire la formule brute de l'alcane.
- Donner la formule semi-développée et le nom de tous les alcanes ayant pu être utilisés pour la combustion.

### 26 Aide p. 186 Combustion du kérosène

→ Analyser, réaliser

Sur le site de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), un calculateur évalue la masse de  $\text{CO}_2$  libérée lors d'un trajet en avion. L'information suivante y figure :

« Un aller-retour Paris-New York représente l'émission d'une tonne de  $\text{CO}_2$ , en tenant compte du vol ainsi que des émissions de  $\text{CO}_2$  lors de la production et du transport du kérosène. »

#### Données

- Masse volumique du kérosène :  $\rho = 0,80 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ .
  - Consommation de kérosène lors du vol : 2,9 L pour 100 km.
  - Distance Paris-New York : 5 840 km.
- Écrire l'équation de combustion du kérosène en assimilant ce carburant à un hydrocarbure de formule  $C_{11}H_{24}$ .
  - Calculer la masse de  $\text{CO}_2$  produite lors d'un aller-retour Paris-New York et commenter l'information donnée par le site de la DGAC.



En anglais

### 27 Hydrogen car

Although hydrogen has a high massic energy of combustion ( $120 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) compared to oil ( $45 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), its volumetric calorific value ( $8960 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ ) is lower than oil ( $311\,170 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

- Explain the problem raised by the illustration.

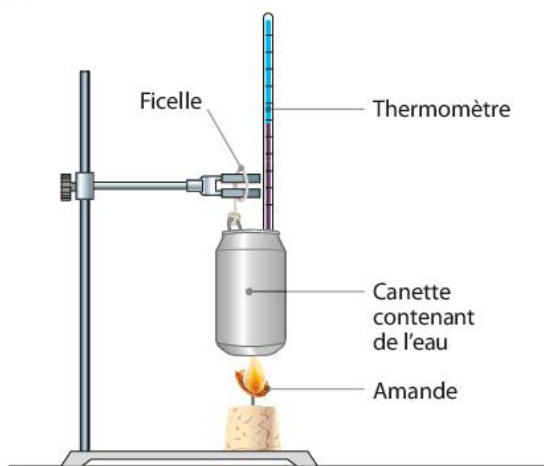


## 28 Aide p. 186 Calcul d'incertitude

→ Analyser, réaliser

Dans une classe, 6 binômes réalisent chacun l'expérience représentée ci-dessous : ils cherchent à déterminer le pouvoir calorifique massique d'une amande qui s'apparente à sa valeur nutritionnelle.

### Doc. 1 Schéma du montage réalisé



### Doc. 2 Valeur nutritionnelle de 100g d'amandes

En supposant que l'énergie libérée par la combustion de l'amande sert exclusivement à élever la température de l'eau dans la canette, chaque groupe mesure l'énergie libérée  $E$  par la combustion d'une masse  $\Delta m$  d'amande.



→ Protocole p. 173

$E$ (kJ)	7,7	7,2	8,1	7,5	7,2	7,3
$\Delta m$ (g)	0,31	0,28	0,32	0,30	0,28	0,29

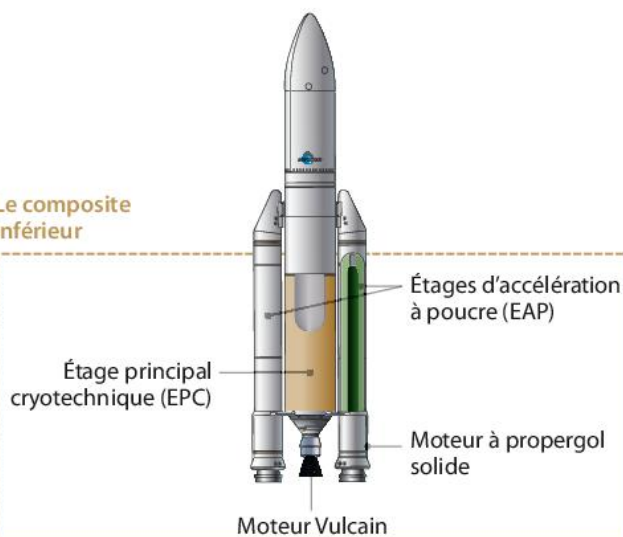
- Calculer le pouvoir calorifique massique de l'amande pour chaque groupe en  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- En utilisant un tableur ou une calculatrice, calculer la moyenne et l'écart-type de la série de mesures.
- En déduire l'incertitude-type de la série de mesures puis donner une estimation de la valeur du pouvoir calorifique massique d'une amande.
- Comparer le pouvoir calorifique expérimental d'une amande à sa valeur de référence indiquée par l'étiquette.
- Préciser quelle hypothèse faite pour la résolution de l'exercice peut expliquer l'écart trouvé.

## 29 Aide p. 186 Ariane V

→ Analyser, réaliser

Les réservoirs d'Ariane V contiennent 24,6 t de dihydrogène et 150 t de dioxygène. Vulcain, le premier moteur à s'allumer, propulse l'étage principal de la fusée (EPC ou étage principal cryotechnique). Le moteur est alimenté séparément en dihydrogène et en dioxygène qui, une fois mélangés, explosent en produisant de la vapeur d'eau.

### Le composite inférieur



### Données

- $D_{\text{H-H}} = 436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $D_{\text{O-H}} = 463 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $D_{\text{O=O}} = 498 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

- Écrire l'équation de la réaction se produisant dans le moteur Vulcain en partant d'une molécule de dihydrogène.
- Déterminer la quantité de matière de dihydrogène consommé par le moteur Vulcain.
- Calculer l'énergie libérée par le moteur Vulcain.

### Différenciation

#### Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 26

2. Calculer le volume, puis la masse puis la quantité de matière de kérosène nécessaire pour l'aller-retour. À l'aide de l'équation, calculer ensuite la quantité de matière puis la masse de  $\text{CO}_2$  correspondante ( $\text{O}_2$  est en excès).

#### Aide pour l'exercice 28

4. À partir de l'étiquette, calculer le pouvoir calorifique massique d'un kilogramme d'amande puis comparer à l'intervalle trouvé à la question 3.

#### Aide pour l'exercice 29

2. Utiliser un tableau d'avancement.

3. À partir des énergies de liaison, calculer l'énergie molaire de combustion du dihydrogène puis calculer l'énergie libérée par le dihydrogène dans le moteur Vulcain.



## Problèmes

### 30 Comparer différents modes de chauffage

Une famille s'interroge sur le mode de chauffage à installer dans sa future maison pour couvrir une consommation estimée à 10 000 kWh ( $3,6 \times 10^{10}$  J).

#### Doc. 1 Pouvoir calorifique et prix de différents combustibles

Combustible	Propane	Fioul	Granulés bois	Éthanol
$P_c$ (MJ · kg <sup>-1</sup> )	50	40	20	29
Prix	1 500 € la tonne	880 € les 1 000 L	270 € la tonne	2 € Le litre

#### Doc. 2 Rendement des dispositifs de chauffage

Appareil de chauffage	Chaudière au gaz	Chaudière au fioul	Poêle à granulés	Cheminée à éthanol
Rendement	90 %	85 %	80 %	80 %

Donnée.  $\rho_{\text{fioul}} = 0,85 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  et  $\rho_{\text{éthanol}} = 0,79 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ .

► À l'aide des documents, aider cette famille dans son choix en lui indiquant le coût de chaque mode de chauffage.

#### Différenciation Apprendre à résoudre 30

- Calculer la masse nécessaire de chaque combustible pour couvrir la consommation estimée par la famille.
- Tenir compte du rendement des dispositifs de chauffage et en déduire le coût de chaque mode de chauffage pour répondre à la question 1.

### 31 Véhicule flexfuel

Un automobiliste possède un véhicule flexfuel qui peut rouler au superéthanol E85, au SP95 ou au SP98.

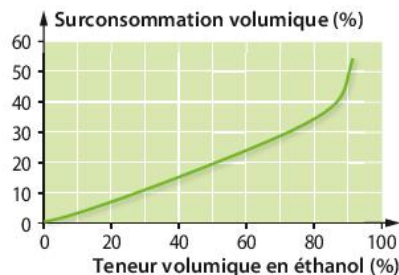
#### Doc. 1. Performances du véhicule flexfuel alimenté en SP95

Moteur	
Cylindrée (cm <sup>3</sup> )	1 587
Puissance maxi (kW)	80
Couple maxi (Nm)	147
Puissance administrative (CV)	7
Consommations (L pour 100 km)	
Mixte	7,0
Urbaine	9,7
Extra-urbaine	5,4
Émissions (g · km <sup>-1</sup> )	
CO <sub>2</sub>	165

#### Doc. 2 Le superéthanol E85

Le superéthanol E85 est un carburant constitué en volume de 85 % de bioéthanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) et de 15 % d'essence SP95 (assimilé à l'octane C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>).

#### Doc. 3 Surconsommation d'un véhicule flexfuel par rapport à un fonctionnement en SP95



Source : Conférence CNAM « Contraintes et mise au point des véhicules flexfuel »

#### Données

- $\rho_{\text{éthanol}} = 0,78 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ .
- $\rho_{\text{octane}} = 0,70 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

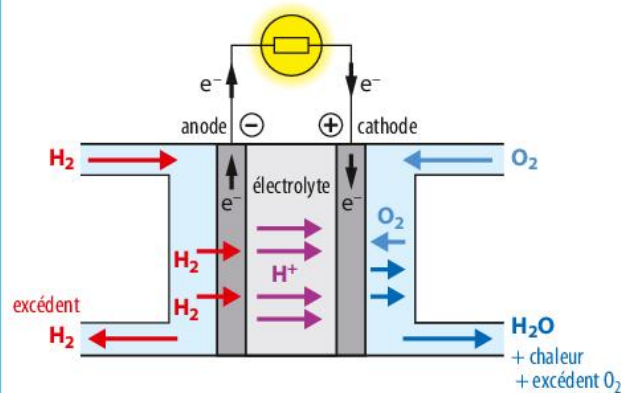
► Comparer les rejets de dioxyde de carbone entre un fonctionnement du véhicule au SP95 et un fonctionnement au superéthanol E85 dans le cas d'un trajet mixte.

Bonus Aide

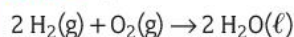
### 32 Pile à combustible

Le principe de fonctionnement d'une pile à combustible repose sur l'oxydation d'un combustible (le dihydrogène par exemple) par un comburant.

#### Doc. 1 Fonctionnement d'une pile à dihydrogène



#### Doc. 2 Équation de la réaction



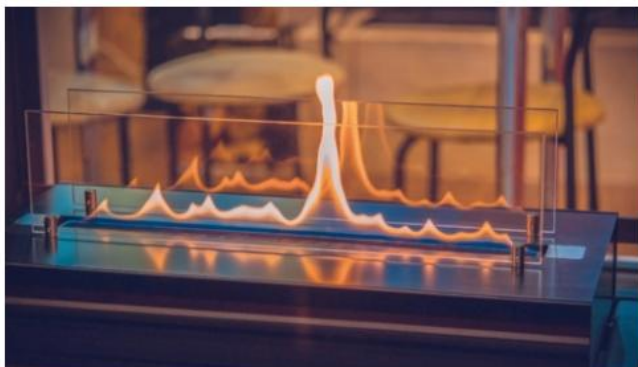
#### Doc. 3 Caractéristiques d'un réservoir à dihydrogène

Les constructeurs automobiles qui souhaitent installer une pile à dihydrogène dans leur véhicule peuvent choisir un réservoir permettant de stocker 5 kg de dihydrogène sous une pression de 700 bar. Cela permet d'avoir une autonomie d'environ 600 km.

► Calculer la masse de dioxygène nécessaire pour faire fonctionner le moteur à dihydrogène sur un trajet de 600 km.

33 ⇒ Pour prolonger l'activité 2 p. 173

## Cheminée au bioéthanol

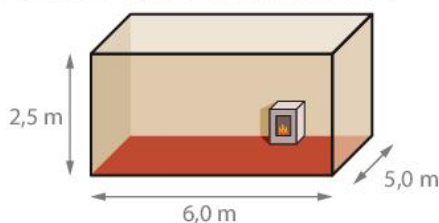


Une cheminée au bioéthanol ( $C_2H_5OH$ ) est un chauffage d'appoint décoratif qui ne nécessite pas de conduit d'évacuation des fumées et donc s'installe ou se déplace facilement. Néanmoins son utilisation impose une pièce bien ventilée afin d'éviter l'accumulation de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau dans la pièce.

### Doc. 1 Caractéristiques d'une cheminée au bioéthanol

Combustible	Éthanol liquide
Puissance	5 kW
Consommation	$0,40 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$
Durée d'utilisation avant coupure automatique	3 h

### Doc. 2 Pièce dans laquelle sera utilisée la cheminée



### Doc. 3 Les dangers du dioxyde de carbone

Pourcentage (en volume) de $CO_2$ dans la pièce	Effet physiologiques prévisibles
3 %	Respiration profonde, rythme cardiaque accéléré
4 - 5 %	Respiration plus profonde et rapide
5 - 10 %	Respiration difficile, mal de tête important, perte de jugement
10 - 100 %	Perte de conscience en moins d'une minute qui peut conduire à la mort

Donnée.  $\rho_{\text{éthanol}} = 0,78 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$  et  $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

► Évaluer si l'utilisation de cette cheminée dans la pièce du doc. 2 sans aucune ventilation présente un risque pour les occupants.

## Objectif BAC

Johan souhaite acheter un camping-car pour partir en vacances.

Soucieux de l'impact environnemental, il veut évaluer l'émission de dioxyde de carbone d'un camping-car fonctionnant à l'essence par rapport à une motorisation diesel.



### Doc. 1 Caractéristiques des moteurs

Modèle	Essence	Diesel
Motorisation	156 chevaux	150 chevaux
Consommation urbaine pour 100 km	12,1 L	9,2 L
Consommation sur autoroute pour 100 km	9,6 L	7,1 L
Consommation mixte pour 100 km	10,7 L	8,1 L
Réservoir	120 L	120 L

### Doc. 2 Caractéristiques des carburants

	Formule brute	Masse volumique ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	Masse molaire ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )
SP95-E10 (heptane)	$C_7H_{16}$	680	100,0
Gazole (hexadécane)	$C_{16}H_{34}$	770	226,0

### Données

- Prix moyen du gazole (diesel) : 1,4314 €.
- Prix moyen du SP 95-E10 (essence) : 1,4161 €.

1. Calculer pour chaque moteur la distance moyenne sur autoroute parcourue avec un réservoir plein.
2. Déterminer pour chaque moteur le coût du carburant pour un trajet de 500 km sur autoroute.
3. Écrire l'équation de combustion complète de l'heptane.
4. Dans le cas d'un moteur à essence, calculer la masse d'heptane nécessaire pour parcourir 100 km en consommation mixte.
5. Montrer que la quantité de matière d'heptane consommée pour parcourir 1 km est égale à 0,73 mol.
6. Déterminer la quantité de matière en  $CO_2$  produite par km par le camping-car. En déduire la masse de  $CO_2$  produite par km.
7. Un camping-car équipé d'un moteur diesel produit 194 g de  $CO_2$  par km parcouru en consommation mixte. Comparer l'émission de  $CO_2$  des modèles à essence et diesel.

# Une recherche française d'excellence

Les équipes françaises de chimie participent à des **projets de recherche internationaux** ambitieux qui s'appuient sur une centaine d'**infrastructures de recherche** et étudient les grands enjeux de société. Exemples et thématiques.

## Des infrastructures de recherche



Concordia



FOF



L'ESRF

### CLIMAT ET CHIMIE ATMOSPHERIQUE

- **Concordia**, base de recherche franco-italienne située en Antarctique, met en œuvre des programmes de recherche et d'observation uniques souvent en lien avec les changements climatiques.

[www.institut-polaire.fr/ipev/infrastructures/les-bases/concordia/](http://www.institut-polaire.fr/ipev/infrastructures/les-bases/concordia/)

- **Safire** opère 3 avions de recherche pour réaliser des campagnes de mesures scientifiques notamment en chimie de l'atmosphère.

[www.safire.fr](http://www.safire.fr)



Safire

### Océanographie et Biogéochimie

- **FOF**, la flotte océanique française, fédère les navires de recherche nationaux qui permettent de mener en milieu marin côtier et hauturier des recherches notamment en biogéochimie des océans.

[www.flotteoceanographique.fr](http://www.flotteoceanographique.fr)

- **Mercator** décrit, analyse et fait des prévisions océaniques à l'échelle globale et régionale, en surface comme en profondeur. [www.mercator-ocean.fr](http://www.mercator-ocean.fr)

- **Solaris**, dotée en particulier d'une microcentrale et de 12 fours solaires, contribue notamment au développement des connaissances en photochimie, thermochimie et nanomatériaux.

[www.eusolaris.eu](http://www.eusolaris.eu)

### MATÉRIAUX

- **Metsa** est un réseau national de 8 plateformes spécialisées en chimie et ingénierie des matériaux. [www.metsa.fr](http://www.metsa.fr)

- **L'Institut Laue-Langevin** intervient dans des disciplines variées dont la matière molle et la science des matériaux.

[www.ill.eu](http://www.ill.eu)

### SANTÉ

- **L'ESRF** produit des rayons X à haute énergie distribués sur 43 stations d'expériences. [www.synchrotron-soleil.fr/fr](http://www.synchrotron-soleil.fr/fr)

- **MetaboHUB** est dédiée à l'innovation, à la formation et au transfert de technologies dans des domaines comme la santé, la nutrition, l'agriculture ou l'environnement.

[www.metabohub.fr](http://www.metabohub.fr)

- **RMN-THC** opère et encadre l'utilisation des spectromètres RMN à très hauts champs avec des applications en médecine par exemple. [www.ir-rmn.fr](http://www.ir-rmn.fr)



Institut Laue-Langevin



# Thème 2

# Mouvement et interactions

Chapitre 11	Interactions fondamentales et champs...	191
Chapitre 12	Description d'un fluide au repos .....	209
Chapitre 13	Forces et vitesse .....	225



Je vérifie  
mes connaissances  
de Seconde



# Interactions fondamentales et champs

*Comment représenter les interactions électrostatique et gravitationnelle dans l'espace ?*



## Objectifs

Interpréter des expériences d'électrostatique

➔ Activité 1 p. 192

Découvrir la loi de Coulomb

➔ Activité 2 p. 193

Utiliser les expressions des forces et des champs gravitationnels et électrostatiques

➔ Activité 3 p. 194

Cartographier des champs

➔ Activité 4 p. 195

— Une lampe plasma émet des décharges électriques lorsque la boule de verre est touchée par les doigts. Les couleurs des radiations émises dépendent des gaz nobles (Xe, Kr, Ne ou He) qui sont présents à l'intérieur de la boule.

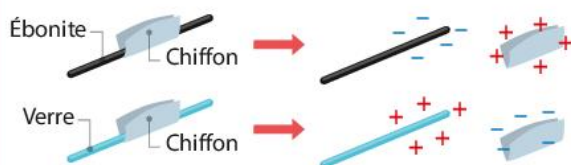
### 1 Interpréter des expériences d'électrostatique

Au VI<sup>e</sup> siècle avant J.-C., Thalès de Milet découvre l'électrisation en frottant un morceau d'ambre jaune avec une peau de chat. Il observe alors qu'il peut attirer des objets légers avec ce morceau d'ambre. L'ambre, en grec *ēlektron*, transcrit par le latin *electrum* est à l'origine du mot **électricité**.

Comment l'électrisation permet-elle de faire léviter un objet ?

#### Doc. 1 Électrisation par frottements

En frottant deux matériaux de natures différentes, il se produit un transfert d'électrons. Le sens du transfert dépend de la nature des deux matériaux.

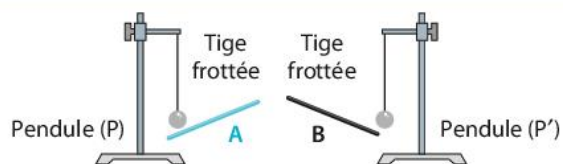


#### Doc. 3 Barquettes de polystyrène

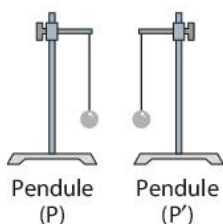
- 1 Le dessous d'une barquette est frotté avec un chiffon.
- 2 Elle est posée retournée.
- 3 Un morceau découpé dans la seconde est approché par-dessus.



#### Doc. 2 Pendules électrostatiques

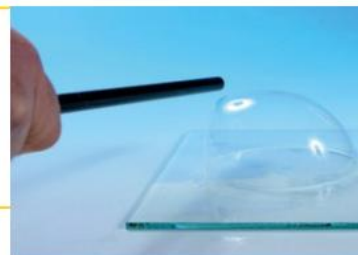


- 1 Les boules sont chargées par contact avec la tige électrisée.
- 2 Pour décharger la boule entre chaque essai, il suffit de la toucher avec la main.



#### Doc. 4 Bulle de savon

- 1 Une bulle est fabriquée à l'aide d'une paille sur une surface savonnée.
- 2 La tige est frottée et approchée de la bulle.



#### Matériel disponible

- Tige de verre (A) • Tige d'ébonite (B) • Chiffon synthétique
- Deux pendules : boules de polystyrène recouvertes de papier aluminium attachées à un support par un fil fin.
- Deux barquettes en polystyrène extrudé • Savon liquide + paille • Tige.

#### Mise en œuvre

→ Analyser, réaliser

→ Analyser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Valider

- 1 Lire le doc. 1 et réaliser les expériences du doc. 2 pour analyser le comportement des pendules, suivant la tige avec laquelle ils ont été chargés. Présenter les résultats sous la forme d'un tableau.
- 2 Réaliser les expériences des docs. 3 et 4 et schématiser les expériences pour faire apparaître les charges électriques.
- 3 Interpréter les expériences précédentes.
- 4 Expliquer comment des objets peuvent léviter grâce à l'électrisation.
- 5 Énoncer la nature des interactions électrostatiques selon le type des charges électriques.

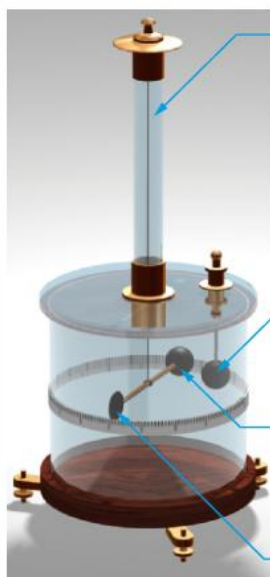
DIFFÉRENCIATION : → Aide (doc. 3) → Aide question 3 → Bonus

## 2 Découvrir la loi de Coulomb

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, après avoir conçu une expérience pour mesurer des interactions électrostatiques très faibles, Charles-Augustin Coulomb énonce sa loi qui permet de calculer la valeur de la force d'interaction électrostatique entre deux corps chargés.

Quelle est l'expression de la loi de Coulomb ?

### Doc. 1 1784 : expérience historique de Coulomb



- 1 Fil métallique dont le phénomène de torsion a été étudié et est connu.
- 2 Boule métallique B, électriquement chargée, introduite dans le dispositif. Elle entre en contact avec la boule A, et reste fixe.
- 3 Boule métallique A, neutre, qui se charge comme la boule B à son contact, puis qui est repoussée par action électrostatique. La répulsion électrostatique des deux boules entraîne une torsion du fil métallique, dont l'angle est mesuré. La distance entre les deux boules est aussi mesurée.
- 4 Contrepois

Coulomb met au point une expérience pour déterminer la valeur de la force qui s'exerce entre deux corps électriquement chargés à l'aide d'une balance de torsion. La mesure de l'angle de torsion permet de déterminer la valeur de la force de répulsion électrostatique.

### Doc. 2 Résultats historiques

	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3
Angle de torsion du fil (°)	36	162	605,5
Distance $d$ entre les boules (cm)	6,69	3,39	1,6
Force électrostatique (N)	$1,56 \times 10^{-7}$	$7,02 \times 10^{-7}$	$2,62 \times 10^{-6}$

Avec pour chaque mesure :  $q_A$  la charge électrique de la boule A,  $q_B$  celle de la boule B.

Coulomb remarqua que s'il divisait par deux la charge d'une boule alors la valeur de la force était divisée par deux. S'il divisait par deux les deux charges, elle était divisée par quatre.

### Doc. 3 L'interaction gravitationnelle

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

$F$  : valeur de la force (N) ;  $m$  : masse (kg) ;  
 $d$  : distance (m) ;  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

### Appropriation et analyse

→ Analyser

- 1 D'après les docs 1 et 2, dire si la valeur de la force électrostatique  $F$  est proportionnelle à  $d$ , ou bien à  $d^2$ , ou bien à  $\frac{1}{d}$  ou encore à  $\frac{1}{d^2}$ .
- 2 Déterminer si la valeur de la force électrostatique est proportionnelle au produit des charges des boules A et B ou bien à la somme de ces charges (doc. 2).
- 3 En déduire les points communs entre l'expression de la valeur de la force d'interaction gravitationnelle (doc. 3) et celle de la force électrostatique.
- 4 Sachant que la constante de proportionnalité intervenant dans l'expression de la loi de Coulomb est notée  $k$ , donner l'expression de cette loi.
- 5 Dans un tableau comparatif entre l'interaction gravitationnelle et électrostatique, donner les caractéristiques de la particule mise en jeu, la représentation des vecteurs force, et l'expression de la valeur de la force.

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Communiquer

DIFFÉRENCIATION : → Aide (doc. 2) → Exercice supplémentaire

### 3 Utiliser les expressions des forces et des champs gravitationnels et électrostatiques

Plusieurs grands scientifiques, tels que Dufay ou Millikan, ont eu l'idée d'étudier le comportement de gouttelettes chargées introduites entre deux plaques chargées.

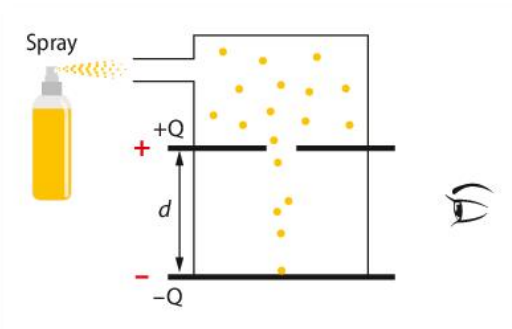
Comment les champs gravitationnel et électrostatique permettent-ils d'expliquer le mouvement des gouttes ?

#### Doc. 1 Expérience de la goutte d'huile de Millikan

L'expérience consiste à pulvériser de minuscules gouttes d'huiles électrisées entre les deux plaques horizontales portant des charges de signes opposés.

Les minuscules gouttes subissent plusieurs forces qui s'équilibrent rapidement et font que chaque goutte se déplace étonnamment en ligne droite à vitesse constante.

Dans l'expérience, les gouttes d'huile sont chargées négativement et les forces de frottement sont négligeables.



#### Doc. 2 Champ et force

Il existe des forces qui découlent de l'existence d'un champ dans un espace donné. Un objet de masse  $m$  et de charge  $q$  est placé dans un champ gravitationnel  $\vec{G}$  et un champ électrostatique  $\vec{E}$ . Les forces qui découlent de ces champs sont données par :

$$\vec{F}_e = q \times \vec{E} \quad \text{et} \quad \vec{F}_g = m \times \vec{G}$$

$\vec{F}_e$  et  $\vec{F}_g$  : respectivement les forces d'interaction gravitationnelle et électrostatique, subies par l'objet, en newtons (N)

$q$  : charge en coulombs (C)

$m$  : masse en kilogrammes (kg)

Un champ est dit **uniforme** dans une région de l'espace si ses caractéristiques (valeur, direction, sens) sont les mêmes en tout point de cette région.

#### Doc. 3 Données

Masse d'une goutte d'huile :  $m_g = 1,18 \times 10^{-15}$  kg

Masse de la Terre :  $M_T = 5,97 \times 10^{24}$  kg

Rayon de la Terre :  $R_T = 6\,371$  km

Charge d'une goutte d'huile :  $q = -8,98 \times 10^{-19}$  C

#### Appropriation et analyse

→ S'approprier

→ Analyser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Communiquer

1 D'après les docs 2 et 3, déterminer l'expression vectorielle puis calculer la valeur de la force d'interaction gravitationnelle s'exerçant sur une goutte d'huile du doc. 1. En déduire les caractéristiques du champ gravitationnel  $\vec{G}$ .

2 Énoncer la première loi de Newton et, en utilisant le doc. 2, déterminer les caractéristiques du champ électrostatique  $\vec{E}$ .

3 En utilisant le principe de l'inertie pour la goutte chargée, indiquer les valeurs des forces exercées sur cette goutte. Faire un schéma de l'expérience du doc. 1 pour les représenter en respectant l'échelle  $1 \text{ cm} \leftrightarrow 5 \times 10^{-15} \text{ N}$ .

4 Les champs gravitationnel et électrostatique étant considérés comme uniformes, les représenter sur un schéma sans souci d'échelle.

DIFFÉRENCIATION : → Aide (doc. 1) → Exercice supplémentaire

## 4 Cartographier des champs

En 2018, en France métropolitaine, 296 jours avec orage ont été dénombrés (source *Météorage*). La répartition des charges électriques dans les nuages engendre des pluies et des décharges électriques de foudre accompagnées de tonnerre.

Comment représenter le champ électrostatique créé lors d'un orage ?

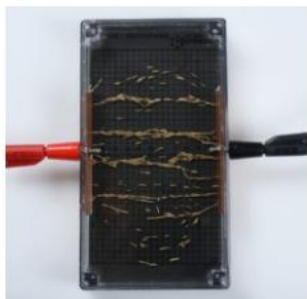
### Doc. 1 Influence d'un champ électrostatique

#### Expérience 1



Des graines dans une cuve où est plongée une pointe chargée positivement.

#### Expérience 2



Des graines dans une cuve entre deux plaques chargées l'une positivement l'autre négativement.

### Matériel disponible

- Cuve remplie d'huile
- Graines
- Deux lames conductrices planes
- Une pointe conductrice plane.

### Doc. 2 Lignes de champs

- Le vecteur champ électrostatique est toujours orienté dans le sens des potentiels décroissants (du pôle positif vers le pôle négatif).
- Une ligne de champ vectoriel est une ligne tangente en chacun de ses points au vecteur champ. Elle est orientée par une flèche dans le même sens que celui du champ.
- Plus les lignes de champs sont proches les unes des autres plus la valeur du champ est intense.

### Doc. 3 Orage et nuage

Les nuages d'orage sont des cumulonimbus fortement chargés électriquement. Globalement, le sommet du nuage est chargé positivement alors que sa base est négative.



### Mise en œuvre

→ Analyser, réaliser

→ S'approprier

→ Valider

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Valider, communiquer

- 1 Schématiser l'expérience 1 du doc. 1 et indiquer les lignes de champ à l'aide du doc. 2. Représenter le champ électrostatique  $\vec{E}$  en différents points de la cuve.
- 2 Indiquer comment le champ  $\vec{E}$  est modifié si la pointe est chargée négativement. Faire un schéma.
- 3 À l'aide du doc. 3, indiquer en quoi l'expérience 2 du doc. 1 modélise le phénomène de l'orage.
- 4 En déduire une représentation du champ  $\vec{E}$  créé à l'intérieur du cumulonimbus lors d'un orage en différents points en représentant les lignes de champs.
- 5 Par influence, le sol se charge positivement. Représenter le champ  $\vec{E}$  créé en différents points de l'espace entre le bas du nuage et le sol. Expliquer le phénomène de la foudre.
- 6 Expliquer comment représenter le vecteur champ électrostatique  $\vec{E}$  en différents points de l'espace entre deux armatures chargées électriquement.

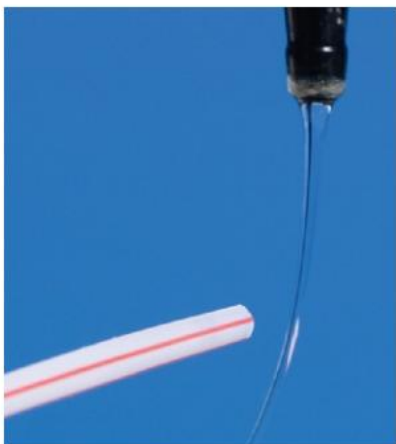
DIFFÉRENCIATION : → Aide [doc. 3] → Aide [doc. 4]

## Histoire

En 1733, Dufay émet les hypothèses que, parmi les corps électriques, il y a deux espèces d'électricité, l'une « résineuse », l'autre « vitreuse » ; que « les corps ayant contracté une électricité de même nature se repoussent et que ceux qui ont contracté des électricités de natures différentes s'attirent ».



a. La barquette de polystyrène extrudé frotté au préalable avec un chiffon repousse le morceau de polystyrène.



b. La paille frottée au préalable avec un chiffon attire le filet d'eau.

Doc. 2. Électrisation par frottement.

## A Interactions électrostatiques et loi de Coulomb

### 1 Charge électrique

La **charge électrique** est une caractéristique possédée par certaines particules qui peuvent subir une interaction électrostatique.

► Dans la mesure où ces interactions peuvent être **attractives** ou **répulsives** il faut distinguer deux catégories de charges : les charges **positives** et les charges **négatives**.

► L'unité de charge électrique est le **coulomb**, de symbole « C ».

► Il existe une **charge élémentaire** notée  $e$  qui correspond à la plus petite valeur de charge électrique portée par une particule.

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

► La charge électrique est généralement notée  $q$ .

► Au niveau macroscopique, toute charge électrique associée à un objet est un multiple de cette charge élémentaire :

$$q = a \times e, \text{ avec } a \in \mathbb{Z}.$$

Particule	Nombre de charges élémentaires $e$	Charge en coulombs (C)
Électron	-1	$-1,6 \times 10^{-19}$
Proton	1	$1,6 \times 10^{-19}$
Neutron	0	0

Doc. 1. Charge des particules.

### 2 Électrisation par frottements

► La matière est généralement électriquement neutre mais il est possible par frottement d'**arracher** ou d'**apporter** des électrons à un objet qui devient alors électriquement chargé.

► Si l'objet **perd** des électrons alors il acquiert une **charge positive**.

Si l'objet **gagne** des électrons alors il acquiert une **charge négative**.

Entre deux objets chargés, il existe une **interaction** :

– **répulsive** entre deux charges de **même signe** (entre deux charges négatives ou entre deux charges positives) (**doc. 2a**)

– **attractive** entre deux charges de **signes opposés** (entre une charge positive et une charge négative) (**doc. 2b**).

→ **Activité 1**

### Éviter les erreurs...

... en faisant attention aux signes des charges électriques pour représenter les forces électrostatiques sur les schémas.

Milieu	$k$ ( $\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ )
Air	$9,0 \times 10^9$
Cyclohexane $\text{C}_6\text{H}_{12}$	$4,5 \times 10^9$
Éthanol $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$	$3,8 \times 10^8$
Eau	$1,1 \times 10^8$

Doc. 3. La constante  $k$  dépend du milieu.

### Histoire



À la fin des années 1770, un physicien français, Charles-Augustin Coulomb, met en évidence l'existence de deux fluides électriques (positif et négatif) qui, de même nature, se repoussent et, de nature contraire, s'attirent. Il établit l'expression des forces électriques exercées entre deux charges.

## 3 Loi de Coulomb pour l'interaction électrostatique

### a. Interaction électrostatique

Deux **corps** A et B, de **charges** respectives  $q_A$  et  $q_B$ , exercent l'un sur l'autre des **actions** modélisées par des **forces** représentées par des vecteurs  $\vec{F}_{B/A}$  et  $\vec{F}_{A/B}$  qui ont même direction : l'axe (AB), même valeur :  $F_{B/A} = F_{A/B}$ , et dont l'orientation est opposée.

### b. Loi de Coulomb

► La **loi de Coulomb** permet de calculer la valeur de l'**intensité** d'une force électrique s'exerçant entre deux objets ponctuels chargés :

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

$F_{A/B}$  et  $F_{B/A}$  : norme de la force électrique en newtons (N)

$k$  : constante de Coulomb, ( $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$  dans l'air, **doc. 3**)

$q_A$  et  $q_B$  : charges portées par les objets A et B en coulombs (C)

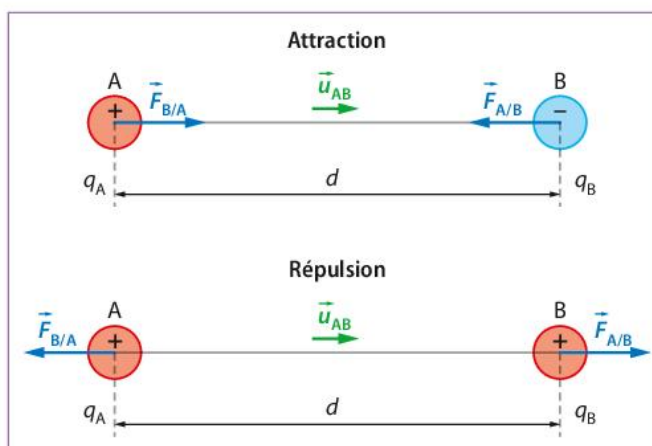
$d$  : distance séparant les objets ponctuels A et B en mètres (m)

► La norme de la force augmente quand la valeur absolue du produit des charges électriques portées par les deux objets augmente. Elle diminue quand la distance qui sépare les deux objets électrisés augmente.

► Les deux objets s'attirent lorsque leurs charges sont de signes opposés et ils se repoussent lorsque leurs charges sont de même signe. Leur orientation est donc opposée (**doc. 4**).

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

►  $\vec{u}_{AB}$  : vecteur unitaire orienté de A vers B, sa norme est égale à 1



Doc. 4. Représentation vectorielle.

### → Activité 2

## 4 Analogie entre les interactions gravitationnelle et électrostatique

	Caractéristique de la particule qui crée le champ	Schéma	Expression vectorielle	Norme
Interaction gravitationnelle	Masse $m$ (kg)		$\vec{F}_{A/B} = -G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$ $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$	$F_g = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2}$ <p> <math>F_g</math> : en newtons (N)  <math>G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}</math>  <math>m</math> : en kilogrammes (kg)  <math>d</math> : en mètres (m)                 </p>
Interaction électrostatique	Charge $q$ (C)	$q_A$ et $q_B$ de signes opposés 	$\vec{F}_{A/B} = k \times \frac{q_A \times q_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$ $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$	$F_e = k \times \frac{ q_A  \times  q_B }{d^2}$ <p> <math>F_e</math> : en newtons (N)  <math>k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}</math>  <math>q</math> : en Coulombs (C)  <math>d</math> : en mètres (m)                 </p>
		$q_A$ et $q_B$ de même signe 		

→ **Activité 2**

## B Champs gravitationnel et électrostatique

### 1 Notion de champ

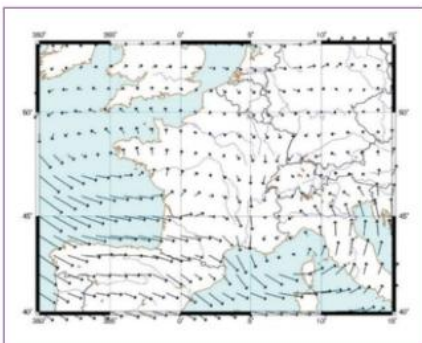
Un **champ** est une **grandeur physique** associée à **chaque point** de l'espace.

Un champ vectoriel est orienté. Il est défini par un vecteur (**doc. 5**).

### 2 Champ électrostatique et champ gravitationnel

Il règne un **champ de gravitation** noté  $\vec{G}$  en un point de l'espace si une **particule** de masse  $m$  placée en ce point est soumise à une force de gravitation  $\vec{F}_g$ .

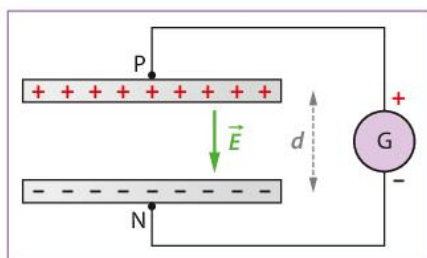
Il règne un **champ électrostatique** noté  $\vec{E}$  en un point de l'espace si une **particule** de charge électrique  $q$  placée en ce point est soumise à une force électrostatique  $\vec{F}_e$ .



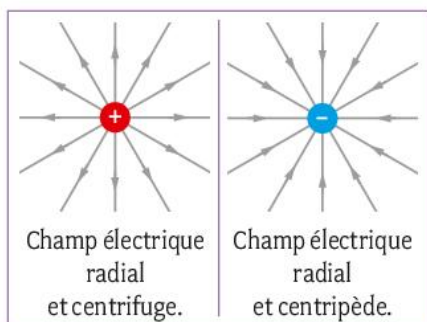
**Doc. 5.** Exemple de champ vectoriel : champ de la vitesse du vent.



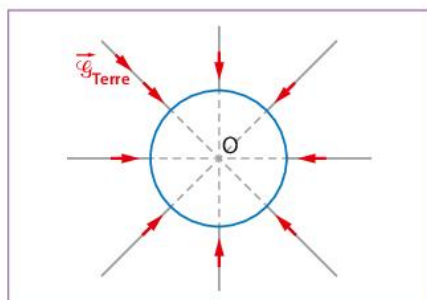
	Caractéristique de la particule qui crée le champ	Expression du champ	Direction	Sens	Valeur
Interaction gravitationnelle	Masse $m$ (kg)	$\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m}$	Même que $\vec{F}_g$	Même que $\vec{F}_g$	$g = \frac{F_g}{m}$ $g$ : en $N \cdot kg^{-1}$ $F_g$ : en newtons (N) $m$ : en kilogrammes (kg)
Interaction électrostatique	Charge $q$ (C)	$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$	Même que $\vec{F}_e$	si $q > 0$ : celui de $\vec{F}_e$ si $q < 0$ : opposé à celui de $\vec{F}_e$	$E = \frac{F_e}{ q }$ $E$ : en $N \cdot C^{-1}$ $F_e$ : en newtons (N) $q$ : en Coulombs (C)



Doc. 6. Champ créé entre deux plaques métalliques.



Doc. 7. Cartographie du champ électrique créé par une charge ponctuelle.



Doc. 8. Cartographie du champ de gravitation terrestre. Le champ est radial et centripète.

► Un champ uniforme  $\vec{E}$  peut être créé en appliquant une tension  $U$  entre deux plaques métalliques parallèles distantes de  $d$  (doc. 6).

La valeur du champ créé s'exprime par la relation :  $E = \frac{U}{d}$ .

L'unité du champ s'exprime donc aussi en  $V \cdot m^{-1}$ , cette unité est équivalente à des  $N \cdot C^{-1}$  (doc. 6).

→ Activité 3

### 3 Cartographier un champ

#### a. Définition

► **Cartographier** un champ consiste à déterminer les **caractéristiques** de ce champ **en plusieurs points** de l'espace et à en donner une **représentation** (docs 7 et 8).

Une **ligne de champ vectoriel** est une ligne **tangente** en chacun de ses points au **vecteur champ**. Elle est orientée par une flèche dans le même sens que celui du champ.

► Le champ est d'autant plus **intense** dans une région de l'espace que les **lignes de champ** y sont resserrées.

#### b. Champ électrique créé par une charge ponctuelle

Le champ est :

- **radial** et **centripète** pour une charge **négative** ;
- **radial** et **centrifuge** pour une charge **positive** (doc. 7).

#### c. Champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$

Au voisinage de la Terre, un objet est soumis à son poids  $\vec{P} = m \times \vec{g}$ .

Le champ **gravitationnel** peut alors être **assimilé** au champ de **pesanteur**

$\vec{g}$  de norme  $g = \frac{P}{m}$ , dont la direction est verticale par rapport

à la surface de la Terre, orienté vers le centre de la Terre (doc. 8).

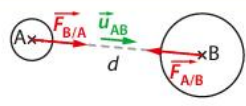
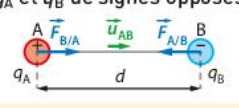
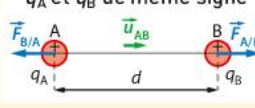
→ Activité 4

## Loi de Coulomb

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

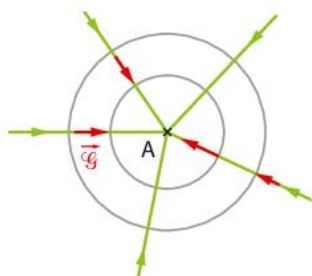
$F_{A/B}$  et  $F_{B/A}$  : norme de la force électrostatique (N)  
 $k$  : constante de Coulomb,  $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$   
 $q_A$  et  $q_B$  : charges portées par les objets A et B (C)  
 $d$  : distance séparant les objets ponctuels A et B (m)

## Champs et interactions gravitationnels et électrostatiques

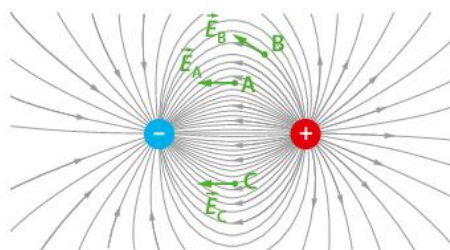
		Champ	Interactions
Gravitation	Caractéristique responsable :	$\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m}$	 $\vec{F}_{A/B} = -G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2} \vec{u}$ $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$ $F_g = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2}$
	la masse (kg)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Même direction que <math>\vec{F}_g</math></li> <li>Même sens que <math>\vec{F}_g</math></li> </ul> $N \cdot \text{kg}^{-1} \rightarrow \vec{g} = \frac{F_g}{m} \leftarrow \begin{matrix} N \\ \text{kg} \end{matrix}$	
Électrostatique	Caractéristique responsable :	$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$	$q_A$ et $q_B$ de signes opposés 
	la charge (C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Même direction que <math>\vec{F}_e</math></li> <li>Sens : si <math>q &gt; 0</math> : celui de <math>\vec{F}_e</math> si <math>q &lt; 0</math> : opposé à celui de <math>F_e</math></li> </ul> $N \cdot C^{-1} \text{ ou } V \cdot m^{-1} \rightarrow \vec{E} = \frac{F_e}{ q } \leftarrow \begin{matrix} N \\ C \end{matrix}$	$q_A$ et $q_B$ de même signe  $\vec{F}_{A/B} = k \times \frac{q_A \times q_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$ $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$ $F_e = k \times \frac{ q_A  \times  q_B }{d^2}$

## Cartographier un champ

Champ gravitationnel



Champ électrostatique



## Résoudre un exercice

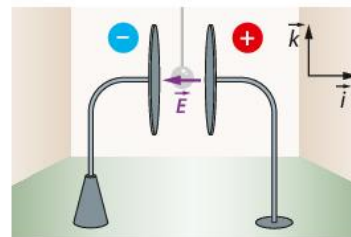
### Énoncé

Le carillon électrostatique est constitué d'un pendule de masse  $m = 2,5 \text{ g}$  qui oscille entre deux plaques de signes opposés, en touchant les plaques à chaque passage. Le champ électrostatique est uniforme et constant entre les plaques, orienté de la plaque positive vers la plaque négative et de valeur  $E = 50 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ .

### Données

- Masse de la Terre :  $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$ .
- Rayon de la Terre :  $R_T = 6371 \text{ km}$ .
- G constante de gravitation universelle  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ .
- $|q| = 50 \mu\text{C}$ .

1. Déterminer l'expression vectorielle puis la norme de la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur la boule.
2. En déduire l'expression vectorielle du champ gravitationnel subi par la boule et le représenter sur un schéma sans souci d'échelle.
3. Déterminer l'expression vectorielle du champ électrostatique  $\vec{E}$  qui existe entre les plaques et le représenter sur le même schéma.
4. En déduire l'expression vectorielle puis la valeur de la force d'interaction électrostatique subie par la boule.
5. Expliquer pourquoi la boule oscille.



### Conseils

1. S'aider d'un schéma pour repérer l'orientation des forces par rapport aux vecteurs unitaires.
2. Bien lire l'énoncé pour connaître l'orientation du champ  $\vec{E}$  et l'exprimer en fonction des vecteurs unitaires.

### Résolution

$$1. \vec{F}_g = -G \times \frac{m \times M_T}{R_T^2} \vec{k}$$

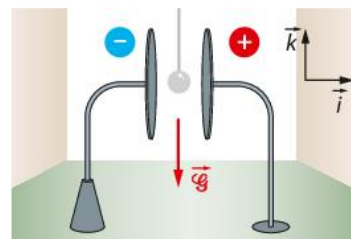
$$\text{d'où } F_g = G \times \frac{m \times M_T}{R_T^2} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$2. \vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m} = -G \times \frac{M_T}{R_T^2} \vec{k}$$

$$3. \vec{E} = -E\vec{i} \text{ avec } E = 50 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$4. \vec{F}_e = q \times \vec{E} = -q \times E\vec{i} \text{ d'où } F_e = |q| \times E = 2,5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

5.  $\vec{F}_e = -q \times E\vec{i}$ , or la charge de la boule change de signe à chaque fois qu'elle touche l'une des plaques, donc la force électrostatique fait osciller la boule.



→ Exercice 24 p. 205

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.

Interactions fondamentales et champs

Interactions électrostatiques et loi de Coulomb

14 - 23 - 24

Champs gravitationnel et électrostatique

18 - 29

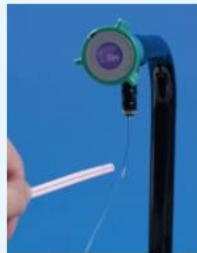
## Révision rapide

## QUIZ

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

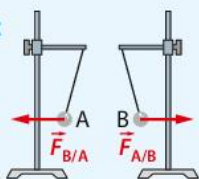
### 1 D'après la photo :

- A : la paille attire le filet d'eau.
- B : le filet d'eau attire la paille.
- C : la paille et le filet d'eau portent des charges de même signe.
- D : la paille et le filet d'eau portent des charges signes opposés.



### 2 Soit le schéma suivant où les deux boules chargées exercent une force électrostatique l'une sur l'autre :

- A : les boules ont des charges électriques de même signe.
- B : les boules sont de charges opposées.
- C : la boule A attire la boule B.
- D : la boule A repousse la boule B.



### 3 Soit deux charges A et B de mêmes valeurs q alors :

- A :  $F_{A/B} = k \frac{q^2}{d^2}$
- B :  $F_{B/A} = k \frac{q^2}{d^2}$
- C :  $\vec{F}_{A/B} = k \frac{q^2}{d^2}$
- D :  $\vec{F}_{B/A} = k \frac{q^2}{d^2}$

### 4 Soient un électron noté e et un proton noté p distants de $d = 1 \times 10^{-14}$ m :

- A :  $\vec{F}_{e/p} = -2,3 \times 10^{-2}$  N.
- B :  $F_{e/p} = -2,3 \times 10^{-2}$  N.
- C :  $\vec{F}_{e/p} = 2,3 \times 10^{-2}$  N.
- D :  $F_{p/e} = 2,3 \times 10^{-17}$  N.

### 5 Soit une charge électrique q subissant une force électrostatique $\vec{F}$ , le champ électrostatique noté $\vec{E}$ est tel que :

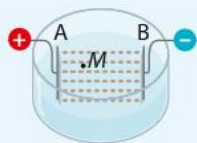
- A :  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q^2}$
- B :  $\vec{E} = \frac{F}{q}$
- C :  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$
- D :  $\vec{E} = q\vec{F}$

### 6 Soit une masse m subissant une force gravitationnelle $\vec{F}$ , le champ gravitationnel noté $\vec{g}$ est tel que :

- A :  $\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m^2}$
- B :  $\vec{g} = \frac{F}{m}$
- C :  $\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$
- D :  $\vec{g} = m\vec{F}$

### 7 En M le champ $\vec{E}$ est représenté :

- A : tangent aux lignes de champ, orienté dans du + vers le -.
- B : perpendiculaire aux lignes de champ orienté vers le haut.
- C : tangent aux lignes de champ, orienté dans du - vers le +.
- D : perpendiculaire aux lignes de champ orienté vers le bas.



### 8 La cartographie du champ gravitationnel $\vec{g}$ exercé par le Terre sur un objet placé à sa surface est :

- A :
- B :
- C :
- D :

## FOCUS MATHS

Un vecteur unitaire  $\vec{u}$  est un vecteur dont la norme est égale à 1 :  $\|\vec{u}\| = 1$ . Les vecteurs unitaires permettent de définir la direction et le sens d'un vecteur non nul.

Exemple :

$\vec{F}_1 = F_1 \cdot \vec{u}$  et  $\vec{F}_2 = -F_2 \cdot \vec{u}$   
avec  $\|\vec{F}_1\| = F_1$  et  $\|\vec{F}_2\| = F_2$



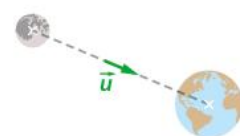
## Exercices d'application

### 9 Exercice résolu

La Lune de masse  $M_L$  est située à une distance  $d$  de la Terre de masse  $M_T$ . Ces deux corps s'attirent sous l'effet de leur masse.

1. Représenter les forces d'interaction gravitationnelles  $\vec{F}_{Lune/Terre}$  et  $\vec{F}_{Terre/Lune}$  sur le schéma sans souci d'échelle.

2. Exprimer  $\vec{F}_{Lune/Terre}$  et  $\vec{F}_{Terre/Lune}$  à l'aide des données de l'énoncé et du schéma.



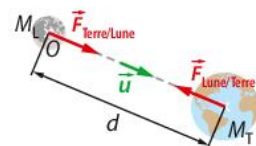
### Solution commentée

1. L'interaction gravitationnelle est attractive.

2.  $\vec{F}_{Terre/Lune} = \frac{G \times M_T \times M_L}{d^2} \vec{u}$  car

$\vec{F}_{Terre/Lune}$  est orienté dans le même sens que le vecteur unitaire  $\vec{u}$ .

$\vec{F}_{Lune/Terre} = -\frac{G \times M_T \times M_L}{d^2} \vec{u}$  car  $\vec{F}_{Lune/Terre}$  est orienté dans le sens opposé au vecteur unitaire  $\vec{u}$ .



### 10 Exercice d'application

Le schéma ci-contre représente deux électrons en interaction.



► Exprimer les forces électrostatiques exercées sur chaque électron :  $\vec{F}_{e1/e2}$  et  $\vec{F}_{e2/e1}$ .

**Données**

- Rayon de la Terre : 6 400 km.
- Masse de la Terre :  $5,97 \times 10^{24}$  kg.
- Constante universelle de gravitation :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ .
- Constante  $k$  de la loi de Coulomb dans l'air :  $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ .

**Entraînement****Interactions électrostatiques et loi de Coulomb**

**11** Un enfant frotte un ballon de baudruche sur son pull en laine puis l'approche près de ses cheveux.

► Décrire quel phénomène se produit et l'interpréter.



**12** Une baguette de verre chargée positivement est approchée d'un pendule chargé négativement.

► Faire un schéma de la situation et représenter la force électrostatique exercée par la baguette sur le pendule.

**13** Deux boules A et B en aluminium supposées ponctuelles possèdent des charges respectives :

$$q_A = -2,0 \times 10^2 \text{ nC} \text{ et } q_B = 6,0 \times 10^2 \text{ nC}.$$

La distance entre ces deux boules est  $d = 10$  cm.

**1.** Calculer la valeur de la force électrostatique exercée par la boule A sur la boule B.

**2.** Donner le sens attractif ou répulsif de l'interaction exercée entre les deux boules. Justifier.

**14** Aide p. 204 Le noyau d'un atome est composé de protons qui présentent une charge  $e = 1,60 \times 10^{-19}$  C, et de neutrons non chargés.

À l'intérieur du noyau, deux protons supposés ponctuels éloignés de la distance  $d = 2,32 \times 10^{-6}$  nm ont une masse  $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$  kg.

**1.** Exprimer puis calculer la valeur de la force d'interaction gravitationnelle  $\vec{F}_g$  qui s'exerce entre ces deux protons.

**2.** Calculer la valeur de la force d'interaction électrostatique  $\vec{F}_e$  qui s'exerce entre ces deux protons.

**3.** Calculer le rapport des valeurs de ces deux forces. En déduire la force prédominante.

**4.** Expliquer pourquoi l'interaction prédominante n'explique pas la cohésion du noyau.

**En binôme : évaluation croisée**

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**15** Dans un microscope électronique à balayage (MEB) les images sont obtenues grâce à l'interaction d'un faisceau d'électrons avec la matière observée.

Les électrons sont accélérés dans un champ électrique de valeur :

$$E = 10\,000 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}.$$

**Données**

- Masse d'un électron :  $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$  kg.
- Charge électrique d'un électron :  $q = -1,6 \times 10^{-19}$  C.

**1.** Donner l'expression de la valeur du champ de gravitation puis calculer la force d'interaction gravitationnelle subie par l'électron.

**2.** Donner l'expression puis calculer la valeur de la force électrostatique agissant sur l'électron.

**3.** Comparer ces deux forces et préciser laquelle des deux peut être négligée à l'échelle de l'électron.

**Critères d'évaluation**

- et **2** L'expression littérale est précisée. L'application numérique est correcte. Les grandeurs sont bien converties dans les unités du système international.
- La comparaison des intensités des deux forces est réalisée à l'aide d'un quotient.

**16** Deux ballons de baudruche identiques de masse  $m = 9,0$  g, distants de 1,5 m, ont été frottés avec un pull en laine et portent chacun une charge  $q = 5,3$  nC.



**1.** Donner l'expression de l'intensité du champ de gravitation puis calculer la force d'interaction gravitationnelle subie par chacun des ballons.

**2.** Donner l'expression puis calculer l'intensité de la force électrostatique agissant sur chaque ballon. Préciser si cette interaction est attractive ou répulsive.

**3.** Comparer ces deux forces.

**Critères d'évaluation**

- et **2** L'expression littérale est précisée. L'application numérique est correcte. Les grandeurs sont bien converties dans les unités du système international.
- La comparaison des intensités des deux forces est réalisée à l'aide d'un quotient.

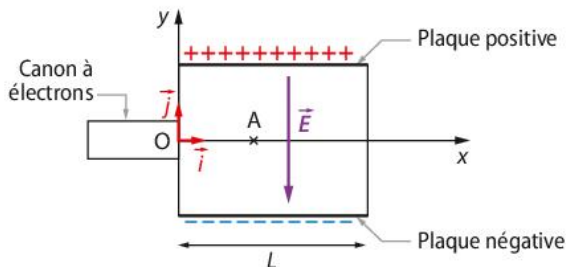
## Champs gravitationnel et électrostatique

**17** Une application de smartphone indique la valeur du champ de pesanteur local  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

- Donner l'expression de l'intensité de la force gravitationnelle exercée par la Terre sur un objet de masse  $m$  situé à sa surface.
- En déduire l'expression de l'intensité du champ gravitationnel  $\mathcal{G}$  créé par la Terre sur la masse  $m$ .
- Déterminer sa valeur et comparer à la valeur du champ de pesanteur local donné par le smartphone. Conclure.

**18** Aide p. 204 Dans un microscope électronique, un canon à électrons crée un faisceau d'électrons qui sera envoyé sur l'échantillon à analyser.

### Doc. 1 Canon à électrons



- Donner l'expression de la force d'interaction électrostatique exercée sur un électron circulant entre les plaques.
- Représenter cette force au point A sans souci d'échelle.

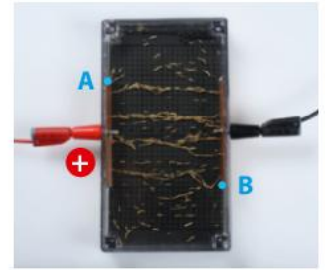
**19**



Lors d'une animation scientifique, une élève est placée sur un support conducteur chargé positivement, isolé du sol. Elle reçoit par le biais du support, une tension électrique de 200 000 V.

► Faire un schéma de la situation et représenter le champ  $\vec{E}$  et les lignes de champs au niveau des cheveux de l'élève.

**20** Soient deux plaques électriques séparées d'une distance  $d = 10 \text{ cm}$  dans une cuve contenant de l'huile (isolant électrique) et des grains de semoule, les grains s'orientent comme le montre la photo ci-contre.



Une tension  $U = 6 \text{ V}$  est appliquée aux bornes des deux plaques.

**Donnée.** Expression de la valeur du champ  $E$  entre les plaques :  $E = \frac{U}{d}$ .

- Donner les caractéristiques du champ  $\vec{E}$  créé entre les plaques.
- Schématiser le champ  $\vec{E}$  au point A et au point B.
- Décrire l'évolution du champ  $\vec{E}$  lorsque  $d$  diminue, et lorsque la tension  $U$  aux bornes des plaques augmente.

**21** Voici deux expériences.

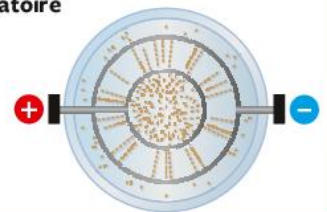
### Doc. 1 Expérience 1

Lors d'une animation scientifique, deux élèves sont placées sur un support conducteur isolé du sol et enfermées dans une cage conductrice.



### Doc. 2 Expérience au laboratoire

Deux lames circulaires conductrices sont placées dans de l'huile contenant des graines.



- Recopier le schéma du doc. 2 et représenter le champ  $\vec{E}$ .
- Par analogie avec l'expérience du doc. 2, expliquer pourquoi les élèves du doc. 1 ne sont pas en danger.

### Différenciation

Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 14

La valeur d'une force est toujours positive.

Calculer  $\frac{F_e}{F_g}$  puis mettre sous la forme  $F_e = k \times F_g$ .

#### Aide pour l'exercice 18

Exprimer la force électrostatique en fonction du champ  $\vec{E}$ .

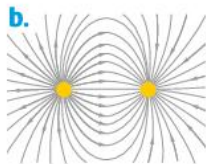
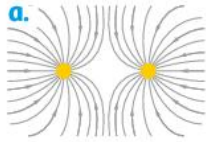


## Synthèse

### 22 Doublet de charges

→ Analyser, communiquer

On a représenté ci-contre le champ électrique d'un doublet de charges pour deux charges de signes opposés et pour deux charges de même signe.



- Déterminer quel schéma correspond à des charges de même signe.
- Déterminer l'expression des champs électriques créés par la charge positive  $+q$  puis par la charge négative  $-q$ .
- Décrire l'évolution de la valeur du champ électrique avec la distance. Indiquer comment retrouver cette propriété sur la cartographie des deux champs.
- En supposant que le champ réel subi par un objet se trouvant entre les deux charges est la somme des champs créés par les deux charges, donner les caractéristiques du champ subi par un objet situé au milieu entre les deux charges pour chaque situation.

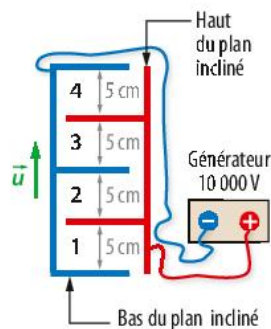
### 23 Aide p. 206 Accélérateur électrostatique

→ Analyser, réaliser

Sur Terre, la force électrostatique peut faire monter sur un plan incliné une balle légère et chargée.

#### Doc. 1 Schéma expérimental, vue de dessus

La balle ( $m = 5 \text{ g}$ ) recouverte d'aluminium est introduite au milieu de la zone 1 (en bas selon l'inclinaison du dispositif) avec une charge  $q = -90 \mu\text{C}$ . Lorsqu'elle entre en contact avec un matériau chargé, elle acquiert une charge du même signe que lui.



#### Doc. 2 Tension électrique et champ électrostatique

Entre deux armatures portant des charges opposées, il règne une tension  $U$  et un champ électrostatique orienté de l'armature positive vers l'armature négative.

- Déterminer l'expression vectorielle du champ gravitationnel à la surface de la Terre et justifier qu'il est possible de considérer ce champ comme uniforme lorsqu'on réalise l'expérience du **doc. 1**.
- Calculer la valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur la balle.

- Calculer la valeur du champ électrique puis le représenter sans souci d'échelle pour chacune des portions de la trajectoire numérotées de 1 à 4.
- En déduire la direction et le sens de la force électrostatique subie par une boule qui se déplace de la zone 1 à la zone 4.
- Justifier le mouvement ascendant de la boule.

Bonus

### 24 Carillon de café électrostatique

→ Analyser, communiquer

Deux sphères conductrices distantes de  $d = 50 \text{ cm}$ , sont reliées à un générateur haute tension délivrant  $U = 5 \text{ kV}$ . Un paquet de café en aluminium de masse  $m = 100 \text{ g}$  est suspendu entre les deux sphères. Le champ électrique est uniforme et constant, orienté de la sphère positive vers la sphère négative, et de valeur  $E = \frac{U}{d}$ .

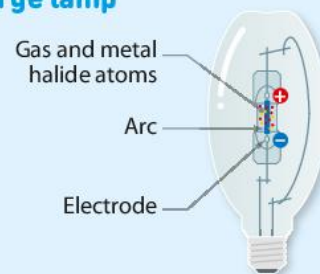
Bonus vidéo

- Schématiser la situation et déterminer les caractéristiques du champ électrostatique qui existe entre les sphères.
- En déduire l'expression vectorielle de la force d'interaction électrostatique subie par le paquet de café.
- Préciser ce qu'il se produit lorsque le paquet entre en contact avec la sphère négative et justifier le nom de carillon électrostatique donné à ce dispositif.



En anglais

### 25 Discharge lamp



Discharge lamps can be found in many classrooms. A high electrical field is produced by two electrodes. This field removes electrons from the gas atoms, creating positive ions. Collisions between electrons will create light. The two electrodes are flat and are separated by a distance of  $d$ . The field is perpendicular to the electrodes and is aligned from the positive pole towards the negative one.



#### Vocabulaire :

- To remove : arracher

- Draw the two electrodes and the electrical field.
- Explain which electrode attracts positive ions and which one attracts electrons.

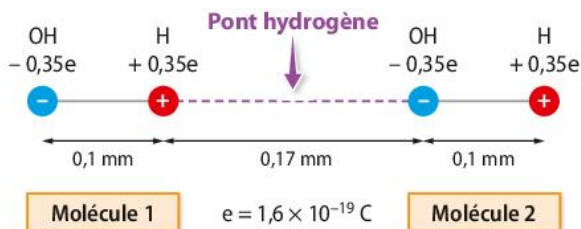
## 26 Aide p. 206 Pont hydrogène

→ Analyser, réaliser

Le pont hydrogène est une interaction électrostatique attractive établie entre un atome d'hydrogène lié à un atome très électronégatif et un atome électronégatif comme l'oxygène ou l'azote. Les ponts hydrogène qui s'établissent dans la glace ont une longueur de 170 pm. Le pont hydrogène peut être modélisé par une interaction entre quatre charges.

### Doc. 1 Modélisation du pont hydrogène dans la glace

Les interactions au sein de chaque molécule ne seront pas étudiées dans cet exercice.



### Doc. 2 L'énergie pour vaincre une interaction

Afin de vaincre une interaction électrostatique, il faut fournir une énergie  $E$  telle que :  $E = F_e \times d$ . Avec  $F_e$  la force d'interaction électrostatique s'exerçant entre les deux charges et  $d$  la distance séparant les deux charges.

1. Reproduire le schéma du doc. 1 avec les charges A, B, C et D. Représenter les huit forces électrostatiques exercées par chaque charge d'une molécule sur celles de l'autre molécule.
2. Déterminer la valeur de chacune de ces forces.
3. En déduire les expressions puis les valeurs des forces d'interaction globale exercées par une molécule sur l'autre.
4. Calculer l'énergie nécessaire pour rompre l'interaction (pont hydrogène) entre les deux molécules.

## 27 Champ gravitationnel terrestre

→ Analyser, réaliser, communiquer

La valeur du champ gravitationnel terrestre subi par un objet de masse  $m$ , dépend de l'altitude  $h$  à laquelle il se trouve au-dessus de la surface de la Terre.

### Données

- Altitude de l'Everest : 8 848 m.
- Altitude géostationnaire : 36 000 km.

1. Donner l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle subie par l'objet en fonction d'un vecteur unitaire dont on précisera les caractéristiques.
2. En déduire l'expression vectorielle du champ gravitationnel.
3. Déterminer la valeur du champ de gravitation à la surface de l'océan, en haut de l'Everest, à l'altitude géostationnaire et à 100 000 km d'altitude.

4. Représenter le champ gravitationnel créé par la Terre à ces quatre altitudes autour de la Terre en respectant l'échelle  $1 \text{ cm} \leftrightarrow 3 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

5. Justifier qu'il est possible de considérer le champ gravitationnel comme uniforme à la surface de la Terre.

## 28 DEFI Le four à micro-onde

→ Analyser

C'est en 1945 que fut inventé le four à micro-ondes. Son principe repose sur le chauffage de l'eau contenue dans les aliments grâce à des ondes électromagnétiques créant un champ  $\vec{E}$ .

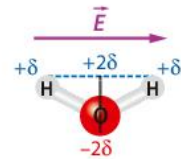
### Doc. 1 Couple de forces

Un couple tend à mettre en rotation un système.



### Doc. 2 Molécule d'eau

La molécule d'eau peut être assimilée à deux charges distinctes de valeurs opposées ( $2\delta$  et  $-2\delta$ ) formant un dipôle.



Une molécule est placée dans un champ  $\vec{E}$  créé par le four.

1. Schématiser la molécule d'eau par un dipôle et représenter les forces  $\vec{F}_{e+}$  et  $\vec{F}_{e-}$ .
2. À l'aide du doc. 1, expliquer pourquoi la molécule d'eau tourne sur elle-même.
3. Le champ électrique  $\vec{E}$  oscille à une fréquence de 2,45 GHz. Expliquer comment les molécules d'eau permettent une élévation de température.

## Différenciation

Aides aux exercices

### Aide pour l'exercice 23

3. Lire le doc. 2 pour trouver le sens du champ  $\vec{E}$  dans chaque zone.
4. Le sens de la force dépend du signe de la charge de la boule qui change à chaque fois qu'elle rencontre une armature.

### Aide pour l'exercice 26

1. Orienter les forces électrostatiques en fonction du signe des charges en interaction.
3. Additionner vectoriellement chaque force exercée par la molécule 2 sur la molécule 1 pour obtenir le vecteur force globale  $\vec{F}_{2/1}$ .
4.  $\|\vec{F}_{2/1}\| = \|\vec{F}_{1/2}\| = F_e$ .





## Problèmes

### 29 Soulever un morceau de papier

#### Doc. 1 Le ballon électrostatique

En frottant un ballon de baudruche avec les cheveux, on le charge en électricité statique.

Lorsqu'on l'approche des morceaux de papier, ceux-ci se chargent légèrement et il se crée une force dite électrostatique. Les deux objets, morceau de papier et ballon, s'attirent.

Pour permettre de soulever les morceaux de papier il faut approcher le ballon à une distance de 5 mm du papier.

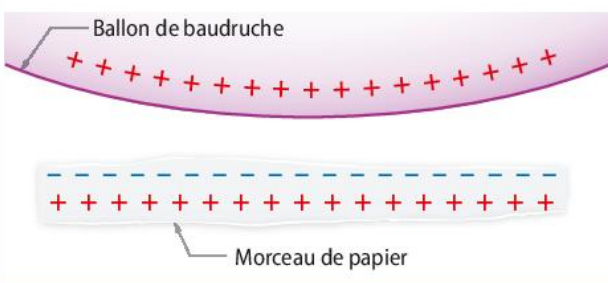


#### Doc. 2 Électrisation par influence

Le papier n'est pas chargé mais le fait d'approcher une source chargée a tendance à le polariser.

D'infimes migrations de particules chargées (les électrons essentiellement) ont lieu vers la face opposée au ballon.

La feuille se retrouve alors avec une face de charge opposée à celle du ballon : elle est donc attirée par le ballon.



#### Données

- Charge d'un proton :  $q_p = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .
  - Charge d'un électron :  $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .
- Déterminer le nombre d'électrons qu'il faut arracher au ballon pour soulever un morceau de papier de 10 mg.

#### Différenciation

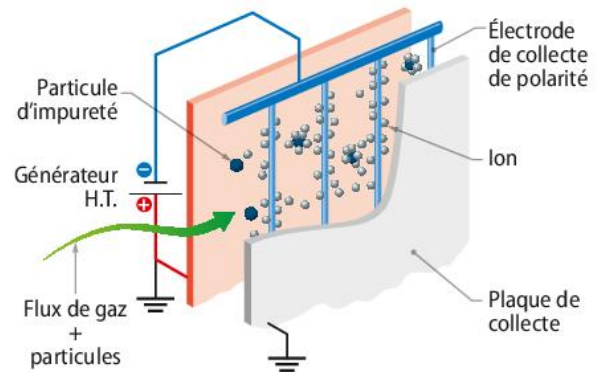
Apprendre à résoudre 29

1. Faire le bilan des forces exercées sur le papier et s'aider d'un schéma.
2. Exprimer le lien entre la valeur de ces forces pour soulever le papier.

### 30 DÉFI Purificateur d'air

Les purificateurs d'air, ou précipitateurs électrostatiques, utilisent la force de Coulomb pour éliminer les impuretés, ou particules en suspension d'un gaz. Ils permettent en général de retirer de l'ordre de 99 % des particules.

#### Doc. 1 Principe de fonctionnement



Le flux de gaz passe proche d'électrodes chargées à une haute tension négative et les particules contenues dans ce flux se chargent naturellement négativement. Elles se déplacent alors sous l'effet du champ électrique vers des électrodes de collecte de polarité opposée. Pour que la collecte fonctionne il faut que la particule respecte au minimum les paramètres suivants.

$$\text{Rapport charge sur masse : } \frac{q}{m} = 10^{-3}.$$

$$\text{Rapport force sur masse : } \frac{F}{m} = 600.$$

#### Doc. 2 Particules fines

Certaines industries émettent des polluants atmosphériques sous la forme de microparticules de carbone avec une masse volumique de  $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Les particules PM<sub>5</sub>, dont la taille est inférieure ou égale à 5  $\mu\text{m}$  peuvent se loger dans les voies respiratoires.

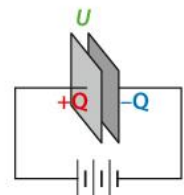
#### Doc. 3 Condensateur

Lorsque les particules se déplacent entre les deux électrodes de charges opposées on dit qu'elles se trouvent dans un condensateur. La valeur de la charge des électrodes d'un condensateur est donnée par :  $|q| = C \times U$

$U$  : tension d'alimentation

$C$  : capacité du condensateur en farads (F)

Le condensateur utilisé a une capacité de 5,6  $\mu\text{F}$  et les électrodes sont distantes de 50 mm.



- Déterminer la tension qu'il faut appliquer entre les électrodes pour que les particules soient collectées.

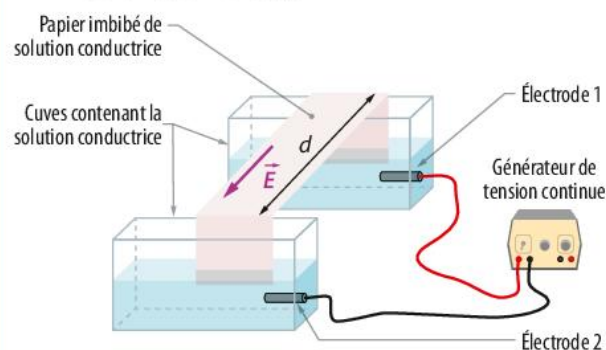
## 31 Électrophorèse

Tout comme la chromatographie, l'électrophorèse est une technique de séparation et de caractérisation d'espèces chimiques.

Un mélange est soumis à un champ électrique  $\vec{E}$  supposé uniforme. La séparation repose sur les différences de charge électrique et de taille des constituants du mélange, qui sont considérés immobiles avant que la tension ne soit appliquée.

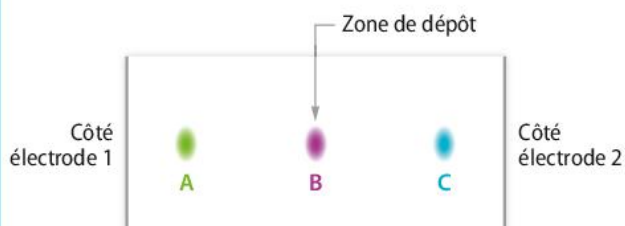
Dans un mélange, trois protéines :  $\text{GLY}^{+-}$ ,  $\text{LYS}^{++-}$ ,  $\text{ASP}^{+--}$  doivent être séparées.

### Doc. 1 Schéma du montage



### Doc. 2 Résultats sur la feuille de papier

Chaque tache correspond à une des protéines.



► Associer à chaque tache du **doc. 2** une protéine, en justifiant votre démarche.

## Objectif BAC

## 32 Débris géostationnaires tractés à distance

L'altitude géostationnaire est très recherchée (on y place notamment tous les satellites de télécommunication et ceux d'observation). La place y est donc limitée et chère. Environ 1 200 objets y sont catalogués mais seuls 400 d'entre eux sont en fonctionnement. Les autres sont appelés « débris ». L'idée la plus prometteuse pour nettoyer cette orbite n'est pas de faire retomber ces objets sur la Terre mais de les repousser vers des orbites situées 200 ou 300 km au-dessus.



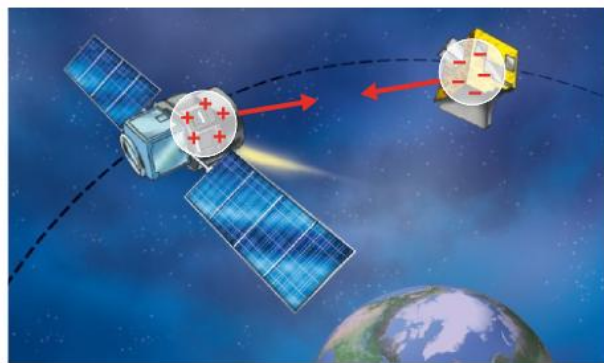
**Bonus**

### Doc. 1 Méthode de remorquage d'un débris

Pour remorquer un débris satellitaire, on utiliserait un satellite remorqueur qui chargerait le débris à l'aide d'un canon à électrons afin qu'il soit attiré par le remorqueur ayant perdu des électrons.

Le remorqueur l'entraînerait ensuite hors de son orbite, à l'aide de ses propres moteurs.

On estime qu'il faudrait positionner le remorqueur 20 m devant le débris et qu'une force de 3 millinewtons serait suffisante pour lui faire changer d'orbite en une dizaine de jours.



### Doc. 2 Débit du canon à électrons

Le débit du canon à électrons correspond au nombre d'électrons transférés par seconde du remorqueur au débris.

**Donnée.** Charge élémentaire :  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

1. Justifier que la force sera attractive.
2. Déterminer quel devrait être le débit du canon à électrons afin de communiquer au débris considéré dans le **doc. 1** une charge suffisante pour que le remorquage puisse se faire en une heure.



VIDÉO présentation du chapitre

# Description d'un fluide au repos

*Comment expliquer le comportement d'un fluide au repos ?*

## Objectifs

Décrire un gaz à l'échelle macroscopique et microscopique

➡ Activité 1 p. 210

Utiliser la loi de Mariotte

➡ Activité 2 p. 211

Caractériser la force pressante

➡ Activité 3 p. 212

Tester la loi de la statique des fluides

➡ Activité 4 p. 213

La connaissance des lois physiques sur les fluides permet de dimensionner la structure d'un barrage.

## Mettre en œuvre un protocole

### 1 Décrire un gaz à l'échelle macroscopique et microscopique

Lors d'un jeu scientifique, l'animateur présente une expérience mystérieuse : une bouteille en verre contenant un œuf dur. Le diamètre de l'œuf est plus grand que le diamètre du goulot de la bouteille...

Comment faire rentrer un œuf dans une bouteille ?

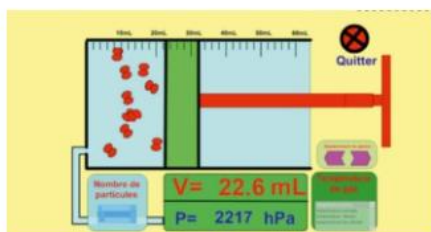
Doc. 1 Un œuf dur dans un erlenmeyer



#### Matériel disponible

Cloche à vide • Ballon de baudruche • Pressiomètre  
• Ballon en verre avec bouchon traversé d'un tube.

Doc. 2 Description d'un gaz



L'animation proposée sur le site <http://sciences-physiques.ac-dijon.fr> permet de visualiser les particules d'un gaz lorsqu'il est comprimé. Lorsqu'on diminue le volume disponible, les particules ne se déforment pas, leur nombre reste identique. Les particules de gaz sont en mouvement permanent.

Doc. 3 Expérience 1 : effet de la température sur la pression

- 1 Relier un ballon à un pressiomètre.
- 2 Chauffer le ballon en le tenant avec les mains.
- 3 Observer l'évolution de la pression dans le ballon.



Doc. 4 Expérience 2 : effet d'une diminution de la pression extérieure

- 1 Placer un ballon de baudruche modérément gonflé sous une cloche à vide.
- 2 Diminuer la pression dans la cloche à vide.
- 3 Observer l'évolution du volume du ballon.



#### Mise en œuvre

→ S'approprier, analyser

→ Analyser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Valider

- 1 À l'aide de l'animation présentée dans le doc. 2, expliquer l'origine de la pression qu'un gaz exerce sur une paroi.
- 2 Réaliser l'expérience 1. Préciser l'effet de la température sur le mouvement des particules constituant un gaz. Justifier.
- 3 Réaliser l'expérience 2. Expliquer l'évolution du volume du ballon.
- 4 Indiquer sur quel paramètre il faut jouer pour faire rentrer l'œuf dans la bouteille.
- 5 Lister les grandeurs macroscopiques utiles pour expliquer le comportement des gaz.

DIFFÉRENCIATION : ➔ Bonus (doc. 1) ➔ Animation (doc. 2)

## 2 Utiliser la loi de Mariotte

Lors d'une plongée sous-marine, la pression de l'air issu de la bouteille que respire le plongeur est d'autant plus grande que la profondeur de plongée est importante.

Comment varie le volume d'air disponible pour un plongeur en fonction de la profondeur ?

### Doc. 1 Compression et détente d'un gaz

Lors de la compression d'un gaz, sa température augmente et lors de la détente d'un gaz, sa température diminue. Ces variations de température sont d'autant plus marquées que ces opérations sont rapides. Du givre peut apparaître sur des conduites dans lesquelles un gaz se détend rapidement.



### Doc. 2 Loi de Mariotte

À quantité de matière égale et à température constante, la pression d'un gaz et le volume qu'il occupe vérifient la relation :

$$P \times V = \text{Constante}$$

### Matériel disponible

Seringue graduée reliée à un capteur de pression piloté par un microcontrôleur.

### Doc. 3 Instructions Arduino (a.) et Python (b.) pour effectuer et exploiter les mesures

a. Pour travailler entre 0 et 1,1 V, on utilise la commande :

```
analogReference(INTERNAL);
```

b. Pour établir une communication avec le microcontrôleur il faut importer la librairie serial :

```
import serial
```

Pour chaque nouveau volume saisi au clavier, il faut associer la valeur communiquée par le microcontrôleur :

```
serie = serial.Serial(port=' ', baudrate = 9600)
serie.readline()
valeur = float(serie.readline())
serie.close()
```

Le nom du port laissé vide ci-dessus est à compléter, il est indiqué dans le logiciel du microcontrôleur.

### Démarche expérimentale

→ Analyser

→ Analyser, réaliser

→ Réaliser

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ S'approprier, analyser

1 À l'aide du matériel disponible, proposer un protocole qui permet de vérifier la loi de Mariotte.

2 À l'aide du doc. 3 et de la notice du capteur, établir l'expression permettant de calculer la pression dans la seringue à partir de la valeur renvoyée par le microcontrôleur.

3 À l'aide du doc. 3, écrire un programme pour remplir un tableau, en saisissant le volume d'air dans la seringue et en enregistrant la pression à partir de la valeur associée renvoyée par le microcontrôleur.

4 Après validation, mettre en œuvre le protocole et indiquer comment évolue le volume en fonction de la pression.

5 Comparer le volume d'air disponible depuis une bouteille de plongée à la surface de l'eau par rapport au volume d'air disponible à 20 m de profondeur où la pression est trois fois plus forte qu'en surface.

6 Indiquer les grandeurs à placer en abscisses et en ordonnées pour vérifier facilement la loi de Mariotte. Compléter le programme pour réaliser cette représentation graphique dans EduPython.

### 3

## Caractériser la force pressante

Une expérience facilement réalisable consiste à faire tenir de l'eau dans un verre retourné simplement à l'aide d'une feuille de papier.

**Pourquoi l'eau retenue par une feuille de papier dans un verre retourné ne tombe-t-elle pas ?**

#### Doc. 1 Direction et sens de la force pressante

De l'eau colorée contenue dans une sphère percée est comprimée à l'aide d'une seringue.



#### Doc. 2 Montage expérimental

Relever la pression de l'air dans la seringue avant et après avoir posé une masse marquée sur son piston de surface  $S = 1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ .



#### Matériel disponible

Seringue reliée à un pressiomètre • Différentes masses marquées.

#### Mise en œuvre

→ S'approprier

→ S'approprier, réaliser

→ Réaliser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Valider

- 1 En exploitant le doc. 1, donner la direction et le sens de la force pressante  $\vec{F}$  exercée par un fluide sur une surface.
- 2 Mettre en œuvre l'expérience décrite dans le doc. 2 et expliquer l'immobilité du système {piston} par un bilan de forces pour les deux situations (avec et sans masse). Recommencer l'expérience pour différentes valeurs de masses marquées. Pour chaque cas, calculer la pression  $p$  (en pascals) de l'air de la seringue correspondant à la valeur  $F$  de la force exercée par la masse sur le piston.
- 3 Calculer le rapport  $\frac{F}{p}$  pour chaque mesure. Calculer la moyenne et l'écart-type expérimental  $s_{n-1}$  et l'incertitude type  $u\left(\frac{F}{p}\right)$ . Écrire le résultat en tenant compte de l'incertitude. Comparer le résultat à la valeur de la surface  $S$  du piston donnée dans le doc. 2. → Fiche 13 p. 362
- 4 Sachant que la capacité d'un verre est d'environ 200 mL et que la surface de sa partie supérieure est d'environ  $20 \text{ cm}^2$ , justifier quantitativement pourquoi l'eau du verre ne tombe pas.
- 5 Donner les caractéristiques (direction, sens et norme) de la force pressante exercée par un fluide sur une surface.

Concevoir un protocole

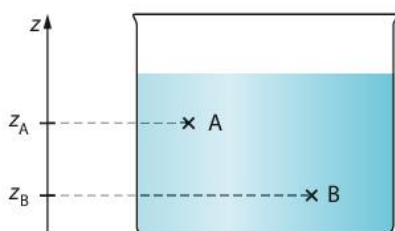
# 4 Tester la loi de la statique des fluides

Dans *L'Odysée d'Astérix*, un guide dit à Obélix que la mer Morte est six fois plus salée que les autres mers.

Comment comparer la salinité de deux eaux de mer ?

Doc. 1 Loi de la statique des fluides

La différence de pression entre deux points A et B d'un fluide à l'équilibre dépend de l'altitude des points A et B et de la masse volumique du fluide selon la relation suivante :



$$p_B - p_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$$

$p_A$  et  $p_B$  : pression aux points A et B en pascals (Pa)  
 $g$  : intensité de la pesanteur  $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$   
 $z_A$  et  $z_B$  : altitudes des points A et B (en m)  
 $\rho$  : masse volumique du fluide (en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

Matériel disponible

Pressiomètre équipé d'un tube souple • Éprouvette graduée de 250 mL • Règle • Eaux de différentes salinités.

Doc. 3 Dispositif expérimental



Doc. 2 Masse volumique et concentration en sel

La masse volumique  $\rho$  (en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) d'une solution d'eau salée dépend de sa concentration  $C$  (en  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) en sel par la relation suivante :

$$\rho = 1\,000 + 6,42 \times 10^{-1} \times C$$

Démarche expérimentale

→ Analyser

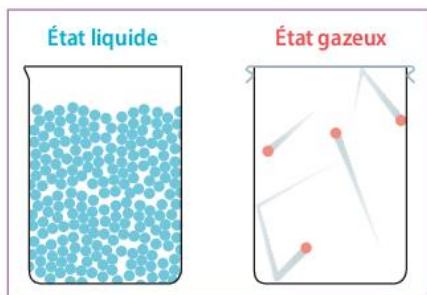
→ S'approprier, réaliser, communiquer

Conclusion

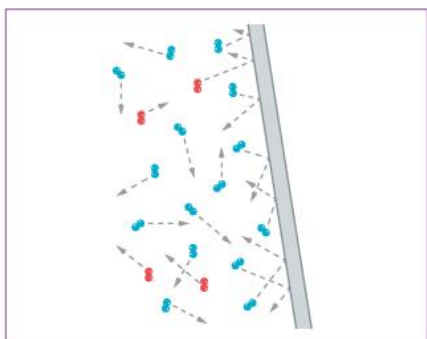
De l'activité au cours

→ Analyser

- 1 Proposer un protocole permettant de déterminer la concentration en sel d'une eau de mer avec le maximum de précision.
- 2 Après validation, mettre en œuvre le protocole sur une des eaux de mer proposées. Conclure.
- 3 En analysant les résultats obtenus par les différents groupes, déterminer si la mer Morte est bien six fois plus salée que les autres eaux de mers.
- 4 Vérifier l'homogénéité des unités de la relation de la statique de fluides.



Doc. 1. L'état liquide et l'état gazeux.



Doc. 3. La pression est due aux chocs des molécules contre les parois.

L'unité de pression du système international est le pascal (Pa), mais on utilise également le bar (bar) et l'hectopascal (hPa) :

$$1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1\,000 \text{ hPa}$$

$$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa} \approx 1 \text{ bar}$$

Doc. 4. Les unités de la pression.

#### Histoire

C'est en 1676, que Edme Mariotte, physicien et botaniste français énonce une loi qui décrit le comportement de la pression et du volume d'un gaz et qui portera son nom.

## A Description d'un fluide

### 1 Définition

- ▶ Un fluide est un corps susceptible de **s'écouler**. Il est déformable et n'a **pas de forme propre** ; il prend la forme du récipient qui le contient.
- ▶ Un fluide correspond donc principalement à l'état **liquide** et à l'état **gazeux**.

### 2 Description microscopique

- ▶ À l'état **liquide**, les **particules sont proches** les unes des autres et peuvent **facilement se déplacer** les unes par rapport aux autres (doc. 1).
- ▶ À l'état **gazeux**, les **particules sont éloignées** les unes des autres et en **mouvement désordonné** les unes par rapport aux autres (doc. 1).

→ Cycle 4

### 3 Description macroscopique

- ▶ Il est impossible de connaître le comportement de chaque particule constituant un fluide.
- ▶ Pour décrire un fluide, des **grandeurs macroscopiques** sont utilisées, elles sont en lien avec sa nature microscopique.

#### a. La masse volumique $\rho$

La masse volumique, notée  $\rho$  (rho), est liée au **nombre de particules par unité de volume**. Elle s'exprime en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Ainsi, la masse volumique des liquides est supérieure à celle des gaz.

Quelques masses volumiques de gaz ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )		Quelques masses volumiques de liquides ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	
Air 0 °C	1,293	Eau 20 °C	1 000
Air 20 °C	1,204	Éthanol 20 °C	789
Hélium 0 °C	0,178	Glycérine 20 °C	1 260

Doc. 2. Exemples de masses volumiques.

#### b. La température $T$

La température, notée  $T$ , est une grandeur liée à l'**agitation des particules**. Elle s'exprime en kelvins (K) :  $T \text{ (en K)} = \theta \text{ (en } ^\circ\text{C)} + 273,15$ .

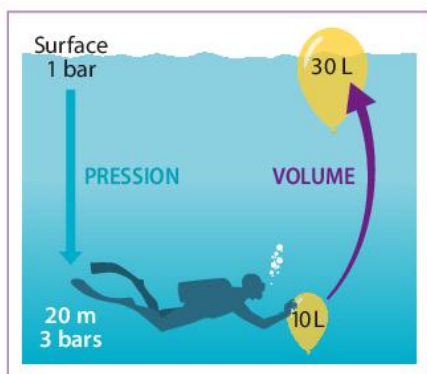
Plus la température est élevée, plus les particules sont agitées.

#### c. La pression $p$

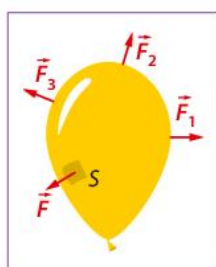
La pression, notée  $p$ , est définie en tout point du fluide et traduit la **poussée** qu'il exerce sur la paroi (docs 3 et 4). La pression est due aux chocs des molécules du fluide contre les parois du récipient.

→ Activité 1





Doc. 5. Le volume augmente quand la pression diminue.

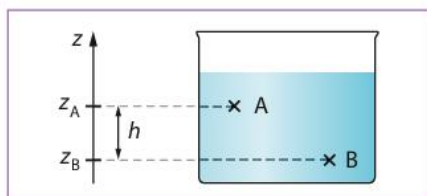


Doc. 6. La force pressante est perpendiculaire à la paroi.

Une pression de 1 Pa correspond à une force de 1 N exercée sur 1 m<sup>2</sup> :  
 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ .

La pression atmosphérique correspond à la force exercée par une masse de 10 t sur une vitre de 1 m<sup>2</sup> !

Doc. 7. La pression atmosphérique.



Doc. 8. La pression en B est supérieure à la pression en A.



Doc. 9. La pression est plus forte au fond de la bouteille que proche de la surface.

## B Loi de Mariotte

À température constante et pour une quantité de matière de gaz donnée, le produit de la pression  $p$  par le volume  $V$  d'un gaz est constant :

$$p \times V = \text{Constante}$$

Cela signifie que, dans ces conditions, la pression  $p$  d'un gaz est inversement proportionnelle à son volume  $V$  (doc. 5).



$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$$

Avec  $p_1$  et  $p_2$  exprimées dans la même unité  
 Et  $V_1$  et  $V_2$  exprimés dans la même unité

→ Activité 2

## C Force pressante

Un fluide exerce une **force pressante** sur toute paroi avec laquelle il est en contact. Cette force est toujours **perpendiculaire** à cette paroi et dirigée du fluide vers l'extérieur (docs 6 et 7).

Par définition, la norme de la force pressante est donnée par la relation :

$$F = p \times S \quad \text{ou} \quad p = \frac{F}{S}$$

$F$  : norme de la force pressante en newtons (N)

$p$  : pression du fluide en pascals (Pa)

$S$  : surface de la paroi en mètres carrés (m<sup>2</sup>)

→ Activité 3

## D Loi fondamentale de la statique des fluides

Dans un fluide incompressible et au repos, la différence de pression entre deux points A et B du fluide est donnée par la relation (docs 8 et 9) :

$$p_B - p_A = \rho \times g \times (z_A - z_B) \quad \text{ou} \quad \Delta p = \rho \times g \times h$$

$p_A$  et  $p_B$  : pressions aux points A et B en pascals (Pa)

$\rho$  : masse volumique du fluide en kilogrammes par mètre cube (kg·m<sup>-3</sup>)

$g$  : intensité de la pesanteur en newtons par kilogramme (N·kg<sup>-1</sup>)

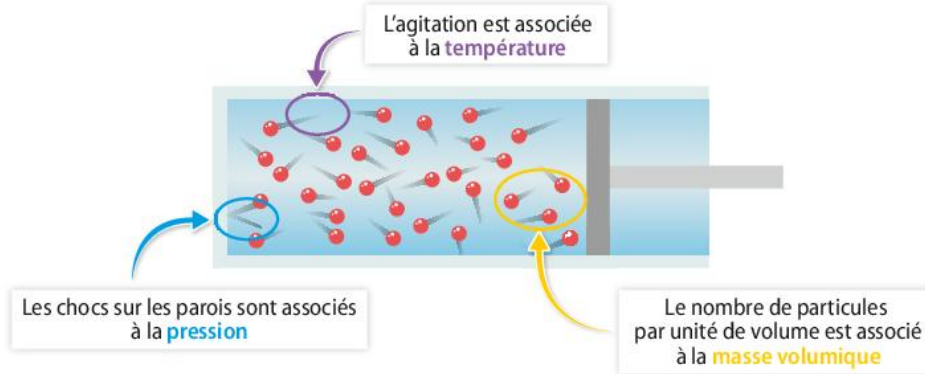
$z_A$  et  $z_B$  : altitudes des points A et B en mètres (m)

$\Delta p = |p_B - p_A|$

$h = |z_A - z_B|$

→ Activité 4

## Description d'un fluide



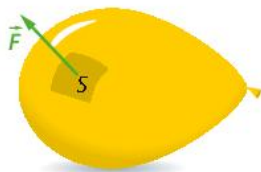
## Loi de Mariotte

À **température constante** et pour une **quantité de matière de gaz donnée**, le produit de la pression  $p$  par le volume  $V$  d'un gaz est constant :



$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$$

## Force pressante



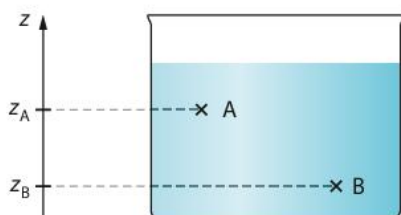
Valeur de la force pressante en newtons (N)

$$F = p \times S$$

← Surface de la paroi en mètres carrés (m<sup>2</sup>)

Pression du fluide en pascals (Pa)

## Loi fondamentale de la statistique des fluides



$$p_B - p_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$$

$p_A$  et  $p_B$  : pressions aux points A et B (Pa)  
 $\rho$  : masse volumique du fluide (kg · m<sup>-3</sup>)  
 $g$  : intensité de la pesanteur (N · kg<sup>-1</sup>)  
 $z_A$  et  $z_B$  : altitudes des points A et B (m)

## Résoudre un exercice

### Énoncé

Depuis 1998, la station spatiale internationale (ISS) est en orbite à 408 km de la Terre. Elle est au-dessus de l'atmosphère, la pression extérieure est donc nulle alors que la pression intérieure est maintenue à 1 013 hPa.

La Cupola de l'ISS est un ensemble de hublots permettant aux astronautes d'observer la Terre avec une vue panoramique.

1. Calculer la valeur de la force exercée par l'air intérieur sur le hublot circulaire central de la cupola dont le diamètre est de 80 cm.
2. Schématiser le hublot puis représenter cette force par un vecteur.



### Conseils

1. • Ne pas confondre rayon et diamètre dans le calcul de la surface.  
• Exprimer la surface en  $m^2$ .  
• Faire une phrase de conclusion.
2. • Choisir une échelle adaptée pour représenter la force.  
• Il est préférable de schématiser le hublot de profil.

### Résolution

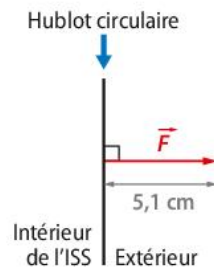
1. La norme de la force pressante  $F$  correspond au produit de la pression par la valeur de la surface pressée :  $F = p \times S$ .  
Avec  $p = 1\,013\text{ hPa} = 101\,300\text{ Pa}$   
 $= 1,013 \times 10^5\text{ Pa}$ .

$$\text{Et } S = \pi R^2 = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \times \left(\frac{80 \times 10^{-2}}{2}\right)^2 = 0,50\text{ m}^2.$$

$$\text{D'où } F = 1,013 \times 10^5 \times 0,50 = 5,1 \times 10^4\text{ N.}$$

La norme de la force pressante est donc de  $5,1 \times 10^4\text{ N}$ .

2. Pour représenter cette force, il faut définir une échelle ; par exemple, 1 cm pour  $1,0 \times 10^4\text{ N}$ .  
On représente donc cette force par un vecteur de longueur **5,1 cm**.



→ Exercice 18 p. 219

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ



Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

**1** L'agitation des molécules est associée à :

- A : la pression.                      B : la température.  
C : la masse volumique.          D : la viscosité.

**2** L'unité de pression du système international est :

- A : l'hectopascal.                      B : le millimètre de mercure.  
C : le pascal.                              D : le bar.

**3** À température et quantité de matière constantes, si la pression diminue :

- A : la masse volumique augmente.  
B : la masse volumique diminue.  
C : le volume augmente.  
D : le volume diminue.

**4** À température constante et pour une même quantité de gaz, on a :

- A :  $p \times T = \text{cste}$ .                      B :  $p \times T^2 = \text{cste}$ .  
C :  $p \times V^2 = \text{cste}$ .                      D :  $p \times V = \text{cste}$ .

**5** La relation reliant la valeur  $F$  de la force pressante, la surface pressée  $S$  et la pression  $p$  est :

- A :  $p = F \times S$ .      B :  $F = p \times S$ .      C :  $p = \frac{F}{S}$ .      D :  $F = \frac{p}{S}$ .

**6** La valeur de la force pressante exercée sur une surface  $S$  est :

- A : proportionnelle à la pression.  
B : indépendante de la pression.  
C : inversement proportionnelle à la pression.  
D : proportionnelle à la pression au carré.

**7** La loi de la statique de fluides s'écrit

$p_B - p_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$  alors :

- A :  $p = \frac{p_A - p_B}{g \times (z_A - z_B)}$                       B :  $p = \frac{g \times (z_A - z_B)}{p_B - p_A}$   
C :  $z_A = z_B - \frac{p_B - p_A}{\rho \times g}$                       D :  $z_A = z_B + \frac{p_B - p_A}{\rho \times g}$

**8** La pression dans un fluide :

- A : est d'autant plus grande que l'altitude est petite.  
B : est d'autant plus grande que l'altitude est grande.  
C : ne dépend pas de l'altitude.  
D : dépend de la masse volumique du fluide.

## FOCUS MATHS

### Transformation d'une formule

Pour calculer un terme de la loi fondamentale de la statique des fluides, par exemple  $z_B$ , il faut l'isoler :

$$\begin{aligned} p_B - p_A &= \rho \times g \times (z_A - z_B) \\ \Leftrightarrow p_B - p_A &= \rho \times g \times z_A - \rho \times g \times z_B \\ \Leftrightarrow p_B - p_A + \rho \times g \times z_B &= \rho \times g \times z_A \\ \Leftrightarrow \rho \times g \times z_B &= \rho \times g \times z_A - (p_B - p_A) \\ \Leftrightarrow z_B &= \frac{\rho \times g \times z_A - (p_B - p_A)}{\rho \times g} \\ \Leftrightarrow z_B &= z_A - \frac{p_B - p_A}{\rho \times g} \end{aligned}$$

### Application à la physique

#### 9 Exercice résolu

Données

- $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ .
- $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- $\rho = 1\,030 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

► Calculer à quelle profondeur dans la mer, la pression est de 3,7 bar, sachant que la pression à la surface de l'eau est de 1,0 bar.

#### Solution commentée

Soit A, un point à la surface de l'eau et B un point, dans la mer, où la pression est de 3,7 bar.

On applique la loi fondamentale de la statique des fluides :

$$p_B - p_A = \rho \times g \times (z_A - z_B) \Leftrightarrow z_B = z_A - \frac{p_B - p_A}{\rho \times g}$$

A est un point à la surface de l'eau, d'où  $z_A = 0$

$p_A = 1,0 \text{ bar} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$  et  $p_B = 3,7 \text{ bar} = 3,7 \times 10^5 \text{ Pa}$

$$z_B = 0 - \frac{3,7 \times 10^5 - 1,0 \times 10^5}{1\,030 \times 9,8} \approx -27 \text{ m}$$

La pression est donc de 3,7 bar à 27 m de profondeur dans la mer.

#### 10 Exercice d'application

Données

- $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- Pression atmosphérique :  $10^5 \text{ Pa}$ .

► Calculer la pression maximale dans la mer Morte sachant que sa profondeur maximale est de 360 m et que sa masse volumique est de  $1\,240 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

**Données**

- $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- $p_{\text{atm}} = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ .

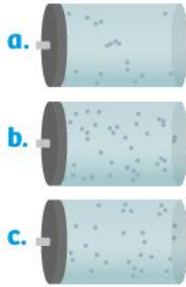
## Entraînement

### Description d'un fluide

**11** Aide p. 220 Le schéma ci-contre représente trois échantillons de gaz.

1. Associer les schémas (a), (b) et (c) aux trois situations suivantes : (gaz ;  $20^\circ\text{C}$  ; 1 bar), (gaz ;  $20^\circ\text{C}$  ; 1,5 bar) et (gaz ;  $20^\circ\text{C}$  ; 2 bar).

2. Comparer la masse volumique de ces trois échantillons de gaz. Justifier.

**12** Exercice inversé

Chaque phrase suivante est une réponse. Proposer une ou des questions appropriées à la réponse donnée.

1. C'est un corps capable de s'écouler facilement et qui prend la forme du récipient qui le contient.
2. Elle est plus grande pour les liquides que pour les gaz car les particules sont plus rapprochées.
3. Elle est associée à l'agitation des particules.
4. Elle est de  $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

### Loi de Mariotte

**13** On appuie sur le piston d'une seringue reliée à un pressiomètre.



► Calculer la pression de l'air dans la seringue à l'issue de la compression en considérant que la température est restée constante.

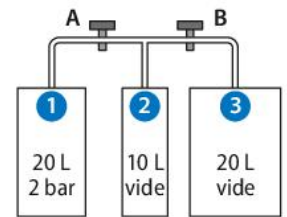
**14** Un plongeur équipé d'une bouteille est à 10 m de profondeur. La pression de l'air dans ses poumons est alors de 2,0 bars. Avant d'entamer la remontée, le plongeur remplit ses poumons d'air ; leur volume est alors de 6,0 L.

1. Calculer le volume qu'occuperait la même quantité d'air à la pression de 1,0 bar, la température étant supposée constante.
2. Indiquer le risque auquel s'expose le plongeur lors de la remontée. Comment peut-il l'éviter ?

**15** On souhaite déterminer la pression à l'intérieur d'un ballon. On branche un capteur MPX2200 sur un microcontrôleur. On obtient une valeur de 32 dans le logiciel de microcontrôleur en utilisant la branche A0 pour laquelle une valeur de 1023 correspond à 1,1 V.

1. Déterminer la tension  $U$  aux bornes du capteur.
2. La notice du constructeur indique la relation suivante  $\frac{U}{P} = 0,20 \text{ mV} \cdot \text{kPa}^{-1}$ . Déterminer la pression  $p$  dans le ballon.
3. Expliquer comment évolue la valeur indiquée par le logiciel si on appuie sur le ballon.

**16** Aide p. 220 Trois compartiments de volumes différents sont reliés par des tuyaux, qui peuvent être ouverts ou fermés à l'aide de robinets. Initialement, les robinets A et B sont fermés.



On suppose que la température reste constante dans tout l'exercice et on néglige le volume des tuyaux.

1. On ouvre le robinet A. Très rapidement, la pression dans les bouteilles 1 et 2 devient identique. Calculer la valeur de cette pression.
2. On ouvre le robinet B. Calculer alors la pression dans les bouteilles 1, 2 et 3. Justifier

### Force pressante

**17** Aide p. 220 Une pompe à vélo gonfle un pneu.

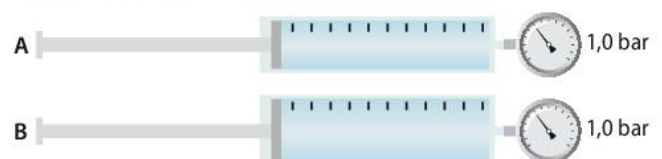


► Calculer la force minimum qu'il faut appliquer sur la poignée A pour gonfler un pneu à la pression de 7,0 bar, sachant que la surface du piston B est de  $3,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ .

**18** La valeur de la force exercée par l'air extérieur sur le hublot d'un avion en vol est de 2 400 N.

1. Représenter cette force par un vecteur sur un schéma.
2. Calculer la pression de l'air extérieur sachant que la surface du hublot est de  $600 \text{ cm}^2$ .

**19** Deux seringues A et B de taille différente sont reliées chacune à un pressiomètre.



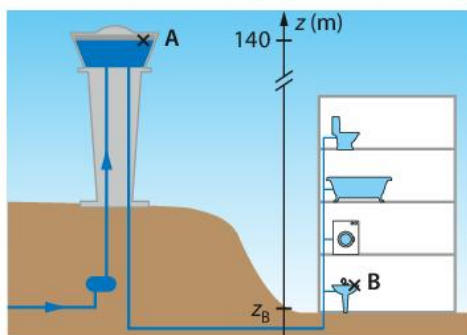
► Déterminer quelle est la seringue la plus facile à comprimer. Justifier.

## Loi fondamentale de la statique des fluides

### En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**20** Un château d'eau est un grand réservoir d'eau surélevé qui permet l'alimentation de la population en eau potable.



Donnée.  $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

- En appliquant la loi fondamentale de la statique des fluides, déterminer la valeur de l'altitude  $z_B$  sachant que la surpression du point B par rapport au point A est  $p_B - p_A = 3,2 \text{ bar}$ .
- D'après le schéma, indiquer si la pression de l'eau dans les toilettes est supérieure ou inférieure à celle au point B. Justifier qualitativement à partir de la loi fondamentale de la statique des fluides.

### Critères d'évaluation

- La variation de pression est convertie en pascals. L'altitude  $z_B$  est exprimée littéralement en fonction des autres paramètres.
- L'interprétation qualitative de la loi fondamentale de la statique des fluides est correcte.

**21** Un plongeur se trouve dans la mer de telle manière que son tympan B soit situé à une profondeur de 10 m par rapport à la surface de la mer A ( $z_A = 0$ ).

Donnée.  $\rho_{\text{mer}} = 1\,030 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

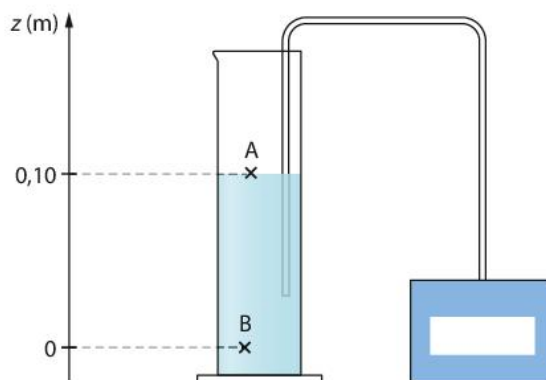
- Schématiser la situation en représentant le niveau de la mer A, le tympan du plongeur B, les altitudes  $z_A$  et  $z_B$ .
- En appliquant la loi fondamentale de la statique des fluides, calculer la valeur de la pression de l'eau  $p_B$  au niveau de son tympan.

### Critères d'évaluation

- Le schéma est complet et convenablement annoté.
- La pression  $p_B$  est exprimée littéralement en fonction des autres paramètres.

**22** Aide p. 220 On cherche à déterminer la nature du liquide contenu dans une éprouvette.

Pour cela, la différence de pression entre les points A et B, est mesurée :  $p_B - p_A = 774 \text{ Pa}$ .



- Déterminer la masse volumique du liquide inconnu en appliquant la loi fondamentale de la statique des fluides.
- Identifier ce liquide parmi les quatre présents dans le tableau suivant.

Liquide	Masse volumique ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )
Eau	1 000
Tétrachlorure de carbone	1 590
Alcool	790
Glycérine	1 250
Mercure	1 360
Essence	690
Huile d'olive	920

### Différenciation

#### Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 11

La pression est associée au nombre de chocs des particules sur les parois.

#### Aide pour l'exercice 16

Après l'ouverture du robinet A, le gaz se répartit dans les deux bouteilles 1 et 2. Il occupe donc un volume de 30 L.

#### Aide pour l'exercice 17

La force qu'il faut appliquer au minimum doit avoir la même valeur que la force pressante due au gaz contenu dans le pneu sur le piston.

#### Aide pour l'exercice 22

Lors de l'application de la loi fondamentale de la statique des fluides, il faut faire attention aux signes et à l'ordre des différents termes :

$$p_B - p_A = \rho \times g \times (z_A - z_B).$$



## Synthèse

### 23 Autonomie d'une plongée

→ S'approprier, analyser

Un plongeur dispose d'une bouteille d'air comprimé de 15 L à 230 bar et compte faire une plongée à 35 m de profondeur. À la sortie de la bouteille, un détendeur régule la pression à la pression environnante du plongeur.



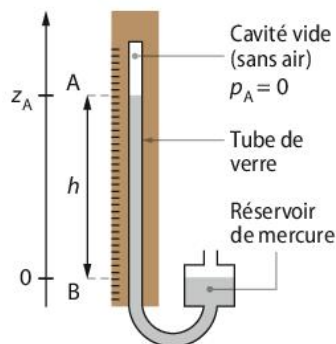
Donnée.  $\rho_{\text{eau de mer}} = 1\,030 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

1. Calculer la pression de l'eau à cette profondeur.
2. Déterminer combien de temps il peut respirer à l'aide de sa bouteille à cette profondeur sachant qu'il consomme 15 L par minute.
3. Déterminer combien de temps il aurait pu respirer avec sa bouteille s'il était resté en surface.
4. Comment évolue l'autonomie du plongeur avec la profondeur de plongée ?

### 24 Le baromètre de Torricelli

→ S'approprier, analyser

Un baromètre est un appareil qui permet de mesurer la pression atmosphérique. Evangelista Torricelli a mis au point en 1643 un baromètre qui contient une colonne de mercure (schéma de principe ci-contre).

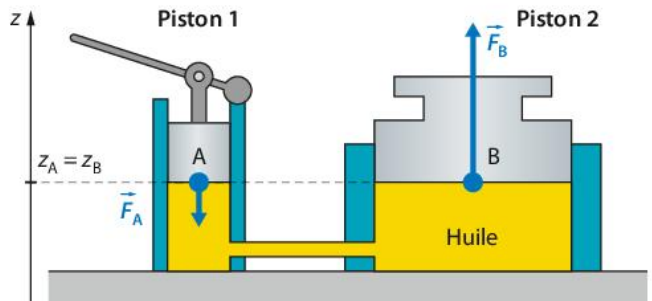


1. Calculer l'altitude  $z_A$  du point A lorsque la pression atmosphérique est normale ( $p_B = 1\,013 \text{ hPa}$ ), sachant que la masse volumique du mercure est de  $13\,500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . En déduire la valeur de  $h$ .
2. Est-il commode de réaliser un baromètre similaire en remplaçant le mercure par de l'eau dont la masse volumique est de  $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ? Justifier.

### 25 Un cric hydraulique

→ S'approprier, analyser

Un cric est un dispositif qui permet de soulever une charge lourde (piston 2) en actionnant un levier à la main. Une force de norme  $F_A = 100 \text{ N}$  est exercée sur le piston 1 dont le diamètre est de 8,0 mm. Le piston 2 a un diamètre de 120 mm.



Donnée.  $\rho_{\text{huile}} = 800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

1. Déterminer la pression de l'huile au point A.
2. Déterminer la pression de l'huile au point B. Justifier.
3. En déduire la norme de la force  $F_B$  et expliquer l'intérêt du dispositif.



En anglais

### 26 Record of depth

On March 2012, the movie director James Cameron piloted the submersible Deepsea Challenger in a solo dive and reached the deepest point on Earth located at 10 998 m under water.

The exploration succeeded in collecting images, videos, and data from the seafloor.



Data.  $\rho_{\text{sea}} = 1\,030 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

1. Calculate the water pressure at 10 998 m deep.
2. Deduce the force exerted at this depth by water on  $10 \text{ cm}^2$  of the submersible surface.
3. Calculate the mass that would provide a similar weight at  $p_{\text{atm}}$ .

### 27 Ballon de foot

→ S'approprier, analyser

L'indication «  $0,7 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$  » inscrite sur le ballon correspond à la surpression préconisée par rapport à la pression atmosphérique.

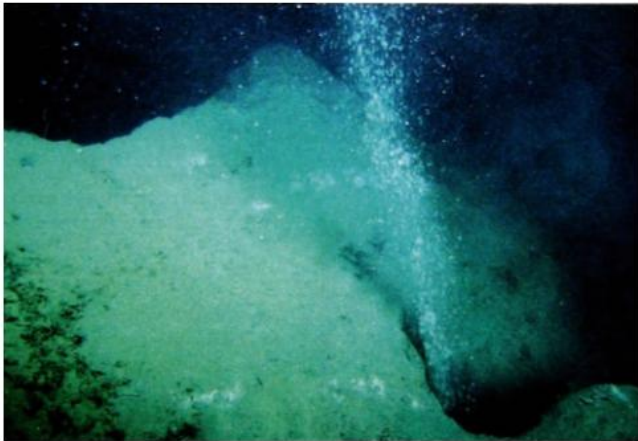
- Donner la pression en bars correspondante.



## 28 Aide p. 222 Hydrate de méthane

→ Analyser

Les hydrates de méthane sont des composés organiques présents naturellement dans certains fonds marins. Lors de leur décomposition, il y a formation de bulles de méthane gazeux.



Une bulle de méthane de 0,5 mm de diamètre se forme à 400 m de profondeur.

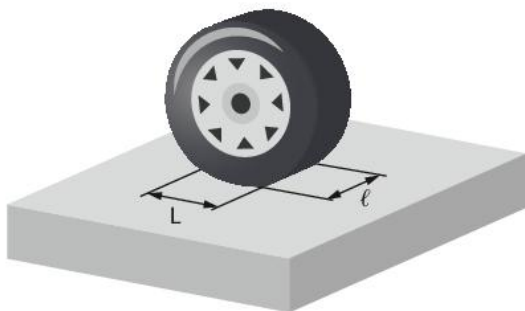
**Donnée.**  $\rho_{\text{eau de mer}} = 1\,030 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

► Calculer la valeur de son diamètre 200 m plus haut, si on considère la température constante.

## 29 Pneu

→ S'approprier, analyser

Une voiture de masse 1 300 kg est chaussée de pneus dont la largeur de contact avec le sol est de  $\ell = 205 \text{ mm}$ .



1. En considérant que la masse de la voiture est équitablement répartie sur les 4 roues, montrer que la valeur de la force exercée par chaque roue sur le sol est de 3 200 N.

2. Le pneu est gonflé à la pression préconisée par le constructeur.

Calculer cette pression sachant que la longueur de l'empreinte du pneu au sol est  $L = 5,0 \text{ cm}$ .

3. Le pneu est maintenant sous-gonflé, la pression de l'air dans le pneu est de 2,5 bar.

Calculer alors la longueur de l'empreinte du pneu sur le sol.

## 30 Étude de la loi de Mariotte avec Python

→ Analyser, réaliser

Arthur veut utiliser Python pour tracer la courbe  $p$  en fonction de  $\frac{1}{V}$  afin de vérifier la loi de Mariotte. Il a noté ses résultats expérimentaux rapidement sur une feuille.

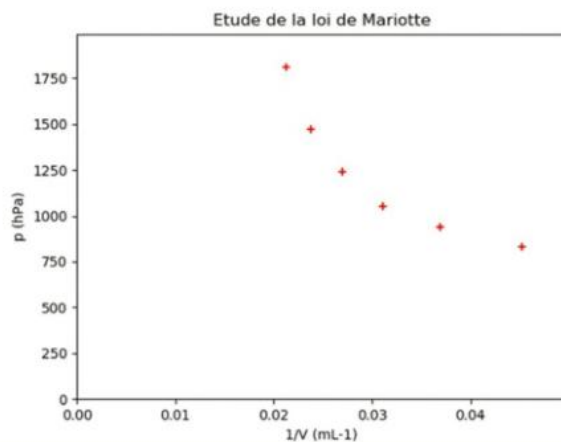
### Doc. 1 Notes prises par Arthur

$V$  variant de 5 mL en 5 mL de 22,1 à 47,1 mL.  
 $p$  en hPa : 830, 940, 1 050, 1 240, 1 470, 1 810

### Doc. 2 Programme écrit par Arthur

```
from matplotlib import pyplot
pression = [830, 940, 1050, 1240, 1470, 1810]
volume = [22.1, 27.1, 32.1, 37.1, 42.1, 47.1]
invVolume = []
pyplot.ylabel("p (hPa)")
pyplot.xlabel("1/V (mL-1)")
pyplot.title("Etude de la loi de Mariotte")
for i in range(0,6):
    invVolume.append(1/volume[i])
pyplot.scatter(invVolume, pression, color =
'red', marker = '+')
pyplot.show()
```

### Doc. 3 Représentation graphique obtenue



1. Indiquer le nom de l'appareil permettant de mesurer une pression.
2. Expliquer comment évolue la pression quand le volume augmente.
3. Indiquer l'allure de la courbe qu'Arthur s'attend à obtenir.
4. Expliquer l'erreur commise par Arthur.

### Différenciation

Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 28

Calculer les pressions de l'eau à 400 m et à 200 m de profondeur en utilisant la loi fondamentale de la statique des fluides avant d'appliquer la loi de Mariotte.





## Problèmes

### 31 Perfusion

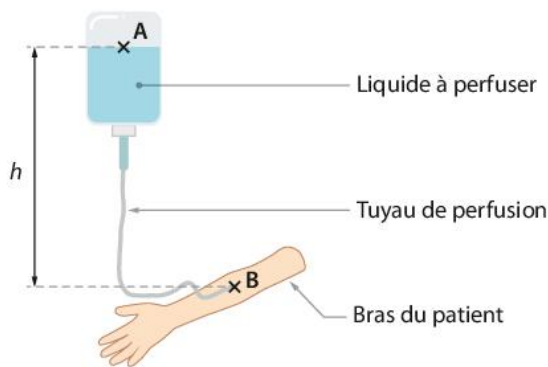
#### Doc.1 La pression artérielle

La pression artérielle est la différence entre la pression que le sang exerce sur les parois des artères et la pression atmosphérique.

Elle s'exprime en « cm de mercure » :  
1 cm de mercure = 1 333 Pa.

La pression systolique (autour de 12 cm de mercure) correspond à la contraction des ventricules et la pression diastolique (autour de 7 cm de mercure) correspond au relâchement du cœur.

#### Doc.2 Perfusion artérielle



Donnée.  $\rho_{\text{sang}} = 1\,060 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

► Déterminer à quelle hauteur minimale  $h$  on doit placer la poche pour réussir une perfusion artérielle sur un patient dont la pression systolique est de 14 cm de mercure.

#### Différenciation

Apprendre à résoudre 31

- Justifier que la pression en B doit correspondre au minimum à la pression systolique.
- Exprimer la pression systolique en pascals (Pa).
- Appliquer la loi de l'hydrostatique pour calculer la hauteur  $h$ .

### 32 Ascension de la sève dans les arbres

#### Doc.1 Caractéristiques de la sève d'érable

Pour simplifier, la sève d'érable peut être considérée comme étant une solution aqueuse de saccharose ( $M = 342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) à  $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  de caractéristiques :

masse volumique :  $\rho = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;

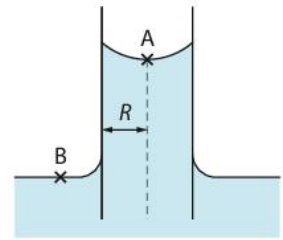
coefficient de tension superficielle :  $\gamma = 70 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ .

#### Doc.2 Ascension capillaire

Lorsqu'un tube fin est plongé dans un liquide mouillant comme de l'eau, le niveau du liquide dans le tube est supérieur à celui du liquide dans le récipient en raison d'une variation de pression  $\Delta p = p_B - p_A$  donnée par la loi de Laplace :

$$p_B - p_A = \frac{2\gamma}{R}$$

avec  $R$  le rayon du tube en mètre,  $\gamma$  le coefficient de tension superficielle en  $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$  et  $p_A$  et  $p_B$  les pressions en A et B en pascals.

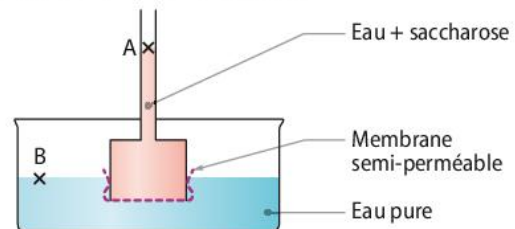


#### Doc.3 Pression osmotique

Une différence de pression existe entre deux liquides séparés par une membrane semi-perméable (qui laisse passer l'eau mais pas les espèces chimiques dissoutes). Pour le cas présenté sur le schéma ci-dessous, cette différence de pression est donnée par la relation :

$$p_B - p_A = 2,44 \times 10^6 \times \frac{C}{M}$$

avec  $C$  la concentration en masse de saccharose en  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $M$  la masse molaire du saccharose en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  et  $p_A$  et  $p_B$  les pressions en A et B en pascals.



1. En appliquant la loi fondamentale de la statique des fluides et en exploitant les docs 1 et 2, déterminer la hauteur à laquelle la sève peut monter par capillarité dans des canaux de rayon  $r = 25 \mu\text{m}$ .
2. En appliquant la loi fondamentale de la statique des fluides et en exploitant les docs 1 et 3, déterminer la hauteur à laquelle la sève peut monter par osmose.
3. Indiquer si les phénomènes de capillarité et d'osmose permettent d'expliquer la montée de la sève dans des arbres de hauteur supérieure à 30 m.

#### Différenciation

Apprendre à résoudre 32

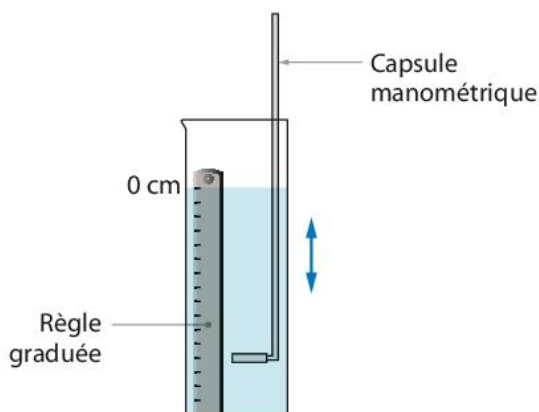
- Faire le lien entre la relation fondamentale de l'hydrostatique et les relations des docs 2 et 3.
- Attention aux unités utilisées.

## 33 Limites du microcontrôleur

Flavie et Samir étudient l'évolution de la pression en fonction de la profondeur.

Ils réalisent l'expérience décrite ci-dessous et consignent leur série de mesures dans un tableau.

Doc 1. Schéma de l'expérience



Doc 2. Tableau de mesures

$x$ (cm)	$p$ (hPa)
0	1 009
1	1 010
2	1 011
3	1 012
4	1 013
5	1 014
6	1 015
7	1 016
8	1 017
9	1 018
10	1 019

Doc 3. Caractéristiques du capteur et du microcontrôleur

Relation entre  $p$  et  $U$  pour le capteur choisi :

$$p = \frac{U - 20}{0,03}$$

avec  $p$  en hPa et  $U$  en mV.

Tension maximale aux bornes des sorties du microcontrôleur : 1,1 V.

Valeurs entières aux bornes du microcontrôleur allant de 0 à 1 023.

► En calculant quelques valeurs, expliquer pourquoi il est impossible de réaliser cette série de mesures avec le capteur et le microcontrôleur décrits.

## Objectif BAC

### 34 Gonflage d'un ballon de basket

Lors des compétitions, un ballon de basket doit être gonflé à une pression d'environ  $P_{\text{ballon}} = 1,55$  bar.

Un ballon de basket féminin de diamètre  $D = 23$  cm est gonflé à l'aide d'une pompe dont la capacité est de  $105 \text{ cm}^3$  par coup de pompe.

Dans cet exercice la température est supposée constante et égale à  $25^\circ\text{C}$ .

#### Données

- Volume d'une sphère de rayon  $R$  :  $V = \frac{4}{3} \pi \times R^3$ .
- Volume molaire à  $25^\circ\text{C}$  :  $V_M = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- Nombre d'Avogadro  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

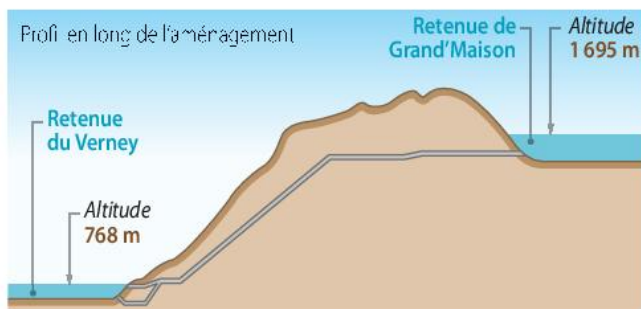
1. Calculer le volume d'air contenu dans le ballon.
2. Calculer le volume d'air correspondant à pression atmosphérique.
3. En déduire le nombre de coups de pompe nécessaires pour gonfler le ballon.
4. Calculer le nombre de molécules de dioxygène présentes dans le ballon.

### 35 Centrale hydroélectrique

Actuellement en France, environ 10% de l'électricité est d'origine hydraulique.

La centrale hydroélectrique de Grand'Maison est la plus puissante de France. Elle se situe dans les Alpes et date de 1987.

De l'eau provenant de la retenue de Grand'Maison coule par gravité dans des conduites forcées jusqu'à la centrale de Grand'Maison où elle permet de faire tourner des turbines produisant ainsi de l'électricité.



1. Calculer la pression de l'eau au niveau de la centrale de Grand'Maison.
2. Des vannes sont situées sur la conduite forcée juste avant la centrale. Calculer la norme de la force qui s'exercerait sur une vanne sachant qu'elle boucherait alors la conduite forcée dont le diamètre est de 1,30 m.



VIDÉO présentation du chapitre

# Forces et vitesse

*Quel est le lien entre la somme des forces appliquées à un système et la variation de sa vitesse ?*

## Objectifs

Variation du vecteur vitesse lors d'une chute libre

➔ Activité 1 p. 226

Variation du vecteur vitesse et somme des forces

➔ Activité 2 p. 227

Influence de la masse sur  $\Delta\vec{v}$

➔ Activité 3 p. 228

Utiliser la relation approchée

$$\Sigma \overrightarrow{\text{Forces}} \approx m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

➔ Activité 4 p. 229

— La force exercée par la voile sur le kitesurfeur lui permet de s'élever et d'effectuer des figures au-dessus de l'eau.

## 1 Variation du vecteur vitesse lors d'une chute libre

Avec un trampoline, un gymnaste peut effectuer un saut vertical atteignant jusqu'à 8 m de haut. Il reste alors environ 2 s en l'air pour effectuer sa figure.

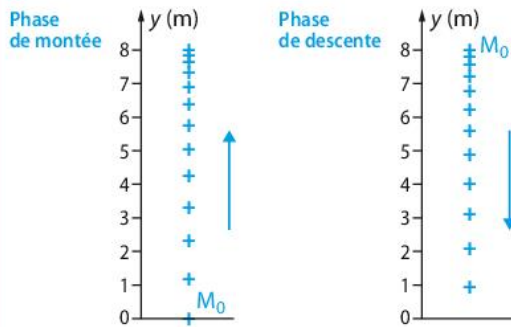
Quelles sont les caractéristiques du vecteur variation de vitesse  $\Delta \vec{v}$  dans le cas de la chute libre ?

### Doc. 1 Saut en trampoline



En trampoline, les gymnastes évoluent sur une toile de 4 mètres sur 2 située à 1,15 mètre du sol.

### Doc. 2 Chronophotographie du centre de gravité du gymnaste



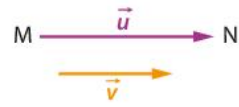
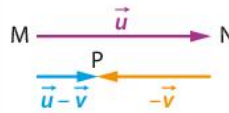
Entre deux positions successives du gymnaste, il s'écoule une durée égale à 100 ms.

### FOCUS MATHS

#### Soustraction de vecteurs colinéaires de même sens

La soustraction de deux vecteurs  $\vec{u}$  et  $\vec{v}$  est le vecteur  $\vec{u} - \vec{v}$ . Il faut traduire le vecteur  $\vec{u}$  en M puis le vecteur  $-\vec{v}$  tel que  $-\vec{v}$  commence à l'extrémité N de  $\vec{u}$ .

Le vecteur  $\vec{u} - \vec{v}$  commence en M et aboutit en P.



Remarque:  $\|\vec{u} - \vec{v}\| = \|\vec{u}\| - \|\vec{v}\|$

### Doc. 3 Vitesses du centre de gravité du gymnaste

#### Lors de la montée

t (s)	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0	1,1	1,2
v (m · s <sup>-1</sup> )	12,5	11,6	10,6	9,61	8,63	7,65	6,67	5,69	4,71	3,73	2,75	1,77	0,79

#### Lors de la descente

t (s)	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0	1,1	1,2
v (m · s <sup>-1</sup> )	0,0	1,00	2,00	2,94	3,92	4,90	5,88	6,86	7,84	8,82	9,80	10,8	11,8

### Appropriation et analyse

→ Réaliser, analyser

→ Analyser

→ Réaliser

1 Sans souci d'échelle, représenter sur un schéma la force qui s'exerce sur le gymnaste en vol dans les deux phases du mouvement en indiquant le référentiel d'étude choisi. Les forces de frottement de l'air sont négligées.

2 À l'aide du doc. 3, décrire comment évolue la vitesse du gymnaste dans les phases ascendante et descendante.

3 Pour les deux phases, décalquer les positions du gymnaste et dessiner en rouge les vecteurs vitesses  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_8$  et  $\vec{v}_9$  avec une échelle judicieusement choisie.

Rappel :  $\vec{v}_1 = \frac{M_1 M_2}{\Delta t}$ .

4 Pour les deux phases, calculer et tracer les vecteurs  $\Delta \vec{v}_2$  et  $\Delta \vec{v}_9$  sachant que  $\Delta \vec{v}_2 = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ .

5 Décrire la direction, le sens et la variation d'intensité du vecteur  $\Delta \vec{v}$  dans les deux phases du mouvement.

6 Indiquer la force responsable de la variation du vecteur vitesse.

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Analyser

DIFFÉRENCIATION : Aide (doc. 2)

## 2 Variation du vecteur vitesse et somme des forces

Le patinage artistique en couple est un sport qui se pratique sur de la glace. Lors des compétitions, chaque couple exécute plusieurs figures (sauts, portés, pirouettes, spirales) afin de marquer un maximum de points.

Quel lien existe entre la force  $\vec{F}$  exercée par le patineur sur sa partenaire et le vecteur variation de vitesse  $\Delta\vec{v}$  de celle-ci ?

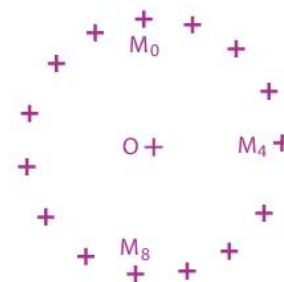
### Doc. 1 Figure en couple

L'homme occupe une position de pivot, la pointe du patin fichée dans la glace. Il tient sa partenaire d'une seule main et lui fait décrire des cercles autour de lui à vitesse constante.



### Doc. 2 Enregistrement d'un mouvement circulaire uniforme

La patineuse est assimilée à un point matériel. Ses positions successives sont données à intervalle de temps  $\tau = 40$  ms.



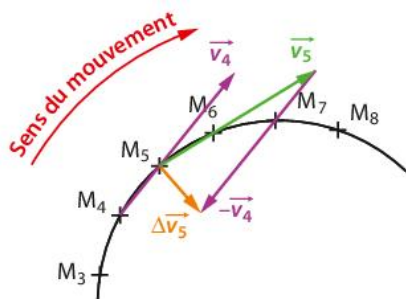
### FOCUS MATHS

#### Tracé d'un vecteur $\Delta\vec{v}$

Matériel : règle et équerre.

Pour tracer  $\Delta\vec{v}_5$  au point  $M_5$  :

- tracer les vecteurs  $\vec{v}_4$  et  $\vec{v}_5$  respectivement aux points  $M_4$  et  $M_5$  ;
- au bout du vecteur  $\vec{v}_5$  reporter le vecteur  $-\vec{v}_4$  ;
- construire le vecteur  $\Delta\vec{v}_5 = \vec{v}_5 - \vec{v}_4$ .



### Appropriation et analyse

- S'approprier
- Réaliser
- Réaliser, valider
- Analyser

- 1 Préciser à l'aide du doc. 1 la caractéristique du vecteur vitesse du système {patineuse} qui change au cours du mouvement.
- 2 Découper le doc. 2 et représenter les vecteurs vitesses instantanées  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_9$  et  $\vec{v}_{10}$  respectivement aux points  $M_1, M_2, M_9$  et  $M_{10}$ .
- 3 Représenter le vecteur variation de vitesse  $\Delta\vec{v}_2 = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$  au point  $M_2$ . Tracer de même  $\Delta\vec{v}_{10}$  au point  $M_{10}$ . Vérifier que chaque vecteur  $\Delta\vec{v}$  a pour direction le rayon du cercle et est orienté vers le centre du cercle, quelle que soit la date  $t$ .
- 4 Montrer que la somme des forces appliquées à la {patineuse} est égale à la force exercée sur elle par le patineur :  $\Sigma \text{Forces} = \vec{F}$ . Représenter  $\Sigma \text{Forces}$  sur le schéma en  $M_2$  et  $M_{10}$ .
- 5 Comparer les directions et les sens des vecteurs  $\vec{F}$  et  $\Delta\vec{v}$ .

### Conclusion

### De l'activité au cours

- Communiquer

- 6 Indiquer les caractéristiques du vecteur  $\Delta\vec{v}$  dans le cas où les forces exercées ne se compensent pas,  $\Sigma \text{Forces} \neq \vec{0}$ .

### 3 Influence de la masse sur $\Delta \vec{v}$

Certaines compagnies aériennes choisissent de ne pas appliquer de peinture sur leurs avions ce qui leur permet de réduire leur masse de manière considérable.

Comment la masse de peinture d'un avion influe sur sa variation de vitesse au décollage ?

#### Doc. 1 Le dispositif expérimental Protocole téléchargeable



Le Smart Cart PASCO, muni de capteurs connectés, enregistre ses positions à intervalles de temps réguliers et les transmet au logiciel de traitement Capstone (pasco.com). Tous les frottements sont négligés.

#### Doc. 2 Smart Cart tiré par une force constante $F = 0,7 \text{ N}$

Masse marquée $M$ (g)	300	400	500	600	700
Masse du système $m_{\text{système}} = m_{\text{SmartCart}} + M$ (kg)					
Vitesse atteinte à 200 ms ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0,40	0,34	0,32	0,31	0,28
Vitesse atteinte à 500 ms ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0,81	0,68	0,59	0,56	0,51
$\Delta v$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )					
$\frac{\Delta v}{\Delta t}$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )					

#### Doc. 3 Programme Python influenceMasse.py à compléter

```
list_M = [300, 400, 500, 600, 700] # en g
list_v_200ms = [0.40, 0.34, 0.32, 0.31, 0.28] # en m/s
list_v_500ms = [0.81, 0.68, 0.59, 0.56, 0.51] # en m/s
list_Metm = [] # en kg
list_dv = [] # en m/s
list_dv_sur_dt = [] # en m/s^2
for i in range(0, len(list_M)) :
    list_Metm.append( )
    list_dv.append( )
    list_dv_sur_dt.append( )
print(list_Metm)
print(list_dv)
print(list_dv_sur_dt)
```

#### Matériel disponible


Smart Cart PASCO • Dynamomètre  
• Banc plastique • Ordinateur avec le logiciel d'exploitation Capstone, tableur et Edupython • Système générant une force constante  
• Boîte de masse marquée  
• Allumettes. [www.pasco.com](http://www.pasco.com)

#### Mise en œuvre

- S'approprier
- Analyser
- Réaliser

1 Définir le système étudié et le référentiel choisi pour décrire les mouvements.

2 Faire le bilan des actions mécaniques exercées sur le système et déterminer le vecteur  $\Sigma \vec{F}$  forces.

3 Créer un fichier influenceMasse.py. Recopier le programme du doc. 3 dans ce fichier et le compléter pour calculer les valeurs manquantes dans le tableau du doc. 2. Exécuter le programme.  Fiche 15 p. 365

#### Conclusion

4 Décrire à l'aide de vos résultats comment la masse de peinture d'un avion influe sur la variation de la vitesse entre deux instants voisins.

#### De l'activité au cours

- Communiquer

5 Indiquer les grandeurs à porter en abscisses et en ordonnées pour tester la relation approchée  $F \approx m_{\text{système}} \times \frac{\Delta v}{\Delta t}$  et pouvoir la modéliser par une droite.

 DIFFÉRENCIATION :  Exercice supplémentaire  Bonus

4

Utiliser la relation approchée  $\Sigma \vec{Forces} \approx m \frac{\Delta v}{\Delta t}$

Pour la saison 2019 de formule 1, la FIA (fédération internationale automobile) adapte son règlement et introduit une masse minimale pour les pilotes, afin de s'assurer que les plus grands et plus lourds ne soient plus désavantagés : la masse minimale du pilote et de son baquet éventuellement lesté est fixée à 80 kg et 743 kg pour le système voiture-pilote.

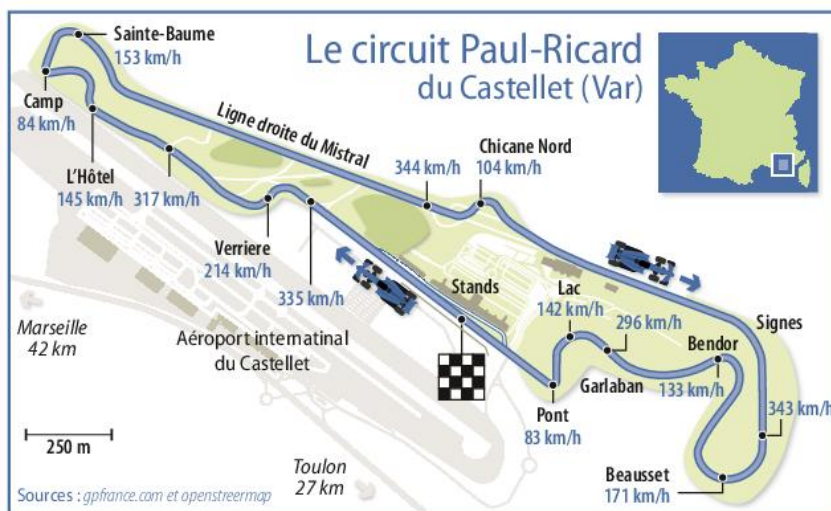
Pourquoi fixer une masse identique à l'ensemble des formules 1 ?

Doc. 1 Caractéristiques Renault F1 RS18 : saison 2018



- Masse de la voiture avec ses équipements : 663 kg.
- Quantité de carburant autorisée en course : 105 kg.
- Accélération de 0 à 200 km · h<sup>-1</sup> : 140 m en 5,0 s.

Doc. 3 Parcours du Grand Prix de France



Doc. 2 Pilotes Renault de la saison 2018

Nico Hülkenberg		Allemand	31 ans	1,84 m	74 kg
Carlos Sainz Jr		Espagnol	24 ans	1,77 m	66 kg

Doc. 4 Relations utiles

$F \approx m \times \frac{\Delta v}{\Delta t}$  avec  $F$  la force de propulsion,  $m$  la masse du système,  $\Delta v$  la variation de vitesse,  $\Delta t$  la durée d'étude.

$d = \frac{F}{2m} \times t^2$  distance parcourue par la formule 1 en mouvement rectiligne accéléré en fonction de la durée du parcours  $t$ .

Appropriation et analyse

→ Valider

→ Réaliser

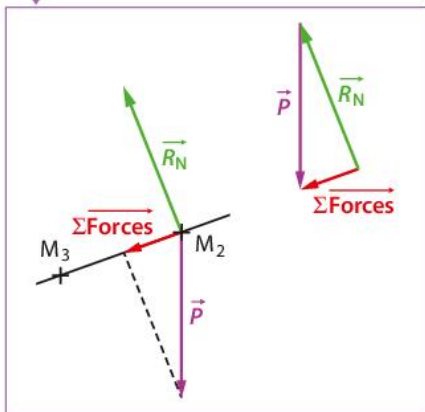
→ Analyser

Conclusion

De l'activité au cours

→ Communiquer

- 1 Montrer que la force de propulsion d'une F1 lors du départ d'un Grand Prix 2018 est de l'ordre de 9 300 N. Les forces de frottement sont supposées nulles. On suppose que cette force de propulsion reste constante.
- 2 Calculer à l'aide d'un tableur les distances  $d$  parcourues par chaque pilote de l'écurie Renault après un départ arrêté (toutes les secondes pendant 12 s).
- 3 Déterminer la distance séparant les deux véhicules à l'entrée du virage de la Verriere lors du départ du Grand Prix de France 2018.
- 4 Expliquer l'intérêt des nouvelles règles concernant la masse des pilotes.
- 5 Expliquer l'influence de la masse lors d'un mouvement.



Doc. 1. Forces qui ne se compensent pas.

## A Forces qui ne se compensent pas

### 1 Bilan des forces

► Quand un point matériel est soumis à **des forces qui ne se compensent pas**, la somme vectorielle des forces est un vecteur non nul :

$$\vec{\Sigma \text{ Forces}} \neq \vec{0}$$

► Un objet, assimilé à un point matériel, est posé sur une table inclinée par rapport à l'horizontale. Les frottements sont supposés nuls. Il est soumis à deux forces (doc. 1) :

- son poids  $\vec{P}$  qui représente la force exercée par la Terre sur l'objet ;
- la réaction normale  $\vec{R}_N$  qui représente la force exercée par la table sur l'objet.

Ces deux forces ne se compensent pas :  $\vec{\Sigma \text{ Forces}} = \vec{P} + \vec{R}_N \neq \vec{0}$ .

### 2 Conséquences sur $\Delta\vec{v}$

► Dans un **référentiel galiléen**, si les forces qui s'exercent sur un point matériel ne se compensent pas, alors le point matériel **ne possède pas un mouvement rectiligne et uniforme**. Son vecteur vitesse varie (en norme et/ou en direction) entre deux instants voisins.

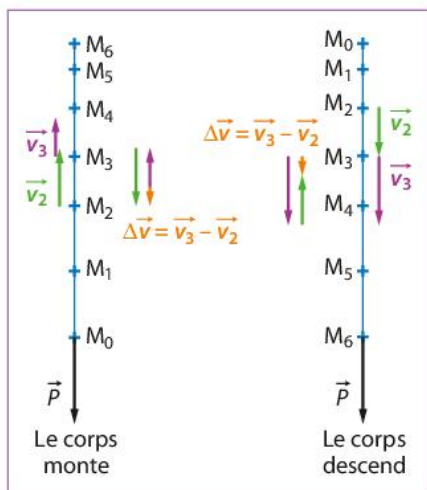
$$\vec{\Sigma \text{ Forces}} \neq \vec{0} \text{ implique que } \Delta\vec{v} \neq \vec{0}.$$

**Les vecteurs  $\Delta\vec{v}$  et  $\vec{\Sigma \text{ Forces}}$  sont colinéaires et de même sens.**

► Lors d'une chute libre  $\vec{P}$  et  $\Delta\vec{v}$  sont toujours colinéaires et orientés vers le bas (doc. 2).

► Rappel du principe d'inertie : si  $\vec{\Sigma \text{ Forces}} = \vec{0}$ , alors  $\Delta\vec{v} = \vec{0}$ , le système est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme.

→ Activités 1 et 2



Doc. 2.  $\vec{P}$  et  $\Delta\vec{v}$  lors d'une chute libre.

## B Relation entre $\vec{\Sigma \text{ Forces}}$ et $\Delta\vec{v}$

### 1 Influence de la masse du système sur $\Delta\vec{v}$

► Pour un **même vecteur  $\vec{\Sigma \text{ Forces}}$**  appliqué au système pendant une durée  $\Delta t$  fixe, le vecteur variation de vitesse  $\Delta\vec{v}$  **dépend de la masse  $m$**  du système.

► Plus la masse  $m$  du système est grande, plus le vecteur vitesse  $\vec{v}$  sera difficile à modifier en direction et/ou en norme ce qui implique un  $\Delta\vec{v}$  faible et inversement.

Remarque : Dans le cas d'une chute libre la masse n'a pas d'influence sur le mouvement.



## 2 Conséquences

► La relation entre la cause  $\Sigma \overrightarrow{\text{Forces}}$  et la conséquence  $\Delta \vec{v}$  du mouvement s'écrit :

$$\Sigma \overrightarrow{\text{Forces}} \approx m \times \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$\Sigma \overrightarrow{\text{Forces}}$  : somme des forces appliquées au système en newtons (N)

$v$  : vitesse du système en mètres par seconde ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

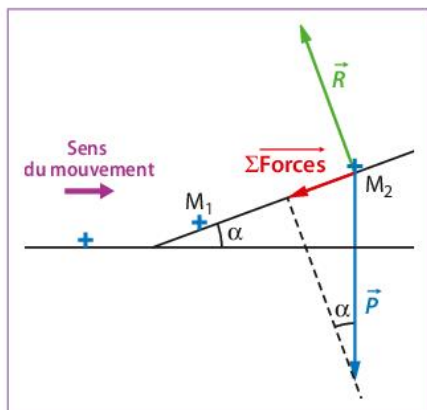
$m$  : masse du système en kilogrammes (kg)

$\Delta t$  : durée entre deux instants voisins en secondes (s)

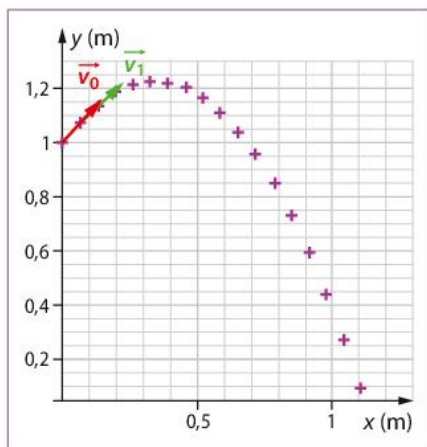
► Il est donc possible :

- d'estimer la variation de vitesse entre deux instants voisins si les forces appliquées au système sont connues ;
- d'estimer le vecteur  $\Sigma \overrightarrow{\text{Forces}}$  appliquées au système si le type de mouvement est connu.

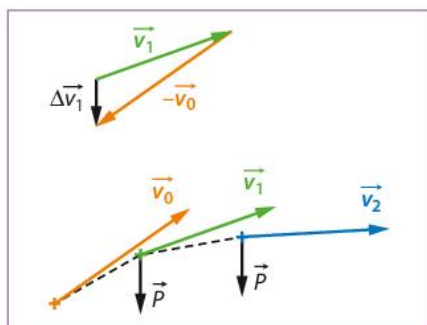
→ **Activité 3**



Doc. 3.  $\Sigma \overrightarrow{\text{Forces}}$  exercées sur le chariot sur un plan incliné.



Doc. 4. Mouvement parabolique de la boule de pétanque.



Doc. 5. Le vecteur  $\Delta \vec{v}$  a même direction que  $\vec{P}$ .

## C Études de cas

### 1 Mouvement rectiligne

#### a. Calcul de la valeur de la somme des forces

Une voiture de course de masse  $m = 600 \text{ kg}$  passe de 0 à  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  (soit  $27,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) en  $\Delta t = 2,5 \text{ s}$  en ligne droite.

Le mouvement est rectiligne accéléré donc  $\Delta \vec{v}$  et  $\Sigma \overrightarrow{\text{Forces}}$  sont dans le sens du mouvement et horizontaux.

$$\|\Sigma \overrightarrow{\text{Forces}}\| \approx 600 \times \frac{27,8 - 0}{2,5} = 6,7 \times 10^3 \text{ N}$$

ce qui représente la différence entre la force de propulsion et les frottements.

#### b. Calcul de la valeur de la vitesse

Dans un jeu de fête foraine (doc. 3), un chariot de masse  $m = 5,0 \text{ kg}$  arrive avec une vitesse  $v = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  sur un plan incliné d'angle  $\alpha = 35^\circ$  par rapport à l'horizontale. Les frottements sont supposés nuls.

$$g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\|\Sigma \overrightarrow{\text{Forces}}\| = P \sin \alpha \text{ donc } m \frac{\|\Delta \vec{v}\|}{\Delta t} \approx mg \sin \alpha$$

$$\|\Delta \vec{v}\| \approx g \times \sin \alpha \times \Delta t = 9,8 \times 0,57 \times 0,4 = 2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Lors de la montée,  $\Sigma \overrightarrow{\text{Forces}}$  et  $\Delta \vec{v}$  sont opposés au mouvement le long du plan incliné,  $\Delta t = 0,4 \text{ s}$  plus tard, le chariot a perdu  $2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et possède une vitesse de  $2,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

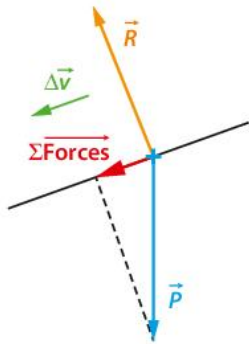
### 2 Mouvement parabolique

Une boule de pétanque de masse  $m$  est lancée vers le haut et vers l'avant (tir oblique) avec une vitesse initiale  $v_0 = 2,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (doc. 4). Entre deux positions successives de la balle, il s'écoule une durée égale à  $\tau = 40 \text{ ms}$ . Après le lancer, la boule ne subit que l'action de son propre poids  $\vec{P}$  (chute libre). Le vecteur variation de vitesse  $\Delta \vec{v}_1$  de la boule entre  $t = 0 \text{ ms}$  et  $t = 40 \text{ ms}$  est : vertical vers le bas et vaut

$$\Delta \vec{v}_1 \approx \frac{mg}{m} \times \Delta t = 9,8 \times 40 \times 10^{-3} = 0,39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Connaissant  $\vec{v}_0$  on peut prévoir  $\vec{v}_1$  :  $\vec{v}_1 = \vec{v}_0 + \Delta \vec{v}_1$  et ainsi de suite (doc. 5).

## Forces qui ne se compensent pas



$\Sigma \vec{\text{Forces}} \neq \vec{0} \Rightarrow$  modification de  $\vec{v}$  en norme et/ou en direction

$\Sigma \vec{\text{Forces}}$  et  $\Delta \vec{v}$  sont colinéaires et de même sens.

## Influence de la masse

Pour une même  $\Sigma \vec{\text{Forces}}$  pendant une durée  $\Delta t$  fixée

Masse  $m$  du système importante

$\Delta \vec{v}$  est plus faible

Masse  $m$  du système faible

$\Delta \vec{v}$  est plus important

Sauf dans le cas d'une chute libre.

## Relation générale

$$\Sigma \vec{\text{Forces}} \approx m \times \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$F$  en newtons (N) →  $\Sigma \vec{\text{Forces}}$   
 $m$  en kg →  $m$   
 $\Delta v$  en  $m \cdot s^{-1}$  →  $\Delta \vec{v}$   
 $\Delta t$  en s →  $\Delta t$

Le vecteur  $\Sigma \vec{\text{Forces}}$  permet d'estimer  $\Delta \vec{v}$  entre deux instants voisins  $\Delta t$ .  
 Le type de mouvement permet d'estimer le vecteur  $\Sigma \vec{\text{Forces}}$ .

## Résoudre un exercice

### Énoncé

La vitesse du système {traîneau + guide} assimilé à un point M de masse  $m = 120 \text{ kg}$  tiré par une meute de chiens a été enregistré toutes les  $0,10 \text{ s}$  (tableau ci-dessous). Le mouvement est horizontal de la gauche vers la droite.

$t \text{ (s)}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
$v \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	0,00	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90



- Calculer la norme de  $\Delta \vec{v}$  du système entre  $0,20 \text{ s}$  et  $0,30 \text{ s}$ . On rappelle que  $\Delta \vec{v}_3 = \vec{v}_3 - \vec{v}_2$ .
- Faire un schéma en faisant apparaître le vecteur  $\Delta \vec{v}_3$  à la date  $0,20 \text{ s}$ . Échelle :  $1 \text{ cm}$  pour  $0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- En déduire les caractéristiques du vecteur  $\vec{\Sigma \text{ Forces}}$  somme des forces appliquées au système : {traîneau + guide}.

### Conseils

- Bien lire l'énoncé et repérer que les vecteurs vitesses sont horizontaux.
- Remarquer que le mouvement est accéléré car la vitesse augmente.
  - Utiliser l'échelle de construction des vecteurs vitesses.
- Connaître et appliquer la relation entre  $\vec{\Sigma F}$  et  $\Delta \vec{v}$ .
  - Savoir que les caractéristiques d'un vecteur sont direction, sens et norme.

### Résolution

- Les vecteurs  $\vec{v}_2$  et  $\vec{v}_3$  sont colinéaires et de même sens. Donc  $\|\Delta \vec{v}_3\| = \|\vec{v}_3\| - \|\vec{v}_2\|$ .  
 $\|\Delta \vec{v}_3\| = 0,45 - 0,30 = 0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Le mouvement est accéléré,  $\Delta \vec{v}_3$  est horizontal vers la droite (dans le sens du mouvement), de longueur  $1,5 \text{ cm}$ .



- Connaître l'évolution des vecteurs vitesses et donc  $\Delta \vec{v}$  permet d'estimer  $\vec{\Sigma \text{ Forces}}$  appliquées au système.  $\vec{\Sigma \text{ Forces}}$  est horizontal et vers la droite car colinéaire à  $\Delta \vec{v}$ . Sur la durée  $\Delta t = 0,20 \text{ s}$ :

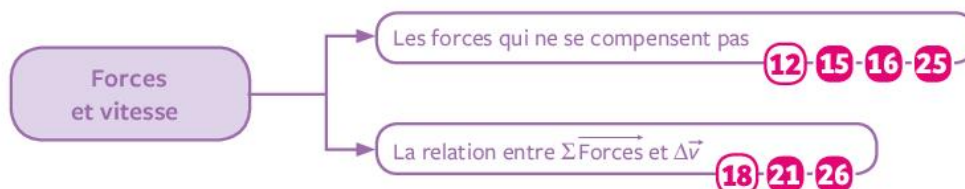
$$\|\vec{\Sigma \text{ Forces}}\| \approx m \times \frac{\|\Delta \vec{v}\|}{\Delta t} = 120 \times \frac{0,15}{0,10} = 180 \text{ N.}$$

**Remarque :** Les forces appliquées au système sont le poids  $\vec{P}$  du système, la réaction  $\vec{R}$  du sol et  $\vec{T}$  la tension exercée par les chiens. On a  $\vec{\Sigma \text{ Forces}} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = \vec{T}$  car  $\vec{P}$  et  $\vec{R}$  se compensent.

→ Exercice 21 p.237

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ



Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

**1** Lors d'un mouvement rectiligne accéléré :

- A:  $\Delta\vec{v}$  est dans le sens du mouvement.
- B:  $\Delta\vec{v} = \vec{0}$ .
- C:  $\Delta\vec{v}$  est dans le sens contraire du mouvement.
- D:  $\Delta\vec{v}$  est perpendiculaire à la trajectoire.

**2** Soient  $\vec{v}_2$  et  $\vec{v}_3$   
 $\Delta\vec{v}_3 = \vec{v}_3 - \vec{v}_2$  est égal à :

- A: B: C: D:

**3** Lors d'un mouvement circulaire uniforme :

- A: la norme du vecteur vitesse  $\vec{v}$  est constante.
- B: le vecteur  $\Delta\vec{v} = \vec{0}$ .
- C: le vecteur  $\Delta\vec{v}$  existe car les vecteurs  $\vec{v}$  n'ont pas la même direction.
- D: le vecteur  $\Delta\vec{v}$  est tangent à la trajectoire.

**4** Le vecteur  $\Delta\vec{v}$  lors d'un mouvement :

- A: est égal à  $\Sigma \text{Forces}$ .
- B: est colinéaire à  $\Sigma \text{Forces}$ .
- C: a la même direction et le même sens que  $\Sigma \text{Forces}$ .
- D: est perpendiculaire à  $\Sigma \text{Forces}$ .

**5** Un mobile subit une poussée de 1 000 N pendant 1 seconde :

- A:  $\Delta\vec{v}$  du mobile augmente si sa masse diminue.
- B:  $\Delta\vec{v}$  ne dépend pas de la masse.
- C:  $\Delta\vec{v}$  du mobile diminue si sa masse augmente.
- D:  $\Delta\vec{v}$  du mobile diminue si sa masse diminue.

**6** Une bille roule rectilignement de la gauche vers la droite et est freinée par une force  $\vec{F}$ . Les vecteurs  $\vec{F}$  et  $\Delta\vec{v}$  sont représentés par :

- A: B: C: D:

**7** Un aimant exerce une force d'attraction de 5,0 N sur une bille immobile de masse 100 g pendant  $\Delta t = 0,1$  s. La variation de vitesse  $\Delta v$  est égale à :

- A:  $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . B:  $5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . C:  $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . D:  $0,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

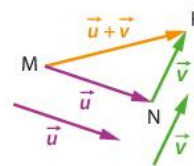
**8** Une voiture roulant en ligne droite de masse  $m = 800$  kg freine pendant 2,0 s. Sa vitesse passe de  $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  à  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

- La norme de la somme des forces est égale à :  
 A: 8 000 kg. B: 8 000 m. C: 800 N. D: 8 000 N.

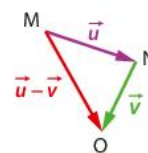
## FOCUS MATHS

### Somme et soustraction de vecteurs

• La somme de deux vecteurs  $\vec{u}$  et  $\vec{v}$  est le vecteur  $\vec{u} + \vec{v}$ . Il faut translater le vecteur  $\vec{u}$  en M puis le vecteur  $\vec{v}$  tel que  $\vec{v}$  commence à l'extrémité N de  $\vec{u}$ . Le vecteur  $\vec{u} + \vec{v}$  commence en M et abouti en P.



• La soustraction de deux vecteurs  $\vec{u}$  et  $\vec{v}$  est le vecteur  $\vec{u} - \vec{v}$ . Il faut translater le vecteur  $\vec{u}$  en M puis le vecteur  $-\vec{v}$  tel que  $-\vec{v}$  commence à l'extrémité N de  $\vec{u}$ .

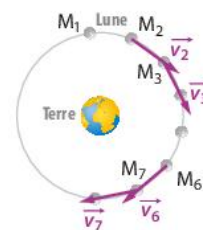


Le vecteur  $\vec{u} - \vec{v}$  commence en M et abouti en O.

### Application à la physique

#### 9 Exercice résolu

Le mouvement de la Lune autour de la Terre est approximativement circulaire et uniforme. Les vecteurs vitesses  $\vec{v}_2, \vec{v}_3, \vec{v}_6$  et  $\vec{v}_7$  sont représentés sur la trajectoire de Lune.

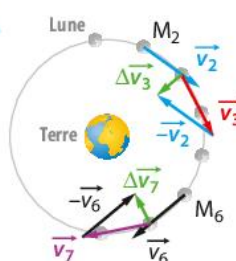


**1.** Reproduire le schéma et tracer les vecteurs  $\Delta\vec{v}_3 = \vec{v}_3 - \vec{v}_2$  au point  $M_3$  et  $\Delta\vec{v}_7$  au point  $M_7$ .

**2.** En déduire la direction et le sens de la force exercée sur la Lune en  $M_3$  et en  $M_7$ .

#### Solution commentée

**1.**



**2.** Chaque  $\Delta\vec{v}$  tracé est dirigé vers le centre du cercle donc la force est dirigée vers le centre de la Terre.

#### 10 Exercice d'application

Un skieur, lors d'une descente rectiligne accélérée, subit trois actions mécaniques : le poids  $\vec{P}$  exercé par la Terre,  $\vec{R}$  la réaction de la piste et  $\vec{f}$  les frottements du sol et de l'air parallèles à la piste.

► Représenter sur un schéma  $\Sigma \text{Forces}$  la somme vectorielle des trois forces.

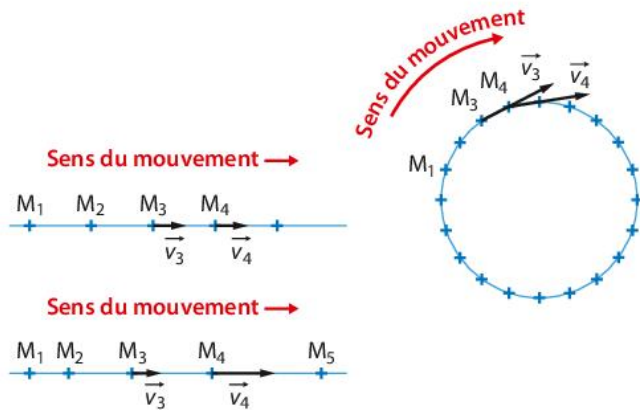


## Entraînement

### Forces qui ne se compensent pas

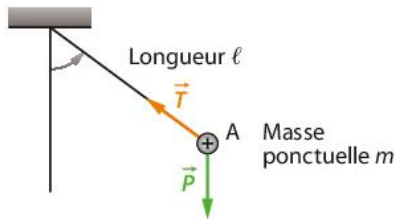
**11** La position d'une balle est repérée à intervalles de temps égaux lors de différents mouvements.

Sont également représentés quelques vecteurs vitesses, tous tracés avec la même échelle.



► Recopier et tracer les directions et sens de la force  $\vec{F}$  résultante exercée aux points  $M_4$  de tous ces mouvements.

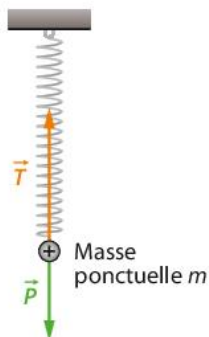
**12** Aide p. 236 Un pendule simple est constitué d'une masse ponctuelle  $m$  fixée à l'extrémité d'un fil inextensible de longueur  $\ell$  et de masse négligeable. L'ensemble oscille sous l'effet de la pesanteur.



- Déterminer le diagramme objet-interactions de la bille.
- Déduire d'une construction graphique la direction et le sens de  $\Delta\vec{v}$ .

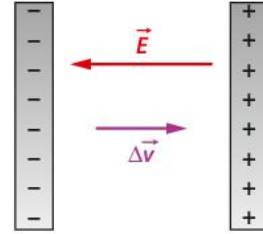
**13** Un pendule élastique est constitué d'une masse ponctuelle  $m$  fixée à l'extrémité d'un ressort de longueur à vide  $L_0$  et de masse négligeable. L'ensemble oscille sous l'effet de la pesanteur.

- Déterminer le diagramme objet-interaction du pendule élastique.
- Déduire d'une construction graphique la direction et le sens de  $\Delta\vec{v}$ .



**14** Une particule de charge  $q$  se trouve entre les armatures d'un condensateur plan où règne un champ électrique  $\vec{E}$ .

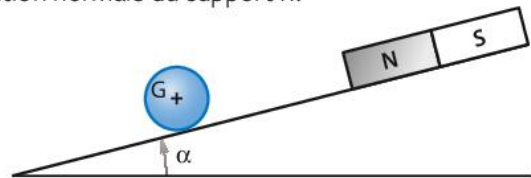
Elle est alors soumise à une force électrique  $\vec{F} = q \times \vec{E}$  et se déplace selon  $\Delta\vec{v}$ .



► Identifier le signe de la particule.

**15** Aide p. 236 Une bille en acier de masse  $m$  et de centre  $G$  se déplace sur un plan incliné faisant un angle  $\alpha$  avec l'horizontal.

Elle est soumise à trois forces : son poids  $\vec{P}$ , une force magnétique attractive  $\vec{F}$  exercée par un aimant et la réaction normale du support  $\vec{R}$ .



#### Données

- $R = 85 \text{ mN}$
- $F = 50 \text{ mN}$
- $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$
- $m = 10 \text{ g}$
- $\alpha = 30^\circ$

- Recopier le schéma et tracer les trois vecteurs forces qui s'exercent sur la bille avec une échelle adaptée.
- Déduire de la somme vectorielle des forces le mouvement de la bille.

**16** Aide p. 236 Lila étudie la trajectoire d'un ballon de basket. Elle veut tracer  $\Delta\vec{v}_2$  au point  $B_2$ .

Son logiciel de pointage lui donne les coordonnées de  $B_2$  et des vecteurs  $\vec{v}_1$  et  $\vec{v}_2$ .

Elle choisit une échelle où 1 m représente  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Point  $B_2$  :  $x_2 = 2,800 \text{ m}$  ;  $y_2 = 3,366 \text{ m}$

Vecteur  $\vec{v}_1$  :  $v_{x1} = 5,172 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;  $v_{y1} = 5,517 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;

Vecteur  $\vec{v}_2$  :  $v_{x2} = 5,517 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;  $v_{y2} = 4,828 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;

Utilisation de la méthode «arrow» : `pyplot.arrow(abcisse point de départ, ordonnée point de départ, première coordonnée du vecteur, deuxième coordonnée du vecteur)`.

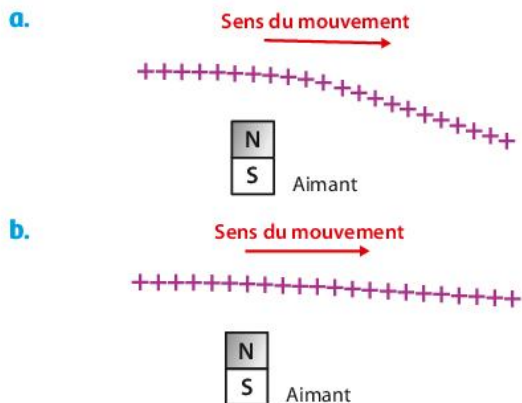
► Fiche 15 p. 365

- Expliquer pourquoi il est nécessaire de choisir une échelle.
- Exprimer  $\Delta\vec{v}_2$  en fonction  $\vec{v}_1$  et  $\vec{v}_2$ .
- Écrire les trois lignes de code nécessaires pour tracer la construction de  $\Delta\vec{v}_2$  au point  $B_2$ .

## Relation entre $\Sigma \vec{F}$ et $\Delta \vec{v}$

**17** Deux billes d'acier de masse différentes roulent sur une table en mouvement rectiligne et uniforme à la même vitesse.

Les deux billes subissent alors la même force magnétique exercée par un aimant.



► Indiquer en justifiant le mouvement correspondant à la bille ayant la masse la plus élevée.

**18** Aide p. 236 Une fusée de 750 t décolle verticalement de sa base de lancement à  $t = 0$  s. Sa vitesse est de  $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  à  $t = 2$  s. Elle est assimilée à un point matériel. Les coordonnées des vecteurs sont données dans un repère  $(O, \vec{k})$ .

1. Représenter les forces appliquées à  $t = 0$  pour que la fusée décolle. Indiquer la direction et le sens de la somme des forces appliquées.
2. Calculer la norme du vecteur  $\Delta \vec{v}$  entre  $t = 0$  s et  $t = 2$  s.
3. En déduire la valeur de la somme des forces  $\Sigma \vec{F}$ .
4. Calculer la norme du poids de la fusée.
5. Calculer la force de poussée des réacteurs.

### Différenciation

#### Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 12

Le sens du vecteur force dépend du signe de la charge. Des charges de signes identiques s'attirent.

#### Aide pour l'exercice 15

L'aimant exerce sur la bille une force d'attraction.

#### Aide pour l'exercice 16

Pour tracer  $\Delta \vec{v}_2$  en  $M_2$ , il faut reporter  $-\vec{v}_1$  à l'extrémité de  $\vec{v}_2$ .

#### Aide pour l'exercice 18

La force de poussée est verticale vers le haut, sa norme est supérieure à la norme du poids.

## En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**19** Les pousseurs exercent pendant deux secondes la même force de poussée horizontale sur deux bobsleighs de masse  $m_1 = 200 \text{ kg}$  et  $m_2 = 240 \text{ kg}$ . On suppose que les deux bobsleighs glissent sans frottement sur la glace.



1. Déterminer le type de mouvement des bobsleighs pendant la poussée.
2. Comparer les mouvements des deux bobsleighs lors de la poussée pendant les deux secondes. Justifier.

### Critères d'évaluation

Toutes les réponses sont rédigées dans un français correct.

- 1 La trajectoire et l'évolution de la vitesse sont identifiées.
- 2 L'influence de la masse est correctement identifiée. La justification est réalisée avec un vocabulaire scientifique approprié.

**20** Un jeune lycéen veut tester les freins de son scooter. Il décide pour cela de passer de  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  à  $0,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en 3,0 s en étant d'abord seul à bord puis avec un passager. La masse du système scooter-pilote est 150 kg.

1. Calculer la force de freinage du scooter lorsque le pilote est seul.
2. Avec un passager, expliquer comment doit évoluer la force de freinage du scooter.

### Critères d'évaluation

Toutes les réponses sont rédigées dans un français correct.

- 1 La relation est traduite avec les bonnes unités.
- 2 L'influence de la masse est correctement identifiée. La justification est réalisée avec un vocabulaire scientifique approprié.



## Synthèse

### 21 Aide p. 238 Notion d'aérodynamisme

→ Analyser, réaliser

Afin de comparer l'aérodynamisme des automobiles, on effectue une expérience qui consiste à débrayer le moteur d'un véhicule de masse  $m = 1,0$  t roulant à vitesse constante sur une route droite et horizontale de gauche à droite. L'automobile poursuit « en roue libre » et les valeurs de la vitesse sont relevées au cours du ralentissement (doc. 1).

Donnée.  $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

#### Doc. 1 Vitesse de la voiture en fonction du temps

$t$ (s)	0	20	40	60	100	120	140
$v$ ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	100	85	70	55	40	32	28

- Calculer la valeur approchée de  $\Delta v$  à la date 40 s.
- Donner la direction et le sens de  $\Delta \vec{v}$ .
- En déduire à cet instant les caractéristiques de  $\Sigma \vec{F}$ .
- Faire un bilan des forces appliquées à la voiture et déterminer la valeur de la force responsable du ralentissement.



En anglais

### 22 Racing down the montain



A skier of mass  $m = 80$  kg is racing down an icy slope, inclined horizontally at an angle of  $\alpha = 30^\circ$ .

The motion along the slope is assumed to be frictionless.

Data.  $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .



#### Vocabulaire :

Direction : direction, sens

- Make a list of the mechanical actions applied on the skier and put them in a diagram.
- Calculate the intensity of the forces applied on the skier.
- Represent the vector  $\Sigma \vec{\text{Forces}}$ .
- Deduce the direction of  $\vec{v}$ . Describe the movement of the skier.
- Calculate  $\Delta \vec{v}$  for 2 seconds.

### 23 DÉFI Base jump

→ S'appropriier, analyser, réaliser

En avril 2014, deux français spécialistes du base jump se sont élancés pour la première fois d'une plateforme située à 8 m du sommet de la plus haute tour du monde, le Burj Khalifa, à Dubaï. Le mouvement du saut est filmé puis modélisé à l'aide d'un logiciel de pointage (doc. 1). La position est donnée toutes les 4 s.



Le système étudié est l'ensemble (base jumper-parachute) dans le référentiel terrestre galiléen.

Le saut est constitué de trois phases (doc. 2).

Phase A : le base jumper évolue parachute fermé, sa vitesse augmente.

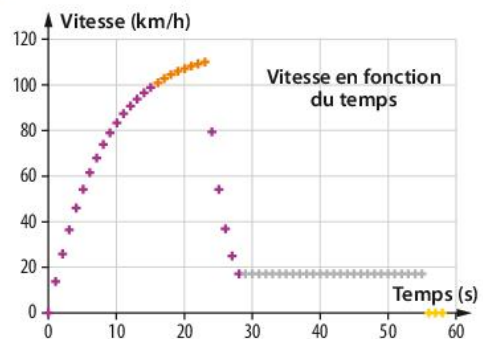
Phase B : le base jumper ouvre son parachute, sa vitesse diminue.

Phase C : le parachute est totalement déployé.

#### Doc.1 Chronophotographie du saut



#### Doc.2 Les différentes phases du saut



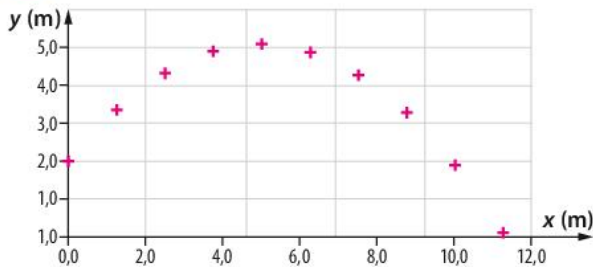
- Déterminer grâce à Internet la hauteur de chute des base jumpers.
- Identifier sur le graphe des vitesses les différentes phases du saut.
- Déterminer l'altitude du base jumper lorsqu'il ouvre son parachute.
- Tracer le diagramme objet-interaction du base jumper lors des différentes phases du saut.
- Recopier la chronophotographie et tracer par construction, les vecteurs  $\Delta \vec{v}_3$  au point  $M_3$  et  $\Delta \vec{v}_{10}$  au point  $M_{10}$ .
- Déterminer durant quelle(s) phase(s) les forces exercées se compensent. Sans souci d'échelle, représenter alors ces forces sur un schéma.

## 24 Pétanque

→ S'approprier, analyser, réaliser

Lors d'une partie de pétanque un joueur lance sa boule afin de la placer au plus près du bouchon. Le mouvement de la boule est filmé (doc. 1), les résultats sont regroupés dans un tableau (doc. 2).

### Doc. 1 Mouvement de la boule



### Doc. 2 Données du mouvement

$t$ (s)	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$v$ (m)	0,0	1,3	2,5	3,8	5,0	6,3	7,6	8,8	10,1	11,3
$y$ (m)	2,0	3,4	4,3	4,9	5,1	4,9	4,3	3,3	1,9	0,1

- Déterminer la hauteur à laquelle le joueur lâche sa boule.
- Déterminer le diagramme objet-interaction de la boule une fois la boule lâchée.
- Déterminer à l'aide d'un tableur l'ensemble des  $\Delta v$  sur l'axe des  $x$ .  
Conclure sur la nature du mouvement selon l'axe des abscisses.
- Déterminer à l'aide d'un tableur l'ensemble des  $\Delta v$  sur l'axe des  $y$ .  
Conclure en comparant la force exercée sur la boule et  $\Delta \vec{v}$  sur l'axe des ordonnées.

## 25 Aide p. 238 Influence du vent au badminton

→ S'approprier, réaliser, valider

Le badminton est considéré comme le sport utilisant le projectile le plus rapide. Étant donnée la légèreté du volant, Léa et Ilyès se demandent si le vent influence sa trajectoire quand ils jouent dehors. Ils décident alors de filmer sa trajectoire par vent de face et étudient son mouvement.

### Doc. 1 Valeurs obtenues par Léa et Ilyès

$$t = [0,00, 0,04, 0,08, 0,12, 0,16, 0,2, 0,24]$$

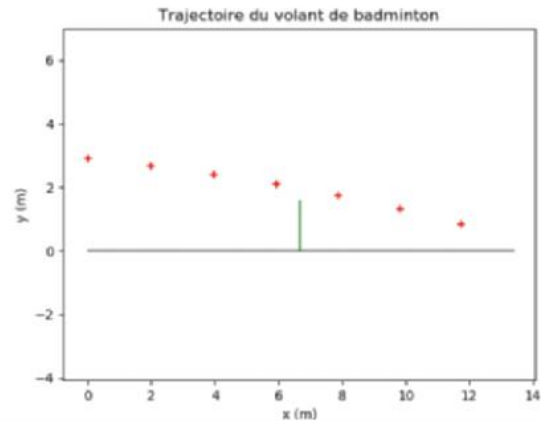
$$x = [0,000, 1,993, 3,971, 5,935, 7,885, 9,820, 11,74]$$

$$y = [2,900, 2,676, 2,406, 2,088, 1,724, 1,312, 0,853]$$

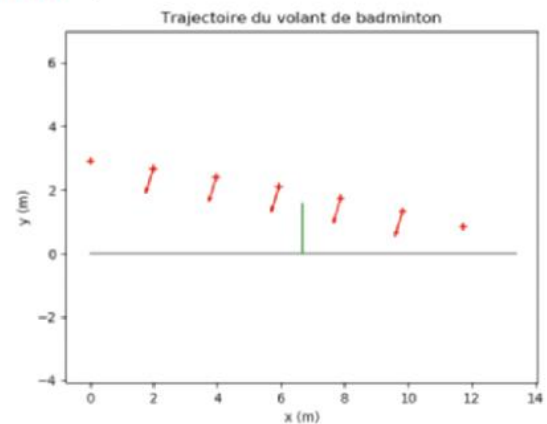
$$v_x = [50,00, 49,88, 49,76, 49,64, 49,52, 49,40, 49,28]$$

$$v_y = [-5,000, -5,392, -5,784, -6,176, -6,568, -6,960, -7,352]$$

### Doc. 2 Trajectoire du volant



### Doc. 3 Représentation des vecteurs variation de vitesse



- Justifier en quoi la faible masse du volant pourrait expliquer que l'influence du vent soit d'autant plus forte.
- Si la force exercée par le vent est négligeable, dresser l'inventaire des forces qui s'appliquent sur le volant au cours de sa trajectoire.
- Dans ces conditions, indiquer la direction et le sens du vecteur variation de vitesse.
- Écrire la boucle «for» permettant de tracer les vecteurs variation de vitesse (docs 1 et 2).
- Observer les vecteurs  $\Delta \vec{v}$  (doc. 3) et conclure quant à l'influence du vent.

## Différenciation

Aides aux exercices

### Aide pour l'exercice 21

En roue libre signifie que le moteur ne tracte plus le véhicule,  $F_{\text{motrice}} = 0 \text{ N}$ .

### Aide pour l'exercice 25

Lorsqu'un système n'est soumis qu'à son poids, le vecteur variation de vitesse est vertical, vers le bas.



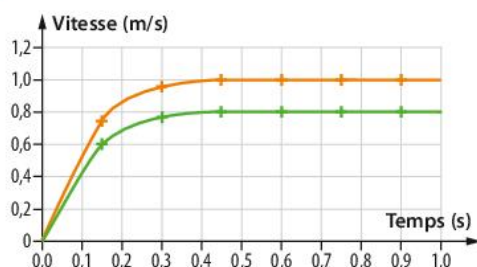


## Problèmes

### 26 Détermination de la viscosité d'un fluide

Deux billes en verre de même rayon mais de masses différentes sont lâchées sans vitesse initiale à la surface d'un tube vertical contenant de l'huile de ricin. L'évolution de la vitesse des billes a été enregistrée (doc. 1). Lors du mouvement, les billes sont soumises à trois forces différentes (doc. 2).

#### Doc. 1 Vitesse des billes dans l'huile au cours du temps



#### Doc. 2 Forces exercées sur les billes

**Force de frottement  $\vec{f}$**  : force qui s'oppose au mouvement qui est proportionnelle à la vitesse  $v$  de la bille.  
 $f = 6\pi\eta rv$  avec  $\eta$  le coefficient de viscosité du fluide,  $r$  le rayon de la bille.

**Poussée d'Archimède  $\vec{A}$**  : force qui s'exerce de bas en haut et qui dépend du volume  $V$  de la bille et de la masse volumique  $\rho_f$  de l'huile de ricin.  $A = \rho_f Vg$

#### Doc. 3 Données utiles

- Billes : rayon  $r = 8,0$  mm, masse  $m_1 = 12,9$  g et  $m_2 = 17,2$  g
- Volume sphère :  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$  • Masse volumique :  $\rho = \frac{m}{V}$
- Masse volumique huile de ricin :  $\rho_f = 970$  kg  $\cdot$  m $^{-3}$
- Champ de pesanteur :  $g = 9,8$  N  $\cdot$  kg $^{-1}$

► Vérifier à l'aide des différents documents que la viscosité de l'huile de ricin est proche de  $0,95$  kg  $\cdot$  m $^{-1}$   $\cdot$  s $^{-1}$ .

### Différenciation

Apprendre à résoudre 26

1. Lire l'énoncé, les documents et la question.
2. Extraire les informations utiles. Repérer les phases du mouvement.
3. Appliquer la relation  $\Sigma \vec{\text{Forces}} \approx m \times \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  dans la deuxième phase du mouvement.
4. Calculer la mesure de la force de frottement en la projetant sur un axe bien choisi.
5. Attention aux unités.

### 27 Mesure d'un coefficient de frottement

Il est intéressant dans l'industrie de connaître le coefficient de frottement de différents matériaux comme le papier ou le carton pour améliorer les machines d'emballages par exemple.

#### Doc. 1 Appareil de mesure du coefficient de frottement

Un matériau A est placé sur un matériau B lui-même fixé sur un plan incliné.

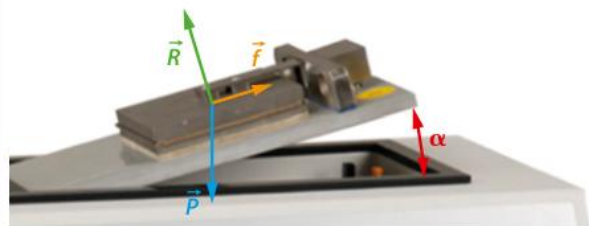
L'angle d'inclinaison  $\alpha$  du plan varie et l'appareil détecte l'angle pour lequel des matériaux commencent juste à glisser le long du plan.



#### Doc. 2 Coefficient de frottement $\mu$

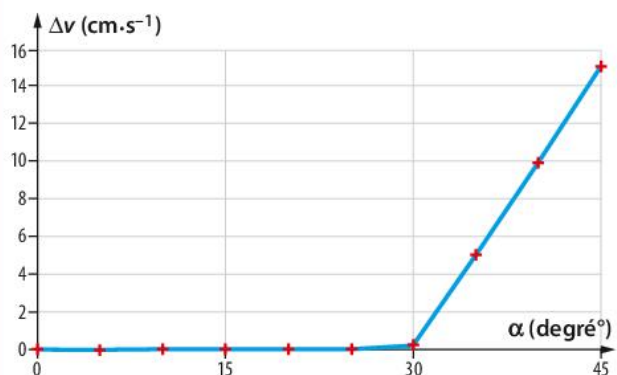
Le coefficient de frottement est défini par  $\mu = \frac{f}{R}$ .

Plus  $\mu$  est élevé plus les matériaux en contact s'accrochent.



Matériaux secs	Acier/ bois	Goudron/ pneu	Acier/ acier
$\mu$	0,4	0,8	0,1

#### Doc. 3 Enregistrement de $\Delta v$ en fonction de $\alpha$ pour le couple carton sur carton



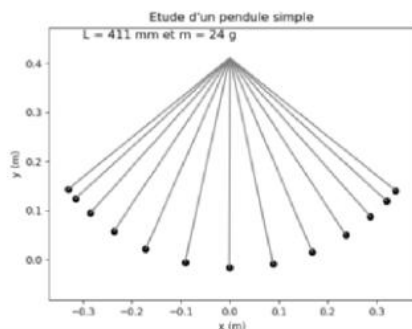
► Déterminer le coefficient de frottement  $\mu$  pour le couple carton sur carton.

## 28 Représentation d'une force inconnue variable

Alex et Olivia veulent étudier la tension exercée par un fil lors du mouvement d'un pendule simple.

À l'aide d'un logiciel de pointage ils enregistrent les différentes positions du pendule sur une demi-période et réalisent un programme Python afin de visualiser la trajectoire et représenter les vecteurs forces.

### Doc. 1 Représentation du pendule aux différentes positions grâce à Python



### Doc. 2 Programme écrit par Alex et Olivia pour tracer le vecteur poids et calculer les vitesses

```
from matplotlib import pyplot
# en m
x = [-0.3308, -0.3154, -0.2846, -0.23636, -0.1714, -0.0913,
     -0.0011, 0.0879, 0.1681, 0.2363, 0.2868, 0.3198, 0.3385]
y = [0.1429, 0.1242, 0.0945, 0.0582, 0.0220, -0.0055, -0.0165,
     -0.0088, 0.0154, 0.0505, 0.0879, 0.1198, 0.1407]
dt = 0.05 # en s
vx = [] # en m/s
vy = [] # en m/s
m_dvx_sur_dt = [] # en kg.m/s^2
m_dvy_sur_dt = [] # en kg.m/s^2
echelle_vitesse = 5 # 1 cm <=> 5 m/s
echelle_force = 4 # 1 cm <=> 2 N
poids = - 0.024 * 9.81 # en N

for i in range(0, len(x)) :
    pyplot.arrow(x[i], y[i], 0, poids/echelle_force,
                color='red', head_width = 0.01,
                length_includes_head = True)
    pyplot.plot([x[i], 0.0], [y[i], 0.411], color='grey')
for i in range(0, len(x)-1) :
    vx.append((x[i+1]-x[i])/(dt))
    vy.append((y[i+1]-y[i])/(dt))
for i in range(1, len(x)-1) :
    print("À faire !")
pyplot.title("Étude d'un pendule simple")
pyplot.text(-0.3, 0.45, 'L = 411 mm et m = 24 g',
            fontsize=12)
pyplot.xlabel("x (m)")
pyplot.ylabel("y (m)")
pyplot.axis('equal')
pyplot.scatter(x, y, color='black', marker='o')
pyplot.show()
```

► À l'aide des documents et de vos connaissances compléter la troisième boucle « for » pour calculer  $m \times \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  et tracer les vecteurs correspondants à la tension du fil.

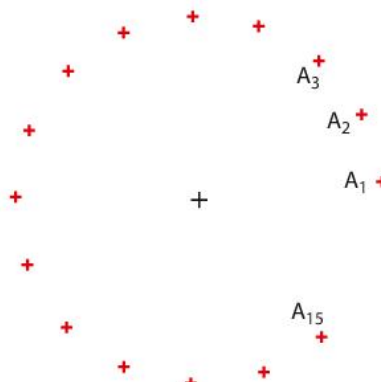
## Objectif BAC

### 29 Lanceuse de marteau

Le mouvement horizontal du boulet lors d'un tour vu de dessus est enregistré (doc. 1).

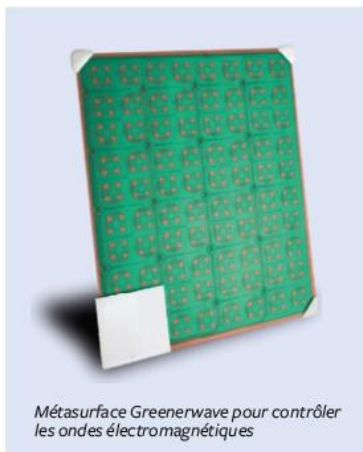


### Doc. 1 Chronophotographie d'un tour de préparation (vu du dessus)



La durée entre chaque position est  $\tau = 0,05$  s.  
Le rayon du cercle est  $R = 2,0$  m.

- Calculer les vitesses  $v_1$  et  $v_2$ .
- Tracer les vecteurs  $\vec{v}_1$  et  $\vec{v}_2$ . Échelle :  $1 \text{ cm} = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Tracer, par construction, le vecteur  $\Delta \vec{v}_2 = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$  au point  $A_2$ .
- Montrer que la norme de  $\frac{\Delta \vec{v}_2}{\Delta t}$  est proche de  $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .
- Faire le bilan des forces agissant sur le boulet puis construire le vecteur représentant la force exercée par la lanceuse en choisissant une échelle adaptée.
- Une force peut être négligée devant une autre lorsque leur rapport est supérieur à 10. Indiquer si le poids aurait pu être négligé devant la force exercée par la lanceuse.



Métasurface Greenerwave pour contrôler les ondes électromagnétiques

## Des entreprises issues des laboratoires

Cela peut arriver à tout moment. Les ondes piégées entre les murs, rebondissent sur les différentes surfaces de la pièce. Résultat : des zones sont surchargées en ondes tandis que d'autres n'ont plus rien, zéro connexion. C'est pour lutter contre ce « désert électromagnétique » que Geoffroy Lerosey, chercheur au CNRS, et Mathias Fink, chercheur à l'Institut Langevin à Paris, ont développé des métasurfaces intelligentes capables d'orienter les ondes et créé GreenerWave. Incubée à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles (ESPCI) de Paris, la deep tech, qui a déjà levé plus d'un million d'euros, développe un ensemble de micromiroirs (photo) et s'oriente, pour le moment, vers

la grande distribution et le panier connecté. Plus largement, les jeunes pousses françaises de la deep tech occupent une place importante en Europe. Les secteurs les mieux représentés

sont **la photonique, l'électronique, les drones, la robotique et l'intelligence artificielle** (autour de 28%).

**Deep tech:** start-up basée sur une innovation de rupture, née d'un transfert de connaissances et de compétences de la recherche vers l'industrie.

*Surveillance de la qualité de l'eau, des aliments, des produits de consommation courante ou des médicaments, bilans sanguins, énergies renouvelables... : nombreuses sont les innovations qui émergent des laboratoires. Et depuis peu, des lycées et des collèges.*



Clara Blanjard, cheffe d'équipe du projet Autolienne, lauréat 2019.

## Des inventions portées par les 11-18 ans

En mars 2019, Clara Blanjard et son équipe de terminale ont remporté le prix Science Factor Lycée 2019 pour leur projet Autolienne. Leur invention ? Des éoliennes de petites tailles qui, fixées sur les barrières de sécurité des autoroutes, pourraient capter le flux d'air généré par les véhicules lancés à pleine vitesse et créer de l'énergie (pour éclairer, par exemple les panneaux lumineux, les aires d'autoroutes, les péages...). Comme chaque année depuis 2011, Science Factor avait mis à l'honneur diverses innovations scientifiques et citoyennes imaginées par des équipes de lycéens ou de collégiens. Ils seront ensuite accompagnés dans le développement de leur projet, en partenariat avec des acteurs privés du secteur concerné : faisabilité-analyse, étude de marché, dépôt de brevet, conception d'un prototype... Comme

c'est aujourd'hui le cas pour l'équipe d'Ec'eau (photo), lauréate 2018 pour leur projet d'installation de mini-turbines dans les conduits d'évacuation des eaux usées des immeubles, qui vise

**Science Factor met à l'honneur des innovations scientifiques et citoyennes imaginées par des équipes de lycéens ou de collégiens**

à fournir de l'électricité « verte » aux résidents et bénéficie depuis un an du soutien d'Engie, de la mairie de Lyon et de l'INPI (pour la protection industrielle). Ce concours, ouvert

aux jeunes de la 6<sup>e</sup> à la Terminale, est organisé avec le parrainage du ministère de l'Éducation nationale, de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation et du secrétariat d'État à l'égalité femmes - hommes.



(De gauche à droite) Maxime, Nicolas, Valentine et Charlotte (cheffe d'équipe), lauréats 2018 pour le projet Ec'eau © Patrick BAGEIN

### Exercice

- ▶ Constituer des groupes de 3 ou 4 élèves. Consulter les projets déposés sur le site de Science Factor, regarder la vidéo Bonus et réaliser un diaporama ou une séquence filmée de 3 min pour présenter votre projet innovant.
- ▶ <https://sciencefactor.fr/concours>

Bonus



# Thème 3

# L'énergie : conversions et transferts

Chapitre 14	Énergie et puissance électriques .....	243
Chapitre 15	Énergie cinétique .....	261
Chapitre 16	Énergie mécanique .....	277



Je vérifie  
mes connaissances  
de Seconde



VIDÉO présentation du chapitre

# Énergie et puissance électriques

*Comment effectuer un bilan de puissance dans un circuit électrique et calculer le rendement d'un convertisseur ?*

## Objectifs

Définir l'intensité du courant électrique

➔ Activité 1 p. 244

Modéliser une source réelle de tension

➔ Activité 2 p. 245

Évaluer le rendement d'un convertisseur

➔ Activité 3 p. 246

Pour mettre à disposition de plus en plus d'énergie électrique sans utiliser de combustibles fossiles ou fissiles, de nouveaux convertisseurs sont développés.

## 1 Définir l'intensité du courant électrique

Les moteurs électriques permettent de propulser des véhicules électriques mais aussi des sondes spatiales.

Les intensités des courants dans ces deux dispositifs sont-elles comparables ?

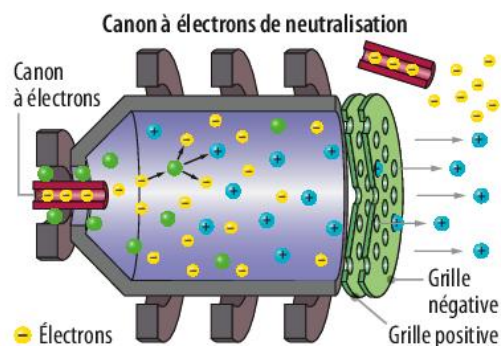
### Doc. 1 Un moteur électrique

Chaque minute, pour rouler à  $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , la batterie de cette voiture débite 5 000 milliards de milliards d'électrons pour alimenter le moteur électrique.



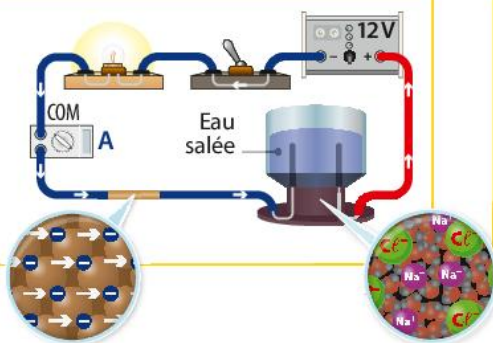
### Doc. 2 Un moteur ionique

La propulsion ionique est une technique utilisée par la Nasa pour propulser certaines sondes spatiales. Un canon à électrons permet de transformer des atomes de xénon en ions  $\text{Xe}^{2+}$  qui sont injectés entre une grille positive et une autre négative. Ces ions sont accélérés par le champ électrique créé entre les deux grilles chargées. Un moteur ionique peut éjecter une masse de 0,18 g d'ions  $\text{Xe}^{2+}$  par minute.



### Doc. 3 Courant électrique dans un circuit fermé

L'intensité du courant mesurée par un ampèremètre correspond au débit de charge électrique c'est-à-dire à la valeur absolue de la charge électrique qui traverse une section du circuit pendant une seconde.



### Doc. 4 Données nécessaires

Charge électrique d'un électron :  
 $q = -e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$   
 1 milliard =  $10^9$   
 Masse molaire du Xénon :  
 $M(\text{Xe}) = 131,3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$   
 Nombre d'Avogadro :  
 $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

### Appropriation et analyse

→ S'approprier, réaliser

→ Analyser, réaliser

→ S'approprier, réaliser

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Communiquer, valider

- À l'aide du doc. 1, déterminer la charge électrique  $Q_1$  fournie chaque minute par la batterie pour faire fonctionner le moteur électrique de la voiture.
- Représenter le champ électrique créé entre les deux grilles à la sortie du moteur du doc. 2, et vérifier que la force électrique appliquée sur les ions  $\text{Xe}^{2+}$  permet de les accélérer.
- À l'aide du doc. 2, déterminer la quantité de matière, puis le nombre d'ions  $\text{Xe}^{2+}$  qui passent entre les grilles du moteur ionique chaque minute. En déduire la charge électrique totale  $Q_2$  qui a traversé les grilles pendant cette durée.
- Comparer les intensités des courants électriques des deux moteurs.

- Citer des particules chargées responsables de l'apparition d'un courant électrique et proposer une relation liant l'intensité  $I$  du courant électrique et la valeur absolue de la charge électrique  $|Q|$  qui traverse une section de conducteur pendant une durée  $\Delta t$ .

**DIFFÉRENCIATION** : → Aide (doc. 3) → Exercice supplémentaire

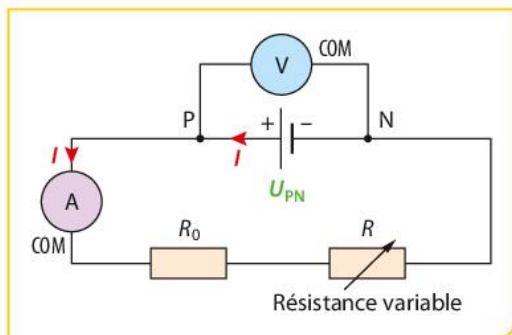
Mettre en œuvre un protocole

## 2 Modéliser une source réelle de tension

Dans la vie quotidienne, les dispositifs comportant des piles ou des batteries sont nombreux. Par exemple les télécommandes des téléviseurs sont souvent alimentées par des piles de 1,5V.

La tension délivrée par une pile est-elle toujours constante ?

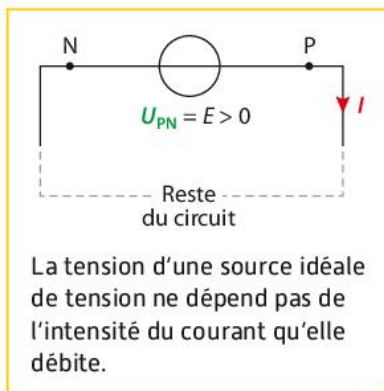
Doc. 1 Schéma du montage



Protocole

1. Faire varier la résistance variable  $R$  entre 0 et 100  $\Omega$  en répartissant les valeurs de  $R$ .
2. Pour chaque valeur de  $R$ , noter dans un tableau les valeurs de la tension  $U_{PN}$  aux bornes de la pile et de l'intensité du courant  $I$  qui la traverse.

Doc. 3 Source de tension idéale



Doc. 2 Tension à vide et résistance interne d'une pile

• La tension à vide d'une pile, notée  $E$ , est la tension obtenue lorsque l'intensité du courant qu'elle débite est nulle. Sa valeur (en V) est indiquée sur l'étiquette de la pile.



• La résistance interne d'une pile, notée  $r$  (en  $\Omega$ ), est une valeur comprise entre quelques m $\Omega$  et quelques  $\Omega$  selon le type de pile utilisée.

Matériel disponible

- Pile de 1,5 V ou de 4,5 V, ou une association de piles
- Résistance  $R_0 = 22 \Omega$
  - Boîte de résistances ou rhéostat de 100  $\Omega$
  - Deux multimètres ou multimètre (ampèremètre) et interface d'acquisition
  - Fils.

Mise en œuvre

- S'approprier, réaliser
- Réaliser

→ S'approprier, analyser

Conclusion

De l'activité au cours

→ Analyser, communiquer

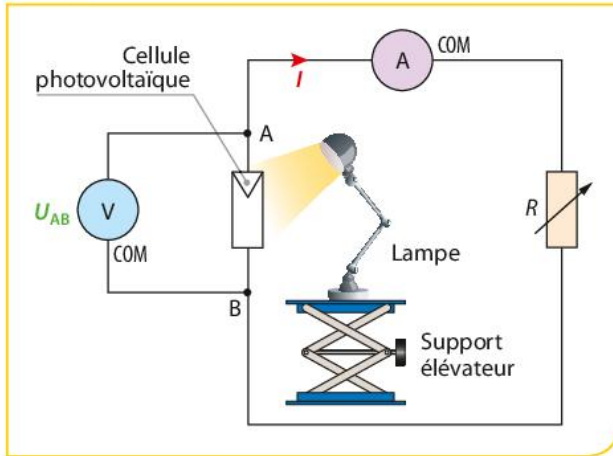
- 1 Réaliser le circuit électrique correspondant au doc. 1 et suivre le protocole.
- 2 Tracer la caractéristique tension-courant de la pile étudiée ( $U$  en ordonnée et  $I$  en abscisse).
- 3 Modéliser la caractéristique et donner son équation numérique.
- 4 Lire le doc. 2 et faire correspondre les coefficients de l'équation numérique aux propriétés de la pile. Déterminer l'unité du coefficient directeur.
- 5 À l'aide du doc 3, donner le modèle numérique, puis littéral d'une pile supposée idéale puis tracer sa caractéristique. Conclure sur le caractère idéal ou non idéal de la pile étudiée.
- 6 Expliquer comment modéliser le comportement d'une pile dans un circuit en associant une source idéale de tension et une résistance.

### 3 Évaluer le rendement d'un convertisseur

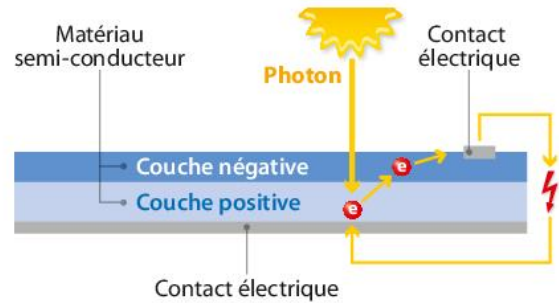
Pour leur projet de maison miniature écologique, Marie, Jordan et Fatiha envisagent d'alimenter une DEL avec une cellule photovoltaïque. Mais ils ne savent pas si c'est possible...

**Comment optimiser le rendement d'une cellule photovoltaïque ?**

#### Doc. 1 Circuit électrique du montage

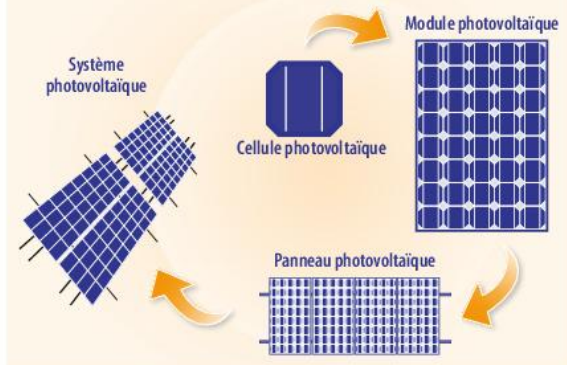


#### Doc. 2 Cellule photovoltaïque



Une cellule photovoltaïque, ou cellule solaire, est un dispositif qui produit de l'électricité à partir de la lumière qu'il reçoit : c'est l'effet photovoltaïque.

#### De la cellule solaire au système photovoltaïque



Les cellules sont assemblées en modules, qui sont regroupés pour former les panneaux solaires.

#### Matériel et produits disponibles

Cellule photovoltaïque • Lampe de bureau • Deux multimètres • Boîte de résistances (de 1 Ω à 100 kΩ) • Fils électriques • Règle graduée • Luxmètre ou application de type « Physics Toolbox » • Support élévateur (pour faire varier l'éclairement).

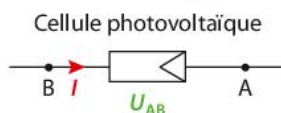
#### Doc. 3 Puissance électrique utile, fournie par une cellule solaire

La puissance électrique  $P$  utile, fournie par la cellule et exprimée en W, est :

$$P = U_{AB} \times I$$

$U_{AB}$  : tension électrique aux bornes de la cellule (V)

$I$  : intensité du courant qui traverse la cellule de B vers A (A)



#### Protocole

##### Étude du rendement en faisant varier la résistance pour un éclairement fixé

- À l'aide du matériel disponible, réaliser le circuit électrique du doc. 1.
- Noter la distance entre la lampe et la cellule photovoltaïque.
- Ne pas bouger la cellule pendant la prise de mesures.
- À l'aide du luxmètre, mesurer l'éclairement reçu par la cellule, pour en déduire la puissance lumineuse reçue par la cellule (en W).
- Faire varier la résistance  $R$  en répartissant les mesures entre les valeurs minimale et maximale de  $U_{AB}$ .
- Mesurer les valeurs de  $U_{AB}$  correspondantes.
- Pour chaque valeur de  $R$ , noter les valeurs de  $U_{AB}$  et  $I$  correspondantes dans un tableau.



**Doc. 4** Utilisation du luxmètre

Un luxmètre mesure un flux lumineux reçu par unité de surface, noté  $\mathcal{E}$ . Son unité est le lux (symbole lx).  
 Il dépend de la distance d'éloignement à la source lumineuse, et de la couleur de la source lumineuse.  
 On admettra qu'un éclairement de  $\mathcal{E} = 1,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  correspond à un flux lumineux de l'ordre de 700 lx.

**Doc. 5** Rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement d'une cellule photovoltaïque, à une température donnée, est défini par la relation suivante :

$$r = \frac{P}{P_{\text{lum}}}$$

$P$  : puissance électrique délivrée par une cellule photovoltaïque pour un éclairement donné, en watts (W)

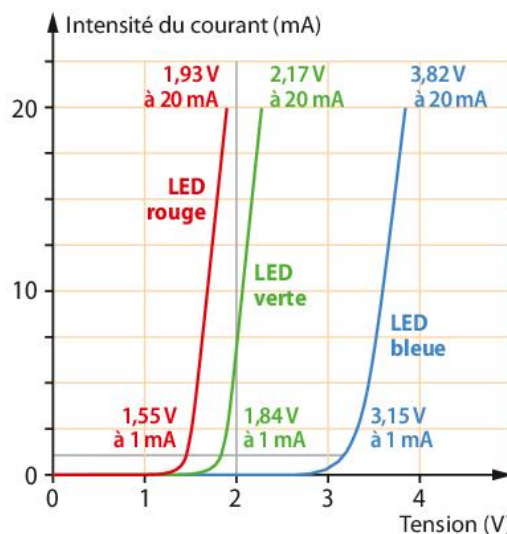
$P_{\text{lum}}$  : puissance lumineuse reçue par une cellule photovoltaïque, en watts (W)

$$P_{\text{lum}} = \mathcal{E} \times S$$

$\mathcal{E}$  : éclairement en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$   
 $S$  : surface éclairée en  $\text{m}^2$

**Doc. 6** Caractéristique de la DEL à alimenter

D'après la caractéristique de la DEL utilisée par Marie, Jordan et Fatiha, son fonctionnement correspond à 2,17 V et 20 mA.



**Démarche expérimentale**

→ S'approprier, réaliser

→ Analyser, réaliser

→ Analyser

→ Réaliser

- 1 Réaliser le protocole pour étudier le rendement en faisant varier la résistance avec un éclairement fixé.
- 2 Pour chaque valeur de  $R$ , calculer la puissance électrique associée, puis tracer la courbe représentative de  $P$  en fonction de  $U_{AB}$ .
- 3 Déterminer la valeur de la résistance  $R$  pour laquelle la puissance est maximale et en déduire le rendement maximal (doc. 5).
- 4 Concevoir et réaliser un protocole pour étudier le rendement en faisant varier l'éclairement, à résistance fixée.
- 5 Tracer la courbe du rendement en fonction de l'éclairement. Déterminer dans quelles conditions se placer pour avoir un rendement maximal.

**Conclusion**

**De l'activité au cours**

→ Analyser, communiquer

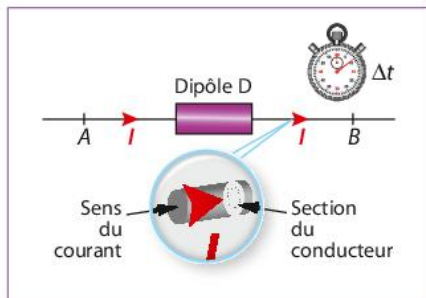
6 À l'aide du doc. 6, indiquer à Marie, Jordan et Fatiha s'ils peuvent utiliser la cellule pour alimenter leur DEL.

7 Proposer le diagramme énergétique d'un convertisseur de puissance et la définition de son rendement : on utilisera les mots « puissance entrante », « puissance sortante » et « puissance perdue ».

**DIFFÉRENCIATION** : → Aide [doc. 2]

Milieu	Porteurs de charge	Charge électrique (C)
Solide conducteur métallique	Électrons libres	$-e$
Solution électrolytique	Cations $X^{n+}$	$+n \times e$ $n$ entier naturel
	Anions $X^{n-}$	$-n \times e$ $n$ entier naturel

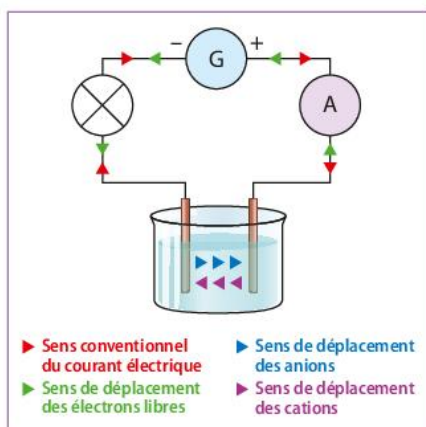
**Doc. 1.** Porteurs de charge et charge électrique selon le milieu considéré.



**Doc. 2.** Mesure de l'intensité du courant.

## Ne pas confondre...

...capacité et charge électrique...  
Dans le langage courant, la « capacité » d'une pile rechargeable désigne la charge électrique (en C) que peut faire circuler cet accumulateur pendant un cycle complet de décharge. Elle est indiquée en mA · h (avec  $1 \text{ mA} \cdot \text{h} = 3,6 \text{ C}$ ).



**Doc. 3.** Sens conventionnel du courant électrique et sens réel des porteurs de charges.

## A Courant électrique continu

### 1 Courant électrique et porteurs de charges

► Un courant électrique est un **déplacement d'ensemble, ordonné, de particules chargées**.

Il est différent du mouvement aléatoire que les particules chargées peuvent avoir dans leur environnement en l'absence de générateur.

► **Les porteurs de charge électrique** sont les particules responsables du déplacement de la charge électrique et dépendent du milieu considéré (**doc. 1**).

► **Par convention**, le sens du courant est celui du déplacement des porteurs de charges **positives**.

### 2 Intensité du courant électrique

► L'intensité du courant électrique est un **débit de charges électriques** à travers la section  $S$  d'un conducteur (**doc. 2**).

$$I = \frac{|Q|}{\Delta t}$$

$I$  : intensité du courant électrique en ampères (A) avec  $1 \text{ A} = 1 \text{ C} \cdot \text{s}^{-1}$

$|Q|$  : valeur absolue de la charge électrique  $Q$  en coulombs (C) traversant la section  $S$  du conducteur pendant  $\Delta t$

$\Delta t$  : durée en secondes (s)

► **En régime continu**, l'intensité du courant électrique **ne varie pas au cours du temps**.

→ **Activité 1**

## B Sources réelles de tension continue

### 1 Définition d'une source de tension continue

► Une **source de tension continue** est un **générateur** qui impose le sens de circulation des porteurs de charge électrique dans le circuit. **Elle est responsable du déplacement d'ensemble, ordonné** des porteurs de charge électrique.

► Une source de tension continue est caractérisée par sa **tension à vide**, notée  $E$ . C'est la **tension** que l'on mesure à ses bornes lorsqu'elle **ne débite pas de courant**.

► **Par convention**, le courant électrique circule dans le circuit **de la borne positive vers la borne négative** du générateur.

Dans un **conducteur métallique** : les électrons libres circulent de la borne **négative** vers la borne positive du **générateur**, c'est-à-dire dans le sens inverse du sens conventionnel du courant.

Dans une **solution électrolytique** : les **cations** chargés positivement, circulent dans le **sens conventionnel** du courant et les **anions**, chargés négativement, circulent dans le **sens inverse du sens conventionnel** (**doc. 3**).

### Éviter les erreurs...

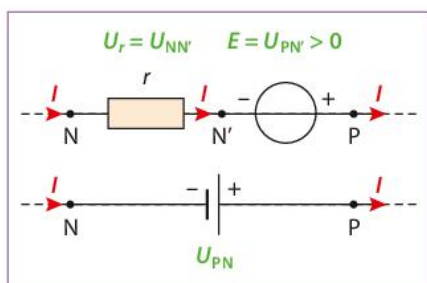
... en faisant attention aux signes des grandeurs électriques :

- $U_{PN} > 0$  (P pour « positif » et N pour « négatif »).
- $I > 0$  avec  $I$  « sortant » par P et « rentrant » par N (ou  $I$  orienté de N vers P).

### Éviter les erreurs...

... la caractéristique tension-courant d'une source réelle de tension continue étant une droite **décroissante**, la tension aux bornes de la source de tension **diminue** lorsque l'intensité du courant électrique qu'elle délivre **augmente**.

$E$  correspond à l'**ordonnée à l'origine** de la caractéristique de la source réelle de tension continue.

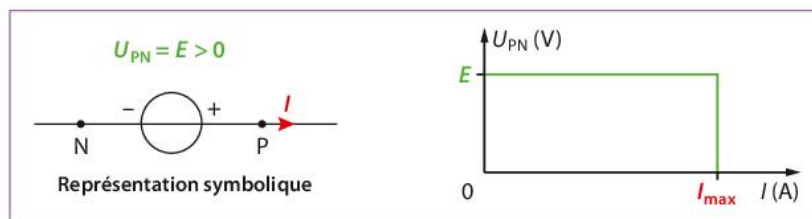


Doc. 6. Représentation d'une source réelle de tension continue.

## 2 Caractéristique tension-courant d'une source de tension continue

### a. Sources idéales de tension continue

Une source **idéale** de tension continue délivre une **tension constante**  $U_{PN} = E$  quelle que soit l'intensité du courant qui la parcourt, jusqu'à une valeur maximale de l'intensité à ne pas dépasser.

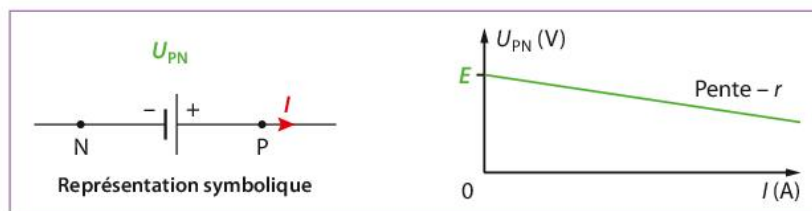


Doc. 4. Représentation et caractéristique tension-courant d'une source idéale de tension continue  $U_{PN} = E$ .

$E$  est la **tension à vide** de la source idéale de tension.

### b. Sources réelles de tension continue

► La **caractéristique tension-courant** d'une source **réelle** de tension continue, comme par exemple une pile, est la courbe représentative de  $U_{PN}$  en fonction de  $I$  : c'est une droite **de coefficient directeur négatif** (ou **de pente négative**).



Doc. 5. Caractéristique tension-courant d'une source réelle de tension continue.

► La **tension à vide**, pour  $I = 0$  A, de la source **réelle** de tension continue est :

$$U_{PN}(0) = E$$

## 3 Modélisation d'une source réelle de tension continue

► Une source **réelle** de tension continue peut être modélisée par l'association **série** d'une source **idéale** de tension continue  $E$  et d'une **résistance**  $r$  appelée **résistance interne** de la source réelle de tension continue (doc. 6).

► La **loi d'Ohm** aux bornes de la résistance  $r$ , s'écrit :  $U_r = r \times I$ .

$$U_{PN} = U_{PN'} + U_{N'N} = E - U_{NN'} = E - U_r = E - r \times I$$

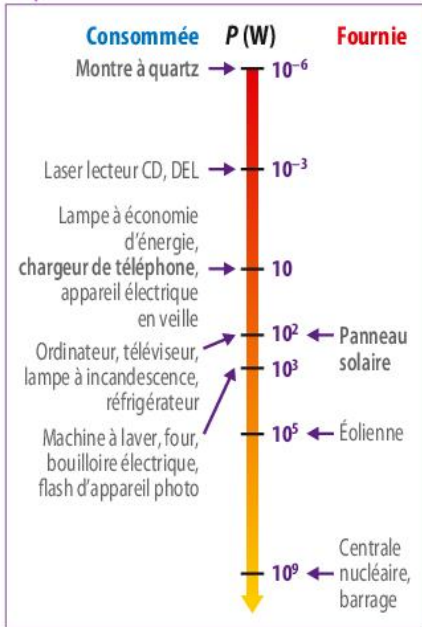
$U_{PN}$  : tension en volts (V)

$E$  : tension à vide en volts (V)

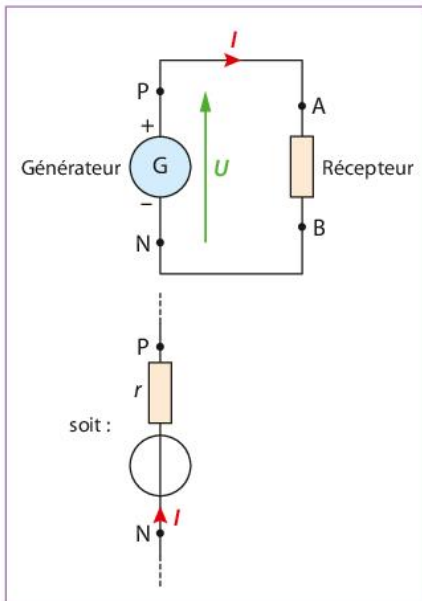
$r$  : résistance interne en ohms ( $\Omega$ )

$I$  : intensité du courant en ampères (A)

→ **Activité 2**



**Doc. 7.** Exemples de puissances  $P$  fournies ou consommées par des dispositifs courants (en gras les dispositifs à régime continu).



**Doc. 8.** Bilan de puissance dans un circuit.

## C Bilan de puissance dans un circuit

### 1 Puissance électrique

► Une **puissance électrique** est un **débit d'énergie**, c'est-à-dire une quantité d'énergie fournie par un système à un autre par unité de temps : elle se calcule à chaque instant et est notée  $P$ .

$$P = \frac{\mathcal{E}}{\Delta t}$$

$P$  : puissance en watts (W) avec  $1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$

$\mathcal{E}$  : énergie en joules (J)

$\Delta t$  : durée en secondes (s)

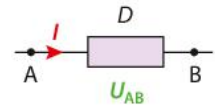
► La puissance électrique mise en jeu dans des dispositifs usuels peut prendre des ordres de grandeurs très variés (**doc. 7**).

#### a. Puissance consommée par un dipôle récepteur

► Un dipôle a un caractère **récepteur** s'il reçoit de l'énergie électrique et la **consomme** en la convertissant en une autre forme d'énergie.

► La puissance électrique **consommée** par un dipôle **récepteur** est :

$$P_{\text{consommée}} = U_{AB} \times I$$



$P$  : puissance en watts (W)

$U_{AB}$  : tension en volts (V)

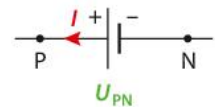
$I$  : intensité du courant électrique traversant le dipôle de A vers B en ampères (A)

#### b. Puissance utile fournie par un générateur

► Un dipôle a un caractère **générateur** s'il **fournit** de l'énergie électrique au reste du circuit.

► La puissance électrique **utile** est **fournie** par un **générateur**, comme par exemple une pile, au reste du circuit :

$$P_{\text{utile}} = U_{PN} \times I$$



$P$  : puissance en watts (W)

$U_{PN}$  : tension en volts (V)

$I$  : intensité du courant électrique, orienté dans le sens conventionnel du courant en ampères (A)

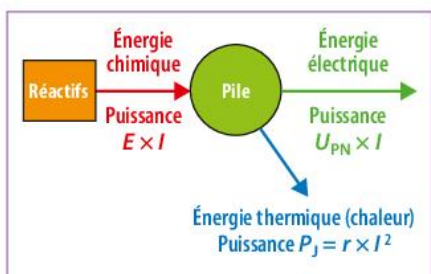
### 2 Bilan de puissance dans un circuit

► Dans un circuit électrique, la puissance **utile**, fournie par le générateur, est égale à la puissance **consommée** par les récepteurs (**doc. 8**).

$$P_{\text{utile}} = P_{\text{consommée par le(s) récepteur(s)}} = U_{PN} \times I$$

► En modélisant le générateur par une source **réelle** de tension continue (**doc. 8**), on démontre :

$$P_{\text{utile}} = U_{PN} \times I = (\mathcal{E} - r \times I) \times I = \mathcal{E} \times I - r \times I^2 = \mathcal{E} \times I - P_J$$



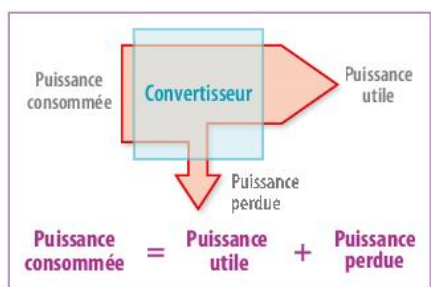
**Doc. 9.** Bilan de puissance pour une pile électronique réelle.

Convertisseur	Énergie	
	entrante	sortante
Panneau photovoltaïque	lumineuse	électrique
Pile électrochimique	chimique	électrique
Lampe	électrique	lumineuse
Radiateur	électrique	thermique
Voiture électrique	électrique	mécanique

**Doc. 10.** Exemples de convertisseurs d'énergie.

Convertisseur	Rendement
Panneau photovoltaïque	15 %
Centrale nucléaire	33 %
DEL	80 %
Lampe à incandescence	5 %
Radiateur	100 %
Voiture électrique	De 50 à 65 %

**Doc. 11.** Exemples de rendements.



**Doc. 12.** Diagramme de puissance d'un convertisseur.

Le terme  $E \times I$  représente la **puissance chimique produite** par les réactifs.

Une partie de cette puissance ( $P_J = r \times I^2$ ) est **consommée** et dissipée sous forme de chaleur par effet Joule dans la source réelle de tension, du fait de la présence de la résistance interne.

La différence  $U_{PN} \times I$  représente la **puissance électrique utile fournie au reste du circuit** :  $P_{\text{utile}}$ .

Ainsi, une source **idéale** de tension fournit l'**intégralité** de la puissance électrique qu'elle produit au reste du circuit, alors qu'une source **réelle** de tension en **consomme** une partie (**doc. 9**).

## D Rendement d'un convertisseur

### 1 Principe d'un convertisseur

▶ Contrairement à ce qui est dit dans le langage courant, l'énergie ne peut pas être produite : **elle se transforme**.

▶ Un convertisseur d'énergie est un dispositif qui **convertit** une forme d'énergie dite **énergie entrante**, en une autre forme d'énergie dite **énergie sortante**.

L'**énergie sortante** est l'énergie **utile** à la réalisation d'un service (comme s'éclairer, se chauffer, se déplacer etc. **doc. 10**).

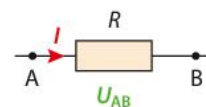
▶ La **puissance** d'un convertisseur d'énergie caractérise sa capacité à **transformer l'énergie plus ou moins vite**.

### 2 Cas des dipôles ohmiques : effet Joule

▶ Un conducteur ohmique convertit l'intégralité de l'énergie qu'il reçoit sous forme électrique en énergie thermique : c'est ce que l'on appelle l'**effet Joule**.

Aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance  $R$ , la puissance consommée vaut  $P = U_{AB} \times I$  avec  $U_{AB} = R \times I$  (loi d'Ohm) donc :

$$P_J = U_{AB} \times I = R \times I^2 = \frac{U_{AB}^2}{R}$$



▶ Un conducteur ohmique s'échauffe lorsqu'il est traversé par un courant électrique : plus sa résistance est élevée, plus sa température augmente.

### 3 Rendement d'un convertisseur

▶ Le rendement  $\eta$  («êta») d'un convertisseur est le rapport entre la **puissance utile** pour réaliser un service, et la **puissance consommée**, c'est-à-dire la puissance absorbée pour réaliser ce service.

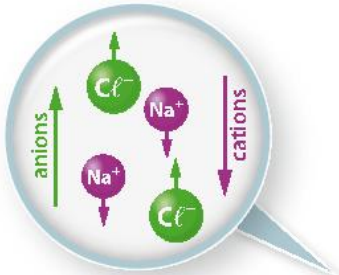
$$\eta = \frac{\text{puissance utile}}{\text{puissance consommée}} \leq 1$$

▶ Le rendement, sans unité, s'exprime généralement en % (**doc. 11**).

▶ Une partie de la puissance consommée est **perdue** : elle est souvent dissipée sous forme de puissance thermique (**doc. 12**).

→ **Activité 3**

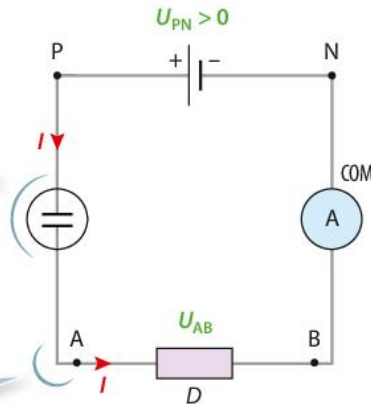
## Courant électrique continu



Solution électrolytique ou électrolyte



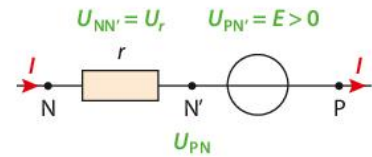
Conducteur métallique



$$I = \frac{|Q|}{\Delta t}$$

en A → ← en C  
← en s

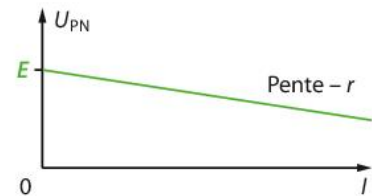
## Sources réelles de tension continue



en Ω

$$U_{PN} = E - r \times I$$

en V      en A



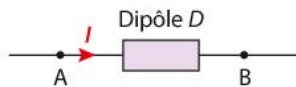
## Bilan de puissance dans un circuit

### Puissance et énergie

$$P = \frac{\mathcal{E}}{\Delta t}$$

en W → ← en J  
← en s

### Puissance consommée par un récepteur

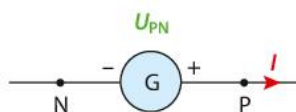


Représentation symbolique

$$P_{\text{consommée}} = U_{AB} \times I$$

en W      en V      en A

### Puissance utile fournie par un générateur

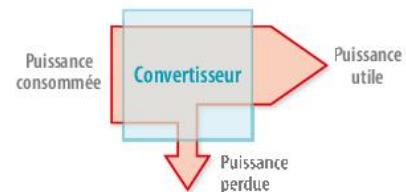


Représentation symbolique

$$P_{\text{utile}} = U_{PN} \times I$$

en W      en V      en A

## Rendement d'un convertisseur



$$P_{\text{consommée}} = P_{\text{utile}} + P_{\text{perdue}}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{consommée}}} \leq 1$$

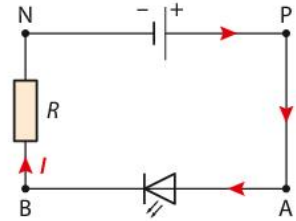
en W

## Résoudre un exercice

### Énoncé

Une pile dont les caractéristiques sont  $E = 9,0\text{V}$  et  $r = 5,0\Omega$  débite un courant d'intensité  $I = 20,0\text{mA}$  lorsqu'elle est branchée en série avec une résistance  $R$  et une diode électroluminescente bleue. La tension aux bornes de la DEL est  $U_{AB} = 3,2\text{V}$ .

1. Calculer la valeur de la tension aux bornes de la pile.
2. Déterminer la tension  $U_{BN}$  aux bornes de la résistance ainsi que la valeur de cette résistance.
3. Déterminer l'énergie électrique fournie par le générateur lors d'un fonctionnement de 10 minutes et calculer la charge électrique qui a circulé pendant cet intervalle de temps.



### Conseils

1. Utiliser la modélisation d'une source réelle de tension pour calculer la tension aux bornes de la pile.
2. Utiliser la loi d'Ohm pour trouver le lien entre la tension aux bornes de la résistance et la valeur de  $R$ .
3.
  - Faire attention aux unités dans les applications numériques.
  - Respecter le nombre de chiffres significatifs (ici 2).

### Résolution

1. La tension aux bornes de la pile réelle est donnée par la relation :

$$U_{PN} = E - r \times I = 9,0 - 5,0 \times 0,020 = 8,9\text{V}.$$

2. D'après la loi des mailles :

$$U_{PN} = U_{PA} + U_{AB} + U_{BN} = U_{AB} + U_{BN}$$

car la tension aux bornes d'un fil est nulle.

$$U_{BN} = U_{PN} - U_{AB} = 8,9 - 3,2 = 5,7\text{V}.$$

En appliquant la loi d'Ohm à la résistance,

$$U_{BN} = R \times I \text{ donc } R = \frac{U_{BN}}{I} = \frac{5,7}{0,020} = 2,9 \times 10^2 \Omega.$$

3. L'énergie électrique fournie par la pile se calcule à l'aide de la formule  $\mathcal{E}_{\text{pile}} = P_{\text{pile}} \times \Delta t$ .

$$P_{\text{pile}} = U_{PN} \times I = 8,9 \times 0,020 = 1,8 \times 10^{-1}\text{W}$$

$$\mathcal{E}_{\text{pile}} = 1,8 \times 10^{-1} \times 10 \times 60 = 1,1 \times 10^2\text{J}$$

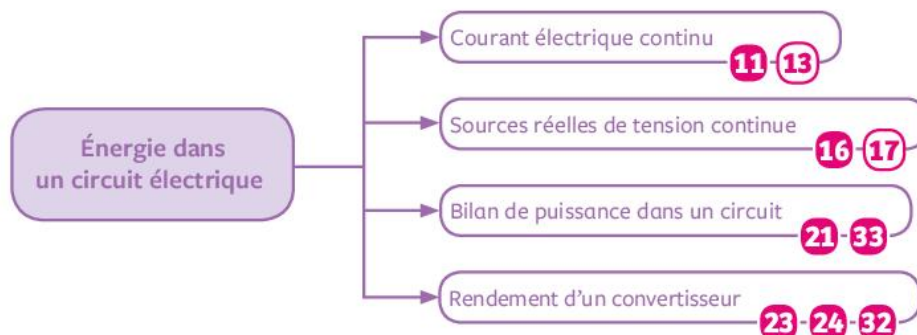
La charge électrique qui circule en dix minutes vaut :

$$Q = I \times \Delta t = 0,020 \times 10 \times 60 = 12\text{C}.$$

→ Exercice 25 p. 257

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

**1** Dans une solution électrolytique, les porteurs de charge électrique sont :

- A : des électrons.      B : des cations.  
C : des anions.      D : des atomes.

**2** La relation entre  $I$ ,  $|Q|$  et  $\Delta t$  est :

- A :  $I \times \Delta t = |Q|$ .    B :  $I = |Q| \times \Delta t$ .    C :  $I = \frac{|Q|}{\Delta t}$ .    D :  $\frac{I}{\Delta t} = |Q|$ .

**3** L'intensité du courant électrique dans un fil conducteur est égale :

- A : au nombre d'électrons qui traversent une section de ce fil.  
B : au nombre d'électrons qui traversent une section de ce fil en une seconde.  
C : à la charge électrique des électrons qui traversent une section de ce fil.  
D : à la valeur absolue de la charge électrique des électrons qui traversent une section de ce fil en une seconde.

**4** La tension aux bornes d'une source réelle de tension à vide  $E$  et de résistance interne  $r$  s'écrit :

- A :  $-E + r \times I$ .      B :  $E + r \times I$ .  
C :  $E - r \times I$ .      D :  $-E - r \times I$ .

**5** Soit  $P$  la puissance électrique consommée par un appareil. Peut-on calculer l'intensité du courant qui circule dans l'appareil ?

- A : Oui, d'autres données sont inutiles.  
B : Oui, si la tension aux bornes de l'appareil est donnée.  
C : Oui, si la durée de fonctionnement de l'appareil est donnée.  
D : Non, il n'y a aucun moyen.

**6** Parmi les unités suivantes ; indiquer lesquelles sont des unités d'énergie :

- A :  $W \cdot h$ .    B :  $W$ .    C :  $J \cdot s^{-1}$ .    D :  $kJ$ .

**7** Si  $U$  et  $I$  sont connues pour un dipôle, alors la puissance  $P$  qu'il reçoit ou cède vaut :

- A :  $U \times I^2$ .    B :  $\frac{U}{I}$ .    C :  $U \times I$ .    D :  $\frac{I}{U}$ .

**8** Le rendement  $\eta$  d'une lampe est défini par :

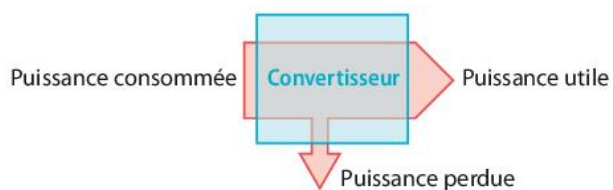
- A :  $\frac{P_{\text{électrique}}}{P_{\text{thermique}}}$ .    B :  $\frac{P_{\text{lumineuse}}}{P_{\text{électrique}}}$ .    C :  $\frac{P_{\text{thermique}}}{P_{\text{électrique}}}$ .    D :  $\frac{P_{\text{lumineuse}}}{P_{\text{thermique}}}$ .

## FOCUS MATHS

### La proportion

Pour calculer le rendement d'un convertisseur, il faut exprimer le rapport de la puissance (ou l'énergie) utile sur la puissance (ou l'énergie) consommée, c'est-à-dire nécessaire au fonctionnement du convertisseur.

Il est donc nécessaire d'avoir identifié ces deux grandeurs et tracé un schéma de conversion de puissance (ou d'énergie) pour ne pas se tromper.



Le rendement est défini par :

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{consommée}}} = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{utile}} + P_{\text{perdue}}} \leq 1.$$

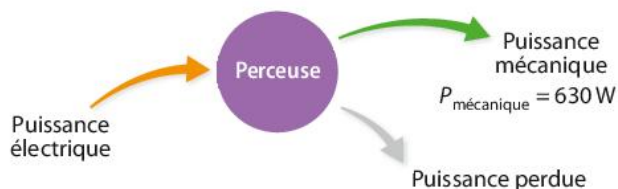
### 9 Exercice résolu

Une perceuse électrique fournit une puissance utile de 630 W et a un rendement de 60 %.

► Représenter son schéma de conversion de puissance et calculer la puissance électrique consommée.

#### Solution commentée

La perceuse consomme de la puissance électrique et fournit de la puissance mécanique.



Le rendement de la perceuse s'écrit :

$$\eta = \frac{P_{\text{mécanique}}}{P_{\text{électrique}}} \text{ d'où } P_{\text{électrique}} = \frac{P_{\text{mécanique}}}{\eta}$$

$$\text{Donc } P_{\text{électrique}} = \frac{630}{0,6} = 1,1 \text{ kW.}$$

### 10 Exercice d'application

Une éolienne de rendement 35% est capable de produire une puissance électrique de 14 kW.

► Représenter le schéma de conversion de puissance associé et calculer la puissance utile.





## Entraînement

### Courant électrique continu

**11** Aide p. 256 Le chlorure de calcium est un solide ionique de formule  $\text{CaCl}_2(\text{s})$  qui ne conduit pas le courant électrique à température ambiante. Il devient conducteur lorsqu'il fond à  $772\text{ }^\circ\text{C}$ .

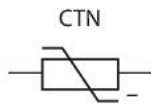
► Justifier ces propriétés.

**12** Deux électrodes en graphite reliées à un générateur de tension continue sont plongées dans un béccher contenant de l'eau distillée. L'intensité du courant augmente lorsqu'on dissout dans l'eau du chlorure de cuivre  $\text{CuCl}_2(\text{s})$ , un solide ionique.

► Faire le schéma du montage, indiquer le sens du courant et le sens de déplacement de tous les porteurs de charge dans les fils électriques, les électrodes et la solution aqueuse.

**13** Aide p. 256 Un montage en série comporte un générateur de tension continue, un ampèremètre, un interrupteur, une lampe et une thermistance CTN dont la résistance diminue lorsque la température augmente.

#### Doc. 1 Symbole de la thermistance



**1.** Représenter le schéma de ce montage et indiquer par des flèches le sens du courant électrique et des porteurs de charges.

**2.** Expliquer comment évolue l'intensité du courant lorsque la température augmente.

**14** Au cours d'un éclair de durée  $3,0\text{ ms}$ ,  $2\,000$  milliards de milliards d'électrons issus d'un nuage traversent l'air et le paratonnerre d'une tour.



**1.** Déterminer la charge électrique traversant le paratonnerre.

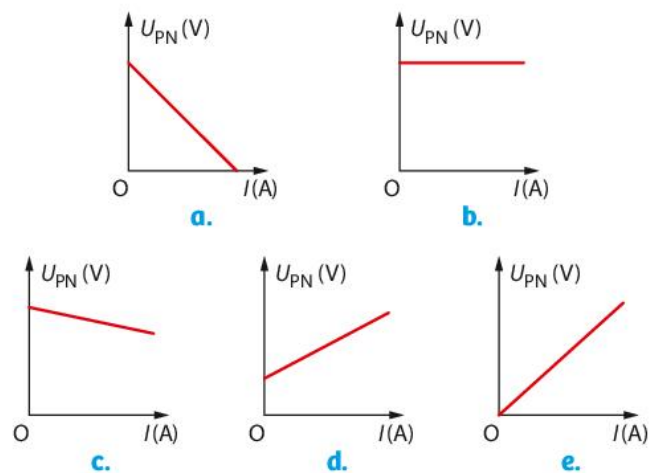
**2.** En déduire l'intensité du courant électrique correspondant.

**15** Un fil de cuivre de section  $s = 2,5\text{ mm}^2$  est parcouru par un courant d'intensité  $I = 8,0\text{ A}$ .

► Calculer le nombre d'électrons qui vont traverser une section de ce fil pendant une minute.

### Source réelle de tension continue

**16** Aide p. 256 Les graphes ci-dessous représentent les caractéristiques tension-courant de différents dipôles avec les mêmes échelles.



**1.** Identifier parmi ces courbes celle qui représente une source de tension idéale et celles qui représentent une source de tension réelle.

**2.** Indiquer parmi les sources de tension réelles laquelle possède la résistance interne la plus faible.

**17** Aide p. 256 La tension électrique aux bornes d'une batterie nickel-cadmium est de  $1,18\text{ V}$  quand elle débite une intensité de  $100\text{ mA}$ . Cette tension chute à  $1,10\text{ V}$  lorsque l'intensité débitée est de  $0,500\text{ A}$ .

► Calculer la tension à vide et la résistance interne de cet accumulateur.

### 18 Calcul d'incertitude

Charlie branche un voltmètre aux bornes de sa pile et obtient les valeurs suivantes, en éteignant puis rallumant son voltmètre :

$U_{\text{PN}}(\text{V})$  : 4,52 4,48 4,50 4,48 4,53 4,51 4,50  
4,49 4,52 4,49 4,48 4,51 4,49 4,50

**1.** Que mesure le voltmètre de Charlie ?

**2.** À l'aide de votre calculatrice ou d'un tableur, calculer la moyenne, l'écart-type et l'incertitude-type.

## Bilan de puissance dans un circuit

→ **En binôme : évaluation croisée**

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**19** Un dipôle ohmique est parcouru par un courant d'intensité 800 mA sous une tension de 9,8 V pendant 5 minutes.

1. Calculer la valeur de la résistance de ce conducteur ohmique.
2. Calculer la puissance puis l'énergie dissipée par ce conducteur ohmique.
3. Indiquer sous quelle forme est dissipée cette énergie.

### Critères d'évaluation

- 1 La loi d'Ohm est citée et correctement écrite. L'unité de la résistance est précisée.
- 2 La puissance est exprimée avec la bonne unité (W). La relation entre la puissance et l'énergie est connue. Les unités sont correctes.
- 3 La dissipation d'énergie sous forme thermique est connue et l'expression « effet Joule » est citée.

**20** La puissance maximale que peut dissiper un conducteur ohmique de  $330 \Omega$  par effet joule est de 1 W.

1. Déterminer la valeur maximale de l'intensité du courant qui peut traverser cette résistance.
2. En déduire la tension maximale que l'on peut lui appliquer.
3. Calculer l'énergie dissipée par effet Joule dans ce conducteur pendant 20 minutes si l'intensité est de 20 mA.

### Critères d'évaluation

- 1 Les deux relations utiles sont combinées correctement pour obtenir la relation entre  $P$ ,  $R$  et  $I$ .
- 2 La loi d'Ohm est citée et correctement écrite. La tension maximale est calculée et son unité est indiquée.
- 3 La relation entre la puissance et l'énergie est connue.

**21** Aide p. 256 Alan a quitté sa chambre à 7 h 15.

En rentrant du lycée à 16 h 45, il se rend compte qu'il a oublié d'éteindre une lampe de 18,5 W dans sa chambre. Le prix d'un kWh est environ 0,15 €.



1. Calculer l'énergie consommée par la lampe pendant son absence.
2. En déduire le prix correspondant.

## Rendement d'un convertisseur

### 22 Exercice inversé

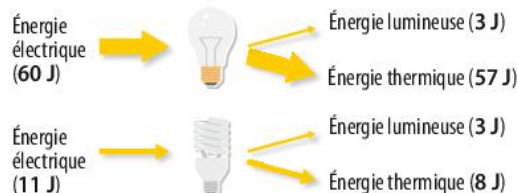
Chaque phrase suivante est une réponse. Proposer une ou des questions appropriées à la réponse donnée.

La puissance électrique moyenne produite par une tranche d'une centrale nucléaire est de 1 GW. Le rendement d'une centrale nucléaire est de l'ordre de 33 %.

1.  $\eta = \frac{P_{\text{électrique}}}{P_{\text{thermique}}}$ .
2. Avec  $\eta = 33\%$  et  $P_{\text{électrique}} = 1 \text{ GW}$ , on obtient  $P_{\text{thermique}} = \frac{1}{0,33} = 3 \text{ GW}$ .
3. La relation  $P_{\text{thermique}} = P_{\text{électrique}} + P_{\text{perdue}}$  permet de calculer  $P_{\text{perdue}} = P_{\text{thermique}} - P_{\text{électrique}} = 2 \text{ GW}$ .

**23** Aide p. 256 Depuis le 31 décembre 2012, il est interdit de vendre des ampoules à incandescence en France.

### Doc.1 Comparaison entre ampoule à incandescence et ampoule fluo compacte



► Calculer le rendement de chaque type d'ampoule du document fourni et justifier cette interdiction.

### Différenciation

Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 11

• Au cours de la fusion, de l'énergie est fournie au solide ionique pour libérer ses ions.

#### Aide pour l'exercice 13

• Plus la résistance est élevée dans une branche de circuit électrique, plus l'intensité du courant électrique qui la parcourt est faible.

#### Aide pour l'exercice 16

• Se rappeler de la définition d'une source de tension idéale pour identifier sa caractéristique.

#### Aide pour l'exercice 17

• Les deux couples de points  $(I, U_{PN})$  permettent d'écrire un système de deux équations à deux inconnues  $E$  et  $r$ .

#### Aide pour l'exercice 21

• Déterminer la durée pendant laquelle la lampe reste allumée, puis utiliser la formule liant la puissance et l'énergie.

#### Aide pour l'exercice 23

• Identifier les valeurs des énergies sur les deux schémas fournis. Plus le rendement est élevé, plus le convertisseur est intéressant.



## Synthèse

### 24 Aide p. 258 Four à micro-ondes

→ Analyser, réaliser

Un four à micro-ondes de 1 200 W a un rendement de 65 %. Pour élever la température de 1 mL d'eau de 1 °C, il faut fournir une énergie de 4,18 J.

1. Représenter le schéma de conversion énergétique de ce four.
2. Calculer l'énergie perdue si le four fonctionne 2 minutes.
3. Déterminer la durée minimale nécessaire pour faire bouillir 500 mL d'eau initialement à 20 °C.

### 25 Caractéristique et modélisation d'une pile électrochimique

→ Analyser, réaliser

Au cours d'une séance de travaux pratiques, Axelle et Marius ont relié une pile électrochimique à une résistance réglable. Ils ont relevé la tension aux bornes de cette pile en fonction de l'intensité  $I$  du courant qu'elle délivre. Ils ont obtenu les résultats des mesures dans le tableau ci-dessous.

$I$ (mA)	0	100	200	300	400	500	600
$U$ (V)	4,70	4,50	4,40	4,27	4,13	3,98	3,82

1. Faire le schéma du montage électrique permettant d'effectuer les mesures.
2. Tracer la caractéristique tension-courant  $U = f(I)$  de cette pile.
3. Justifier que le nuage de points obtenu peut être modélisé par la relation :  $U = E - r \times I$ .
4. En déduire les valeurs de la tension à vide  $E$  de la pile et de sa résistance interne.
5. Déterminer la charge électrique délivrée par la pile pendant 5,0 minutes si la tension à ses bornes est 4,0 V.

### 26 Étude d'une DEL

→ Analyser, réaliser

Sur l'étiquette d'une lampe à DEL figurent les indications suivantes.

**Donnée.** Prix moyen du kWh électrique : 0,15 €.

1. Représenter le schéma de conversion de puissance de ce convertisseur d'énergie et reporter les valeurs des différentes puissances.
2. Déterminer le prix de l'énergie gaspillée sur la durée de vie de la lampe.

#### Doc.1 Étiquette

25 W – 230 V

**Rendement 75 %**

20 000 h

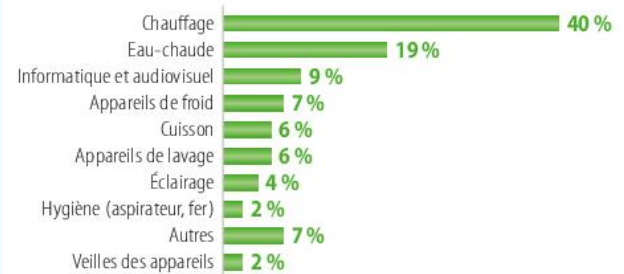
**On Off 50 000**

### 27 Dépenses énergétiques d'un logement

→ S'approprier, réaliser

La consommation moyenne d'énergie annuelle en France pour un logement est de l'ordre de 1,6 tonne équivalent pétrole. La tonne équivalent pétrole représente la quantité d'énergie thermique résultant de la combustion d'une tonne de pétrole brut soit 41,868 gigajoules.

#### Doc. 1 Consommation d'énergie pour un logement bien isolé de 90m<sup>2</sup>



Le kilowattheure (kWh) est l'unité d'énergie qui correspond à la consommation d'énergie d'une installation électrique de 1 kW pendant 1 heure.

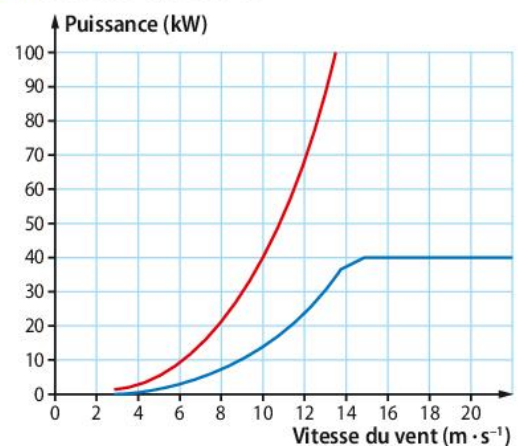
1. Montrer qu'un kilowattheure correspond à  $3,6 \times 10^6$  J.
2. Exprimer la consommation moyenne annuelle d'un logement en kWh.
3. Déterminer l'énergie perdue par les appareils en veille.

### 28 Rendement d'une éolienne

→ Analyser, communiquer, réaliser

L'étude d'une éolienne a donné les résultats suivants.

#### Doc. 1 Courbes de puissance



1. Représenter le schéma de conversion énergétique associée à une éolienne.
2. Définir le rendement d'une éolienne et calculer sa valeur lorsque la vitesse du vent est de  $43 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .
3. Calculer l'énergie perdue si elle tourne dans ces conditions pendant une minute.

## 29 DEFI Point de fonctionnement d'un circuit

→ Analyser, réaliser

Un générateur ( $E = 6,0 \text{ V}$  ;  $r = 4,0 \Omega$ ) est branché aux bornes d'une résistance de valeur  $R = 50 \Omega$ .

1. Faire le schéma du montage.
2. Représenter le sens du courant électrique et le sens de déplacement des électrons.
3. Déterminer graphiquement les coordonnées du point de fonctionnement de ce montage.
4. En déduire la valeur de la puissance dissipée par effet Joule dans la résistance.

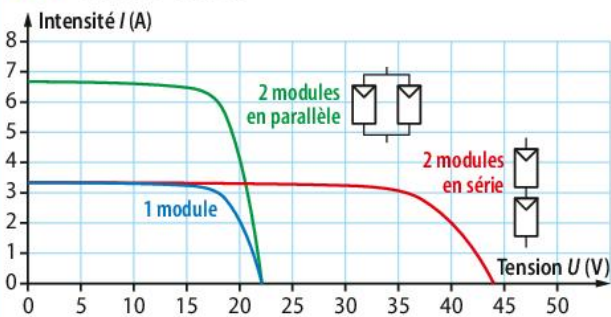
## 30 Poursuivre l'activité 3 p. 246

### Association de deux modules photovoltaïques

→ S'approprier, analyser, réaliser

Les caractéristiques courant-tension d'un module photovoltaïque et de deux associations sont données sur le doc. 1.

#### Doc. 1 Caractéristiques



1. En utilisant la loi des nœuds et la loi des mailles, interpréter les caractéristiques des associations série et parallèle de deux modules à partir de la caractéristique d'un module.
2. Une batterie solaire de charge électrique maximale 220 ampères heures doit être chargée avec deux modules. Cette charge s'effectue sous 12 V. Calculer la durée minimale de cette charge.

## 31 Générateur en court-circuit

→ Analyser, réaliser

Doria dispose d'un générateur de tension à vide de 9,0 V et de résistance interne  $3,5 \Omega$ . Elle met ce générateur en court-circuit en reliant les deux bornes par un fil électrique.

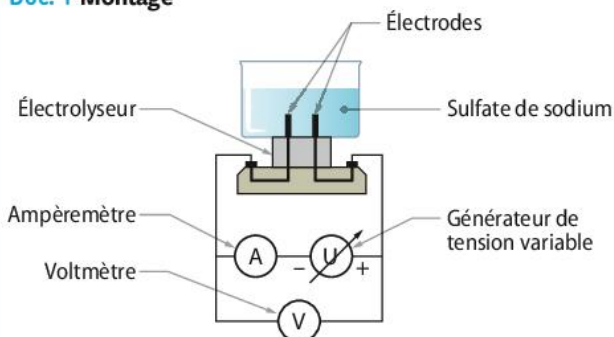
1. Faire le schéma du montage.
2. Déterminer la valeur de la tension aux bornes du générateur et la valeur de l'intensité de court-circuit.
3. En déduire la valeur de la puissance électrique fournie par la pile, ainsi que la puissance dissipée par effet Joule.
4. Déterminer le rendement du générateur et représenter son diagramme de puissance.
5. Indiquer quel est l'effet du court-circuit sur le générateur.

## 32 DEFI Aide p. 258 Electrolyseur

→ Réaliser, analyser

Hélène et Ismail ont réalisé le montage suivant afin de tracer la caractéristique tension-courant d'un électrolyseur contenant une solution de sulfate de sodium. Un électrolyseur est un récepteur qui transforme de l'énergie électrique en énergie chimique et en énergie thermique par effet Joule. Au cours de cette électrolyse, l'eau se transforme en dioxygène et en dihydrogène.

#### Doc. 1 Montage



Ils ont obtenu les valeurs suivantes.

$I$ (A)	0	0	0	0	0,020	0,047	0,061	0,073	0,100
$U$ (V)	0	1,00	2,00	2,50	3,00	3,24	3,39	3,49	3,73

1. Tracer la caractéristique  $U = f(I)$  de cet électrolyseur.
2. À partir de quelle tension appliquée par le générateur, l'électrolyseur laisse-t-il passer le courant électrique ?
3. Montrer que lorsque l'électrolyseur conduit le courant, la tension et l'intensité sont liées par une relation de la forme :  $U = E' + r' \times I$ . Déterminer les valeurs de  $E'$  et de  $r'$  et préciser les unités de ces deux grandeurs.
4. Effectuer le bilan en puissance de ce convertisseur, définir son rendement et montrer qu'il est égal à  $\eta = \frac{E'}{U}$ .
5. Représenter le diagramme de puissance de ce convertisseur pour une intensité de 50 mA et calculer son rendement dans ces conditions.

#### Différenciation

#### Aides aux exercices

##### Aide pour l'exercice 24

- Convertir la durée en secondes. Déterminer l'énergie nécessaire pour augmenter la température de l'eau de  $20^\circ \text{C}$  jusqu'à sa température d'ébullition.

##### Aide pour l'exercice 32

- Repérer les deux parties de la courbe. Une droite qui ne passe pas par l'origine est la représentation graphique d'une fonction affine.



## Problèmes

### 33 Bouilloire

Sur le socle d'une bouilloire, il est écrit : «230 V – 2200 W». Ryan verse une masse  $m = 1\,026$  g d'eau froide à la température  $\theta = 15,7$  °C dans la bouilloire et chronomètre le temps qu'il faut pour que la bouilloire porte l'eau à ébullition : il mesure 3 minutes et 55 secondes.

Il recommence ensuite l'expérience avec la même bouilloire et la même masse d'eau et mesure 3 minutes et 43 secondes.

► Expliquer pourquoi les durées des deux expériences sont différentes et, sachant qu'il faut fournir à 1 mL d'eau une énergie de 4,18 J pour augmenter sa température de 1 °C, calculer le rendement de la bouilloire après avoir représenté son diagramme énergétique.

#### Différenciation

Apprendre à résoudre 33

1. Réfléchir à ce qui est chauffé au cours des deux expériences.
2. Calculer l'énergie électrique reçue par la bouilloire pendant la durée nécessaire pour faire bouillir l'eau uniquement.
3. Calculer la variation de température de l'eau.
4. Calculer l'énergie thermique nécessaire pour porter la masse d'eau à ébullition.
5. Représenter le diagramme énergétique associé à la bouilloire et calculer son rendement.

### 34 Autonomie électrique de Solar Orbiter

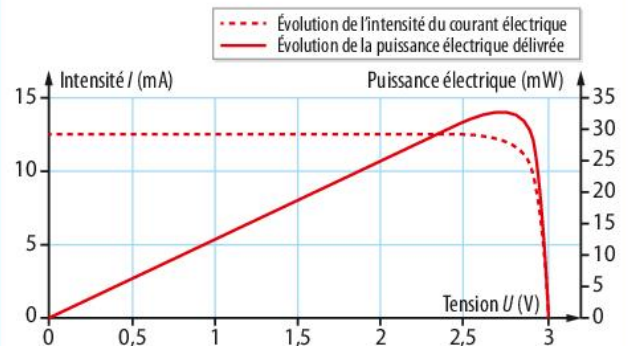
Solar Orbiter est un satellite d'observation du Soleil de l'Agence spatiale européenne qui doit être lancé en 2020 et commencer ses observations vers 2023.

#### Doc. 1 L'énergie dont aura besoin Solar Orbiter



L'énergie électrique sera produite par des cellules solaires triple jonction. La dimension des panneaux solaires permet de fournir suffisamment d'énergie lorsque le satellite se trouve à sa plus grande distance du Soleil soit 210 millions de kilomètres. La demande de puissance maximale du satellite est de 1 000 W.

#### Doc. 2 Caractéristique de la cellule triple-jonction de surface $S = 8,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ avec un ensoleillement de $1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$



(d'après l'article de M. A. Green et al. «Solar cell efficiency tables (version 39)», Progress in Photovoltaics Research and Applications, 2012; 20:12-20)

#### Doc. 3 Luminosité et puissance surfacique

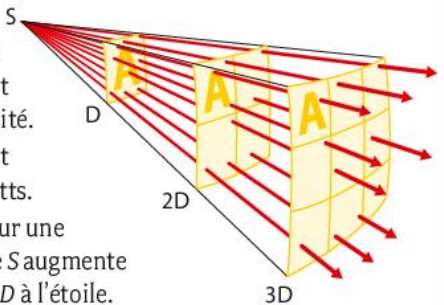
La **puissance totale rayonnée** par une étoile est appelée **luminosité**. Elle est notée  $L$  et s'exprime en watts.

Elle se répartit sur une sphère dont l'aire  $S$  augmente avec la distance  $D$  à l'étoile.

La **puissance surfacique** reçue à une distance  $D$  de l'étoile représente la puissance par unité de surface. Elle est notée  $F$  et s'exprime en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

$$L \text{ et } F \text{ sont liés par la formule : } F = \frac{L}{S} = \frac{L}{4 \cdot \pi \cdot D^2}.$$

La luminosité du Soleil est de  $3,846 \times 10^{26} \text{ W}$ .



- Déterminer la surface des cellules solaires nécessaires au fonctionnement de cette sonde.



En anglais

### 35 LED bulb vs CFL bulb

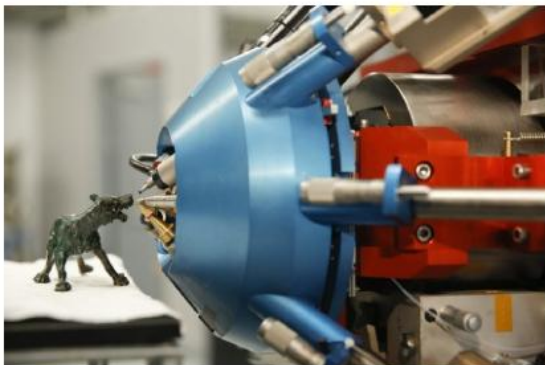
The typical replacement for a 55 W compact fluorescent light (CFL) bulb is a 28 W LED bulb. The 28 W LED bulb can provide the same amount of light as the 55 W compact fluorescent light bulb. We assume that the bulb is on for two hours and thirty minutes a day.



- What is the cost saving for using a LED bulb in place of a compact fluorescent light bulb for one year, assuming £0.14 per kilowatt-hour is the average energy rate charged by the power company?

## 36 Accélérateur de particule au service de l'art

 Bonus



Depuis décembre 1987, un accélérateur de particules baptisé AGLAE est installé au centre de recherche et de restauration des musées de France. C'est un appareil d'analyse destiné à l'étude des œuvres d'art et d'archéologie.

### Doc. 1 Extrait

#### LA MÉTHODE PIXE

La méthode PIXE (*Particule Induced X-ray Emission* ou émission de rayons X induite par des particules chargées) est utilisée pour étudier la composition des matériaux. Les atomes de l'œuvre à étudier émettent des rayons X qui leur sont propres lorsqu'ils sont bombardés par les protons du faisceau d'AGLAE.

Pour ne pas endommager les œuvres, le nombre de protons frappant la cible chaque seconde doit être adapté au matériau étudié. Ainsi, l'intensité du courant de protons ne doit pas dépasser quelques centaines de picoampères pour les matériaux fragiles tels que le papier, mais peut atteindre 50 nanoampères pour les métaux. ■

D'après le livre *La chimie et l'art* de Philippe Walter, EDP Sciences.

**Donnée.** Charge du proton :  $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$

► Évaluer l'ordre de grandeur du nombre de protons nécessaires pour l'étude d'un métal par la méthode PIXE en sachant qu'AGLAE fonctionne quelques minutes.

## Objectif BAC

## 37 Voiture électrique

À Lille, la propriétaire d'une voiture électrique envisage de rejoindre Nice, en évaluant sa vitesse moyenne à  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Les constructeurs automobiles recommandent notamment de ne pas recharger une batterie à 100 % au quotidien, mais plutôt à 80 %, pour préserver sa durée de vie.

Laisser la batterie se vider totalement jusqu'à 0 % peut l'endommager irrémédiablement.

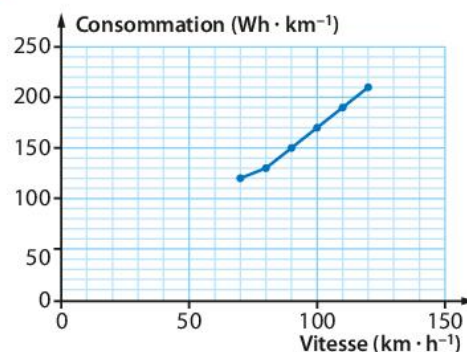
### Doc. 1 La batterie

La voiture électrique est équipée d'une batterie constituée de plus de 8 000 cellules Lithium-ion de tension **nominale** (lors d'une utilisation normale) 3,6 V et de capacité électrique 3,45 Ah. L'énergie stockée dans la batterie est de l'ordre de 100 kWh.



La batterie est constituée de 16 modules branchés en série. Chaque module comporte 6 blocs en série et chaque bloc contient 86 cellules branchées en parallèle.

### Doc. 2 Consommation électrique et vitesse



### Doc. 3 Borne de recharge rapide



La puissance d'une borne de recharge sur autoroute est généralement de 43 kW.

1. Déterminer la tension nominale de la batterie.
2. Calculer la charge électrique en coulombs stockée dans une cellule.
3. Représenter un bloc et déterminer l'intensité maximale qu'il peut fournir en fonctionnant 1 h.
4. Déterminer la durée minimale d'un trajet Lille-Nice de 1 160 km effectué sur autoroute en voiture électrique, avec une vitesse moyenne de  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

 VIDÉO présentation du chapitre

# Énergie cinétique

*Quel est le lien entre la variation de l'énergie cinétique et les forces qui agissent sur le système au cours de son mouvement ?*

## Objectifs

Utiliser l'expression de l'énergie cinétique

➔ Activité 1 p. 262

Étudier le travail d'une force constante

➔ Activité 2 p. 263

Exploiter le théorème de l'énergie cinétique

➔ Activité 3 p. 264

Déterminer la valeur d'une force de frottement

➔ Activité 4 p. 265

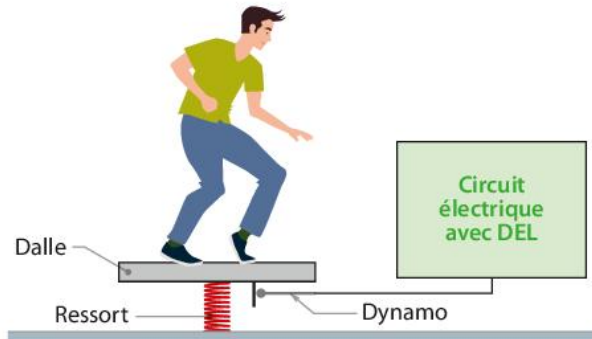
La piste de glace permet de réduire les forces de frottement sur le bobsleigh. Les sportifs lui transfèrent ainsi un maximum d'énergie cinétique.

## 1 Utiliser l'expression de l'énergie cinétique

Dans certaines boîtes de nuit, une étonnante piste de danse produit de la lumière grâce au piétinement des danseuses et des danseurs.

Comment la lumière est-elle produite par les pas de danse ?

### Doc. 1 Principe de fonctionnement du dispositif



La piste de danse est constituée de dalles qui fléchissent légèrement lorsque l'on marche dessus. Un dispositif solide de chaque dalle convertit le mouvement vertical en mouvement rotatif. Une dynamo permet de transformer le mouvement en électricité, qui alimente les DEL servant à l'éclairage de la piste.

### Doc. 2 Énergie cinétique

L'énergie cinétique d'un objet de masse  $m$  (en kg) en mouvement à la vitesse  $v$  (en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) dans un référentiel ( $\mathcal{R}$ ) est :

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

Elle s'exprime en joules (J).

### Doc. 3 Énergie produite

Un seul pas sur ces dalles produit entre 2 et 20 joules, en fonction du mouvement de la personne qui se trouve dessus.

#### Appropriation et analyse

→ S'approprier, analyser

→ Réaliser

→ Valider

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ S'approprier, communiquer

- 1 Les personnes qui dansent fournissent une énergie liée au mouvement : indiquer son nom et son unité.
- 2 En supposant que l'énergie reçue par une dalle est due au mouvement d'une personne de masse 70 kg, calculer, à l'aide des docs 2 et 3, dans quel intervalle se situe sa vitesse moyenne.
- 3 Expliquer comment une personne peut quadrupler l'énergie qu'elle produit pour éclairer la piste de danse
- 4 Représenter la chaîne de conversion de l'énergie depuis le mouvement du danseur jusqu'à l'éclairage de la DEL.

- 5 Préciser à quelles grandeurs l'énergie cinétique est proportionnelle.

**DIFFÉRENCIATION** : ➔ Exercice supplémentaire



## 2 Étudier le travail d'une force constante

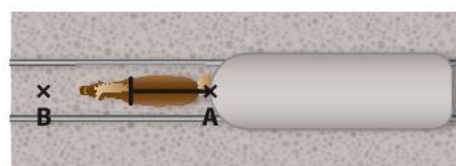
Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, le cheval était la référence de puissance des attelages. Le premier tramway a été inventé en 1832 par un new yorkais et il s'agissait d'un tramway à cheval !

Comment un cheval attelé à un tramway doit-il se déplacer pour faire avancer le tramway avec un maximum d'efficacité ?

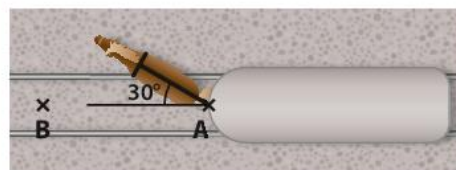
Doc. 1 Tramway à cheval



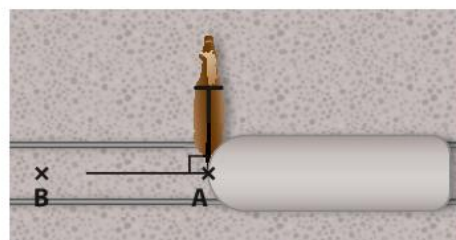
Doc. 2 Cheval tirant un tramway de différentes façons



Situation 1



Situation 2



Situation 3

Doc. 3 Travail d'une force constante

Lorsqu'une force appliquée à un système induit un mouvement du système, cette force travaille. Le déplacement est d'autant plus efficace que le travail de cette force est grand.

Le travail d'une force constante sur un déplacement  $\vec{AB}$  de son point d'application est le produit scalaire de la force  $\vec{F}$  par le déplacement  $\vec{AB}$  :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos(\theta)$$

avec  $\theta$  l'angle existant entre les vecteurs  $\vec{F}$  et  $\vec{AB}$ .  
 $W_{AB}(\vec{F})$  s'exprime en joules (J).

### Proposer une stratégie

→ Analyser, réaliser

→ Analyser

→ S'approprier, analyser

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Valider

- Effectuer le bilan des forces s'appliquant sur le tramway dans la situation 1 du doc. 1. Donner l'expression du travail de ces forces lors du déplacement du tramway de A vers B en négligeant les frottements.
- Donner l'expression et le signe du travail de la force de traction exercée par le cheval sur le tramway lors du déplacement  $\vec{AB}$  dans chacune des trois situations.
- En réalité, lors du déplacement, il faut ajouter une force de frottements exercée par la route sur le tramway qui s'exerce dans la direction du mouvement mais dans le sens opposé. Commenter le signe du travail de cette force.
- Déterminer laquelle des trois situations proposées est la plus efficace pour le déplacement du tramway de A à B.
- Indiquer le lien entre le signe du travail et l'effet de la force sur le mouvement.

## Concevoir un protocole

### 3 Exploiter le théorème de l'énergie cinétique

Le 14 octobre 2012, Félix Baumgartner s'est hissé à une altitude d'environ 39 km à l'aide d'une capsule suspendue à l'extrémité de plusieurs ballons et s'est ensuite jeté dans le vide.

**Félix Baumgartner était-il en chute libre durant l'intégralité de son saut ?**

Doc. 1 Félix Baumgartner au moment de son saut



Doc. 2 Un saut exceptionnel

Félix a rapidement acquis beaucoup de vitesse au cours de son saut jusqu'à se déplacer à une vitesse plus élevée que la vitesse de propagation du son.

Durée de chute (s)	Altitude (m)	Vitesse atteinte (km · h <sup>-1</sup> )
0	38 969	0
15	37 859	526
45	29 261	1 315

Doc. 3 Théorème de l'énergie cinétique

Dans un référentiel galiléen, la variation d'énergie cinétique d'un point matériel entre un point A et un point B est égale à la somme des travaux des forces appliquées au point matériel sur le trajet AB :

$$\Delta E_c = E_{cB} - E_{cA} = \sum W_{AB}(\vec{F}_{\text{appliquées}})$$

#### Vocabulaire

Une chute libre est un mouvement au cours duquel le système n'est soumis qu'à l'action de son poids.

#### Matériel disponible

Balle de tennis • Webcam ou smartphone • Ordinateur avec logiciel de pointage • Balance.

#### Démarche expérimentale

→ S'approprier, réaliser

→ Réaliser

→ Valider

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Valider

- 1 Avec le matériel proposé, élaborer un protocole permettant de déterminer la variation de l'énergie cinétique d'une balle au cours de sa chute d'une hauteur  $h$ .
- 2 Calculer le travail du poids au cours de la chute de la balle d'une hauteur  $h$ .
- 3 Comparer le travail du poids à la valeur de la variation d'énergie cinétique au cours de la chute de hauteur  $h$ .
- 4 Déterminer si Félix Baumgartner était en chute libre durant les 15 premières secondes de sa chute, puis durant les 30 secondes suivantes. Proposer une explication.

- 5 Énoncer le théorème de l'énergie cinétique dans le cas particulier d'une chute libre.

DIFFÉRENCIATION : Bonus (doc. 2)

## 4 Déterminer la valeur d'une force de frottement

Le ventrigrisse est un loisir consistant à prendre de l'élan avant de s'élaner et se laisser glisser sur une surface savonnée horizontale. L'objectif est de parcourir la plus grande distance en glissant.

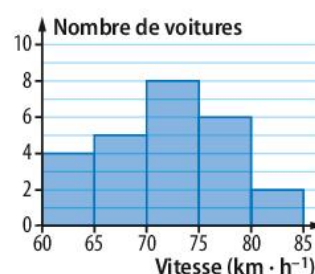
Quel lien existe entre la distance parcourue et la valeur de la force de frottement ?

### Doc. 1 Le ventrigrisse



### Doc. 2 Histogramme

Un histogramme représente une distribution des valeurs prises par une grandeur. L'exemple ci-contre représente le nombre de voitures circulant sur un tronçon de route pour des intervalles de vitesse donnés, appelés classes.



### Doc. 3 Force de frottement

La force de frottement est une **action de contact** qui s'oppose au mouvement d'un objet. Elle s'exerce dans la **même direction** mais dans le **sens opposé** du mouvement. Au cours du mouvement du ventrigrisseur, cette force peut être considérée constante.

#### Matériel disponible

- Plan incliné • Masse marquée • Eau et savon
- Webcam ou smartphone • Ordinateur avec logiciel de pointage.

**1** Proposer un protocole expérimental permettant de communiquer une vitesse initiale toujours identique à la masse marquée lorsqu'elle arrive sur le tapis.

**APPEL n° 1** pour présenter le protocole ou en cas de difficulté

**2** Lancer 10 fois la masse marquée selon le protocole établi, filmer chaque lancer et déterminer la vitesse initiale de la masse marquée à l'aide d'un logiciel de pointage.

**3** Calculer la valeur moyenne  $v_{\text{moyenne}}$  puis réaliser l'histogramme de distribution des vitesses initiales avec cinq classes et discuter la reproductibilité de l'expérience. ➔ Fiche 13 p. 362

**APPEL n°2** pour présenter l'histogramme ou en cas de difficulté

**4** Représenter les forces qui agissent sur la masse marquée au cours de sa glissade. En déduire l'unique force qui travaille.

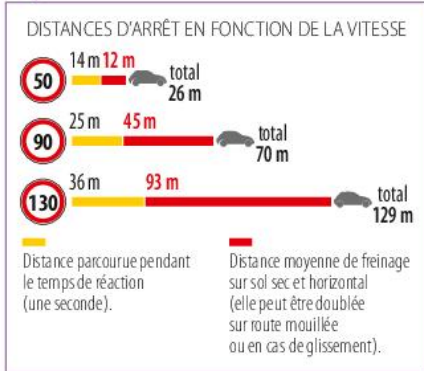
**5** Mettre en œuvre dix glissades de la masse marquée avec une vitesse initiale constante et déterminer la distance moyenne parcourue en glissant. Répéter ce protocole sur une surface savonnée.

**APPEL n°3** en cas de difficulté

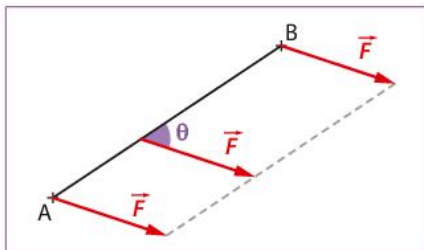
**6** Appliquer le théorème de l'énergie cinétique (➔ Doc. 3 p. 264) à la masse marquée au cours de sa glissade et donner la relation entre la distance parcourue et la force de frottement supposée constante.

**7** En déduire la valeur de la force de frottement s'exerçant dans chacun des cas et justifier l'utilisation de savon dans les compétitions de ventrigrisse.

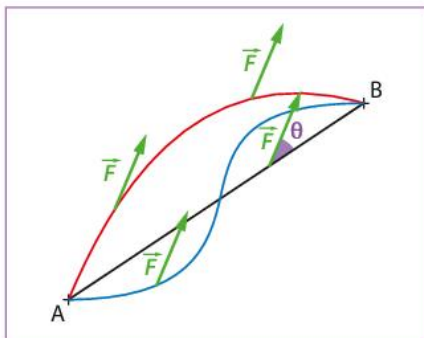
**APPEL n°4** pour présenter les résultats



Doc. 1. La distance d'arrêt.



Doc. 2. Une force est constante si sa valeur, sa direction et son sens restent constants au cours du mouvement considéré.



Doc. 3. Sur les trois trajets  $W_{AB}(\vec{F})$  est identique  $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB}$ .

## A Énergie cinétique

Un système **modélisé par un point matériel M** en mouvement dans un référentiel ( $\mathcal{R}$ ) possède une **énergie cinétique** :

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

$E_c$  : énergie cinétique en joules (J)

$m$  : masse du système en kilogrammes (kg)

$v$  : vitesse du point M dans ( $\mathcal{R}$ ) en mètres par seconde ( $m \cdot s^{-1}$ )

L'énergie cinétique est une **grandeur positive ou nulle**, qui dépend du référentiel considéré.

La **distance d'arrêt** d'un véhicule dépend de sa vitesse et de la nature du contact sol-pneus des roues (doc. 1). **Lors du freinage**, l'énergie cinétique est convertie en **énergie thermique**, et **lors d'un choc**, la carrosserie de la voiture permet d'**absorber l'énergie par déformation**.

→ **Activité 1**

## B Travail d'une force constante

### 1 Expression du travail d'une force constante

Le travail d'une force **constante**  $\vec{F}$  (doc. 2), sur un déplacement de A vers B de son point d'application, est le produit scalaire de la force  $\vec{F}$  par le vecteur déplacement  $\vec{AB}$  :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos(\theta)$$

$W_{AB}(\vec{F})$  : travail de la force  $\vec{F}$  entre A et B en joules (J)

$F$  : norme du vecteur force en newtons (N)

$AB$  : distance parcourue par le point M en mètres (m)

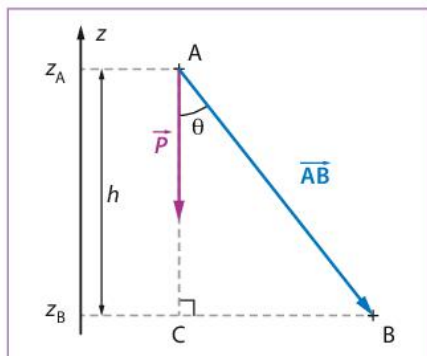
$\theta$  : angle entre  $\vec{F}$  et  $\vec{AB}$

Le travail d'une force constante entre deux points A et B ne dépend pas du chemin suivi entre les points A et B (doc. 3).

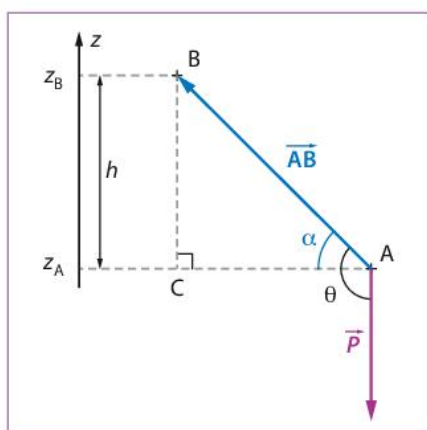
### 2 Travail moteur, nul ou résistant

$0 \leq \theta < 90^\circ \Leftrightarrow \cos(\theta) > 0$	$\theta = 90^\circ \Leftrightarrow \cos(\theta) = 0$	$90^\circ < \theta \leq 180^\circ \Leftrightarrow \cos(\theta) < 0$
$W_{AB}(\vec{F}) > 0$	$W_{AB}(\vec{F}) = 0$	$W_{AB}(\vec{F}) < 0$
La force favorise le déplacement.	La force n'a pas d'effet sur le déplacement.	La force s'oppose au déplacement.
Le travail est <b>moteur</b>	Le travail est <b>nul</b>	Le travail est <b>résistant</b>

→ **Activité 2**

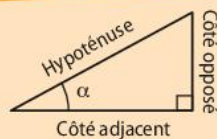


Doc. 4. Le travail du poids lors de la descente.



Doc. 5. Le travail du poids lors de la montée.

### Éviter les erreurs...



$$\cos \alpha = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypoténuse}}$$

$$\sin \alpha = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}}$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) = -\sin(\alpha)$$

## 3 Exemple du travail du poids $\vec{P}$ d'un corps

► Soit un corps de masse  $m$  placé dans le champ de pesanteur uniforme  $\vec{g}$ . Ce corps est soumis à son poids  $\vec{P}$ , force constante au voisinage de la surface de la Terre.

Le travail du poids  $\vec{P}$  noté  $W_{AB}(\vec{P})$  s'exprime :

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB}$$

$$W_{AB}(\vec{P}) = \|\vec{P}\| \times \|\vec{AB}\| \times \cos(\vec{P}, \vec{AB}) = \|\vec{P}\| \times \|\vec{AB}\| \times \cos(\theta)$$

$\|\vec{P}\|$  et  $\|\vec{AB}\|$  sont les normes des vecteurs  $\vec{P}$  et  $\vec{AB}$ , elles sont toujours positives et sont notées  $P$  et  $AB$  pour simplifier.

### Descente (doc. 4)

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = P \times AB \times \cos(\theta)$$

$$= m \times g \times AB \times \cos(\theta)$$

$$\cos(\theta) = \frac{AC}{AB}$$

Donc  $AC = AB \times \cos(\theta)$

Le travail du poids peut s'écrire :

$$W_{AB}(\vec{P}) = m \times g \times AC \text{ avec } AC = h$$

$$W_{AB}(\vec{P}) = m \times g \times h > 0$$

### Montée (doc. 5)

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = P \times AB \times \cos(\theta)$$

$$= m \times g \times AB \times \cos(\theta)$$

$$= m \times g \times AB \times \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right)$$

$$= -m \times g \times AB \times \sin(\alpha)$$

$$= -m \times g \times AB \times \left(\frac{BC}{AB}\right)$$

$$= -m \times g \times BC \text{ avec } BC = h$$

$$W_{AB}(\vec{P}) = -m \times g \times h < 0$$

► Le travail est **moteur** lors de la descente et **résistant** lors de la montée. Il ne dépend que de la **différence d'altitude** entre A et B.

## C Théorème de l'énergie cinétique

### 1 Énoncé

Dans un référentiel galiléen ( $\mathcal{R}$ ), la **variation de l'énergie cinétique** d'un système assimilé à un point matériel au cours d'un déplacement d'un point A vers un point B est égale à la **somme des travaux de toutes les forces appliquées** au système au cours de son déplacement de A à B :

$$\Delta E_c = E_{c_{\text{finale}}} - E_{c_{\text{initiale}}} = E_{c_B} - E_{c_A} = \sum W_{AB}(\vec{F}_{\text{appliquées}})$$

### 2 Cas d'une seule force appliquée au système

► Si le travail de la force est **moteur**,  $W > 0$ . Alors  $\Delta E_c > 0$ , la vitesse du système **augmente**.

► Si le travail de la force est **résistant**,  $W < 0$ . Alors  $\Delta E_c < 0$ , la vitesse du système **diminue**.

► Si la force est orthogonale au déplacement, alors son travail est **nul**  $W = 0$ . Ainsi, s'il n'y a qu'une seule force,  $\Delta E_c = 0$  et la vitesse du système **reste constante**.

→ Activités 3 et 4

## Énergie cinétique

Pour un point matériel M dans un référentiel galiléen ( $\mathcal{R}$ )

Énergie cinétique  
de M en J

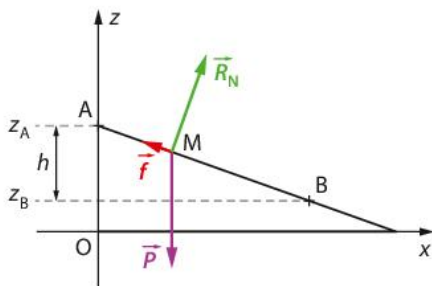
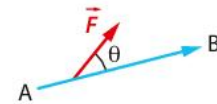
$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

Masse de M  
en kg

Vitesse de M  
en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

## Travail de forces constantes

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \times AB \times \cos(\theta)$$



$$W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB$$

car la force de frottement s'oppose au déplacement ( $\cos(180^\circ) = -1$ )

$$W_{AB}(\vec{R}_N) = 0$$

car  $\vec{R}_N \perp \vec{AB}$  à tout instant ( $\cos(90^\circ) = 0$ )

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

> 0 travail moteur si  $z_B < z_A$   
< 0 travail résistant si  $z_B > z_A$

## Théorème de l'énergie cinétique

Dans un référentiel galiléen ( $\mathcal{R}$ )

$$\Delta E_c = E_{cB} - E_{cA} = \sum W_{AB}(\vec{F}_{\text{appliquées}})$$

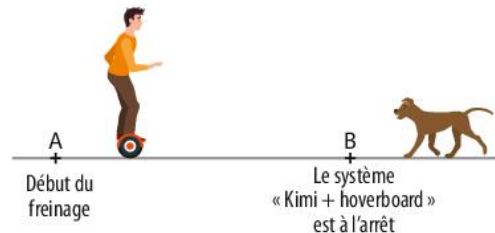
## Résoudre un exercice

### Énoncé

Kimi se balade en hoverboard lorsqu'un chien surgit sur la route et l'oblige à freiner pour ne pas le percuter. Le début du freinage se situe au point A où l'hoverboard a atteint la vitesse  $v_A = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Au point B, tel que  $AB = d$ , Kimi et son hoverboard sont à l'arrêt. La route est supposée horizontale et le mouvement rectiligne ; le système étudié {Kimi + hoverboard} a une masse  $m = 60 \text{ kg}$ .

Donnée. Intensité de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

- Définir le système et le référentiel d'étude.
- Donner l'expression des travaux entre les points A et B des différentes forces exercées sur le système.
- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, exprimer la distance d'arrêt  $d$ .
- Calculer cette distance sachant que la force de frottement est telle que  $f = 200 \text{ N}$ .



### Conseils

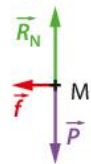
- Assimiler le système à un point matériel
- Identifier les forces sur la figure.
  - Identifier l'angle entre  $\vec{f}$  et  $\vec{AB}$ .
- Bien lire l'énoncé pour identifier la valeur des vitesses aux points A et B.
- Appliquer le théorème de l'énergie cinétique en réutilisant les questions précédentes.

### Résolution

1. Le système considéré est l'ensemble {Kimi-hoverboard} assimilé à un point matériel M, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

$$\begin{aligned}
 2. \quad W_{AB}(\vec{P}) &= \vec{P} \cdot \vec{AB} = P \times AB \times \cos(90^\circ) = 0 \\
 W_{AB}(\vec{R}_N) &= \vec{R}_N \cdot \vec{AB} = R_N \times AB \times \cos(90^\circ) = 0 \\
 W_{AB}(\vec{f}) &= \vec{f} \cdot \vec{AB} = f \times AB \times \cos(180^\circ) = -f \times d.
 \end{aligned}$$

Les forces  $\vec{R}_N$  et  $\vec{P}$  ne travaillent pas car elles sont orthogonales au déplacement.



3. Théorème de l'énergie cinétique dans le référentiel terrestre supposé galiléen :  $E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{f}) + W_{AB}(\vec{R}_N) + W_{AB}(\vec{P})$   
D'où  $E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{f})$  soit  $W_{AB}(\vec{f}) = -E_c(A)$  puisque

$$E_c(B) = \frac{1}{2} m \times v_B^2 = 0 \text{ J car la vitesse est nulle au point B.}$$

$$\text{On trouve donc } -f \times d = -E_c(A) \text{ donc } d = \frac{E_c(A)}{f}.$$

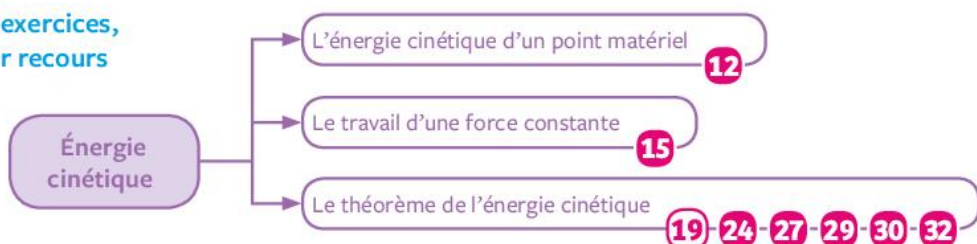
$$4. \quad E_c(A) = \frac{1}{2} m \times v_A^2 = \frac{1}{2} \times 60 \times 5,0^2 = 7,5 \times 10^2 \text{ J.}$$

$$\text{Et } d = \frac{7,5 \times 10^2}{200} = 3,8 \text{ m.}$$

→ Exercice 26 p. 274

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.



**1** L'énergie cinétique  $E_c$  d'un système se calcule par la formule :

A:  $E_c = \frac{m \times v^2}{2}$  avec :  $m$  en kg,  $v$  en  $m \cdot s^{-1}$ ,  $E_c$  en J.

B:  $E_c = \frac{1}{2} m \times v^2$  avec :  $m$  en g,  $v$  en  $m \cdot s^{-1}$ ,  $E_c$  en J.

C:  $E_c = \frac{1}{2} m \times v^2$  avec :  $m$  en g,  $v$  en  $km \cdot h^{-1}$ ,  $E_c$  en J.

D:  $E_c = \frac{1}{2} m \times v^2$  avec :  $m$  en kg,  $v$  en  $m \cdot s^{-1}$ ,  $E_c$  en J.

**2** Un TGV de 480 tonnes roule à une vitesse constante de  $390 km \cdot h^{-1}$ . Son énergie cinétique a pour valeur :

A:  $3,65 \times 10^7 J$ .      B:  $2,82 \times 10^9 J$ .

C:  $2,82 \times 10^6 J$ .      D:  $2,60 \times 10^7 J$ .

**3** Le travail d'une force  $\vec{F}$  constante sur un déplacement  $\vec{AB}$  se calcule par la relation :

A:  $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB}$ .      B:  $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{BA}$ .

C:  $W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB$ .

D:  $W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos \alpha$  avec  $\alpha$  l'angle entre  $\vec{F}$  et  $\vec{AB}$ .

**4** L'unité du travail d'une force est le

A: W.      B: J.      C: N·m.      D:  $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$ .

**5** Un enfant lâche une balle de 5 g d'une hauteur de 1 m. Le travail du poids de la balle a pour valeur :

Donnée.  $g = 10 m \cdot s^{-2}$ .

A:  $W = 5 \times 10^{-2} J$ .      B:  $W = -5 \times 10^{-2} J$ .

C:  $W = 5 J$ .      D:  $W = -5 J$ .

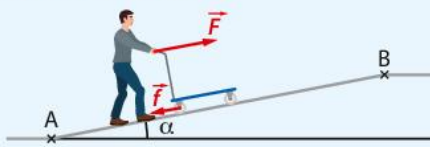
**6** Un homme pousse un chariot :

A:  $W_{AB}(\vec{F}) < 0$ .

B:  $W_{AB}(\vec{F}) > 0$ .

C:  $W_{AB}(\vec{F}) > 0$ .

D:  $W_{AB}(\vec{F}) = 0$ .



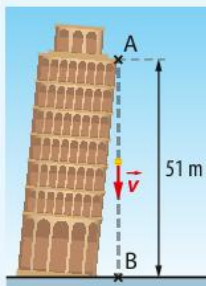
**7** Une balle est lâchée sans vitesse initiale du point A.

A:  $E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{F})$  avec  $\vec{F}$  force de frottement.

B:  $E_c(B) = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{F})$  avec  $\vec{F}$  force de frottement.

C:  $W_{AB}(\vec{F}) = E_c(B) - W_{AB}(\vec{P})$  avec  $\vec{F}$  force de frottement.

D:  $E_c(A) - E_c(B) = W_{AB}(\vec{P}) - W_{AB}(\vec{F})$  avec  $\vec{F}$  force de frottement.



**8** Dans la situation de l'exercice 7, la balle pèse 10 grammes et  $v_B = 20 m \cdot s^{-1}$

Donnée.  $g = 10 N \cdot kg^{-1}$ .

A:  $W_{AB}(\vec{F}) = -3,0 J$ .      B:  $W_{AB}(\vec{F}) = 3,0 J$ .

C: La force de frottement  $\vec{F}$  exerce un travail résistant sur le mouvement de la balle.

D: La force de frottement  $\vec{F}$  exerce un travail moteur sur le mouvement de la balle.

## FOCUS MATHS

### Calcul d'un produit scalaire avec les coordonnées des vecteurs

Si  $\vec{u}$  et  $\vec{v}$  sont deux vecteurs de coordonnées respectives  $(u_x, u_z)$  et  $(v_x, v_z)$  dans la base orthonormée  $(\vec{i}; \vec{k})$ , alors le produit scalaire de  $\vec{u}$  et de  $\vec{v}$  est :  $\vec{u} \cdot \vec{v} = u_x \times v_x + u_z \times v_z$ .

### Application à la physique

#### 9 Exercice résolu

Soit un corps assimilé à un point matériel M de masse  $m$  soumis à son poids  $\vec{P}$ , force constante au voisinage de la surface de la Terre.

► Calculer le travail du poids au cours d'un déplacement  $\vec{AB}$  lorsque le corps monte et lorsqu'il descend et préciser s'il est moteur ou résistant.

#### Solution commentée

Dans la base orthonormée  $(\vec{i}; \vec{k})$ , les coordonnées du vecteur poids sont :  $\vec{P}(0; -mg)$  et

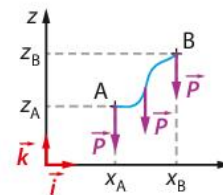
les coordonnées du vecteur  $\vec{AB}$  sont  $\vec{AB}(x_B - x_A; z_B - z_A)$ .

Alors  $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = 0 \times (x_B - x_A) + (-mg) \times (z_B - z_A)$ .

Donc  $W_{AB}(\vec{P}) = -m \times g \times (z_B - z_A)$ .

• Si le système monte :  $z_B > z_A$  donc  $z_B - z_A = +h$   
 $W_{AB}(\vec{P}) = -m \times g \times h < 0$ ; le travail du poids est résistant.

• Si le système descend :  $z_B < z_A$  donc  $z_B - z_A = -h$   
 $W_{AB}(\vec{P}) = +m \times g \times h > 0$ ; le travail du poids est moteur.



#### 10 Exercice d'application

Une grue soulève une palette de parpaings de 100 kg d'une hauteur de 10 m avec une force constante de valeur  $F = 1500 N$ .

1. Exprimer puis calculer le travail du poids  $\vec{P}$  de la palette.
2. Exprimer puis calculer le travail de la force  $\vec{F}$ .





**Donnée.** Intensité de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

## Entraînement

### Énergie cinétique

**11** Soient deux voitures : une de masse  $m_1 = 820 \text{ kg}$  et l'autre de masse  $m_2 = 2470 \text{ kg}$ . Elles roulent en ligne droite avec une vitesse constante  $v = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  dans le référentiel terrestre.

- Exprimer puis calculer l'énergie cinétique de chacune des voitures.
- Indiquer laquelle subira le choc le plus important en cas d'accident.

**12** Aide p. 272 Une enfant joue avec son pistolet qui tire des fléchettes de masse  $m = 10 \text{ g}$ . L'énergie cinétique d'une fléchette est  $E_c = 1,6 \text{ J}$ .

► Déterminer la vitesse d'une fléchette à la sortie du pistolet.

**13** Hulk, Flash et Wonder Woman sont enfermés dans une pièce.

#### Données

Super héros	Masse	Vitesse maximale
Wonder woman	60 kg	30 km · h <sup>-1</sup>
Flash	80 kg	6 × 10 <sup>8</sup> m · s <sup>-1</sup>
Hulk	10 tonnes	15 km · h <sup>-1</sup>

► Déterminer lequel de ces super héros peut atteindre la plus grande énergie cinétique.

**14** Le système de récupération de l'énergie cinétique (SREC) est un système de freinage qui est capable de récupérer 70 % de l'énergie cinétique perdue sous forme de chaleur lors du freinage.



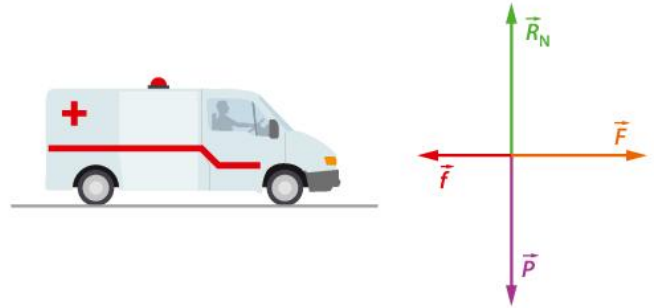
Une voiture de formule 1 roule en ligne droite à 340 km · h<sup>-1</sup> et freine aux abords d'un virage ; sa vitesse passe alors à 200 km · h<sup>-1</sup>.

**Donnée.** Masse de la  $F_1$  :  $m = 605 \text{ kg}$ .

- Déterminer l'énergie cinétique perdue au cours du freinage.
- Après le virage, le pilote décide d'accélérer à nouveau en utilisant l'énergie stockée dans le SREC. Estimer la vitesse qu'il peut atteindre sans consommer d'essence.

### Travail d'une force constante

**15** Aide p. 272 Une ambulance roule à vitesse constante sur une route rectiligne et horizontale. L'ambulance est modélisée par un point matériel.



- $\vec{f}$  représente la force de frottements solides exercée par la route sur l'ambulance.
- $\vec{R}_N$  représente la force de réaction normale exercée par la route sur l'ambulance.
- $\vec{P}$  représente le poids de l'ambulance.
- $\vec{F}$  représente la force de traction due au moteur de l'ambulance.

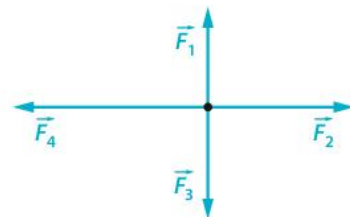
- Préciser les forces dont le travail est nul au cours de ce déplacement.
- Le déplacement s'effectue sur une portion de route de longueur  $L$ . Exprimer les travaux des forces restantes et préciser la nature de ces travaux.

**16** Un avion approchant d'un aéroport réalise des paliers pour descendre.

Sa trajectoire sur un palier est rectiligne et son altitude est constante.

L'avion se déplace vers le droite. Il est assimilé à un point matériel alors soumis à quatre forces :

- son poids ;
- la poussée des moteurs de direction horizontale ;
- la traînée de direction horizontale, due aux frottements de l'air ;
- la portance verticale due à la circulation de l'air autour des ailes qui crée une surpression sous l'aile et une dépression au-dessus de l'aile.



- Attribuer à chaque force notée  $\vec{F}_1$  à  $\vec{F}_4$  du schéma une des quatre forces décrites.
- Exprimer le travail de chacune de ces forces sur un palier de longueur  $d$  et préciser la nature de chaque travail.

# Exercices

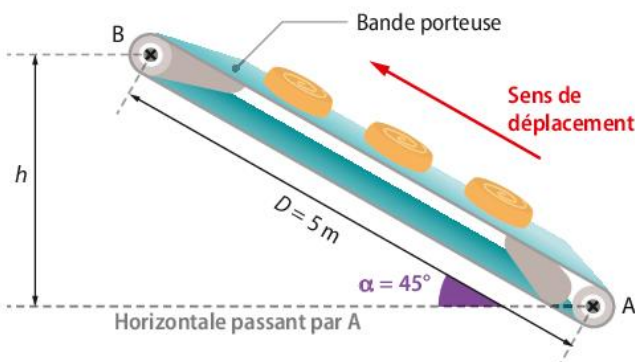
**17** Lorsqu'une goutte de pluie tombe verticalement d'une hauteur  $h = 100$  m, elle est soumise à trois forces :

- son poids  $\vec{P}$  ;
- la poussée d'Archimède  $\vec{\pi} = -\rho \times V \times \vec{g}$  ;
- une force de frottements fluides  $\vec{F} = -\alpha \times \vec{v}$  avec  $\alpha$  une constante.

**Donnée.** Masse d'une goutte d'eau :  $m = 30$  mg.

1. Calculer le travail du poids lors de la chute de la goutte.
2. Indiquer si le travail de la force de frottement est moteur ou résistant.
3. Exprimer le travail de la poussée d'Archimède lors de la chute de la goutte.
4. Indiquer si ce travail est moteur ou résistant.

**18** Dans une usine de gâteaux, entre l'unité de fabrication et l'unité d'emballage, les gâteaux sont transportés à vitesse constante par un convoyeur à bandes inclinées schématisé ci-dessous.



**Donnée.** Masse d'un gâteau :  $m = 25$  g.

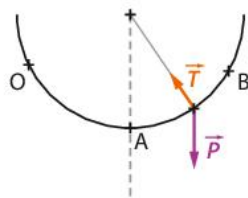
1. Faire un bilan des forces s'exerçant sur un gâteau.
2. Exprimer puis calculer le travail du poids de A à B.
3. Comment réduire ce travail ?

## Théorème de l'énergie cinétique

**19** Aide p. 272 Un pendule simple permet de mesurer le temps grâce à ses oscillations.

La masse de 20 g à l'extrémité du fil est assimilée à un point matériel soumis à deux forces :  $\vec{T}$ , la tension du fil et  $\vec{P}$  son poids.

La masse est lâchée sans vitesse initiale au point O.



1. Justifier que le travail de la tension du fil  $W(\vec{T})$  est nul.
2. Énoncer le théorème de l'énergie cinétique et l'appliquer à la masse du pendule sur le trajet OA.
3. Sachant qu'au point A, le pendule atteint une vitesse  $v = 2$  m · s<sup>-1</sup>, calculer le travail du poids sur le trajet OA.

4. Le pendule continue sa course jusqu'au point B où sa vitesse s'annule.

Indiquer si le travail du poids au cours du déplacement AB est moteur ou résistant.

### En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**20** Une grue soulève à vitesse constante sur une hauteur de 10 m une palette de masse  $m = 200$  kg.

► À l'aide du théorème de l'énergie cinétique, déterminer la valeur du travail de la force de traction  $W(\vec{F})$ .

#### Critères d'évaluation

- Le système et le référentiel sont bien cités.
- Le bilan des forces est effectué.
- Le théorème de l'énergie cinétique est correctement appliqué.
- Le travail est exprimé dans la bonne unité.

**21** Un avion de masse 10 t décollant sur une piste parcourt une distance de 200 m entre son point de départ où il est à l'arrêt et le point de décollage.

La poussée des deux réacteurs est supposée constante et réalise un travail  $W(\vec{F}) = 2 \times 10^7$  J.

► À l'aide du théorème de l'énergie cinétique, déterminer la vitesse de décollage de l'avion.

#### Critères d'évaluation

- Le système et le référentiel sont bien cités.
- Le bilan des forces est effectué.
- Le théorème de l'énergie cinétique est correctement appliqué.
- Le calcul de  $v$  est détaillé.
- La vitesse est donnée dans l'unité du système international puis exprimée en km · h<sup>-1</sup> pour vérifier sa cohérence.

### Différenciation

Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 12

Pour isoler la vitesse dans l'expression de l'énergie cinétique, il faut utiliser la fonction racine carrée.

#### Aide pour l'exercice 15

Une force qui s'exerce orthogonalement au déplacement ne travaille pas.

#### Aide pour l'exercice 19

Évaluer la variation d'énergie cinétique.



## Synthèse

### 22 Accident

→ Analyser, valider

Soit un passager de masse  $m = 60 \text{ kg}$  roulant dans une voiture à  $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  qui entre en collision avec un obstacle. L'objectif est de comparer le choc à une chute libre.

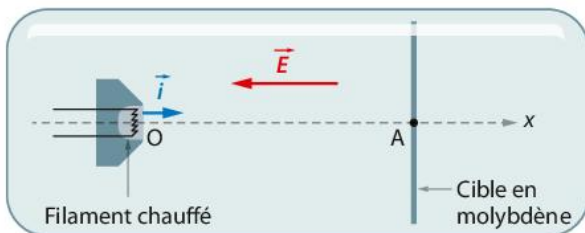
1. Calculer l'énergie cinétique de la voiture avant collision.
2. Déterminer la hauteur de chute permettant d'acquérir la même énergie cinétique.

### 23 DÉFI Tube de Coolidge

→ S'appropriier, analyser, réaliser

Dans un tube de Coolidge, des électrons émis par un filament chauffé sont accélérés sous l'effet d'un champ électrique uniforme  $\vec{E}$  créé par une tension électrique  $U$  d'environ 100 kV.

Ces électrons acquièrent une énergie cinétique suffisante pour perturber les couches électroniques internes des atomes d'une cible en molybdène qui vont alors émettre des rayons X.



Un électron est émis au point O avec une vitesse nulle à  $t = 0 \text{ s}$ . Il arrive au point A avec une vitesse  $v$ . La distance OA vaut 4 cm. Les frottements sont négligés.

#### Données

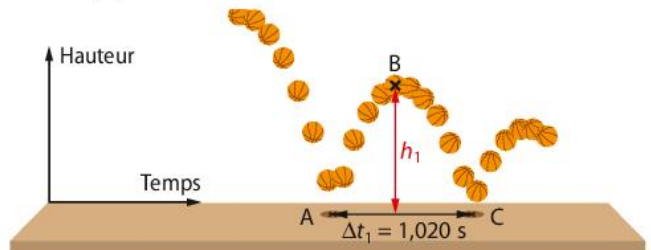
- Champ électrique uniforme  $E$  :  $E = \frac{U}{L}$  avec  $L = OA$ .
- Charge électrique élémentaire :  $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$  ; charge d'un électron  $q = -e$ .
- Masse de l'électron :  $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ .

1. Citer le système assimilé à un point matériel ainsi que le référentiel d'étude.
2. Effectuer un bilan des forces exercées sur le système et montrer, par un calcul d'ordre de grandeur, que la valeur du poids est négligeable devant celle de la force électrique.
3. Indiquer la nature du mouvement de l'électron.
4. Donner l'expression puis la valeur du travail de la force électrique au cours du déplacement OA.
5. Exprimer puis calculer l'ordre de grandeur de la vitesse atteinte par l'électron lorsqu'il arrive sur la cible en molybdène.

### 24 Aide p. 274 Application smartphone

→ S'appropriier, réaliser, valider

L'onglet « Inelastic collision » de l'application *Phyphox* permet de remonter à la hauteur de chute d'une balle lancée verticalement. Pour cela, l'application détermine le temps entre chaque rebond grâce au son émis lorsque la balle frappe le sol.



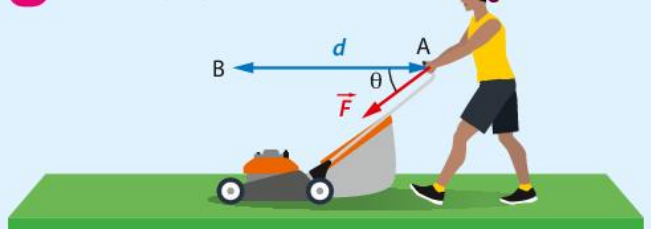
1. En négligeant les frottements de l'air, indiquer l'unique force exercée sur le ballon lorsqu'il est en l'air. Exprimer le travail de cette force au cours du déplacement BC.
2. Exprimer l'énergie cinétique de la balle en B puis en C.
3. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique sur le trajet BC, montrer que  $v_c^2 = 2 \times g \times h_1$ .
4. Au cours d'une chute libre sans vitesse initiale, la vitesse augmente. La vitesse en fin de chute peut être exprimée par la relation  $v = g \times \Delta t$  avec  $\Delta t$  la durée de la chute. En déduire l'expression de  $v_c$  en fonction de  $\Delta t_1$  et de  $g$ .
5. Montrer que  $h_1 = \frac{1}{8} \times g \times (\Delta t_1)^2$  puis calculer  $h_1$ .

L'application affiche 128 cm, vérifier la cohérence de votre résultat.

Bonus vidéo



### 25 Lawnmower



While mowing his lawn, a man exerts a force  $\vec{F}$  on the lawnmower, as represented above.

1. Write the expression of the work done when  $\vec{F}$  displaces the lawnmower through a distance  $d$ .
2. How could the man reduce the work done?



#### Vocabulaire :

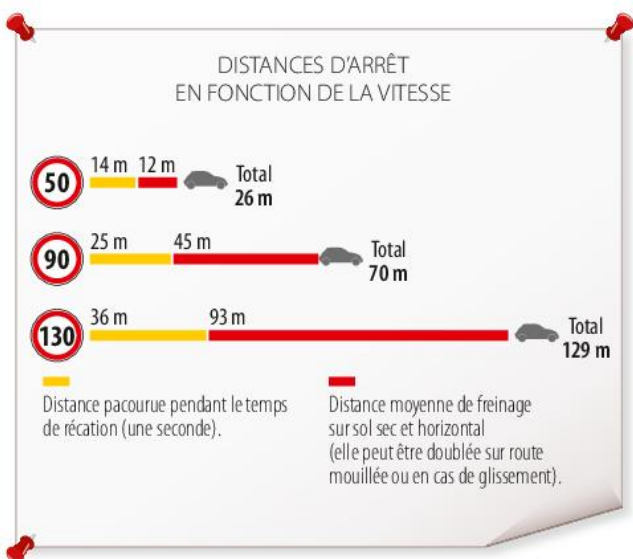
- To mow : tondre
- Lawn : pelouse

## 26 Sécurité routière

→ Analyser, communiquer

Une voiture de masse  $m = 800 \text{ kg}$  roulant à  $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  sur route sèche freine pour pouvoir éviter la voiture située devant elle. La force de freinage est supposée constante de valeur  $f = 5\,600 \text{ N}$ .

Une association réalise une campagne de sensibilisation avec l'affiche suivante.



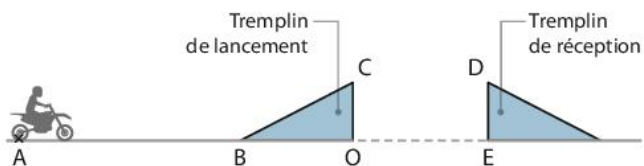
- Vérifier que la distance parcourue pendant le temps de réaction est en accord avec la plaquette de l'association.
- Faire le bilan des forces exercées sur la voiture au cours du freinage.
- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, vérifier que la distance de freinage est en accord avec la plaquette de l'association.
- Indiquer comment évolue la distance moyenne de freinage si on double la vitesse.

## 27 Aide p. 274 Saut à moto

→ Réaliser, analyser

En 2014, Robbie Madison a franchi le Canal de Corinthe en Grèce en saut à moto.

Après une phase d'accélération, il a abordé le tremplin, incliné de  $27^\circ$ , avec une vitesse de  $125 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  et s'est envolé pour un saut d'une portée égale à  $85 \text{ m}$  !



Le motard accélère pendant la phase AB et aborde le tremplin au point B, avec une vitesse de  $125 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  et maintient cette vitesse jusqu'au point C.

Le sol exerce sur la roue arrière de la moto une force de propulsion notée  $\vec{F}$  supposée constante au cours de la phase BC et dirigée dans le sens du mouvement.

**Données**

- Masse du système :  $m = 180 \text{ kg}$ .
- $L = BC = 7,86 \text{ m}$  ;  $h = OC = ED = 3,56 \text{ m}$ .

- Citer le système assimilé à un point matériel et le référentiel d'étude du mouvement.
- Effectuer le bilan des forces exercées sur le système au cours de la phase BC en négligeant les frottements.
- Exprimer les travaux de ces forces et préciser leur nature.
- En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, exprimer la norme de la force de propulsion  $F$  et calculer sa valeur.

📺 Bonus vidéo

## 28 Calcul d'incertitude

→ Réaliser, s'approprier

À l'aide de son smartphone et d'un logiciel de pointage, Jade détermine la vitesse d'une balle de tennis de masse  $m = 57,0 \text{ g}$  lâchée verticalement à la fin d'une chute de hauteur  $h = 1,20 \text{ m}$ .

Elle mesure ainsi à 10 reprises la valeur de la vitesse en fin de chute et en déduit les valeurs de l'énergie cinétique finale de la balle : les résultats sont regroupés dans le tableau ci-contre.

$v \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	$\mathcal{E}_c \text{ (J)}$
4,79	$6,54 \times 10^{-1}$
4,92	$6,90 \times 10^{-1}$
4,85	$6,70 \times 10^{-1}$
4,86	$6,73 \times 10^{-1}$
4,89	$6,81 \times 10^{-1}$
4,81	$6,59 \times 10^{-1}$
4,89	$6,81 \times 10^{-1}$
4,85	$6,70 \times 10^{-1}$
4,77	$6,48 \times 10^{-1}$
4,96	$7,01 \times 10^{-1}$

- Déterminer la valeur moyenne, l'écart-type et l'incertitude-type de l'énergie cinétique finale expérimentale et comparer à la valeur théorique attendue. ➔ Fiche 13 p. 362

## Différenciation

Aides aux exercices

Aide pour l'exercice 24

2. La balle est lâchée verticalement ; lorsqu'elle chute, elle gagne de la vitesse et lorsqu'elle remonte, sa vitesse diminue jusqu'en B.

5. Égaliser les deux expressions de  $v_c$  trouvées aux questions 3 et 4.

Aide pour l'exercice 27

1. La réaction du support est toujours orthogonale au sol alors que le poids est vertical et dirigé vers le bas quelle que soit l'inclinaison du sol.

2. Il n'y a que deux forces qui travaillent au cours de la montée au vu des hypothèses.

3. Penser à bien déterminer l'angle entre le vecteur force et le vecteur déplacement pour calculer le travail.



## Problèmes

### 29 Une chute vertigineuse

Sur une publicité d'un parc d'attraction, il est écrit : « La tour du Golden Driller haute de 66 mètres attend les plus téméraires d'entre vous pour expérimenter une chute libre vertigineuse à la vitesse de  $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  ! »

► Sachant que les participants sont lâchés avec une vitesse initiale nulle, déterminer la hauteur de la chute libre.



#### Différenciation Apprendre à résoudre 29

1. Repérer le système étudié et l'assimiler à un point matériel.
2. Citer le référentiel d'étude du mouvement.
3. Effectuer le bilan des forces appliquées au système.
4. Identifier la grandeur à calculer.
5. Utiliser le théorème de l'énergie cinétique entre deux instants choisis à l'aide des données.

### 30 Tir à l'arc

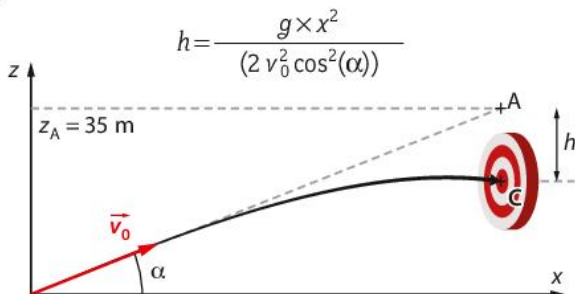
Lili tire une flèche de masse  $m = 150 \text{ g}$  avec un recul de la corde  $d = 0,600 \text{ m}$  et une force de  $70,0 \text{ N}$  et son arc est incliné de  $35,0^\circ$  par rapport à l'horizontale. Sa flèche doit atteindre une cible située  $50,0 \text{ m}$  plus loin et dont le centre se trouve  $2,00 \text{ m}$  plus haut que l'altitude de tir.

#### Doc. 1 Tension de la corde

Lors d'un tir à l'arc, la tireuse recule la corde d'une distance  $d$ . Lors de son retour à sa position initiale, la corde exerce l'équivalent d'une force constante qui permet de propulser la flèche avec une vitesse initiale  $v_0$ . Pour s'accrocher à la cible, la flèche doit atteindre la cible avec une vitesse minimum de  $50,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

#### Doc. 2 Distance de chute

Au moment de toucher la cible, la flèche a chuté d'une certaine distance par rapport au point situé dans le prolongement de la direction de la vitesse initiale.



#### Doc. 3 Point marqués

Sur une cible de tir à l'arc, la joueuse marque 10 points si la flèche entre dans un cercle de  $6,1 \text{ cm}$  autour du centre et perd un point à chaque fois que la flèche s'éloigne de  $6,1 \text{ cm}$  supplémentaires.

► Lili marquera-t-elle des points ? Si oui, combien ?

#### Différenciation Apprendre à résoudre 30

1. Déterminer la vitesse initiale de la flèche.
2. Déterminer l'altitude finale de la flèche à l'aide du document 2.
3. Utiliser le théorème de l'énergie cinétique pour trouver la vitesse d'arrivée de la flèche.

### 31 Boule de flipper

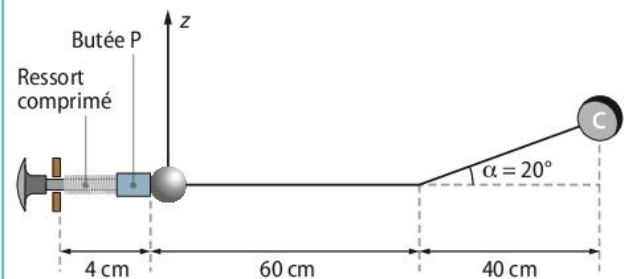
Dans un jeu de flipper, l'objectif est de permettre à une boule de flipper d'atteindre des cibles situées en haut d'un plan incliné. La physique peut alors nous aider.

#### Doc. 1 Un lanceur de flipper

Le ressort est comprimé de  $\Delta x$  par rapport à sa longueur à vide et une boule de masse  $m = 120 \text{ g}$  est placée contre la butée à l'extrémité du ressort.

Au moment du lancer : le ressort reprend sa longueur au repos et la boule est éjectée.

Elle se déplace alors sur un plan horizontal puis sur un plan incliné pour atteindre sa cible située en C.



#### Doc. 2 Travail de la force élastique

Lors de sa détente pour retrouver sa longueur à vide le ressort fournit à la boule un travail tel que :

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = \frac{1}{2} k \Delta x^2.$$

Avec

- $\Delta x$  : la longueur dont est comprimé le ressort par rapport à sa longueur à vide ;
- $k$  : la constante de raideur du ressort  $k = 80 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ .

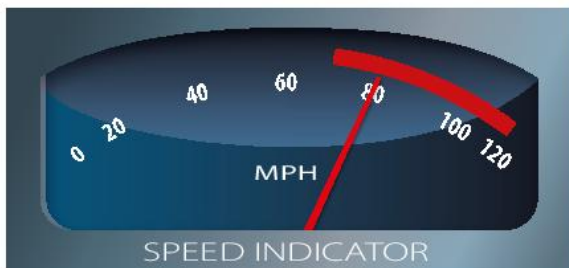
► En négligeant les frottements, déterminer la longueur minimale  $\Delta x$  dont il faut comprimer le ressort pour que celui-ci atteigne sa cible.

## 32 Spiderman contre le docteur Octopus – arrêt de la rame du métro

Suite à un acte malfaisant du docteur Octopus, Spiderman doit tout faire pour arrêter une rame de métro bondée de passagers (masse totale  $M = 300$  tonnes) avant que celle-ci atteigne l'extrémité de la voie ferrée.



Doc. 1 Indication du tableau de bord de la rame



MPH = Miles Per Hour avec  $1 \text{ MPH} = 1,609 \text{ 34 km} \cdot \text{h}^{-1}$ .  
En surchauffe, les moteurs s'arrêtent, alors que la fin de la voie ferrée se trouve à une distance de  $1 \text{ 100 m}$ .

► Déterminer la valeur  $F$  de la force supplémentaire, supposée constante, qui doit être appliquée pour arrêter le wagon avant que la rame ne tombe du haut de la voie. Justifier alors que Spiderman est un super-héros en évaluant la masse qu'il pourrait soulever avec une telle force.

### Différenciation Apprendre à résoudre 32

- Citer le système et le référentiel d'étude.
- Dresser le bilan des forces appliquées au système et identifier les forces qui travaillent.
- Appliquer le théorème de l'énergie cinétique entre deux instants choisis à l'aide des données.

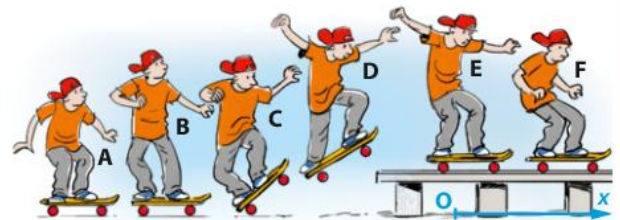
## Objectif BAC

### 33 Parcours de skateboard

Tom effectue un parcours de skateboard qui se décompose en trois phases (doc. 1) :

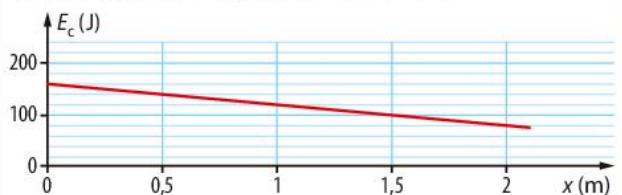
- entre les points A et B, il avance en ligne droite à vitesse constante ;
- entre le point C, où sa vitesse est  $v_C = 3,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et le point E, où sa vitesse est  $v_E$ , il effectue un « ollie » (saut avec sa planche) et les frottements sont négligeables ;
- entre les points E et F, il accède à un rail de hauteur  $h = 45 \text{ cm}$  le long duquel il réalise un « grind » en se laissant glisser sur les axes des roues (donc sans rouler).  $EF = L = 2,0 \text{ m}$ . Le système considéré est l'ensemble {Tom + planche}, de masse  $m = 75 \text{ kg}$ , assimilé à un point matériel. Son mouvement est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Doc. 1 Schéma du parcours de skate



Doc. 2 Évolution de  $E_c$  (en J) en fonction de la distance parcourue sur le trajet EF

Au cours de cette phase, la force de frottement solide exercée par les rails sur le système est assimilée à une force constante  $\vec{f}$  de sens opposé au mouvement.



1. Indiquer quelle est la nature du mouvement du système sur le parcours AB et en déduire une propriété vérifiée par les forces s'exerçant sur le système.
2. Effectuer le bilan des forces appliquées au système sur le parcours CE et exprimer à l'aide du théorème de l'énergie cinétique, la vitesse  $v_E$  au point E en fonction de  $g$ ,  $h$  et  $v_C$ .
3. Calculer  $v_E$  et vérifier la cohérence du résultat à l'aide du doc. 2.
4. Effectuer le bilan des forces appliquées au système sur le parcours EF et exprimer le travail de la force  $\vec{f}$  entre E et F.
5. À l'aide du doc. 2, déterminer la norme de la force  $\vec{f}$ .



VIDÉO présentation du chapitre

# Énergie mécanique

*Comment savoir si l'énergie mécanique se conserve au cours du mouvement ?*

## Objectifs

Exprimer l'énergie potentielle de pesanteur

➔ Activité 1 p. 278

Déterminer le travail d'une force non conservative

➔ Activité 2 p. 279

Exploiter la conservation de l'énergie mécanique

➔ Activité 3 p. 280

Programmer un bilan énergétique

➔ Activité 4 p. 281

Lors d'une avalanche, il y a conversion d'énergie potentielle de pesanteur en énergie cinétique.

## 1 Exprimer l'énergie potentielle de pesanteur

Léo souhaite effectuer un parcours de canyoning au cours duquel il doit d'abord monter le long d'un torrent puis sauter dans une piscine naturelle.

Quels sont les transferts d'énergie lors d'un parcours de canyoning ?

### Doc. 1 1<sup>re</sup> phase du parcours : montée



Léo, de masse  $m$ , part du point A avec une vitesse initiale nulle et monte jusqu'au point B.

### Doc. 2 2<sup>de</sup> phase du parcours : saut



Arrivé au point B, Léo saute, il acquiert de la vitesse jusqu'au point C. La force de frottement durant le saut est négligée.

### Doc. 3 Énergie potentielle de pesanteur

Un système modélisé par un point matériel de masse  $m$  et placé dans le champ de pesanteur uniforme possède une énergie potentielle de pesanteur, notée  $E_{pp}$ , liée à sa position. La variation d'énergie potentielle de pesanteur lors d'un mouvement d'un point A

vers un point B est égale à l'opposé du travail du poids :  $\Delta E_{ppA \rightarrow B} = E_p(B) - E_p(A) = -W_{AB}(\vec{P})$

#### Appropriation et analyse

→ S'approprier

→ S'approprier, analyser

- 1 Rappeler la définition de l'énergie de position qui est aussi appelée énergie potentielle de pesanteur.
- 2 Léo acquiert de l'énergie potentielle de pesanteur au cours de la montée, indiquer la conversion d'énergie qui a lieu pendant cette phase.
- 3 Donner l'expression du travail du poids en fonction des altitudes  $z_A$  et  $z_B$  pendant la montée. Exprimer l'énergie acquise par Léo au cours de la montée.
- 4 Expliquer les différentes conversions d'énergie lors du parcours de Léo et justifier son énergie cinétique à la fin du saut.

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Analyser, réaliser

- 5 Établir l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur associée à un système de masse  $m$  soumis au champ de pesanteur uniforme à une altitude  $z$ , l'axe (Oz) étant vertical vers le haut.



**Mettre en œuvre un protocole**

**2 Déterminer le travail d'une force non conservative**

Le kilomètre lancé ou ski de vitesse est une discipline dans laquelle l'objectif est d'atteindre la plus grande vitesse possible sur une piste. Il ne se passe pas une année sans qu'un nouveau record ne soit établi.

**Quelle est l'importance de l'état de surface de la piste pour réaliser un nouveau record ?**

**Doc. 1 Le ski de vitesse**



**Matériel disponible**

- Figurine de skieur • Plans inclinés (en bois et en plastique)
- Webcam ou smartphone • Ordinateur avec logiciel de pointage.

**Doc. 3 Énergies**

• Énergie cinétique :  $E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$

• Énergie potentielle de pesanteur :  $E_{pp} = m \times g \times z$   
avec  $E_{pp} = 0$  pour l'altitude  $z = 0$  et axe (Oz) vers le haut.

• Énergie mécanique :  $E_m = E_c + E_{pp}$

Énergies en J,  $m$  en kg,  $v$  en  $m \cdot s^{-1}$ ,  $z$  en m,  $g = 9,81 N \cdot kg^{-1}$ .

**Doc. 2 Pistes de ski**

Les pistes de ski sont entretenues par la station de sports d'hiver.



La neige y est damée, c'est-à-dire tassée par une machine, afin de rendre sa surface lisse et d'améliorer les conditions de glisse.

**Doc. 4 Théorème de l'énergie mécanique**

Dans un référentiel galiléen, la variation d'énergie mécanique sur le trajet AB est égale à la somme des travaux des forces non conservatives  $\vec{F}_{NC}$  appliquées au système :

$$\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = \sum W_{AB}(\vec{F}_{NC})$$

**Mise en œuvre**

→ Réaliser

→ Analyser, réaliser

**Conclusion**

**De l'activité au cours**

→ Valider, communiquer

- 1 Filmer la descente sans vitesse initiale de la figurine sur les deux plans inclinés de même inclinaison mais de matériaux différents.
- 2 À l'aide d'un logiciel de pointage et d'un tableur déterminer la vitesse maximale atteinte en fin de descente pour chacun des deux types de plan incliné.
- 3 À l'aide du théorème de l'énergie mécanique, déterminer la valeur du travail de la force de frottement pour chaque type de plan incliné.
- 4 Indiquer lequel des plans inclinés proposés modélise le mieux la neige damée.
- 5 Expliquer comment déterminer le travail des forces non conservatives en utilisant la variation d'énergie mécanique.

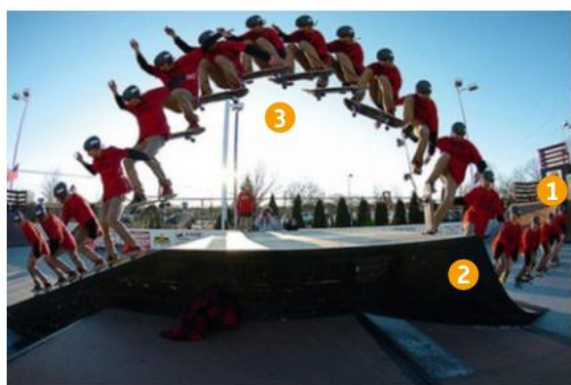
**DIFFÉRENCIATION** : ➔ Bonus

### 3 Exploiter la conservation de l'énergie mécanique

Les skate parks sont généralement équipés d'une rampe et d'un tremplin qui permettent au skateur de s'élancer dans les airs et d'effectuer un vol parabolique. Dans cette étude la résistance de l'air sera négligée.

**Le poids est-il une force conservative ?**

#### Doc. 1 Saut à skate



- Phase 1 Le skateur accélère jusqu'à la rampe.  
Phase 2 Le skateur monte sur la rampe.  
Phase 3 Le skateur effectue un vol parabolique.

#### Vocabulaire

Dans un référentiel galiléen, lorsqu'un système est soumis uniquement à des forces conservatives, son énergie mécanique est constante au cours du temps.

#### Matériel disponible

Ordinateur avec logiciel de pointage • Webcam ou smartphone • Balle de tennis • Tremplin • Balance.

#### Doc. 2 Chronophotographie du lancer d'une balle

Le système {skateur + skateboard} est modélisé par une balle et son mouvement dans le référentiel terrestre supposé galiléen est étudié à une échelle réduite.



#### Doc. 3 Énergies

- Énergie cinétique :  $E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$
  - Énergie potentielle de pesanteur :  $E_{pp} = m \times g \times z$   
avec  $E_{pp} = 0$  pour l'altitude  $z = 0$  et axe (Oz) vers le haut.
  - Énergie mécanique :  $E_m = E_c + E_{pp}$
- Énergies en J,  $m$  en kg,  $v$  en  $m \cdot s^{-1}$ ,  $z$  en m,  $g = 9,81 N \cdot kg^{-1}$ .

#### Mise en œuvre

→ S'approprier, réaliser

→ Réaliser

→ Analyser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

- 1 Représenter la force qui s'exerce sur le skateur au cours de son vol.
- 2 Filmer le mouvement d'une balle qui modélise le mouvement du skateur sur le tremplin et lors du vol parabolique.
- 3 À l'aide d'un logiciel de pointage et d'un tableur, déterminer la vitesse de la balle au moment où elle quitte le tremplin et représenter l'évolution des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique au cours de son vol.
- 4 Préciser s'il y a conservation de l'énergie mécanique ou non lors du vol parabolique.
- 5 Indiquer les forces présentes au cours de chaque phase et préciser lesquelles sont conservatives.
- 6 Indiquer quelle conversion d'énergie a lieu quand un système est soumis uniquement à des forces conservatives.

**DIFFÉRENCIATION** : ➔ Bonus ➔ Exercice supplémentaire

## 4 Programmer un bilan énergétique

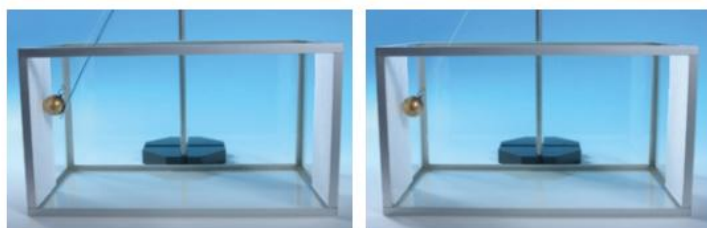
L'aquagym demande une dépense énergétique importante, par exemple lors d'une séance d'haltères sous l'eau.

La dépense énergétique est-elle plus importante dans l'eau que dans l'air ?

### Doc. 1 Images de la vidéo du pendule simple

Vidéo téléchargeable

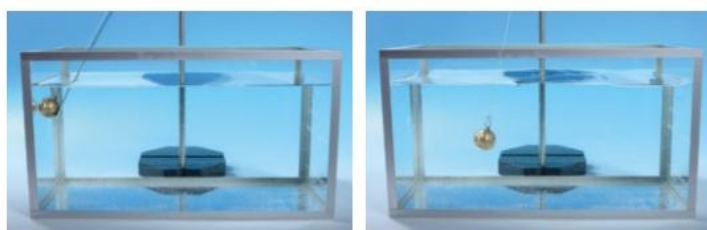
a. Dans l'air



À  $t = 0$  s

Après 1 aller-retour

b. Dans l'eau



À  $t = 0$  s

Après 1 aller-retour

Le pendule a une longueur de 320 mm et une masse de 118,1 g. La cuve a une largeur de 40 cm.

### Doc. 2 Les énergies mises en jeu

• Énergie cinétique :

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times (v_x^2 + v_y^2)$$

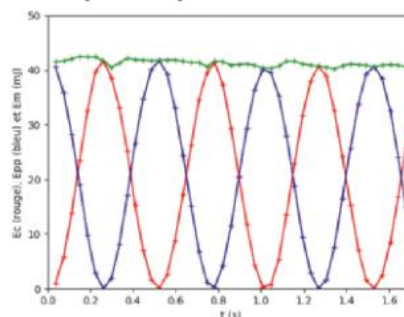
• Énergie potentielle de pesanteur, niveau de référence :  $y_{\min}$   
Oy, axe vertical vers le haut

$$E_{pp} = m \times g \times (y - y_{\min})$$

• Énergie mécanique :  $E_m = E_c + E_{pp}$

$m$  en kg,  $v_x$  et  $v_y$  en  $m \cdot s^{-1}$ ,  $y$  et  $y_{\min}$  en m, énergies en J et  $g = 9,81 N \cdot kg^{-1}$ .

### Doc. 3 Évolution des énergies pour le pendule dans l'air



#### Mise en œuvre

→ S'approprier, analyser

→ Réaliser

→ S'approprier, réaliser

→ Réaliser, analyser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Communiquer, valider

DIFFÉRENCIATION : Bonus

1 À l'aide du doc. 1, comparer l'évolution de l'amplitude du mouvement après un aller-retour pour le pendule simple dans l'air et dans l'eau.

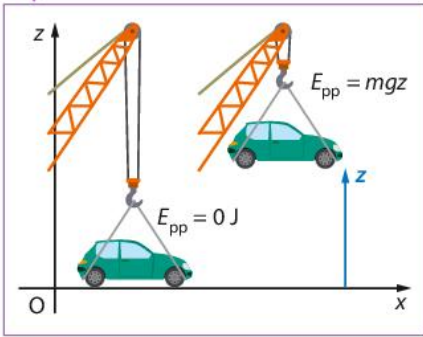
2 À l'aide d'un logiciel de pointage, numériser la position du pendule sur deux allers-retours dans l'eau. Dans EduPython, créer un fichier energiesPendule.py et récupérer les valeurs de  $x$ ,  $y$  et  $t$  dans trois tableaux. → Fiche 15 p. 365

3 À l'aide du doc. 2, compléter le fichier pour calculer les énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique du pendule.

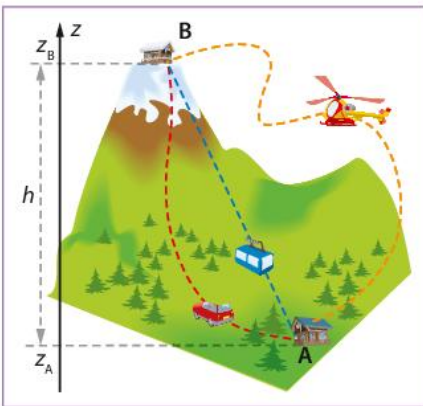
4 Afficher les courbes traduisant l'évolution de ces trois énergies et les comparer à celles obtenues dans l'air (doc. 3).

5 Expliquer en quelques mots pourquoi l'aquagym demande une dépense énergétique plus grande pour maintenir une amplitude des mouvements constante.

6 Indiquer si une force de frottement fluide est une force conservative.



Doc. 1. Énergie potentielle de pesanteur.



Doc. 2. S'ils ont la même masse, les travaux des poids de la voiture, du téléphérique et de l'hélicoptère entre A et B sont identiques :  
 $W_{AB}(\vec{P}) = -m \times g \times (z_B - z_A) = -m \times g \times h$ .

### Éviter les erreurs...

Si l'axe (Oz) n'est pas orienté vers le haut, mais vers le bas, alors  
 $E_{pp}(z) = -m \times g \times z + C$   
 Attention au signe !

### Ne pas confondre...

Une force est une grandeur vectorielle représentée avec une flèche, le travail de cette force et l'énergie potentielle associée sont des grandeurs scalaires algébriques.

## A Énergie potentielle de pesanteur

► L'énergie **potentielle de pesanteur** est une forme d'énergie liée à la **position** du point M dans le champ de pesanteur uniforme (doc. 1).

► La **variation d'énergie potentielle** de pesanteur entre deux points A et B est égale à l'**opposé du travail du poids** de A à B (doc. 2) :

$$\Delta E_{pp(A \rightarrow B)} = E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = -W_{AB}(\vec{P}) = m \times g \times (z_B - z_A)$$

$$\text{D'où } E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = m \times g \times z_B - m \times g \times z_A$$

$W_{AB}(\vec{P})$  : travail du poids de A à B en joules (J)

$m$  : masse en kilogrammes (kg)

$g$  : intensité de la pesanteur ( $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

$z_A$  et  $z_B$  : altitudes des points A et B en mètres (m)

L'axe (Oz) vertical est orienté vers le haut.

► L'énergie potentielle de pesanteur est définie à **partir de sa variation** : sa valeur dépend de la référence choisie pour laquelle l'énergie potentielle de pesanteur est nulle ( $E_{pp} = 0$ ). En revanche, sa variation ne dépend pas de la référence choisie.

Elle est donc définie à une constante C près :

$$E_{pp}(z) = + m \times g \times z + C$$

$E_{pp}$  : énergie potentielle de pesanteur en joules (J)

$m$  : masse en kilogrammes (kg)

$g$  : intensité de la pesanteur ( $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

$z$  : altitude du point M en mètres (m) avec un axe (Oz) vertical orienté vers le haut

C : constante en joules (J)

► En choisissant une énergie potentielle de pesanteur **nulle au niveau du sol** ( $E_{pp}(z=0) = 0$  soit  $C=0$ ), l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur est (doc. 1) :

$$E_{pp}(z) = + m \times g \times z$$

► L'énergie potentielle de pesanteur est **une fonction de la variable z**.

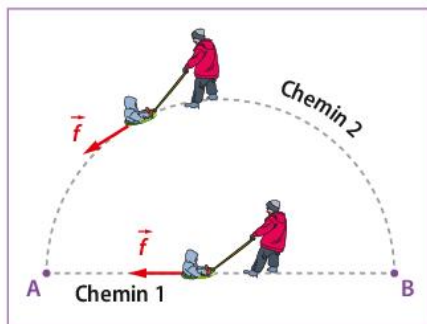
→ **Activité 1**

## B Énergie mécanique

### 1 Forces conservative et non conservative

► Une **force conservative** est une force dont le travail de A à B est **indépendant du chemin suivi** pour aller de A à B.

Le poids est donc **une force conservative** (doc. 2).



**Doc. 3.** Le travail de la force de frottement dépend du chemin suivi :  $|W_{AB}(\vec{f}) (\text{chemin 1})| < |W_{AB}(\vec{f}) (\text{chemin 2})|$ .



L'énergie mécanique de la boule de pétanque diminue au cours du mouvement à cause des frottements exercés par la piste sur la boule. C'est l'énergie cinétique qui diminue jusqu'à l'arrêt de la boule, l'énergie potentielle de pesanteur étant constante au cours du mouvement.

**Doc. 4.** Cas où  $W_{AB}(\vec{F}_{NC}) < 0$  et  $\Delta E_m < 0$ .



L'énergie potentielle de pesanteur du skieur augmente au cours du mouvement, donc son énergie mécanique également, du fait de l'énergie apportée grâce au travail de la force de traction de la perche de téléski.

**Doc. 5.** Cas où  $W_{AB}(\vec{F}_{NC}) > 0$  et  $\Delta E_m > 0$ .

► Une force **non conservative** est une force dont le travail **dépend du chemin suivi** pour aller de A à B.

► Les **forces de contact** sont non conservatives (**doc. 3**).

→ **Activité 2**

## 2 Définition

Si le poids est la seule force conservative appliquée au système ponctuel, l'**énergie mécanique** du système dans un référentiel ( $\mathcal{R}$ ) est définie comme **la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle de pesanteur** dans ce référentiel :

$$E_m = E_c + E_{pp}$$

## 3 Le théorème de l'énergie mécanique

### a. Énoncé

► **Théorème de l'énergie cinétique** appliqué au système ponctuel de masse  $m$  entre les points A et B dans le référentiel ( $\mathcal{R}$ ) supposé **galiléen** :

$$\Delta E_{c(A \rightarrow B)} = E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{P}) + \Sigma W_{AB}(\vec{F}_{NC})$$

$\Sigma W_{AB}(\vec{F}_{NC})$  : somme des travaux des forces non conservatives appliquées au système lors du déplacement de A vers B.

Or  $W_{AB}(\vec{P}) = -m \times g \times (z_B - z_A) = -(E_{pp}(B) - E_{pp}(A)) = -\Delta E_{pp(A \rightarrow B)}$ .  
D'où  $\Delta E_{c(A \rightarrow B)} + \Delta E_{pp(A \rightarrow B)} = \Delta(E_c + E_{pp})_{(A \rightarrow B)} = \Delta E_{m(A \rightarrow B)} = \Sigma W_{AB}(\vec{F}_{NC})$ .

► **Théorème de l'énergie mécanique**, dans le référentiel ( $\mathcal{R}$ ) supposé **galiléen** :

$$\Delta E_{m(A \rightarrow B)} = E_m(B) - E_m(A) = \Sigma W_{AB}(\vec{F}_{NC})$$

→ **Activité 3**

### b. Bilan énergétique

► Si le système est soumis **uniquement à son poids** :

$$\Sigma W_{AB}(\vec{F}_{NC}) = 0 \text{ donc } \Delta E_{m(A \rightarrow B)} = 0$$

L'**énergie mécanique** d'un système soumis uniquement à son poids est **conservée**.

L'énergie potentielle de pesanteur est alors **convertie** en énergie cinétique ou inversement.

► Si le système est soumis à des forces **non conservatives** :

$$\Sigma W_{AB}(\vec{F}_{NC}) \neq 0 \text{ donc } \Delta E_m \neq 0$$

Donc l'**énergie mécanique varie** au cours du mouvement.

Si  $W_{AB}(\vec{F}_{NC}) < 0$  : il y a **diminution de l'énergie mécanique** par **dissipation** d'énergie (souvent sous forme de frottements) (**doc. 4**).

Si  $W_{AB}(\vec{F}_{NC}) > 0$ , il y a **gain d'énergie mécanique** du système (**doc. 5**).

→ **Activité 4**

## Énergie potentielle de pesanteur

Énergie potentielle de pesanteur en J

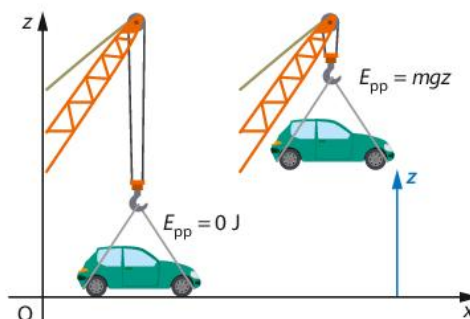
Altitude du point M en m avec un axe (Oz) orienté vers le haut

$$E_{pp}(z) = m \times g \times z + C$$

Masse en kg

Intensité de la pesanteur  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

Constante en J  
 $C = 0$  si  $E_{pp}(0) = 0$



## Énergie mécanique

Énergie cinétique en J

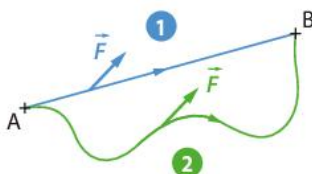
Énergie mécanique en J

$$E_m = E_c + E_{pp}$$

Énergie potentielle de pesanteur en J

## Force conservative

$$W_{AB_1}(\vec{F}) = W_{AB_2}(\vec{F})$$



## Force non conservative

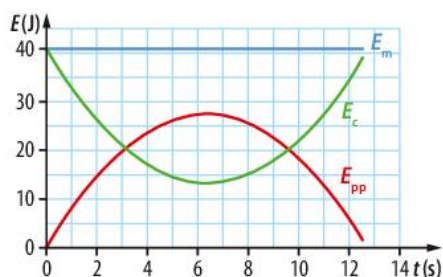
$$W_{AB_1}(\vec{F}) \neq W_{AB_2}(\vec{F})$$

## Théorème de l'énergie mécanique

$$\Delta E_{m(A \rightarrow B)} = E_m(B) - E_m(A) = \sum W_{AB}(\vec{F}_{NC})$$

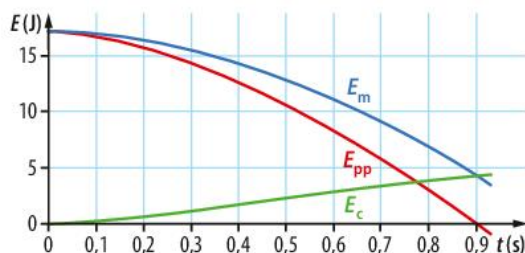
► Système soumis uniquement à des forces conservatives :  $\Delta E_m = 0$

Énergie potentielle de pesanteur convertie en énergie cinétique ou inversement.



► Système soumis à des forces non conservatives :  $\Delta E_m \neq 0$

Si  $W_{AB}(\vec{F}_{NC}) < 0$ , il y a diminution de l'énergie mécanique par dissipation d'énergie :



Si  $W_{AB}(\vec{F}_{NC}) > 0$ , il y a gain d'énergie mécanique du système.

## Résoudre un exercice

### Énoncé

Shambhala est un parcours de montagnes russes en métal du parc *PortAventura*, situé en Espagne. Cemanège détient le record de la descente la plus haute, au terme de laquelle le train de masse  $m$  possède une vitesse  $v_f = 140 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Les frottements sont négligés et le train est supposé aborder la descente avec une vitesse initiale nulle.

**Donnée.** Intensité de la pesanteur  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

1. Exprimer la variation d'énergie cinétique du train entre le point le plus haut du manège et le point le plus bas.
2. Exprimer la variation d'énergie potentielle de pesanteur au cours du mouvement, en notant  $H$  la hauteur de la plus grande descente.
3. Appliquer le théorème de l'énergie mécanique au train et en déduire la hauteur  $H$ .

### Conseils

1. Exprimer signifie donner la formule littérale.

2. Faire attention aux signes de la variation d'énergie potentielle.

3. • Définir le système et le référentiel.  
 • Effectuer le bilan des forces et recenser les forces conservatives et non conservatives.  
 • Vérifier que l'expression de la vitesse obtenue est positive.  
 • Utiliser les unités du système international.

### Résolution

Soient A le point en haut de la descente et B le point en bas de la descente.

$$1. \Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = \frac{1}{2} \times m \times v_f^2 - 0 = \frac{1}{2} \times m \times v_f^2.$$

$$2. \Delta E_{pp} = E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = mg(z_B - z_A) = -m \times g \times H.$$

3. Le système est le {train} assimilé à un point matériel et étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Au cours de la chute, le train est soumis à :

- son poids qui est une force conservative ;
- la réaction des rails qui est une force non conservative. Cette force étant orthogonale au déplacement elle ne travaille pas.

D'après le théorème de l'énergie mécanique :

$$\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = \Sigma W_{AB}(\vec{F}_{NC}).$$

$$\text{Donc : } \Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = 0.$$

L'énergie mécanique se conserve au cours du mouvement :

$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp} = 0.$$

$$\text{D'où } \frac{1}{2} \times m \times v_f^2 - m \times g \times H = 0.$$

$$\text{Soit } H = \frac{v_f^2}{2g} = \frac{\left(\frac{140}{3,6}\right)^2}{2 \times 9,81} = 77 \text{ m} = 7,7 \times 10^1 \text{ m}.$$

→ Exercice 19 p. 288

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.

Énergie mécanique d'un système en mouvement

Énergie potentielle de pesanteur

13

Énergie mécanique

15 - 21 - 23 - 26 - 28

## Révision rapide

## QUIZ



Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

**1** L'unité de l'énergie potentielle de pesanteur est :

- A : le newton (N).                      B : le kilogramme (kg).  
C : le joule (J).                         D : le watt (W).

**2** En considérant  $E_{pp} = 0$  au sol, pour une balle de 5,0 g située à une hauteur de 10 m du sol ( $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) :

- A :  $E_{pp} = 4,9 \times 10^{-1} \text{ J}$ .                B :  $E_{pp} = 4,9 \times 10^2 \text{ J}$ .  
C :  $E_{pp} = 4,9 \times 10^{-1} \text{ W}$ .            D :  $E_{pp} = 4,9 \times 10^2 \text{ N}$ .

**3** Une force est conservative si :

- A : son travail est nul.  
B : l'énergie mécanique est constante.  
C : son travail ne dépend pas du chemin suivi.  
D : elle est constante.

**4** L'énergie potentielle de pesanteur d'un corps dépend de :

- A : sa masse.      B : sa vitesse.      C : son altitude.  
D : sa position par rapport à la surface de la Terre.

**5** À  $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  sur une route horizontale, un choc est identique à celui d'une chute libre du 4<sup>e</sup> étage pour des objets de même masse.

À  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , le choc est équivalent à :

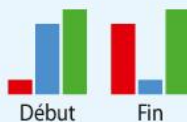
- A : une chute du 2<sup>e</sup> étage.      B : une chute du 8<sup>e</sup> étage.  
C : une chute du 16<sup>e</sup> étage.    D : une chute du 20<sup>e</sup> étage.

**6** L'énergie mécanique d'un système est définie par :

- A :  $E_m = E_c + E_{pp}$ .                      B :  $E_m = E_c - E_{pp}$ .  
C :  $E_m = E_c \times E_{pp}$ .                      D :  $E_m = |E_c + E_{pp}|$ .

**7** Un pot de fleurs tombe d'une fenêtre. Sur les histogrammes suivants sont représentés :

- A :  $E_{pp}$  en rouge,  $E_m$  en bleu,  $E_c$  en vert.  
B :  $E_c$  en rouge,  $E_{pp}$  en bleu,  $E_m$  en vert.  
C :  $E_m$  en rouge,  $E_c$  en bleu,  $E_{pp}$  en vert.  
D :  $E_{pp}$  en rouge,  $E_c$  en bleu,  $E_m$  en vert.



**8** Lors de la chute d'une bille dans de l'huile :

- A : l'énergie mécanique diminue.  
B : l'énergie mécanique se conserve.  
C : la bille est en chute libre.  
D : les forces de frottements sont négligeables.

## FOCUS MATHS

### Identifier des courbes à l'aide des conditions initiales

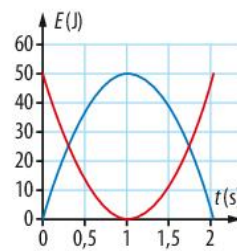
Pour associer chaque courbe à une énergie, il faut :

- identifier les conditions initiales :  
si  $v(t=0)=0$  alors  $E_c(t=0)=0$  et si  $z(t=0)=0$  alors  $E_{pp}(t=0)=0$ ;
- repérer les ordonnées à l'origine ;
- repérer la courbe pour laquelle l'ordonnée à l'origine est nulle (c'est celle de l'énergie qui est nulle à  $t=0$ ) ;
- observer l'évolution de la courbe (croissante ou décroissante).

### 9 Exercice résolu

Soit un penalty tiré avec une vitesse initiale de  $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

► Identifier la courbe de l'énergie cinétique et celle de l'énergie potentielle de pesanteur.



### Solution commentée

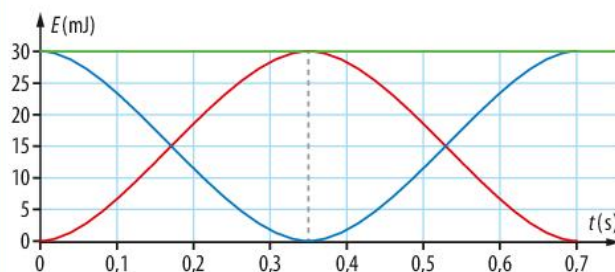
À  $t=0 \text{ s}$ , la balle part du sol donc son énergie potentielle de pesanteur est nulle.

En revanche, l'énergie cinétique est non nulle car la balle possède une vitesse initiale.

La courbe en bleu est donc celle de l'énergie cinétique du ballon, et celle en rouge représente l'évolution de l'énergie potentielle de pesanteur du ballon au cours du temps.

### 10 Exercice d'application

Les courbes ci-dessous représentent les énergies  $E_c$ ,  $E_{pp}$  et  $E_m$  au cours du temps d'un pendule simple écarté de sa position d'équilibre et lâché sans vitesse à  $t=0$ .



► Associer chaque courbe à une énergie.





**Donnée.** Intensité de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

## Entraînement

### Énergie potentielle

#### En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**11** Au cours d'un vol dynamique, une parapentiste effectue une ascension de 150 m à partir d'une altitude de 1,15 km (mesurée à partir du niveau de la mer) : l'énergie potentielle de pesanteur de la parapentiste et de son équipement passe de la valeur  $E_{pp_1} = 6,51 \times 10^5 \text{ J}$  à la valeur  $E_{pp_2} = 7,73 \times 10^5 \text{ J}$ .

1. Faire un schéma pour représenter la situation.
2. Calculer la masse de la parapentiste et de son équipement.
3. Calculer l'énergie potentielle de pesanteur à l'altitude zéro. Interpréter le résultat.

#### Critères d'évaluation

- 1 L'axe des  $z$  est orienté vers le haut.
- 2 L'application numérique est effectuée avec les bonnes unités.
- 3 L'énergie potentielle de pesanteur est exprimée avec la constante  $C$ . La constante  $C$  est calculée, et l'altitude qui lui est associée est interprétée (référence de l'énergie potentielle de pesanteur).

**12** Le Grand Paradis et le Mont Blanc culminent respectivement à 4,061 km et 4,810 km au-dessus du niveau de la mer.

1. Faire un schéma pour représenter la situation.
2. Déterminer l'énergie potentielle de pesanteur d'un alpiniste de masse  $m$ , égale à 80,0 kg, lorsqu'il se trouve au sommet du Grand Paradis, en prenant comme origine des altitudes :
  - a. Le niveau de la mer ;
  - b. Le sommet du Mont Blanc.
3. Le même alpiniste gravit ensuite le Mont Blanc. Calculer la variation de son énergie potentielle de pesanteur lorsqu'il passe du premier au second sommet.

#### Critères d'évaluation

- 1 L'axe des  $z$  est orienté vers le haut.
- 2 Les applications numériques sont effectuées avec les bonnes unités.
- 3 La variation d'énergie potentielle de pesanteur est exprimée avec le bon signe.

**13** Aide p. 288 Le sol est pris comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur.

1. Calculer la valeur de la masse qu'il faut positionner à une hauteur de 1,00 m par rapport au sol pour qu'elle possède une énergie potentielle de pesanteur de 1,00 J.
2. Calculer la valeur de la vitesse que doit posséder cette même masse pour que son énergie cinétique ait également une valeur de 1,00 J.

**14** En 2017, Nick Jacobsen s'est fait tracter à 277 mètres de hauteur et a effectué un monumental « jump » depuis les airs en pulvérisant le record du monde de saut en kite-surf !

Le niveau de la mer sera pris comme origine de l'énergie potentielle de pesanteur.



- En considérant que sa masse et celle de son équipement faisaient 75 kg, calculer son énergie potentielle de pesanteur au point le plus haut de son saut.

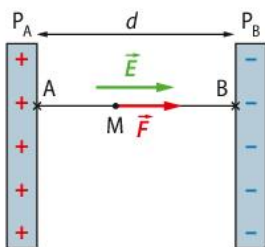
### Énergie mécanique

**15** Aide p. 288 Un attelage de chiens de traîneau glisse sans frottements sur une distance  $d$  sur une piste légèrement inclinée vers le bas, de dénivelé  $h$ .

1. Effectuer un schéma de la situation et représenter les forces appliquées au traîneau.
2. Exprimer le travail du poids du traîneau sur la distance  $d$ .
3. Préciser la nature conservative ou non conservative du poids en justifiant.
4. Exprimer le travail de la force de réaction de la piste sur le traîneau.
5. En supposant que les chiens tirent le traîneau avec une force  $\vec{F}$  parallèle à la piste de valeur constante notée  $F$ , exprimer le travail de cette force.
6. Préciser la nature conservative ou non conservative de cette force en justifiant.

# Exercices

**16** Deux armatures métalliques  $P_A$  et  $P_B$ , parallèles entre elles et distantes de  $d$ , sont reliées aux bornes d'un générateur de tension continue  $U_{AB}$ . Entre ces deux armatures règne un champ électrique  $\vec{E}$  uniforme, de valeur  $E = \frac{U_{AB}}{d}$ .



1. Donner l'expression du travail de la force électrostatique  $\vec{F}$  qui s'exerce sur une particule de charge  $q$  positive se déplaçant d'un point A de l'armature  $P_A$  à un point B de l'armature  $P_B$ .

2. Montrer que le travail de la force  $\vec{F}$  s'écrit  $W_{AB}(\vec{F}) = qU_{AB}$ .

3. En déduire si la force électrique est une force conservative ou non conservative.

**17** Un TGV, de masse  $m = 305$  tonnes, roule en ligne droite près de Metz à une vitesse constante de  $250 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est prise au niveau de la mer et l'altitude de Metz est  $182 \text{ m}$ .

1. Exprimer puis calculer son énergie cinétique.

2. Exprimer puis calculer son énergie potentielle de pesanteur.

3. En déduire son énergie mécanique.

## 18 Exercice inversé

Un faucon pèlerin de  $850 \text{ g}$  plane à  $1\,500 \text{ m}$  d'altitude à une vitesse constante de  $90,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est prise au niveau du sol.

Chaque phrase suivante est une réponse. Proposer une ou des questions appropriées à la réponse donnée.

1. Sa valeur est  $2,66 \times 10^2 \text{ J}$ .

2. Sa valeur est  $12,5 \text{ kJ}$ .

3. Sa valeur est  $12,8 \text{ kJ}$ .



**19** Ketya, de masse  $m = 45 \text{ kg}$ , glisse sur un toboggan aquatique de hauteur  $h = 3,0 \text{ m}$ .



Elle part du point D situé à une hauteur  $h$  du sol sans vitesse initiale et arrive au point O situé au niveau du sol avec une vitesse  $v_O$ .

1. Exprimer puis calculer l'énergie mécanique de Ketya au point D.

2. Effectuer le bilan des forces s'appliquant à Ketya dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

3. En déduire une propriété de l'énergie mécanique au cours du mouvement. Donner son expression en O.

4. Exprimer puis calculer la vitesse  $v_O$  en fonction des données.

**20** Thomas, de masse  $45 \text{ kg}$ , saute d'une hauteur de  $2,0 \text{ m}$  sur un trampoline puis rebondit verticalement à une hauteur de  $1,2 \text{ m}$ .

1. Indiquer la valeur de l'énergie cinétique de Thomas au sommet de son saut.

2. Exprimer puis calculer la quantité d'énergie qui a été perdue lors du rebond.

**21** Aide p. 288 Un dispositif de chute libre est équipé de cinq capteurs, espacés de  $30 \text{ cm}$ , qui enregistrent le temps et la vitesse d'une bille au moment de son passage devant l'un d'eux.

Le premier est situé juste en dessous de l'électroaimant qui lâche la bille, à  $1,40 \text{ m}$  du sol choisi comme niveau de référence. La masse de la bille est de  $8,93 \text{ g}$ .

t (s)	0	0,247	0,350	0,429	0,495
v (m · s <sup>-1</sup> )	0	2,42	3,43	4,20	4,85

1. Déterminer l'altitude  $z$  de chaque capteur.

2. Rappeler les expressions des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique dans le cadre de cette expérience.

3. Créer un programme Python permettant de calculer ces énergies puis de représenter leur évolution.

4. Conclure quant à la conservation ou non de l'énergie mécanique dans cette expérience.

## Différenciation

### Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 13

En prenant pour origine le sol et l'axe (Oz) orienté vers le haut,  $E_{pp} = +m \times g \times z$ .

#### Aide pour l'exercice 15

- Faire attention au signe du travail du poids.
- Imaginer que le traîneau prenne un autre chemin pour la question 6.

#### Aide pour l'exercice 21

Tracer un axe vertical (Oz) et positionner les capteurs en partant du plus haut pour trouver leurs altitudes. Se reporter à l'activité 4 pour programmer le bilan énergétique.



## Synthèse

### 22 Tir à l'arc

→ Analyser, réaliser

Une flèche de masse 30 g est tirée à l'aide d'un arc dans une cible qu'elle atteint avec une vitesse  $v = 216 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .



1. Faire le bilan des forces exercées sur la flèche lorsqu'elle pénètre dans la cible.
2. Recenser les forces qui travaillent.
3. Exprimer puis calculer la variation d'énergie cinétique de la flèche au cours de la pénétration.
4. Exprimer puis calculer la variation d'énergie potentielle de pesanteur de la flèche au cours de la pénétration.
5. Calculer la force de frottement, supposée constante, exercée par la cible lorsque la pointe de la flèche pénètre dans la cible de 5 cm.

### 23 Aide p. 290 Curling

→ Analyser, réaliser

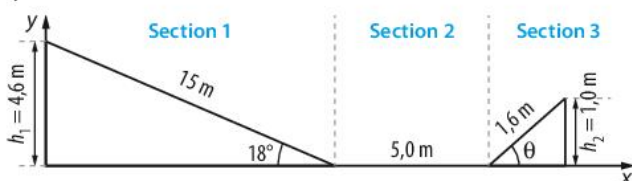
Une pierre de curling, de masse 40 livres (1 livre = 0,453 6 kg), est lancée avec une vitesse initiale notée  $v_0$  depuis un point A situé à 25 m du point B, centre de la cible. Pour simplifier, la trajectoire de la pierre est supposée rectiligne. La force de frottement entre la pierre et la glace est de 1,8 N. L'action de l'air est négligée. L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est prise au niveau de la glace.

1. Faire le bilan des forces exercées sur la pierre de curling dans le référentiel terrestre supposé galiléen et les représenter sur un schéma.
2. Dresser la liste des forces non conservatives qui travaillent.
3. Exprimer puis calculer la variation d'énergie cinétique de la pierre au cours du lancer, en supposant que celle-ci s'arrête au point B.
4. Exprimer puis calculer la variation d'énergie potentielle de pesanteur de la pierre au cours du lancer.
5. En appliquant le théorème de l'énergie mécanique, déterminer à quelle vitesse la pierre doit être lancée.

### 24 Skate

→ S'approprier, réaliser

Une rampe de skate possède trois tronçons comme indiqué sur le schéma ci-dessous.



En partant avec une vitesse nulle du haut de la rampe de la section 1, Chloé souhaite sauter le plus haut possible au niveau de la fin de la rampe de section 3.

Les frottements sont négligés et l'étude est faite dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

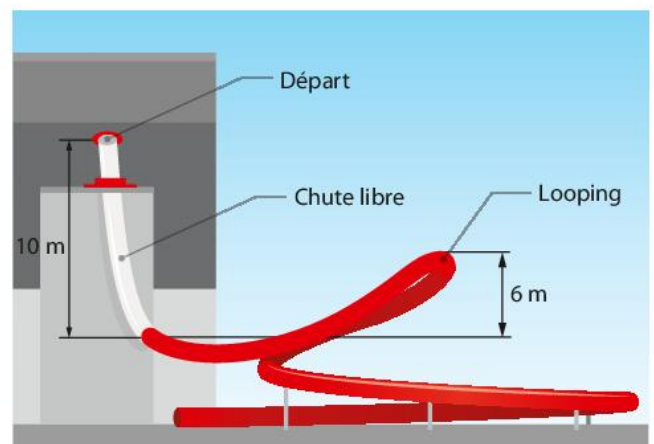
1. Effectuer un bilan d'énergie sur la section 1 et en déduire la vitesse  $v_1$  de Chloé à la fin de la section 1.
2. Faire de même pour la section 2 et en déduire la vitesse  $v_2$  de Chloé à la fin de la section 2.
3. Appliquer le théorème de l'énergie mécanique sur la section 3 et en déduire la valeur de la vitesse  $v_3$  atteinte par Chloé en haut de la rampe.
4. Calculer la valeur de la vitesse verticale (sur l'axe  $y$ ) sachant que  $v_y = v \times \sin \theta$ , avec  $\theta = 40^\circ$ .
5. En appliquant le théorème de l'énergie mécanique, en déduire quelle hauteur  $h$  pourrait atteindre Chloé.

### 25 Un toboggan surprenant

→ S'approprier, analyser, réaliser

Le toboggan Adrenalooop consiste en une chute libre verticale de 10 m suivie d'un looping (partie rouge) pendant lequel l'enfant est soumis à une force de frottements constante d'une valeur de 40 N.

Le sommet du looping est atteint après avoir parcouru une distance  $d = 20 \text{ m}$  dans le tuyau après la chute libre.



Un enfant de masse 55 kg se laisse glisser sur le toboggan sans vitesse initiale.

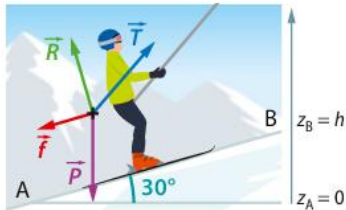
L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est prise au niveau du bas de la chute libre.

1. Tracer la courbe représentative de l'évolution de l'énergie mécanique, entre le départ et le sommet du looping, en fonction de la longueur de tuyau parcourue.
2. Déterminer les énergies cinétique et potentielle de pesanteur de l'enfant au départ, à la fin de la chute libre puis au point le plus élevé du looping.
3. Expliquer pourquoi il existe une masse minimale exigée pour utiliser le toboggan.

## 26 Aide p. 290 Remonte-pente

→ Analyser, réaliser

Un skieur, de masse  $m = 80 \text{ kg}$ , remonte à vitesse constante une piste longue de  $100 \text{ m}$  entre les points A et B, de dénivelé  $h = 40 \text{ m}$ , à l'aide d'un téléski dont la perche est inclinée de  $30^\circ$  par rapport à la piste. Au cours de son mouvement, le skieur est soumis aux forces constantes représentées sur le schéma.



1. Donner les expressions du travail de chacune des forces exercées sur le skieur. Préciser si elles sont conservatives ou non.
2. Déterminer l'expression de la variation d'énergie cinétique au cours du mouvement.
3. Déterminer l'expression de la variation d'énergie potentielle de pesanteur au cours du mouvement.
4. À l'aide du théorème de l'énergie mécanique, déterminer l'intensité de la force de frottement sachant que la force de tension a une intensité de  $400 \text{ N}$ .

## 27 Mesure de la masse des spationautes

→ Analyser, réaliser

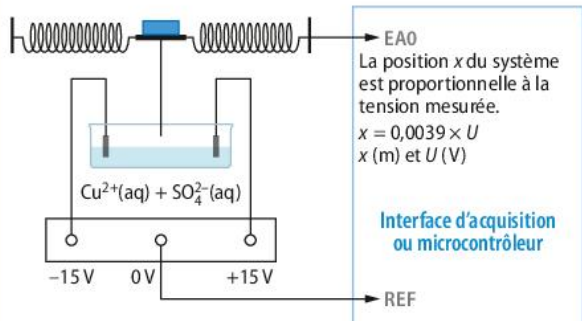
La mesure de sa masse est l'un des éléments du bilan médical auquel doit s'astreindre un spationaute. Mais comment « se peser » dans une navette spatiale où règne l'impesanteur ?

L'utilisation d'un pèse-personne n'est pas possible ; les scientifiques ont donc imaginé un dispositif appelé chaise oscillante M172 selon un axe  $Ox$  horizontal.

Doc. 1 Chaise oscillante M172



Doc. 2 Modélisation de la chaise oscillante



## Doc. 3 Programme Python à compléter

```
from matplotlib import pyplot
t = [0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5,
     0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 1, 1.05, 1.1,
     1.15, 1.2, 1.25, 1.3, 1.35, 1.4, 1.45, 1.5, 1.55, 1.6]
x = [5.000, 4.782, 4.147, 3.150, 1.879, 0.444, -1.030, -2.414,
     -3.588, -4.448, -4.921, -4.965, -4.576, -3.788, -2.669,
     -1.318, 0.148, 1.601, 2.915, 3.974, 4.687, 4.991, 4.860,
     4.305, 3.375, 2.150, 0.738, -0.738, -2.150, -3.375, -4.305,
     -4.860, -4.991]
vx = []
Epe = []
Ec = []
Em = []
nbrePoints = len(x)
for i in range(0, nbrePoints-1) :
    vx.append(...)
for i in range(0, nbrePoints-1) :
    Ec.append(...)
    Epe.append(...)
    Em.append(...)
del t[len(x)-1]
pyplot.ylabel("Energies (J)")
pyplot.xlabel("Temps (s)")
pyplot.plot(t, Ec, marker='+')
pyplot.plot(t, Epe, marker='+')
pyplot.plot(t, Em, marker='+')
pyplot.show()
```

1. Exprimer l'énergie potentielle de pesanteur du système de masse  $m = 28,4 \text{ g}$ . Préciser les unités. Indiquer sa variation au cours du mouvement.
2. Exprimer l'énergie cinétique du système de masse  $m$ . Préciser les unités.
3. Compléter la ligne du programme qui permet de calculer les valeurs de vitesse ( $vx$ ) puis celle qui permet de calculer les valeurs de l'énergie cinétique ( $Ec$ ).
4. L'énergie potentielle élastique est l'énergie emmagasinée par les ressorts, elle correspond au travail des forces exercées par les ressorts sur le système :  
$$E_{pe} = \frac{1}{2} \times k \times x^2$$
 avec  $E_{pe}$  en J,  $k = 1,0 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $x$  en m.  
Compléter la ligne du programme correspondante ( $Epe$ ).
5. À l'aide de la relation  $E_m = E_c + E_{pe}$ , énergies en J, terminer le programme.

## Différenciation Aides aux exercices

### Aide pour l'exercice 23

2. La réaction normale ne travaille pas car elle est toujours orthogonale au déplacement.
3. Identifier les vitesses au point initial et au point final grâce à l'énoncé.
4. Le poids est une force conservative.

### Aide pour l'exercice 26

5. Une force orthogonale au déplacement ne travaille pas. Le travail d'une force conservative ne dépend pas du chemin suivi. Faire apparaître l'angle entre la force  $\vec{T}$  et le vecteur déplacement  $\vec{AB}$  pour exprimer le travail de  $\vec{T}$  de A à B.
4. Attention aux priorités des opérations lors de l'application numérique.

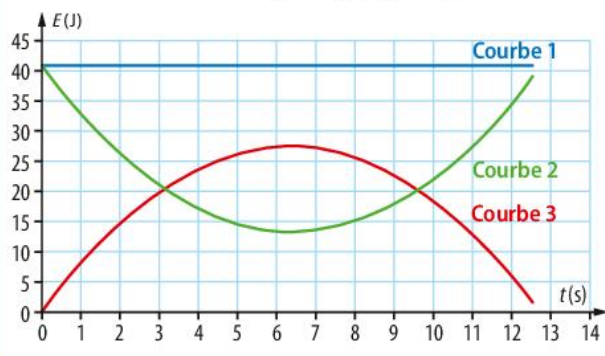


## Problèmes

### 28 Football

Lors d'un match de football, Axel doit tirer un pénalty. Il dépose le ballon de masse  $m = 620 \text{ g}$  au point  $O$ , pris comme origine du repère orthonormé  $(O; \vec{i}, \vec{j})$ . Axel tape le ballon en direction du centre du but dont la ligne est située à  $x = 11 \text{ m}$ , en lui communiquant une vitesse initiale de valeur  $v_0 = 11,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . La trajectoire du ballon est parabolique, les frottements sont négligés. Le document suivant présente l'évolution des différentes énergies mises en jeu au cours du mouvement en fonction du temps.

Doc.1 Évolution des énergies  $E_m$ ,  $E_{pp}$  et  $E_c$



► Associer les différentes courbes aux énergies mises en jeu et déterminer les valeurs de la hauteur  $h_A$  et de la vitesse  $v_A$  du ballon lorsqu'il franchit la ligne de but.

### Différenciation

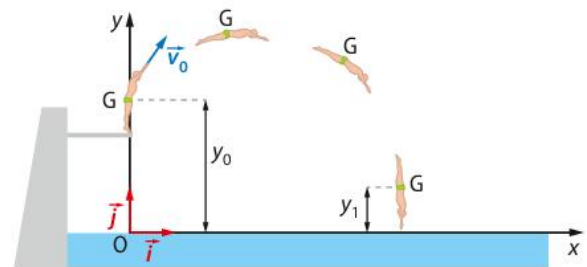
Apprendre à résoudre 28

1. Faire un schéma de la situation.
2. Définir le système, le référentiel et effectuer le bilan des forces : conclure sur la nature du mouvement.
3. Se servir des conditions initiales (position et vitesse du ballon à  $t=0$ ) pour déterminer les valeurs initiales des énergies et identifier les courbes.
4. Repérer l'abscisse à laquelle le ballon franchit la ligne de but et en déduire les valeurs des énergies liées à la position et la vitesse.
5. Déduire de ces énergies les expressions puis les valeurs de  $h_A$  et de  $v_A$ .

### 29 Plongeur

Tom, assimilé à son centre de gravité, effectue un plongeon depuis une ordonnée  $y_0 = 4,0 \text{ m}$  avec une vitesse initiale  $\vec{v}_0$  de norme  $v_0 = 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (doc. 1). Les frottements sont négligés ainsi que les mouvements de rotation de Tom au cours de sa chute.

Doc. 1 Schéma du plongeur



► Exprimer puis calculer la vitesse de Tom au moment où ses mains touchent l'eau, sachant que son centre de gravité  $G$  se situe alors à l'altitude  $y_1 = 1,0 \text{ m}$  par rapport au sol, pris comme origine de l'énergie potentielle de pesanteur.



En anglais

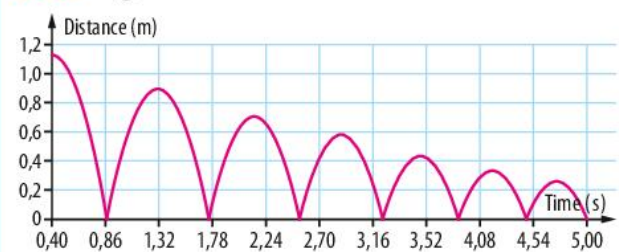
### 30 Study of a bouncing ball

At  $t = 0$ , a rubber ball of mass  $m = 0,85 \text{ kg}$  is dropped at  $1,12 \text{ m}$  and bounces vertically on the ground. The height  $z$  of the ball from the ground is recorded over time.

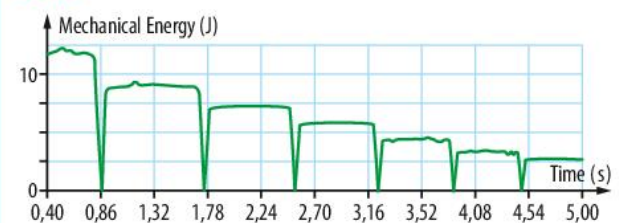
Doc. 1 Coefficient of restitution

Because of an inelastic collision, a ball dropped above ground does not bounce up to the initial height. The coefficient of restitution  $e$  for the collision is defined by:  $e = \frac{v_b}{v_i}$ , with  $v_b$  the bouncing velocity (just after collision) and  $v_i$  the incident velocity (just before collision).

Doc. 2 Height of the ball over time



Doc. 3 Mechanical energy of the ball over time



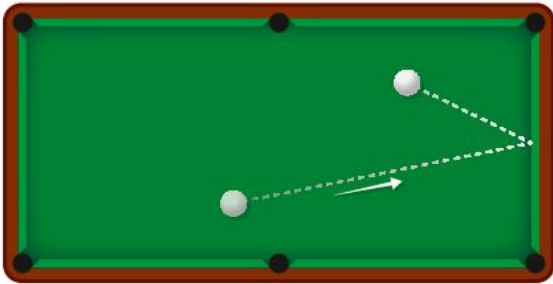
► Using two different ways, evaluate the coefficient of restitution when the ball collides with the ground. A statistical treatment of measurement data is required.

## 31 Un coup indirect au billard

Lise et Djamal ont filmé un coup indirect au billard. Cela consiste à utiliser les rebords du billard, appelés bandes, pour atteindre son objectif.

Ils se demandent si le rebond sur la surface feutrée du billard absorbe une partie de l'énergie mécanique de la boule.

Doc. 1 Positions de la boule avant et après rebond sur la bande



Doc. 2 Tableau des coordonnées du système

t (s)	x (m)	y (m)	t (s)	x (m)	y (m)
0	0,093	0,044	0,3333	0,405	0,115
0,0333	0,138	0,052	0,3667	0,382	0,118
0,0667	0,183	0,060	0,4	0,358	0,122
0,1	0,228	0,068	0,4333	0,334	0,125
0,1333	0,273	0,076	0,4667	0,310	0,129
0,1667	0,318	0,084	0,5	0,286	0,132
0,2	0,363	0,092	0,5333	0,263	0,136
0,2333	0,408	0,100	0,5667	0,239	0,139
0,2667	0,453	0,108	0,6	0,215	0,143
0,3	0,429	0,111			

Doc. 3 Programme Python à compléter

```
from matplotlib import pyplot
# t en s, x et y en m => À SAISIR
# vx et vy en m/s
vx = []
vy = []
for i in range(0, len(t)-1) :
    vx.append((x[i+1]-x[i])/(t[i+1]-t[i]))
    vy.append((y[i+1]-y[i])/(t[i+1]-t[i]))
del t[len(t)-1]
# m en g
m = 209
# Énergies en mJ : calcul et affichage de Ec et Em
en fonction du t => A FAIRE
```

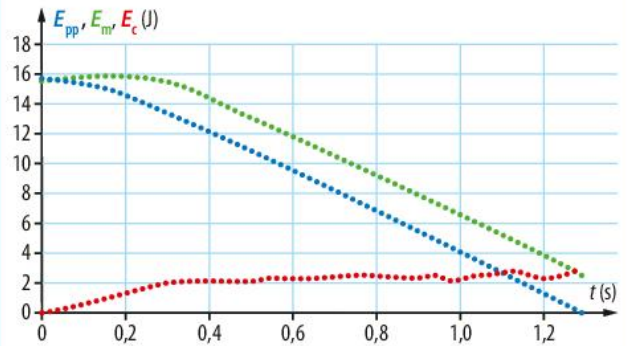
1. Écrire un programme qui permette de visualiser l'évolution de l'énergie mécanique de la boule.
2. Conclure quant à la conservation ou non de l'énergie lors du rebond.

## Objectif BAC

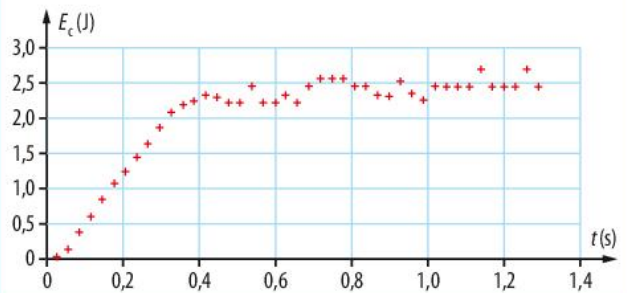
## 32 Étude expérimentale de la chute freinée d'une boule de pétanque

Pour quantifier le rôle d'un parachute sur le processus de freinage, Vinciane et Yassine ont étudié la chute d'une boule, de masse  $m = 400$  g, attachée à un petit parachute, et ont enregistré les courbes suivantes, qui présentent l'évolution des différentes énergies du système {boule de pétanque + parachute} au cours du temps dans le référentiel terrestre supposé galiléen. L'énergie potentielle de pesanteur du système est choisie nulle au niveau du sol ( $z = 0$ ).

Doc. 1 Évolution des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique du système en fonction du temps



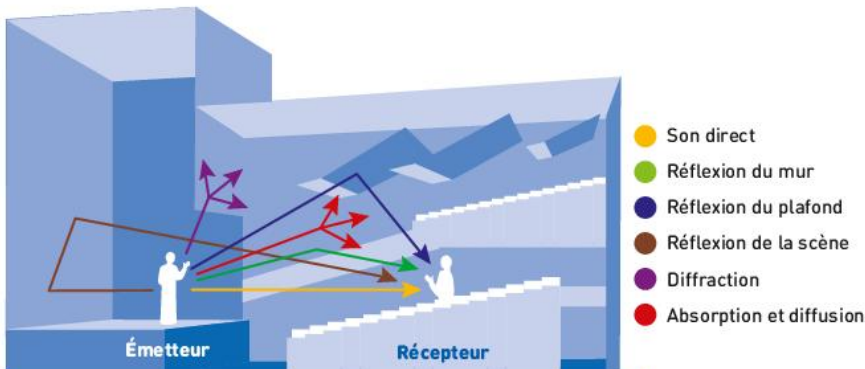
Doc. 2 Zoom du doc. 1 - Évolution de  $E_c$  en fonction du temps



1. Dresser le bilan des forces qui s'exercent sur le système.
2. Justifier l'évolution de la vitesse du système lors de sa chute en décomposant le mouvement en deux phases. Pour chaque phase, caractériser le mouvement et l'évolution de l'énergie mécanique.
3. Estimer la valeur de la vitesse maximale ou « vitesse limite » atteinte par le système ainsi que la date à laquelle cette vitesse est atteinte.
4. À l'aide d'un bilan d'énergie durant la seconde phase, déterminer la valeur de la force de frottement exercée par l'air sur le système.
5. Retrouver cette valeur à l'aide du principe d'inertie.

# L'acoustique des auditoriums et des salles de concert

Le concert du meilleur groupe de rock ne donnera pas le même résultat s'il est joué dans un gymnase, une cave, à l'intérieur d'un bâtiment ou à l'extérieur. Revue rapide des **qualités essentielles pour sublimer l'acoustique** d'un auditorium ou d'une salle de concert et exemples de salles novatrices.



- Son direct
- Réflexion du mur
- Réflexion du plafond
- Réflexion de la scène
- Diffraction
- Absorption et diffusion

## Architecture et matériaux

- Dans un auditorium, les ondes sonores **se propagent mal à l'horizontal**. Elles y rencontrent de nombreux changements de densité de l'air et voyagent plutôt sur des **angles montants**.

- Quand une onde butte contre un mur, elle est renvoyée. Un phénomène connu sous le nom de **réverbération** qui varie de quelques millisecondes à 2 ou 3 secondes en fonction de la taille de la salle et du coefficient d'absorption des parois. Car les matériaux n'ont pas tous le même **niveau d'absorption** ni donc la même capacité à réfléchir les sons.

**Le matériau absorbant le plus connu est la laine de verre. Le béton et le bois ont un fort coefficient de réverbération.**

Le matériau absorbant le plus connu est la laine de verre. Le béton et le bois ont quant à eux un très fort coefficient de réverbération. La réverbération est nécessaire car elle donne de la profondeur aux sons, par vagues sonores successives. Mais pas trop, sinon notre cerveau, qui reçoit chaque signal sonore et le traite, sature.

- Les ondes « **préfèrent** » **buter contre des surfaces courbes** plutôt que contre des surfaces planes. À la différence d'une surface plane, le son y est « focalisé », c'est-à-dire qu'il est concentré dans un espace restreint.



## Hydrophone, une salle de concert dans un ancien bunker

▲ En mars 2019, Lorient fêtait l'ouverture des portes de sa nouvelle salle de concert édifée dans une ancienne base de sous-marins allemands de la Seconde Guerre mondiale.

### Exercice

► Le challenge pour tout ingénieur du son consiste à aménager l'espace de façon à ce que la distribution du son soit la plus homogène possible entre les spectateurs. Faire une recherche et l'aider à définir précisément les phénomènes acoustiques suivants : réflexion, diffraction, absorption et diffusion.

➔ Chapitre 17 p.295

► À Rättvik, en Suède, une ancienne carrière de chaux a été transformée en amphithéâtre à ciel ouvert d'une capacité de 3 500 spectateurs. Le cadre est magique et l'acoustique, y est paraît-il, excellente.





# Thème 4

# Ondes et signaux

Chapitre 17	Ondes mécaniques .....	295
Chapitre 18	Image et couleur .....	311
Chapitre 19	Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière .....	327



Je vérifie  
mes connaissances  
de Seconde





# Ondes mécaniques

*Comment les ondes mécaniques se propagent-elles ?*

## Objectifs

Découvrir les ondes dans la matière

🕒 **Activité 1 p. 296**

Influence du milieu sur la célérité d'une onde

🕒 **Activité 2 p. 297**

Caractéristiques d'une onde périodique

🕒 **Activité 3 p. 298**

Simuler la propagation d'une onde périodique

🕒 **Activité 4 p. 299**

— Les surfeurs utilisent la propagation de l'onde à la surface de l'eau pour se déplacer.

## Mettre en œuvre un protocole

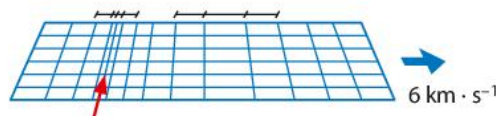
### 1 Découvrir les ondes dans la matière

Le son, les vagues, les séismes sont des phénomènes naturels appelés ondes mécaniques car elles se propagent dans la matière.

Quel est le point commun entre toutes ces ondes ?

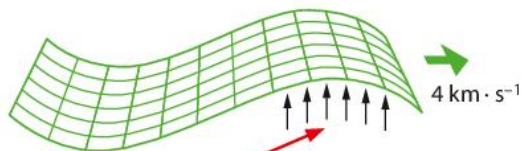
#### Doc. 1 Deux types d'ondes sismiques

Les ondes P (primaires) de compression ou longitudinales :



Zone de compression et dilatation horizontale qui se propage horizontalement

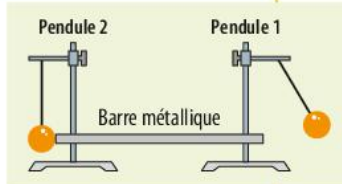
Les ondes S (secondaires) de cisaillement ou transversales :



Mouvement vertical du sol qui se propage horizontalement

#### Doc. 2 Expérience 1 : le double pendule

- Écarter le pendule 1 de sa position d'équilibre et le lâcher sans vitesse initiale.



- Il vient heurter la barre métallique. Une perturbation mécanique se propage le long de la barre. Observer le pendule.

#### Matériel disponible

Barre métallique • Système à double pendule

#### Doc. 3 Expérience 2 : la mexican wave

Lors de la Coupe de monde 1986 de football au Mexique, les téléspectateurs du monde entier découvraient la « mexican wave », aujourd'hui démocratisée dans toutes les tribunes de spectateurs sous le nom de « ola ».

- Sans se déplacer, un premier élève se lève, lève les bras et se rassoit en baissant les bras.
- Puis ses voisins font de même à tour de rôle.



#### Mise en œuvre

- Réaliser
- Analyser

- Réaliser les expériences proposées dans les docs 2 et 3.
- Dans l'expérience 1, comparer la direction de déplacement de la bille du pendule 1 au moment du choc et la direction de déplacement de l'onde. Dans l'expérience 2, comparer la direction du mouvement d'une personne et la direction de déplacement de la ola.
- Dans l'expérience 1, comparer la position des billes avant et après l'expérience. Dans l'expérience 2, comparer la position d'une personne avant et après le passage de la ola.
- Indiquer si les ondes mécaniques propagent de la matière.

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

- Communiquer

- Expliquer la différence entre onde transversale et onde longitudinale.

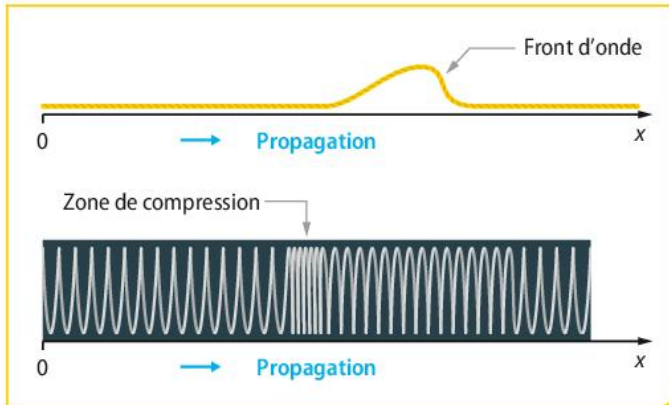
DIFFÉRENCIATION : → Aide (doc. 1) → Bonus

## 2 Influence du milieu sur la célérité d'une onde

Les Indiens d'Amérique du Nord écoutaient le sol pour détecter l'arrivée des troupes de bisons car ils savaient que le bruit des sabots s'entend plus tôt dans le sol que dans l'air.

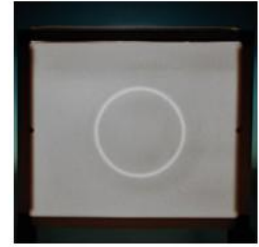
Comment varie la célérité quand le milieu de propagation est modifié ?

Doc. 1 Déplacement d'une onde transversale le long d'une corde et longitudinale le long d'un ressort



Doc. 2 Onde à la surface de l'eau

La cuve à ondes est un outil permettant d'analyser la formation et la propagation d'ondes à la surface d'un liquide.



### Matériel disponible

- Smartphone avec perche
- Potence et pince de fixation
- Cuve à onde
- Corde
- Ressort
- Mètre
- Ordinateur avec logiciel de traitement vidéo
- Tableur grapheur

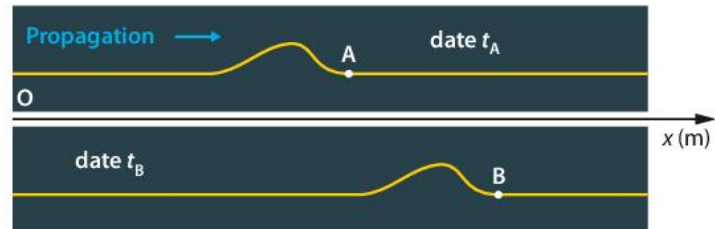
Doc. 3 Vitesse de propagation ou célérité d'une onde

Deux points A et B sont atteints successivement par une onde progressive qui se déplace avec une célérité  $v_{\text{onde}}$ . B subit la même perturbation que A avec un retard  $\tau$  (tau).

$$v_{\text{onde}} = \frac{x_B - x_A}{t_B - t_A}$$

$x_B - x_A$  : distance parcourue par le front d'onde (m)

$\tau = t_B - t_A$  : retard (s)



### Démarche expérimentale

→ Analyser, réaliser

- 1 À l'aide du matériel disponible et des documents, élaborer un protocole expérimental permettant de mesurer la célérité des ondes dans différents milieux, puis, après validation, mettre en œuvre le protocole.
- 2 Élaborer un nouveau protocole expérimental permettant d'observer l'influence de certains paramètres (tension du ressort ou de la corde, profondeur d'eau...) sur la célérité des ondes, puis, après validation, mettre en œuvre le protocole.
- 3 Dédire quels paramètres influent sur la célérité des ondes dans le milieu de propagation.

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Communiquer

- 4 Prévoir un classement par ordre croissant de la célérité du son dans un gaz, dans un liquide et dans un solide.

DIFFÉRENCIATION : ➔ Bonus (doc. 2) ➔ Exercice supplémentaire

### 3

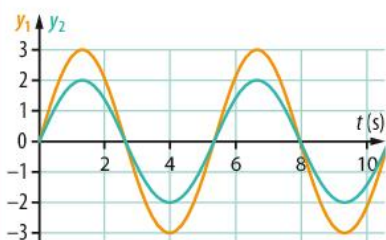
## Caractéristiques d'une onde périodique

Les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques de fréquence supérieure à 20 kHz, inaudibles pour l'oreille humaine. Elles ont de nombreuses applications : échographie, radar de recul, télémètre.

**Les ondes ultrasonores se propagent-elles à la même vitesse que les ondes sonores ?**

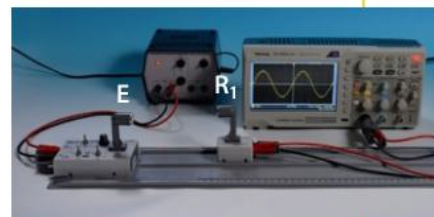
#### Doc. 1 Signaux en phase

Deux signaux périodiques sont en phases lorsque leurs élongations maximales et minimales coïncident.



#### Doc. 2 Expérience 1 : mesurer une période temporelle $T$

- 1 Disposer un émetteur E et un récepteur  $R_1$  à une dizaine de centimètres l'un en face de l'autre.
- 2 E émet des ultrasons en continu. Relier les bornes de sortie de  $R_1$  au système d'acquisition.
- 3 Mesurer avec précision la période temporelle  $T$  des ondes ultrasonores.



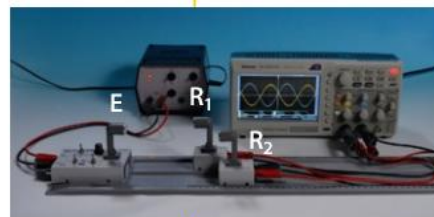
#### Doc. 3 Expérience 2 : mesurer une période spatiale $\lambda$ (longueur d'onde)

Une **période spatiale** est la plus petite distance pour laquelle deux points de l'espace vibrent en phase.

- 1 Fixer l'émetteur E qui émet des ultrasons en continu.
- 2 Disposer les deux récepteurs (reliés au système d'acquisition) l'un à côté de l'autre de façon à observer deux signaux en phase (doc. 1).  
Lorsqu'on éloigne  $R_2$  de  $R_1$ , dans la direction « émetteur-récepteurs », les deux sinusoïdes se décalent. Sans tenir compte de l'amplitude qui décroît pour  $R_2$ , les deux courbes sont en phase à chaque fois que la distance  $R_1 R_2$  est un multiple entier de la longueur d'onde des ultrasons dans l'air.
- 3 Mesurer avec précision la période spatiale  $\lambda$  des ondes ultrasonores.

#### Matériel disponible

Émetteur à ultrasons E • Deux récepteurs à ultrasons  $R_1$  et  $R_2$  • Règle graduée • Système d'acquisition.



#### Mise en œuvre

→ Réaliser

→ S'approprier

→ Analyser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Analyser

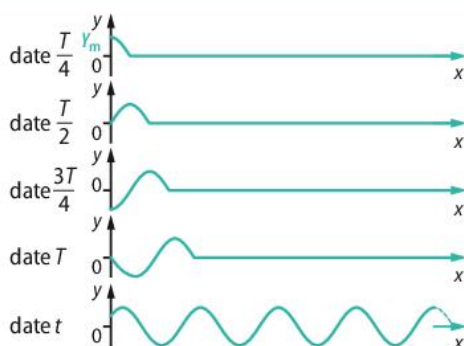
- 1 Réaliser les expériences des docs 2 et 3.
- 2 Montrer que les ondes mécaniques émises par l'émetteur sont bien des ondes ultrasonores.
- 3 Déterminer, à l'aide d'une analyse des unités, la relation liant la célérité  $v$ , la période  $T$  et la longueur d'onde  $\lambda$  des ondes ultrasonores.
- 4 Déterminer la valeur de la célérité  $v$  des ondes ultrasonores dans l'air en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  et comparer à celle des ondes sonores dans l'air.
- 5 Regrouper les valeurs de célérité trouvées par tous les binômes dans un tableau, calculer la moyenne, l'écart-type et comparer à la valeur de référence  $v_{\text{ultrasons}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  à 20 °C. → Fiche 13 p. 362
- 6 Dédire de vos observations quelques grandeurs physiques associées aux ondes ultrasonores.

## 4 Simuler la propagation d'une onde périodique

La simulation informatique ou numérique est une série de calculs effectués par un ordinateur et reproduisant un phénomène physique. Elle permet de l'étudier et d'en prédire son évolution.

Comment simuler le mouvement d'une corde soumise à une onde sinusoïdale ?

### Doc. 1 Équation de propagation d'une onde le long d'une corde



Coordonnées d'un point  $M(x; y)$  quelconque de la corde données par la relation :

$$y(x; t) = Y_m \times \sin\left(\frac{2\pi \times t}{T} - \frac{2\pi \times x}{\lambda}\right)$$

$Y_m$  : amplitude en m ;

$\lambda$  : longueur d'onde en m ;

$T$  : période en s.

➔ Focus Math p. 304

### Doc. 2 Paramètres pour la simulation

Distances en mm et durées en ms.  
Longueur de la corde  $L = 1\,000$  mm.

- Longueur d'onde inférieure à  $\frac{L}{2}$ .
- Fréquence comprise entre 20 et 100 Hz.
- La durée totale de l'animation correspond à 5 périodes.
- On considère un point tous les mm.

### Doc. 3 Instructions Python pour initialiser la simulation

```
# Bibliothèque pour tracer Les graphes
from matplotlib import pyplot
# Bibliothèque pour utiliser pi et La fonction sinus
from math import *
# Crée une Liste des abscisses des points M
list_x = []
# Crée une Liste des ordonnées des points M
list_y = []
# Efface le contenu de La mémoire graphique
pyplot.clf()
# Fixe Les valeurs minimales et maximales
pyplot.axis([0, L, -L/2, L/2])
# Indique La grandeur et L'unité sur L'axe des abscisses
pyplot.xlabel("x (mm)")
# Indique La grandeur et L'unité sur L'axe des ordonnées
pyplot.ylabel("y (mm)")
# Donne un titre à L'animation
pyplot.title("Propagation d'une onde sinusoïdale")
```

### Démarche expérimentale

➔ S'approprier, réaliser

➔ Réaliser

➔ Analyser, réaliser

➔ Réaliser

➔ Analyser

### Conclusion

### De l'activité au cours

➔ Communiquer

1 À partir du doc. 2, déterminer les périodes minimale et maximale qui seront utilisées dans la simulation en s puis en ms.

2 Dans un fichier nommé simulationCorde.py initialiser les variables  $L$ ,  $longueurOnde$ ,  $periode$  et  $amplitude$  et les paramètres du graphe.

3 À l'aide du doc. 1, d'une boucle itérative et de la méthode `list.append()`, compléter les tableaux `list_x` et `list_y` pour  $t = 0$ . ➔ Fiche 15 p. 365

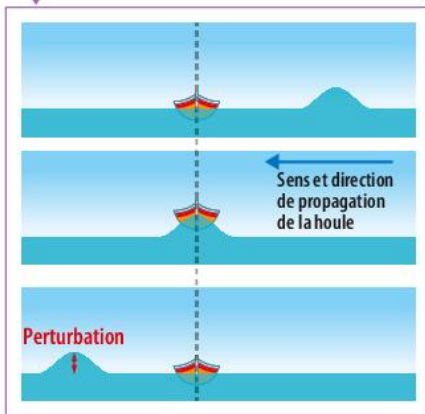
4 Compléter le programme pour afficher la courbe. ➔ Fiche 15 p. 365

5 Expliquer quelle variable il faut introduire pour voir la propagation de l'onde.

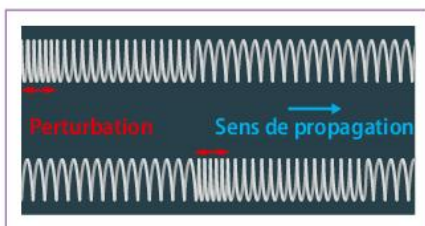
6 À l'aide d'une boucle itérative, compléter le programme en faisant varier le temps par pas de 1 ms. Il faudra ajouter « `pyplot.pause(0.001)` » (pause de 0,001 s) à la fin dans cette boucle.

7 Rappeler quelle grandeur relie la période et la longueur d'onde.

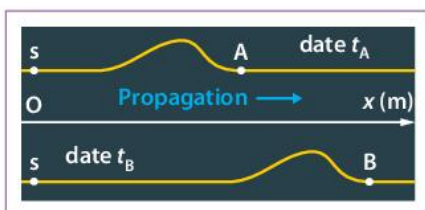
📁 DIFFÉRENCIATION : ➔ Aide (docs 3 et 4) ➔ Exercice supplémentaire



Doc. 1. Propagation d'une vague à la surface de l'eau.



Doc. 3. Onde longitudinale.



Doc. 4. Perturbation le long d'une corde entre les deux dates  $t_A$  et  $t_B$ .

Air	Hélium	Eau	Acier
340	900	1 500	5 000

Doc. 5. Exemples de célérité du son à 20 °C en  $m \cdot s^{-1}$ .

## A Ondes mécaniques progressives

### 1 Définitions

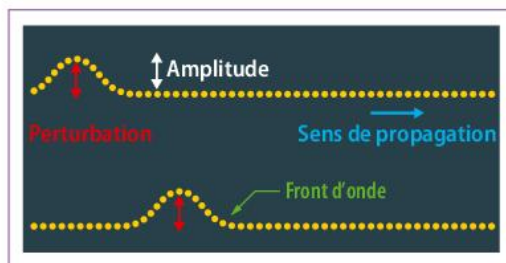
Une **onde mécanique progressive** est le phénomène de propagation d'une perturbation mécanique dans un milieu matériel **sans transport de matière** mais **avec transfert d'énergie**.

La perturbation mécanique peut être une variation locale de la position, de la célérité, de la pression, etc.

L'énergie se transfère de proche en proche, mais la matière n'est pas transportée car les points du milieu retrouvent leur position initiale après le passage de la perturbation (doc. 1).

► L'**amplitude** d'une onde correspond à la déformation maximale du milieu matériel par rapport à son état d'équilibre (doc. 2).

► On appelle **front d'onde** le début de la perturbation (doc. 2).



Doc. 2. Propagation d'une perturbation le long d'une corde dans une dimension.

### 2 Ondes transversale et longitudinale

► Une onde est **transversale** si la direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde (docs 1 et 2).

► Une onde est **longitudinale** si la direction de la perturbation est parallèle à la direction de propagation de l'onde (doc. 3).

→ **Activité 1**

## B Célérité d'une onde progressive

► Une perturbation, créée en un point source S, atteint le point A de l'espace à la date  $t_A$  et le point B à la date  $t_B$  (doc. 4). Le **retard** du point B par rapport au point A est  $\tau = t_B - t_A$  (en secondes).

Pendant cette durée  $\tau$ , la perturbation a parcouru la distance  $x_B - x_A$  (en mètres). L'onde se propage alors à la célérité (vitesse de propagation) :

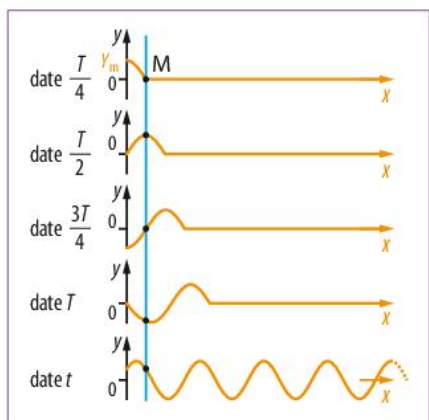
$$v_{\text{onde}} = \frac{x_B - x_A}{t_B - t_A}$$

► La célérité d'une onde dépend du **type d'onde** et également du **milieu de propagation** (doc. 5). Plus le milieu est rigide (difficile à déformer), plus la célérité est grande. Dans un gaz, plus les particules du milieu sont légères, plus la célérité est grande.

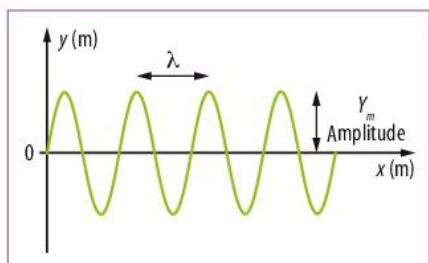
→ **Activité 2**



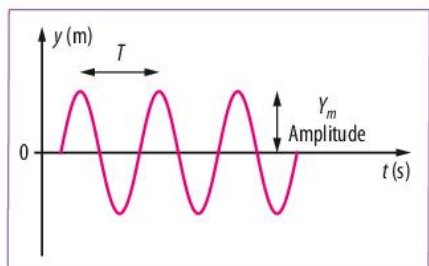
**Doc. 6.** Ondes circulaires à la surface de l'eau : le goutte à goutte à intervalles de temps réguliers crée une perturbation périodique.



**Doc. 7.** Représentation de la corde à différentes dates.



**Doc. 8.**  $y$  en fonction de la position  $x$  de tous les points à une date  $t$ .



**Doc. 9.**  $y$  en fonction du temps d'un point  $M$ . L'ordonnée  $y$  du point  $M$  en fonction du temps varie avec retard par rapport à la source.

## C Ondes mécaniques périodiques

### 1 Période temporelle $T$

► Pour obtenir une onde mécanique progressive périodique, la source doit émettre des perturbations à intervalles de temps réguliers : c'est la **période  $T$**  (doc. 6).

► Chaque point du milieu de propagation reproduit le mouvement de la source de l'onde **avec retard et avec la même période  $T$**  (doc. 7). L'onde périodique possède la **même période que la source**.

► La **fréquence  $f$**  de l'onde périodique est définie par :

$$f = \frac{1}{T}$$

**$f$**  : fréquence de l'onde en hertz (Hz)

**$T$**  : période de l'onde en secondes (s)

La fréquence est le nombre de périodes par seconde. Elle est définie par la source et ne dépend pas du milieu de propagation.

### 2 Période spatiale ou longueur d'onde $\lambda$

La **longueur d'onde  $\lambda$**  d'une onde périodique, ou **période spatiale**, est la plus petite distance qui sépare deux points de l'espace qui sont à chaque instant dans le même état de vibration (doc. 8).

### 3 Relation longueur d'onde, période et célérité

Les points du milieu vibrent avec une double périodicité temporelle et spatiale.

Une perturbation parcourt une longueur d'onde  $\lambda$  en une période temporelle  $T$  à la célérité  $v_{\text{onde}}$  :

$$\lambda = v_{\text{onde}} \times T = \frac{v_{\text{onde}}}{f}$$

**$\lambda$**  : longueur d'onde en mètres (m)

**$v_{\text{onde}}$**  : vitesse de l'onde en mètres par seconde ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

**$T$**  : période en secondes (s)

**$f$**  : fréquence en hertz (Hz)

### 4 Ondes sinusoïdales

► L'onde mécanique progressive périodique est dite **sinusoïdale** si la source vibre selon une **fonction sinusoïdale** du temps, de période  $T$  (doc. 9). Les points du milieu vont vibrer avec une double périodicité temporelle et spatiale.

L'évolution temporelle de l'élongation  $y$  d'un point  $M$  du milieu de coordonnée  $x$  est une fonction sinusoïdale du temps (doc. 9).

► L'amplitude  $Y_m$  de l'onde est la valeur maximale que peut prendre l'élongation  $y$ .

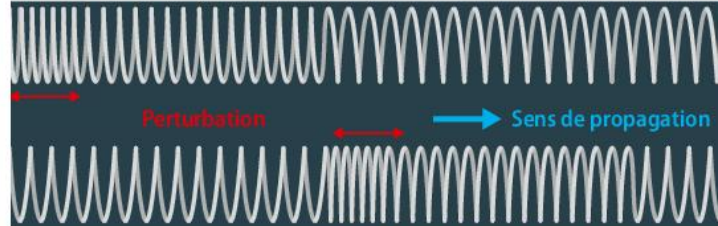
L'élongation  $y$  de chaque point du milieu à une date  $t$  est une fonction sinusoïdale de l'abscisse  $x$  (doc. 8).

→ **Activité 4**

## Ondes mécaniques progressives

Propagation d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière mais avec transport d'énergie.

### Onde longitudinale



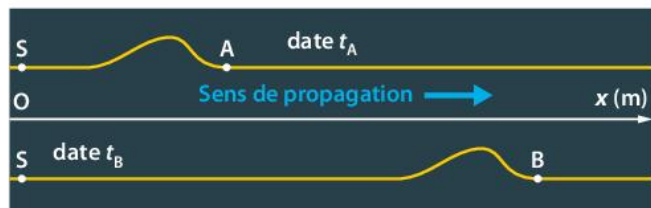
### Onde transversale



## Célérité d'une onde progressive

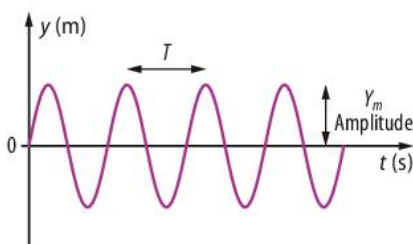
Retard :  $\tau = t_B - t_A$  (en s)

Célérité :  $v_{\text{onde}} = \frac{x_B - x_A}{t_B - t_A}$  (en m · s<sup>-1</sup>)



## Ondes mécaniques sinusoïdales

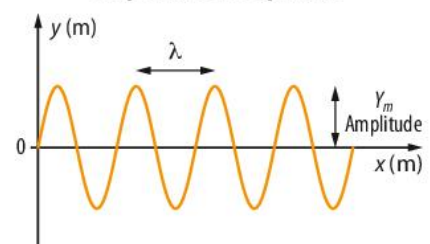
### Périodicité temporelle T



$v_{\text{onde}} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \times f$

(en m · s<sup>-1</sup>) (en s) (en Hz)

### Longueur d'onde λ ou périodicité spatiale

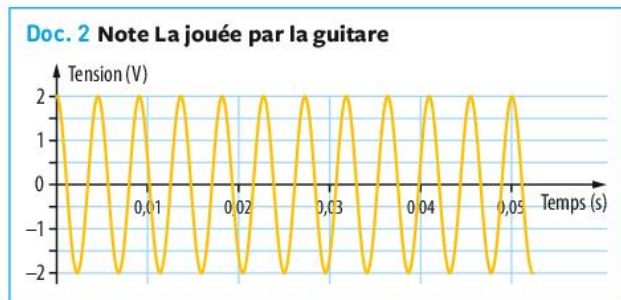
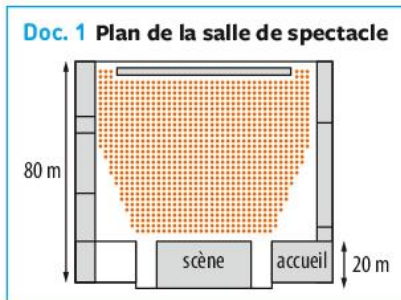




## Résoudre un exercice

### Énoncé

Une ingénieure du son veut régler l'acoustique d'une salle de concert (**doc. 1**). Elle enregistre une note (un La) jouée par une guitare électrique (**doc. 2**). Elle sait que cette note est une onde mécanique sinusoïdale et connaît la célérité du son dans la salle :  $v_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Elle a besoin de connaître le retard du son perçu par un auditeur au fond de la salle par rapport au-devant de la scène ainsi que la fréquence et la longueur d'onde de la note jouée.



1. Calculer le retard du son perçu par l'auditeur placé au fond de la salle.
2. Déterminer, avec le plus de précision possible, la fréquence de la note émise par la guitare.
3. Déterminer la longueur d'onde de l'onde émise.

### Conseils

1. Appliquer la relation entre retard et célérité.
2. • Mesurer une durée comprenant plusieurs périodes.  
• Convertir les ms en s.
3. Appliquer la relation entre longueur d'onde, période temporelle et célérité.

### Résolution

1.  $v_{\text{son}} = \frac{x_B - x_A}{t_B - t_A}$  donc  $\tau = t_B - t_A = \frac{d_{\text{scène} - \text{fond}}}{v_{\text{son}}}$ .

On trouve  $\tau = \frac{80 - 20}{340} = 0,18 \text{ s}$ .

2. On mesure  $T$  sur le graphique le plus précisément possible :

$11 \times T = 50 \text{ ms}$  soit  $T = \frac{50}{11} = 4,6 \text{ ms}$ .

On sait que  $f = \frac{1}{T}$  donc  $f = \frac{1}{4,6 \times 10^{-3}} = 2,2 \times 10^2 \text{ Hz}$ .

3. Par définition de la longueur d'onde :  $v_{\text{onde}} = \frac{\lambda}{T}$  donc  $\lambda = v_{\text{onde}} \times T$   
soit  $\lambda = 340 \times 4,6 \times 10^{-3} = 1,6 \text{ m}$ .

→ Exercice 21 p. 306

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.

Les ondes dans la matière

Ondes mécaniques progressives

12-23

Célérité d'une onde progressive

14-27-32

Ondes mécaniques périodiques

22-23-31

## Révision rapide

## QUIZ



Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

**1** Les phénomènes suivants peuvent être décrits par une onde mécanique progressive.

- A: La lumière émise par une ampoule.
- B: Le son émis par un haut-parleur.
- C: Le déplacement d'une voiture sur une route.
- D: Une vague créée par un caillou jeté dans l'eau.

**2** La propagation d'une onde mécanique s'accompagne :

- A: d'un transport d'énergie.
- B: d'un transport de matière.
- C: d'un transport d'énergie et de matière.
- D: d'aucun transport.

**3** Ces ondes sont transversales et se propagent dans une seule dimension :

- A: onde circulaire à la surface de l'eau.
- B: onde le long d'un ressort.
- C: onde le long d'une corde.
- D: ondes sonores.

**4** La célérité d'une onde mécanique progressive :

- A: dépend de l'amplitude de la perturbation.
- B: dépend du milieu de propagation.
- C: diminue au cours de la propagation.
- D: est constante au cours de la propagation si le milieu est homogène.

**5** Une onde met 2 s pour se propager le long d'un ressort avec une célérité de  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Quelle est la longueur du ressort ?

- A: 0,17 m.
- B: 0,66 m.
- C: 1,5 m.
- D: 6,0 m.

**6** Une onde progressive se propage d'un point A vers un point B distant de 10 m avec une célérité de  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Le retard de la perturbation au point B par rapport au point A vaut :

- A: 0,2 s.
- B: 0,5 s.
- C: 2 s.
- D: 50 s.

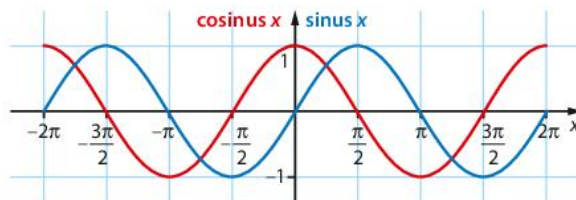
**7** La longueur d'onde est :

- A: l'amplitude de l'onde.
- B: la distance parcourue par l'onde pendant une période.
- C: la plus petite durée pour que chaque point du milieu se retrouve dans le même état vibratoire.
- D: le nombre de périodes par unité de temps.

## FOCUS MATHS

### Les fonctions cosinus et sinus

Pour tout  $x$ ,  $-1 \leq \cos x \leq 1$  et  $-1 \leq \sin x \leq 1$ , les fonctions cosinus et sinus sont des fonctions périodiques de période  $2\pi$  radians ( $360^\circ$ ).



### Application à la physique

#### 8 Exercice résolu

La houle peut être modélisée par une onde sinusoïdale de période  $T$ . L'élongation  $y$  (en mètres) d'un point M de l'océan d'abscisse  $x$  au cours du temps est modélisée par la fonction  $y(t) = 2 \times \cos\left(\frac{2\pi \times t}{6}\right)$ .

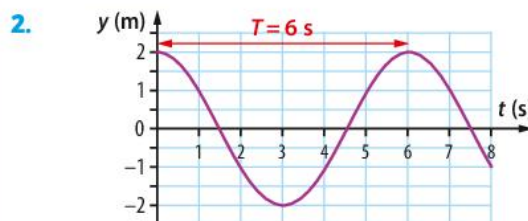
1. Déterminer  $y(t = 1,5 \text{ s})$ ,  $y(t = 3,0 \text{ s})$ ,  $y(t = 4,5 \text{ s})$ ,  $y(t = 6,0 \text{ s})$  et  $y(t = 7,5 \text{ s})$ .

2. Tracer  $y(t)$  pour  $0 \leq t \leq 7,5 \text{ s}$ . En déduire  $T$ .

#### Solution commentée

1.  $y(t = 1,5 \text{ s}) = 2 \times \cos\left(\frac{2\pi \times 1,5}{6}\right) = \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$

t (s)	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5
y (m)	0	-2	0	2	0



#### 9 Exercice d'application

Un vibreur placé à l'extrémité d'une corde la fait onduler de manière sinusoïdale avec une longueur d'onde  $\lambda$ . L'élongation  $y$  (en mètres) des points M de coordonnée  $x$  de la corde à une date  $t$  est modélisée par :

$$y(x) = 0,03 \times \sin\left(\frac{2\pi \times x}{0,20}\right)$$

1. Calculer  $y(x = 0,00 \text{ m})$ ,  $y(x = 0,05 \text{ m})$ ,  $y(x = 0,10 \text{ m})$ ,  $y(x = 0,15 \text{ m})$  et  $y(x = 0,20 \text{ m})$ .

2. Tracer  $y(x)$  pour  $0 \leq x \leq 0,20 \text{ m}$ . En déduire  $\lambda$ .



## Entraînement

### Ondes mécaniques progressives

**10** En reliant deux boîtes de conserve vides par un fil, on fabrique un « téléphone »!


► Préciser quel type d'onde mécanique se propage le long du fil.



**11** Préciser le type d'onde mécanique qui se propage le long du ressort.




**12** Aide p. 306 Dans un film de science-fiction, les spectateurs ont assisté sur grand écran à des batailles spatiales riches en effets visuels et sonores.

► Expliquer quelle propriété des ondes mécaniques est mise en défaut lors de ces batailles spatiales.  Bonus vidéo

**13** Le pendule de Newton est constitué par cinq billes en acier suspendues par un fil sur un cadre métallique. Si la première bille est éloignée puis relâchée, elle entre en collision avec le reste des billes, mais seule la bille située à l'autre extrémité va se mettre en mouvement.



► Indiquer si le pendule de Newton constitue un exemple de propagation d'onde mécanique. Si oui, indiquer le type d'onde mécanique.  Bonus vidéo

### Célérité d'une onde progressive

**14** Aide p. 306 Calcul d'incertitude

Une paroi rocheuse fait écho. Une randonneuse lance un appel et l'entend revenir 6,0 s plus tard avec une incertitude estimée de 0,2 s.

La célérité du son dans cette situation est de  $330 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**1.** Faire un schéma de la situation.

**2.** La distance  $D$  qui sépare la randonneuse de la paroi est comprise entre une valeur  $D_{\min}$  et  $D_{\max}$  à cause de l'incertitude sur la durée mesurée. Déterminer  $D_{\min}$  et  $D_{\max}$ .

**15** Lors d'un meeting aérien, les avions de la patrouille de France survolent le public à une altitude de 75,0 m. La célérité des ondes sonores émises par les réacteurs des avions est de  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



► Avec quel retard le son parviendra-t-il au public?

**16** Des capteurs de pression disposés sur le fond océanique détectent des incidents sismiques et relaient l'information vers des bouées situées en surface qui la transmettent au centre de surveillance par satellite. Des alertes peuvent être lancées bien avant l'arrivée des vagues (tsunami) sur les côtes. La célérité de l'onde à la surface de l'eau est de  $500 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .



Une bouée X a détecté la naissance d'un raz de marée.

**1.** Calculer la distance  $D$  entre la bouée et la côte d'Amérique du Nord.

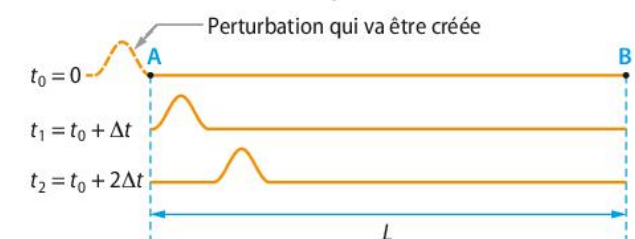
**2.** Évaluer combien de temps ont les habitants pour se mettre à l'abri.

**17** Un artiste de cirque veut faire claquer son fouet ; pour ce faire, il génère, d'un mouvement de poignet, un ébranlement qui se déplace à la célérité  $v$ , supposée constante, le long de la lanière en cuir du fouet.

On simule à l'aide d'un logiciel la perturbation le long de la lanière et on obtient la position de l'ébranlement à différentes dates séparées d'un intervalle de temps :

$$\Delta t = 4,0 \times 10^{-2} \text{ s.}$$

La lanière du fouet a une longueur  $L = 2,0 \text{ m}$ .



**1.** Calculer la durée  $\tau$  mise par l'onde pour parcourir toute la lanière.

**2.** En déduire la valeur de la célérité  $v$  de l'onde.

## En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**18** Une onde sinusoïdale se propage sur l'axe des  $x$ . Son amplitude est de 5 cm, sa fréquence est de 10 Hz et sa célérité de  $40 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

1. Représenter à la main ou à l'aide d'un tableur le graphique  $y$  en fonction du temps d'un point M de la corde avec une échelle adaptée permettant de visualiser trois périodes temporelles.

2. Représenter à la main ou à l'aide d'un tableur le graphique  $y$  en fonction de  $x$  de tous les points à une date  $t$  avec une échelle adaptée permettant de visualiser trois périodes spatiales.

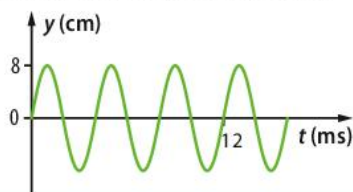
### Critères d'évaluation

Toutes les réponses sont rédigées dans un français correct.

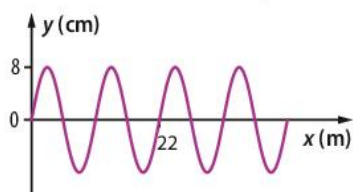
- 1 La période calculée est juste et l'échelle choisie permet d'observer le signal pendant au moins 0,3 s.
- 2 La longueur d'onde calculée est juste et l'échelle choisie permet d'observer le signal sur une distance d'au moins 12 cm.

**19** Donner l'amplitude, la fréquence et la célérité de l'onde représentée sur les docs 1 et 2.

#### Doc. 1 $y$ en fonction du temps d'un point M



#### Doc. 2 $y$ en fonction de $x$ de tous les points à une date $t$



### Critères d'évaluation

Toutes les réponses sont rédigées dans un français correct.

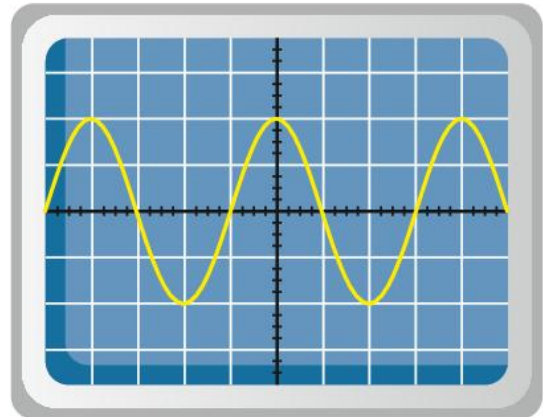
- 1 La période est bien exprimée en secondes.
- 2 La longueur d'onde et l'amplitude sont bien exprimées en mètres.
- 3 La fréquence est bien exprimée en hertz et la célérité en mètres par seconde.

## Ondes mécaniques périodiques

**20** Les ondes sonores se propagent dans l'air à  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Les sons audibles ont une fréquence comprise entre 20 Hz et 20 kHz.

► Calculer l'intervalle de longueur d'onde des sons audibles.

**21** Le son d'un synthétiseur a été enregistré ci-dessous.



Échelle verticale :  $200 \text{ mV} \cdot \text{div}^{-1}$ .

Échelle horizontale :  $0,25 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$ .

Donnée.  $v_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

1. Déterminer à partir du graphe la période temporelle  $T$  de cette onde.

2. En déduire la période spatiale  $\lambda$  de cette onde.

**22** Aide p. 306 Recopier et compléter le tableau suivant.

Onde périodique sinusoïdale	Période temporelle $T$	Longueur d'onde $\lambda$	Fréquence $f$	Célérité $v$
Ultrasons	$25 \mu\text{s}$			$340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Corde		20 cm	4 Hz	
Une note de musique		3,1 m	440 Hz	

### Différenciation

Aides aux exercices

Aide pour l'exercice **12**

L'espace contient si peu de matière qu'il peut être considéré comme vide.

Aide pour l'exercice **14**

Lors d'un écho, le son effectue un aller-retour.

Aide pour l'exercice **22**

La fréquence est fixée par la source, elle ne change pas lorsqu'on change de milieu de propagation.

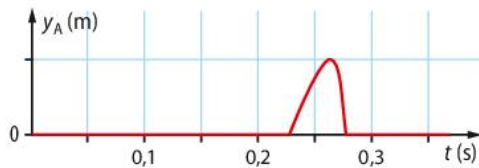


## Synthèse

### 23 Aide p. 308 Propagation le long d'une corde

→ S'appropriier, analyser, réaliser

L'élongation  $y$  du point A d'une corde lors de la propagation d'une perturbation est donnée ci-dessous. Le point A est situé à 2,00 m de la source S de la perturbation. Le chronomètre a été déclenché à l'instant où la perturbation est créée à l'extrémité gauche de la corde provoquée en S.



- Déterminer à quelle date  $t_A$  la perturbation atteint le point A.
- Déterminer pendant quelle durée  $\Delta t$  le point A est en mouvement.
- Calculer la célérité  $v$  de la perturbation.
- Tracer l'allure  $y = f(x)$  de la corde à la date  $t' = 0,10$  s.

### 24 Robinet mal fermé

Un robinet goutte au centre O d'un seau au rythme de 50 gouttes d'eau à la minute.

Une succession de rides circulaires se propagent à partir du point O. La distance qui sépare deux amplitudes maximales successives est de 8 cm.

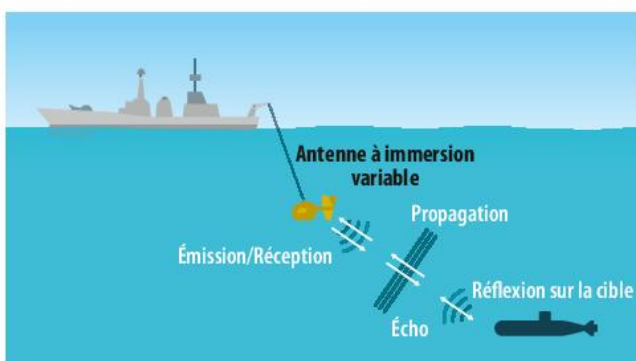


- Déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde circulaire.
- En déduire la célérité des ondes à la surface de l'eau.

### 25 Détection des sous-marins

→ S'appropriier, analyser

Un sonar actif, utilisé notamment pour la détection des sous-marins, émet des impulsions d'une durée de 0,1 s toutes les périodes  $T$ .



- Déterminer les valeurs de la période pour que l'écho soit reçu avant la prochaine émission d'impulsion, lorsqu'il est réfléchi par un sous-marin situé à une distance de 100 m puis 2000 m.

**Donnée.** Célérité ultrasons eau de mer :  $v = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 26 Calcul d'incertitude

→ S'appropriier, analyser

À la surface d'une cuve à onde, un vibreur génère des ondes progressives sinusoïdales avec une fréquence 50 Hz. En eau peu profonde, la célérité de l'onde est donnée par la relation  $v = \sqrt{g \times h}$  avec  $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .



- Une crête de l'onde correspond à une ligne lumineuse. Schématiser une coupe de la surface de l'eau à un instant  $t$ .
- Déterminer la nature de l'onde observée.
- Estimer l'incertitude  $u(d)$  sur une distance  $d$ , sachant qu'elle est mesurée avec une règle graduée en mm. Expliquer comment déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  avec le plus de précision possible.
- Déterminer précisément la longueur d'onde  $\lambda$  puis calculer la célérité de l'onde  $v$ .
- En déduire la hauteur d'eau  $h$  à cet endroit.
- Avec le même vibreur, lorsque la hauteur d'eau de la cuve à onde diminue, la longueur d'onde  $\lambda'$  est diminuée de moitié. Déterminer la nouvelle hauteur d'eau  $h'$ .

### 27 Aide p. 308 Rigidité des métaux

→ S'appropriier, analyser, réaliser

L'extrémité d'un tuyau en acier de longueur  $L = 25$  m est frappée à l'aide d'un marteau. À l'autre extrémité, un système d'acquisition enregistre deux signaux sonores décalés d'une durée  $\Delta t = 68,5$  ms.

- Faire un schéma de la situation.
- Déterminer la célérité du son dans l'acier.
- Le tuyau d'acier est remplacé par un tuyau en laiton de même longueur. Le laiton étant moins rigide que l'acier, expliquer comment évolue le nouveau décalage temporel  $\Delta t'$ .

**Donnée.**  $v_{\text{son air}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



En anglais

### 28 Heart rate

The frequency of heart pulsations is a measure of vital signs of the body.



- Determine your number of heart beats in one minute.
- Explain why we feel a progressive mechanical wave.
- Deduce the frequency of your pulsations.

## 29 Calcul d'incertitude

→ S'approprier, réaliser

Lors d'une séance expérimentale, chaque élève réalise la mesure des ultrasons dans l'air à 20 °C.

Tous les résultats sont regroupés dans un tableau (doc. 1) afin d'établir l'incertitude sur la célérité des ultrasons avec une calculatrice ou un tableur.

### Doc. 1 Tableau de résultats

n° mesure	Vitesse (m · s <sup>-1</sup> )	n° mesure	Vitesse (m · s <sup>-1</sup> )
1	336	10	336
2	343	11	338
3	338	12	342
4	339	13	340
5	340	14	337
6	341	15	341
7	344	16	341
8	339	17	343
9	342	18	343

- À l'aide d'un schéma annoté, proposer un protocole expérimental permettant de réaliser la mesure des ultrasons dans l'air.
- Calculer la valeur moyenne  $\bar{v}$  de la célérité.
- Calculer l'écart type expérimental  $S_{n-1}$ .
- Calculer l'incertitude type  $u(v)$ .
- Donner une estimation de la valeur de  $v$ .

## 30 Simulation de la propagation d'une onde

→ Analyser, réaliser

Des élèves ont conçu un programme Python (doc. 1) qui simule la propagation d'une onde périodique.

Elles enregistrent deux fichiers de leur simulation à des instants différents (doc. 2).

### Doc. 1 Extrait du programme Python pour obtenir le doc. 2

```

pyplot.plot([0,0],[0,120],color='black')
pyplot.plot([0,120],[120,120],color='black')
pyplot.plot([120,120],[120,0],color='black')
pyplot.plot([120,0],[0,0],color='black')

for onde in range(0,7) :
    x = []
    y = []
    for angle in range(0,91) :
        valcos = cos(angle*2pi/360)
        valsin = sin(angle*2pi/360)
        x.append((onde*longueurOnde)*valcos)
        y.append((onde*longueurOnde)*valsin)

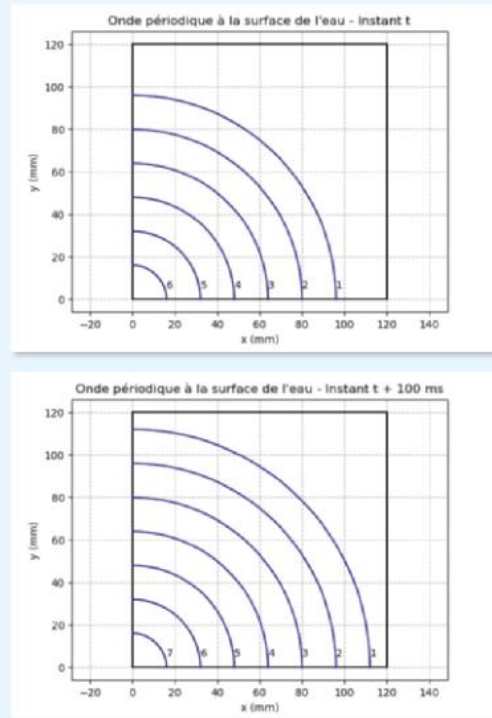
    # Lignes pour compléter l'animation :
    # titre, grandeurs et unités, ...

    pyplot.plot(x, y, color='blue')

pyplot.show()

```

### Doc. 2 Simulation de l'onde aux instants $t$ et $t + 100$ ms



- Déterminer le plus précisément possible la longueur d'onde  $\lambda$  choisie par les élèves (doc. 2).
- Déterminer la période  $T$  de l'onde (doc. 2).
- En déduire la fréquence  $f$  et la célérité  $v$  en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  de l'onde.
- Expliquer le rôle des 4 premières lignes du code créé par les élèves (doc. 1) pour obtenir le doc. 2.
- Soit  $dt$  le temps entre deux animations. Déterminer l'expression de la distance parcourue par l'onde pendant cette durée.
- Les élèves encapsulent ce code dans une boucle « for » suivie d'une instruction qui permet d'effacer la précédente figure: `for dt in range(0,110,10) :`  
`pyplot.clf()`  
Recopier et modifier les lignes `x.append(...)` et `y.append(...)` pour finaliser l'animation.

### Différenciation

#### Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 23

Bien distinguer le front d'onde et la forme de l'onde.

#### Aide pour l'exercice 27

- La propagation de l'onde sonore s'effectue à la fois dans l'air et dans le tuyau en acier.
- Écrire les durées de propagation dans les deux milieux. Le décalage temporel correspond à la différence de ces deux durées.



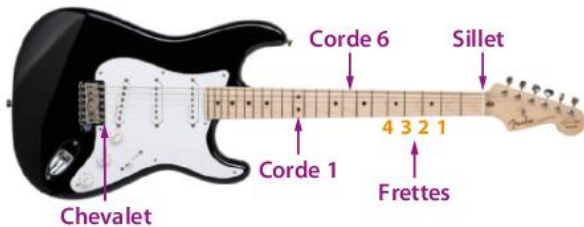
## Problèmes

### 31 Guitare électrique

Pour son anniversaire, Julie s'est fait offrir une guitare électrique (**doc. 1**). Elle la ramène lors d'une séance de TP en physique.

Elle expose à ses camarades les caractéristiques de son instrument de musique (**doc. 2**).

#### Doc. 1 La guitare électrique



Une frette permet de choisir la longueur de corde qui va entrer en vibration entre le chevalet et elle, donc de faire varier les notes jouées.

#### Doc. 2 Caractéristiques des cordes de la guitare électrique

- Elle possède 6 cordes de diamètre 10-13-17-26-36-46 millièmes de pouce. Un millième de pouce correspond à 0,0254 mm.
- La corde 6, de diamètre le plus gros, correspond à une onde périodique de fréquence 82,4 Hz.
- Matériau : alliage de masse volumique  $\rho = 8010 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .
- Longueur des cordes à vide :  $L = 65,5 \text{ cm}$  (entre chevalet et le sillet).
- On suppose que les cordes 4 et 6 ont la même tension.

#### Doc. 3 Données

- Masse linéique de la corde :  $\mu = 0,25\pi\rho D^2$ .
- Relation entre fréquence  $f$  (Hz) et tension de la corde  $T$  (N) : 
$$f = \frac{1}{2L} \times \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

► Déterminer la fréquence de la note émise en jouant si Julie appuie sur la frette 2 de la corde 4 de sa guitare.

#### Différenciation

Apprendre à résoudre **31**

1. Vérifier que les deux membres de chaque formule ont la même unité.
2. Exprimer la tension de la corde en fonction de la fréquence.
3. Déterminer la tension d'une des cordes de la guitare.
4. Déterminer à l'aide du schéma la longueur utile sur la corde 4 pour répondre à la question posée.

### 32 Simulation d'un ressort

Ilias souhaite créer un programme qui simule la propagation d'une onde périodique le long d'un ressort horizontal. C'est une onde de type longitudinal.



#### Doc. 1 Schéma du ressort en l'absence de perturbation



#### Doc. 2 Caractéristiques du ressort et de l'onde

- Longueur du ressort : 50 cm.
- Distance entre 2 spires en l'absence de perturbation : 1,0 cm.
- Amplitude de la perturbation : 9,0 mm.
- Célérité de l'onde le long du ressort :  $6,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Période de la perturbation : 20 ms.
- Mouvement de la spire d'abscisse initiale  $x_0$  : 
$$x(t) = x_0 + \text{amplitude} \times \cos\left(\frac{2\pi t}{\text{période}} - \frac{2\pi x_0}{\text{longueur d'onde}}\right)$$

#### Doc. 3 Instructions Python nécessaires

```
# Bibliothèque nécessaire
from matplotlib import pyplot
from math import *
# VARIABLES
for t in range(0,4*periode,2) :
    # Efface les courbes entre t et t + dt
    pyplot.clf()
    # Trace un segment de droite (axe du ressort)
    pyplot.plot([-10,510], [0,0], color = 'magenta')
    # À compléter
    # Repère orthonormé
    pyplot.axis('equal')
    pyplot.xlabel("Grandeur et unité en abscisses")
    pyplot.ylabel("Grandeur et unité en ordonnées")
    pyplot.title("Titre")
    pyplot.pause(0.001)
pyplot.show()
```

► Écrire le programme de simulation de la propagation de l'onde le long du ressort.

#### Différenciation

Apprendre à résoudre **32**

1. Lire l'énoncé et la question.
2. Calculer la longueur d'onde correspondant aux caractéristiques de l'onde explicitées dans le **doc. 2**.
3. Dans le programme, créer les variables relatives au **doc. 2** (periode, amplitude, longueurOnde, longueurRessort) en respectant les unités du **doc. 1**.
4. Étudier la relation du **doc. 2** et identifier les grandeurs portées en abscisse et en ordonnée.
5. Compléter le programme en ajoutant une boucle « for » pour dessiner chaque spire en mouvement.

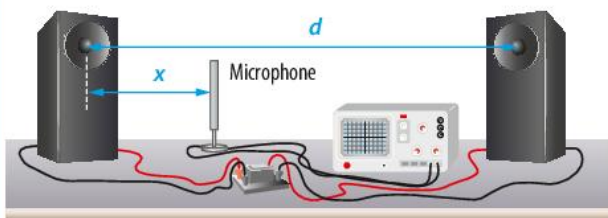
## 33 Fabriquer le silence

Léa découvre sur une vidéo qu'il est possible de faire du silence avec deux haut-parleurs et veut en avoir la certitude.

### Doc. 1 Montage et observation

Deux haut-parleurs, placés l'un en face de l'autre, sont branchés sur le même générateur de signaux. Chaque source émet une onde sonore sinusoïdale de fréquence 400 Hz et de célérité  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

On place entre les deux haut-parleurs un microphone relié à un système d'acquisition. Selon la position  $x$  du micro, on détecte alternativement des maxima d'amplitude et des minima d'amplitude.

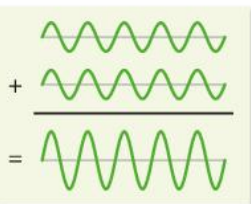


### Doc. 2 Superposition d'onde et interférences

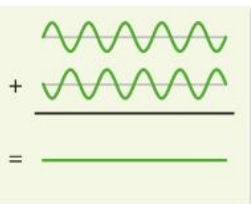
Des ondes périodiques quand elles se rencontrent, donnent des interférences.

- Si les ondes périodiques sont en phases, les interférences sont constructives : l'amplitude résultante est la somme des deux amplitudes
- Si les ondes périodiques sont en opposition de phase quand elles se rencontrent, donnent des interférences destructives : l'amplitude résultante devient nulle ou faible.

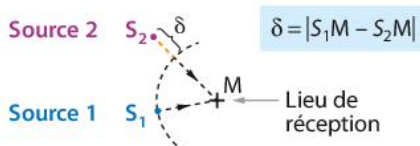
#### Interférence constructive



#### Interférence destructive



### Doc. 3 Différence de marche $\delta$



- Si  $\delta = k \times \lambda$  (avec  $k$  entier = 0 ; 1 ; 2 ; 3...), les ondes arrivent en phase en M.
- Si  $\delta = (2k + 1) \times \frac{\lambda}{2}$  (avec  $k$  entier = 0 ; 1 ; 2 ; 3...), les ondes arrivent en opposition de phase.

► Déterminer à quelle(s) position(s)  $x$  le micro ne détecte pas d'onde sonore. **Bonus vidéo**

# Objectif BAC

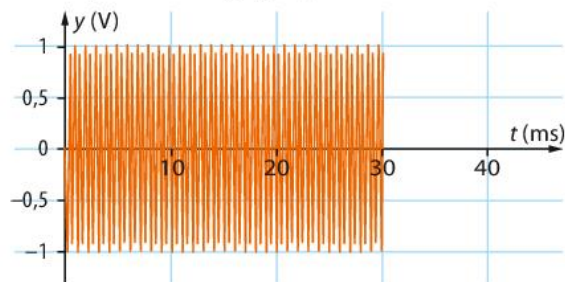
## 34 Sonar

Un sonar est composé d'une sonde comportant un émetteur et un récepteur d'onde ultrasonore de fréquence  $f_{US}$ . Il envoie des salves d'ultrasons d'une durée  $t_{salve}$  verticalement en direction du fond à des intervalles de temps réguliers  $T_{salve}$ . Quand elle rencontre un obstacle, une partie de l'onde est réfléchiée et renvoyée vers la source. La détermination du retard entre l'émission et la réception du signal permet de calculer la profondeur  $p$ .

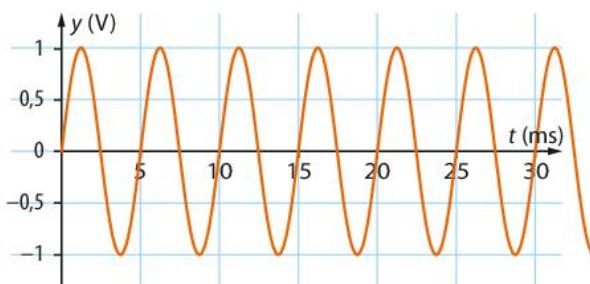
Pour une bonne réception, le signal émis et son écho ne doivent pas se chevaucher.

Ce sonar est utilisable jusqu'à une profondeur de 400 m.

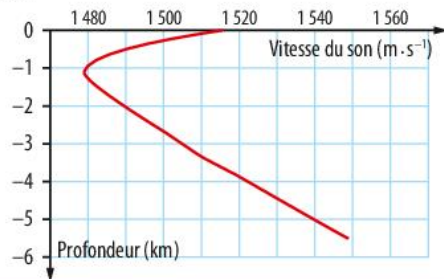
### Doc. 1 Représentation graphique d'une salve



### Doc. 2 Zoom de la salve



### Doc. 3 Célérité du son en fonction de la profondeur de l'Océan



1. Montrer que l'onde est bien une onde ultrasonore.
2. Déterminer la période minimale  $T_{salve}$  des salves d'ultrasons permettant ce fonctionnement.





VIDÉO présentation du chapitre

# Image et couleur

*Comment obtenir des images colorées ?*

## Objectifs

Caractériser l'image donnée par une lentille mince

➤ Activité 1 p. 312

Déterminer la distance focale d'une lentille

➤ Activité 2 p. 313

Obtenir l'image nette d'un objet à travers une lentille

➤ Activité 3 p. 314

Interpréter la couleur perçue d'un objet

➤ Activité 4 p. 315

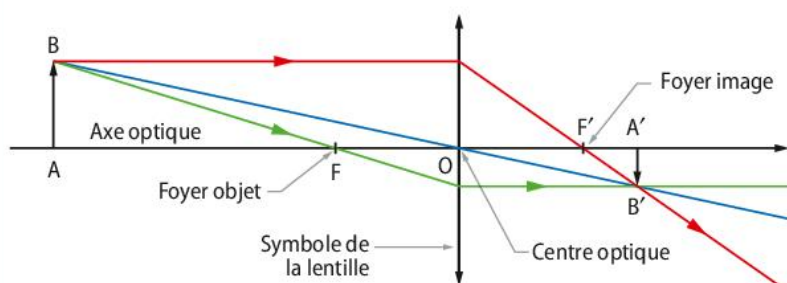
La technique du mapping permet de projeter des images ou des vidéos de grande taille sur des monuments.

# 1 Caractériser l'image donnée par une lentille mince

Une lentille convergente permet de concentrer des rayons lumineux en un point, mais peut aussi être utilisée pour voir plus grand de petits objets.

Comment utiliser une lentille convergente pour qu'elle joue le rôle de loupe ?

## Doc. 1 Image par une lentille convergente



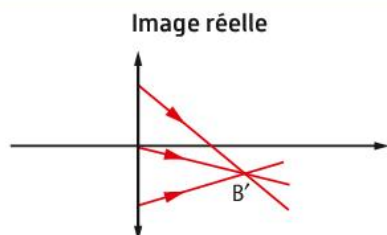
L'image B' du point B est à l'intersection des trois rayons émergents.

Tout rayon passant par le centre optique n'est pas dévié.

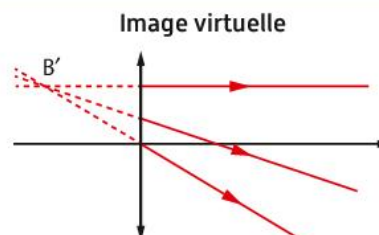
Tout rayon arrivant parallèlement à l'axe optique émerge en passant par le foyer image F'.

Tout rayon passant par le foyer objet F émerge parallèlement à l'axe optique.

## Doc. 2 Images réelle et virtuelle



- Observable sur un écran.
- Se situe à l'intersection des rayons émergents.
- Toujours située à droite de la lentille (la lumière allant de la gauche vers la droite).



- Non observable sur un écran.
- Se situe à l'intersection du prolongement des rayons émergents.
- Toujours située à gauche de la lentille (la lumière allant de la gauche vers la droite).

### Appropriation et analyse

→ Réaliser

→ Analyser

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Valider

1 Construire l'image d'un objet  $AB = 2 \text{ cm}$  situé à  $8 \text{ cm}$ , puis à  $3 \text{ cm}$  d'une lentille convergente de distance focale  $f' = 5 \text{ cm}$  (rappel :  $f' = \overline{OF'}$ ).

2 Comparer les images obtenues dans les deux cas précédents.

3 Indiquer la condition à respecter pour qu'une lentille convergente puisse jouer le rôle de loupe.

4 En utilisant les termes *réelle*, *virtuelle*, *droite* et *renversée*, caractériser l'image donnée par une lentille convergente lorsque l'objet est situé avant le foyer objet F et lorsque l'objet est situé entre le foyer objet F et le centre optique O.

Concevoir un protocole

## 2 Déterminer la distance focale d'une lentille

Des lentilles plus ou moins convergentes et de formats très divers sont utilisées dans de nombreux appareils optiques (appareil photo, microscope, vidéoprojecteur...).

Comment déterminer expérimentalement la distance focale d'une lentille convergente ?

Doc. 1 Image d'un objet à l'infini

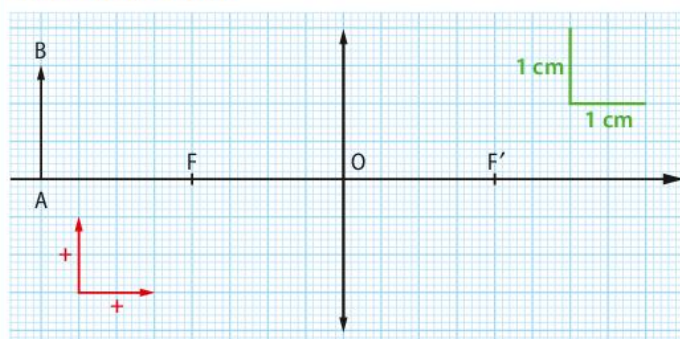
Lorsque l'objet est situé sur l'axe optique loin devant la lentille, les rayons lumineux arrivent quasiment parallèles à l'axe optique et son image se forme approximativement au foyer image  $F'$ . Ceci est par exemple le cas lorsque l'objet est le Soleil dans le ciel ou une lampe située au fond de la classe.

Matériel disponible

Banc d'optique gradué • Source de lumière munie d'un objet • Lentille convergente • Écran.

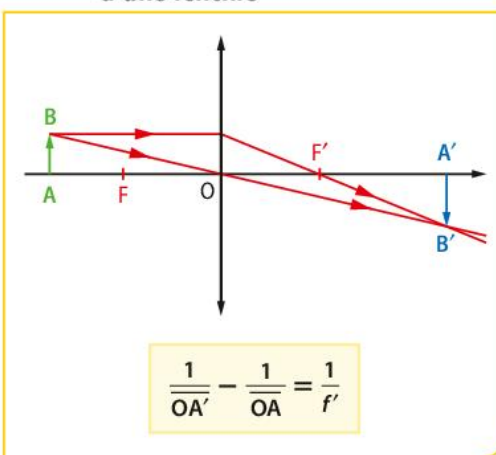
FOCUS MATHS

Grandeurs algébriques



Une mesure algébrique correspond à une longueur affectée d'un signe. Compte tenu des orientations et des échelles choisies :  
 $\overline{AB} = + 1,5 \text{ cm}$  ;  $\overline{OA} = - 4,0 \text{ cm}$  ;  $\overline{OF} = - 2,0 \text{ cm}$  ;  $\overline{OF'} = + 2,0 \text{ cm}$

Doc. 2 La relation de conjugaison d'une lentille



Démarche expérimentale

→ S'approprier, réaliser

→ S'approprier, réaliser

→ Réaliser

Conclusion

De l'activité au cours

→ Valider

1 À l'aide du doc. 1, proposer puis réaliser une expérience qui permet d'estimer la distance focale de la lentille convergente disponible.

2 À l'aide du matériel disponible et du doc. 2, mesurer  $\overline{OA'}$  pour plusieurs valeurs de  $\overline{OA}$ . Consigner les résultats dans un tableau.

3 À l'aide d'un logiciel tableur, représenter l'évolution de  $\frac{1}{\overline{OA'}}$  en fonction de  $\frac{1}{\overline{OA}}$ .

4 En exploitant le doc. 2 et en modélisant la représentation obtenue dans la question 3, déterminer la valeur de la distance focale de la lentille. Comparer cette valeur avec celle obtenue à la question 1.

5 Justifier la première phrase du doc. 1 en exploitant qualitativement la relation de conjugaison.

## Mettre en œuvre un protocole

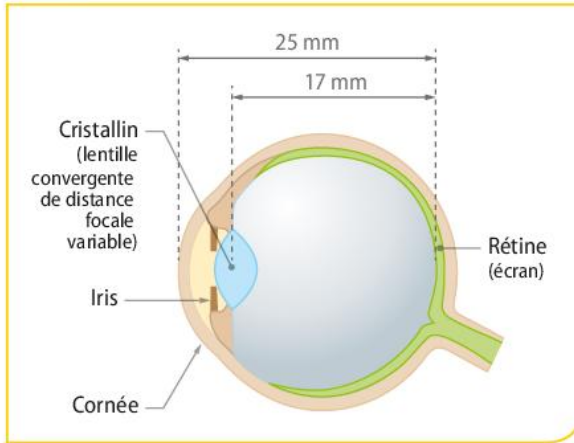
### 3

## Obtenir l'image nette d'un objet à travers une lentille

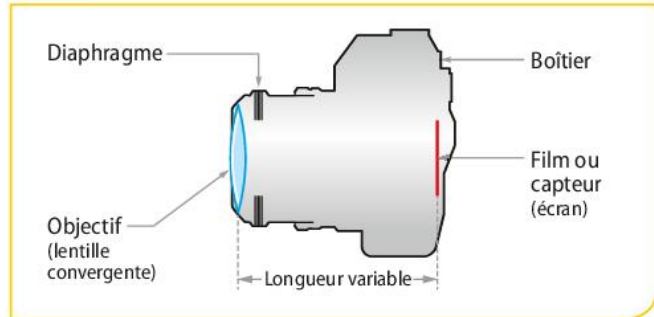
L'œil et l'appareil photo peuvent fournir une image nette pour différentes positions d'un objet.

Comment s'effectue la mise au point dans un œil et dans un appareil photo ?

Doc. 1 Schéma de l'œil



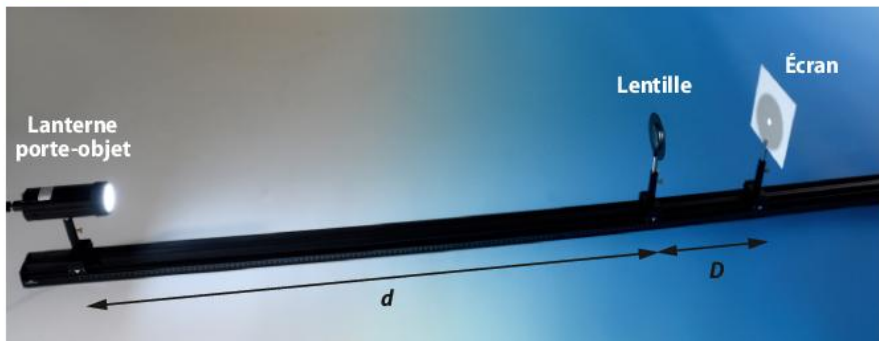
Doc. 2 Schéma d'un appareil photo



### Matériel disponible

Banc d'optique • Source de lumière munie d'un objet • Lentilles convergentes (+ 200 mm ; + 166 mm ; + 250 mm) • Écran.

Doc. 3 Dispositif expérimental



### Protocole

1. Placer l'objet à 70 cm ( $d = 70$  cm) de la lentille de distance focale 200 mm.
2. Déplacer l'écran de manière à obtenir l'image nette de l'objet sur l'écran.
3. Avancer la lanterne à 40 cm de la lentille sans déplacer les autres éléments ; l'image sur l'écran est alors floue.

### Mise en œuvre

→ Réaliser, analyser

→ Réaliser

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Valider

**1** Mettre en œuvre le protocole, puis, sans déplacer les éléments du montage, remplacer la lentille par une autre de manière à de nouveau obtenir une image nette sur l'écran. Comparer les distances focales des deux lentilles.

**2** Remettre en œuvre le protocole puis déplacer l'écran de manière à réobtenir une image nette sur celui-ci. Comment a alors évolué la distance  $D$  ?

**3** Associer le fonctionnement de l'œil et de l'appareil photo aux modifications proposées dans les questions précédentes pour réaliser la mise au point. Justifier à l'aide des docs 1 et 2.

**4** Indiquer comment évolue la distance lentille-image lorsque l'objet s'éloigne de la lentille pour obtenir une image nette.

**DIFFÉRENCIATION** : ➔ Bonus

## 4 Interpréter la couleur perçue d'un objet

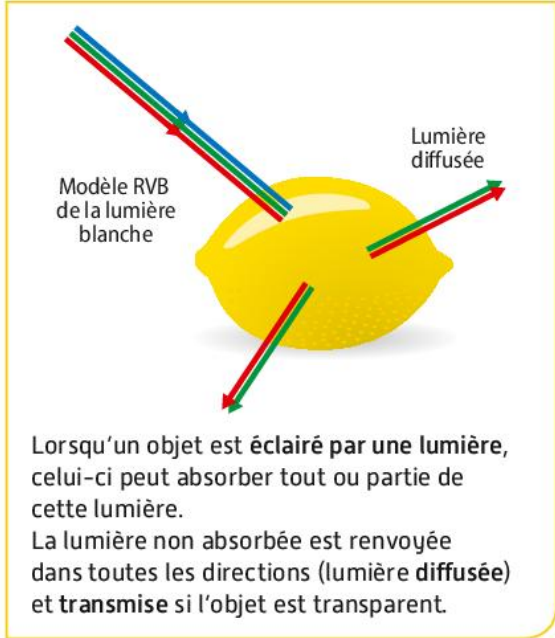
Dans la vie courante, chaque objet est associé à une couleur : les coquelicots sont rouges, le ciel est bleu, les citrons sont jaunes. Et pourtant ! Un citron n'est pas toujours jaune ! Il peut apparaître vert ou même noir...

**Comment faire apparaître un citron noir ?**

**Doc. 1** Un citron qui apparaît vert ou noir



**Doc. 3** Couleurs des objets



**Doc. 2** Synthèses additive et soustractive des couleurs

- La **synthèse additive** est la superposition sur un écran blanc de lumières colorées provenant de différentes sources.
- La **synthèse soustractive** est la superposition de filtres de différentes couleurs devant une source de lumière (blanche le plus souvent).

### Matériel disponible

Lanterne à trois faisceaux • Filtres (rouge, vert, bleu, cyan, magenta, jaune) • Écran blanc.

### Mise en œuvre

→ S'approprier, réaliser

→ S'approprier, réaliser

### Conclusion

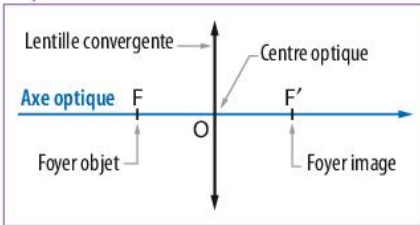
### De l'activité au cours

→ Analyser, communiquer

- 1 À l'aide du matériel disponible, réaliser toutes les combinaisons possibles de synthèse additive en utilisant des lumières bleue, rouge et verte. Schématiser les observations.
- 2 À l'aide du matériel disponible, réaliser toutes les combinaisons possibles de synthèse soustractive en superposant des filtres cyan, magenta et jaune devant une source de lumière blanche. Schématiser les observations.
- 3 Expliquer comment faire apparaître un citron noir.

- 4 Expliquer à quoi correspond la couleur perçue d'un objet en utilisant les phénomènes de diffusion, de transmission et d'absorption.

**DIFFÉRENCIATION** : ➔ Bonus



**Doc. 1.** Schématisation d'une lentille convergente.

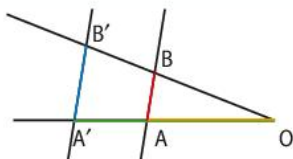
## Ne pas confondre...

...une **image réelle**, toujours située à **droite** de la lentille et une **image virtuelle** toujours située à **gauche** (la lumière allant de la gauche vers la droite). Une image virtuelle ne peut pas être observée sur un écran.

## Éviter les erreurs...

Une grandeur algébrique possède un signe :  $OA = -AO$ .

➔ Focus math p. 315



Si  $(A'B')$  est parallèle à  $(AB)$ , alors :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

**Doc. 2.** Théorème de Thalès.

Image renversée	Image droite
$\gamma < 0$	$\gamma > 0$

**Doc. 3.** Sens de l'image.

Image plus grande de l'objet	Image plus petite que l'objet
$ \gamma  > 1$	$ \gamma  < 1$

**Doc. 4.** Taille de l'image.

## A Image d'un objet à travers une lentille convergente

### 1 Lentille convergente

Une lentille convergente est constituée d'un matériau transparent et elle est plus épaisse au centre que sur les bords (**doc. 1**).

### 2 Formation de l'image

**Tout rayon passant par le centre optique O n'est pas dévié.**

**Tout rayon arrivant parallèlement à l'axe optique émerge en passant par le foyer image F'.**

**Tout rayon passant par le foyer objet F, émerge parallèlement à l'axe optique.**

Objet AB situé avant le foyer objet F	Objet AB situé entre le foyer objet F et le centre optique O
Image A'B' renversée et réelle, plus grande ou plus petite que l'objet AB	Image A'B' droite et virtuelle, toujours plus grande que l'objet AB

► Une image est **droite** lorsqu'elle est dans le même sens que l'objet et **renversée** lorsqu'elle est dans le sens inverse.

► Une image est **réelle** lorsqu'elle est obtenue par le croisement direct des rayons et **virtuelle** lorsqu'elle est obtenue par le croisement du prolongement de rayons. Une loupe permet d'obtenir une image virtuelle, observable en plaçant l'œil après la lentille.

➔ **Activité 1**

### 3 Relations de conjugaison et de grandissement

Les relations de conjugaison et de grandissement permettent de déterminer la position et la taille de l'image.

#### a. Relation de conjugaison

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$$

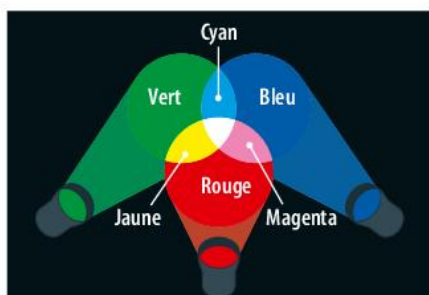
$\overline{OA'}$ ,  $\overline{OA}$  et la distance focale  $f' = \overline{OF'}$  sont des grandeurs algébriques et doivent être exprimées dans la **même unité**.

#### b. Relation de grandissement

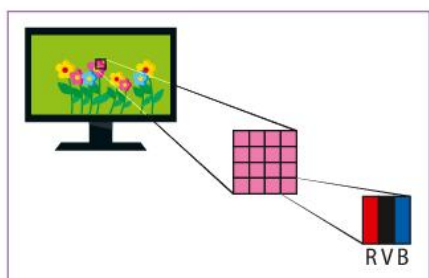
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

$\gamma$  est appelé grandissement et s'exprime **sans unité**, car  $\overline{A'B'}$ ,  $\overline{AB}$ ,  $\overline{OA'}$  et  $\overline{OA}$  sont exprimés dans la **même unité** (**docs 2, 3 et 4**).

➔ **Activité 1 et 3**



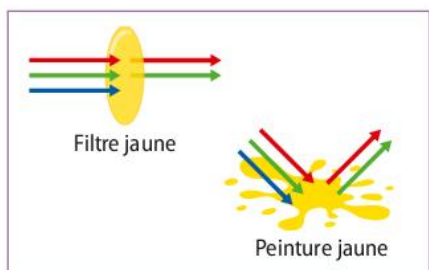
**Doc. 5.** Superposition de lumières rouge, verte et bleue sur un écran blanc. La partie non éclairée de l'écran apparaît noire.



**Doc. 6.** Chaque pixel d'un écran plat est constitué de trois sous-pixels (rouge, vert et bleu) d'intensité variable.



**Doc. 7.** Superposition de filtres cyan, magenta et jaune sur de la lumière blanche.



**Doc. 8.** Le filtre jaune ou le pigment jaune arrête la radiation bleue et transmet ou diffuse les radiations rouge et verte.

## B Lumière et couleur des objets

### 1 Synthèse additive des couleurs

- La **synthèse additive** consiste à **superposer** des lumières colorées (**doc. 5**).
- Les trois couleurs primaires en synthèse additive, **rouge**, **vert** et **bleu**, permettent de reproduire toutes les couleurs perçues par l'œil humain : c'est la **trichromie**, utilisée également pour les écrans (**doc. 6**).
- Deux couleurs sont dites **complémentaires** si leur synthèse additive donne du blanc.

CYAN (bleu + vert) + ROUGE = BLANC	CYAN complémentaire du ROUGE
MAGENTA (rouge + bleu) + VERT = BLANC	MAGENTA complémentaire du VERT
JAUNE (rouge + vert) + BLEU = BLANC	JAUNE complémentaire du BLEU

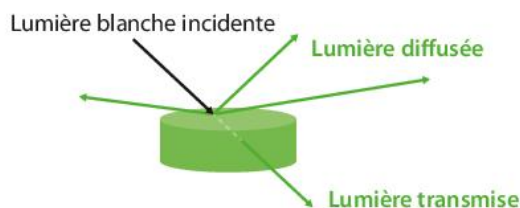
### 2 Synthèse soustractive des couleurs

- La **synthèse soustractive** consiste à supprimer par **absorption** certaines lumières d'une lumière incidente (**doc. 7**).
- Les trois couleurs primaires en synthèse soustractive, **jaune**, **cyan** et **magenta** permettent de reproduire toutes les couleurs. Cette absorption peut se faire par des filtres ou des peintures par exemple. C'est le principe des imprimantes (**doc. 8**).
- La superposition des couleurs **complémentaires** donne du noir en synthèse soustractive.
- Les couleurs primaires en synthèse soustractive correspondent aux couleurs complémentaires en synthèse additive.

CYAN + ROUGE (jaune + magenta) = NOIR	CYAN complémentaire du ROUGE
MAGENTA + VERT (jaune + cyan) = NOIR	MAGENTA complémentaire du VERT
JAUNE + BLEU (magenta + cyan) = NOIR	JAUNE complémentaire du BLEU

### 3 La couleur d'un objet

- Lorsqu'un objet est éclairé par une lumière, celui-ci peut **absorber** tout ou partie de cette lumière. La lumière non absorbée est renvoyée dans toutes les directions (lumière diffusée) et **transmise** si l'objet est transparent.
- La **couleur d'un objet** correspond donc à la lumière **diffusée** par celui-ci et à la lumière qu'il **transmet** si l'objet est transparent.



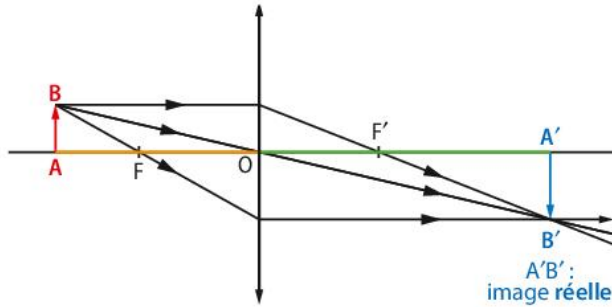
Les autres longueurs d'onde de la lumière incidente ont été **absorbées** par l'objet.

- La couleur d'un objet dépend de la lumière qui l'éclaire.

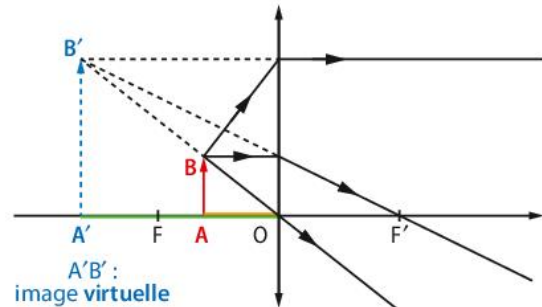
→ **Activité 4**

## Image donnée par une lentille convergente

L'objet AB est situé **avant le foyer objet F**



L'objet AB est situé **entre O et F**



Relation de grandissement

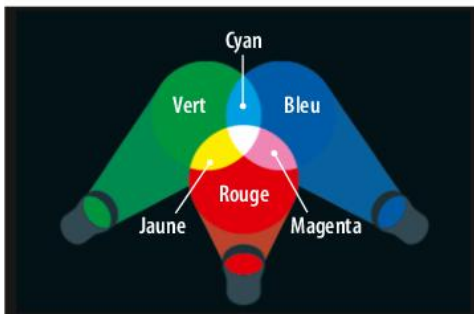
$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

Relation de conjugaison

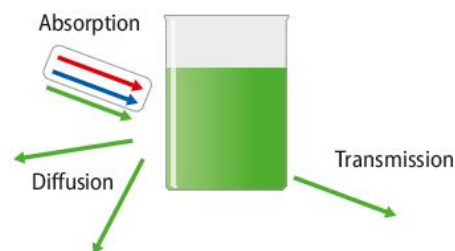
$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA}$$

## Couleur d'un objet

Synthèse additive



Synthèse soustractive



La lumière non-transmise ou non-diffusée a été **absorbée** par l'objet.

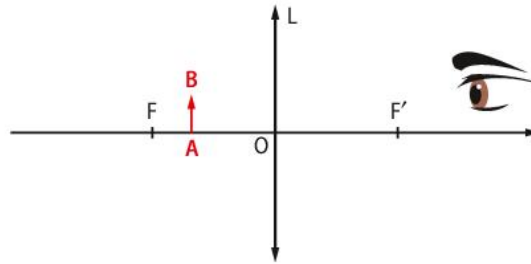
La **couleur d'un objet** correspond à la lumière **diffusée** par celui-ci et à la lumière qu'il **transmet** si l'objet est transparent.



## Résoudre un exercice

### Énoncé

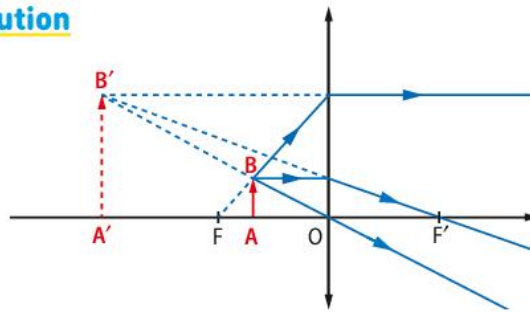
Une lentille convergente L est placée devant une fleur, modélisée par l'objet AB sur le schéma ci-dessous.



1. Construire l'image A'B' de l'objet AB à travers la lentille (L).
2. Déterminer graphiquement la valeur du grandissement  $\gamma$ .
3. En déduire que la lentille joue ici le rôle de loupe.

### Résolution

1.



2. Le grandissement  $\gamma$  est défini par la relation :  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$ .

Par mesure sur le schéma,  $\overline{AB} = +0,5 \text{ cm}$  et  $\overline{A'B'} = +1,5 \text{ cm}$

d'où  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{1,5}{0,5} = 3,0$ .

Remarque : on aurait pu également mesurer  $\overline{OA'}$  et  $\overline{OA}$  :  $\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{-3,0}{-1,0} = 3,0$ .

3.  $\gamma > 1$  ; l'image est donc **plus grande** et de **même sens** que l'objet. La lentille joue donc le rôle de **loupe**.

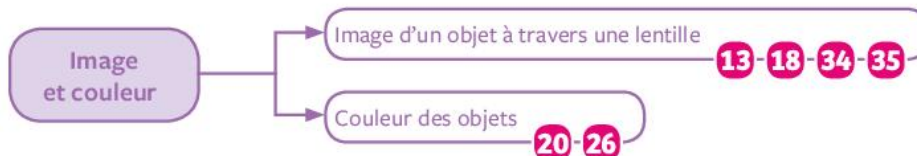
→ Exercice 12 p. 321

### Conseils

1. Tracer au minimum deux rayons particuliers issus du point B pour localiser son image B'.
2. Attention aux signes car ce sont des mesures algébriques qui interviennent dans la relation. Le grandissement s'exprime sans unité.
3. Une loupe permet de voir un objet plus grand mais n'inverse pas son sens.

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ



Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

**1** Un rayon lumineux traversant une lentille convergente sans être dévié :

- A : passe par le centre optique O.
- B : passe par le foyer objet F.
- C : passe par le foyer image F'.
- D : cela n'est pas possible.

**2** L'image d'un objet à travers une lentille convergente est observée sur un écran. Cette image est :

- A : réelle.
- B : virtuelle.
- C : droite.
- D : renversée.

**3** La formule de conjugaison s'écrit :  $\frac{1}{f'} = \frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA}$  alors :

A :  $\overline{OA} = \frac{f' \times \overline{OA'}}{f' - \overline{OA'}}$       B :  $\overline{OA'} = \frac{f' \times \overline{OA}}{\overline{OA} - f'}$

C :  $\overline{OA'} = \frac{f' \times \overline{OA}}{\overline{OA} + f'}$       D :  $\overline{OA} = \frac{f' \times \overline{OA'}}{\overline{OA'} + f'}$

**4** Si le grandissement  $\gamma$  vaut  $-3$ , alors :

- A : l'objet est trois fois plus grand que l'image.
- B : l'image est trois fois plus grande que l'objet.
- C : l'image est renversée.
- D : l'image est droite.

**5** La superposition de lumières rouge et bleue sur un écran blanc forme du :

- A : vert.
- B : cyan.
- C : magenta.
- D : blanc.

**6** La couleur complémentaire du rouge est le :

- A : cyan.
- B : magenta.
- C : jaune.
- D : noir.

**7** Un filtre jaune éclairé en lumière blanche :

- A : absorbe le rouge.
- B : transmet le rouge.
- C : absorbe le bleu.
- D : transmet le vert.

**8** Un écran magenta éclairé avec une lumière verte apparaît :

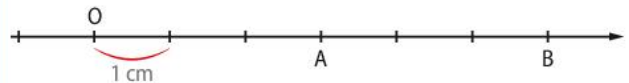
- A : blanc.
- B : noir.
- C : magenta.
- C : vert.

## FOCUS MATHS

### Les grandeurs algébriques

Une grandeur algébrique correspond à la valeur d'une distance sur un axe orienté.

C'est donc un nombre réel affecté d'un signe.



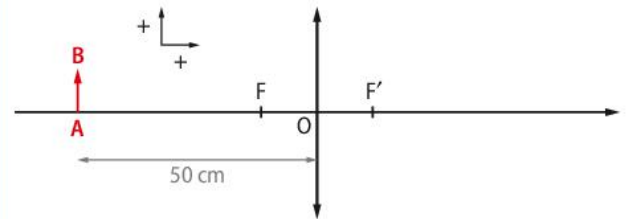
$\overline{AB} = +3\text{cm}$  et  $\overline{BA} = -3\text{cm}$ .

### Application à la physique

#### 9 Exercice résolu

Un objet AB est placé à 50,0 cm de l'objectif d'un appareil photo modélisé par une lentille convergente de distance focale 50 mm.

Déterminer la position de l'image de cet objet par rapport à la lentille.



#### Solution commentée

D'après l'énoncé :  $f' = 50\text{mm} = 5,0\text{cm}$  et compte tenu de l'orientation choisie :  $\overline{OA} = -50,0\text{cm}$ .

On applique à présent la relation de conjugaison :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$$

$$\frac{1}{OA'} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{OA} \Leftrightarrow \frac{1}{OA'} = \frac{\overline{OA} + f'}{f' \times \overline{OA}}$$

$$\overline{OA'} = \frac{f' \times \overline{OA}}{\overline{OA} + f'}$$

$$\overline{OA'} = \frac{5,0 \times (-50,0)}{-50,0 + 5,0} = 5,6\text{cm}$$

L'image A'B' se situe donc à 5,6 cm à droite de la lentille.

#### 10 Exercice d'application

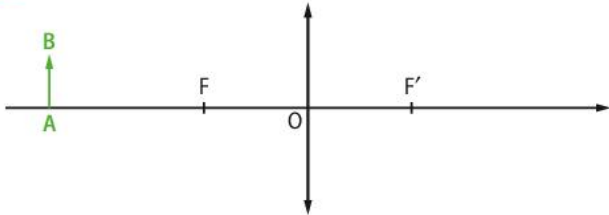
► Déterminer la position de l'objet qui permet d'obtenir une image virtuelle à 50,0 cm devant une lentille de distance focale 20,0 cm.



## Entraînement

### Image d'un objet par une lentille

**11** Un objet AB est placé devant une lentille convergente.



**1.** Après avoir reproduit le schéma ci-dessus, construire l'image A'B' de l'objet AB à travers la lentille.

**2.** Décrire l'image en utilisant les termes : *agrandie*, *rétrécie*, *droite*, *renversée*.

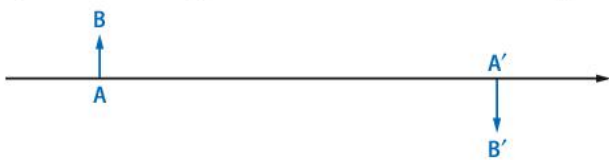
**12** Une lentille convergente de distance focale  $f' = 10$  cm est placée à 6,0 cm d'un clou de longueur 2,0 cm. Le clou est perpendiculaire à l'axe optique et sa tête est située sur l'axe optique.



**1.** Sur un schéma à l'échelle 1, construire l'image du clou à travers la lentille.

**2.** Justifier que la lentille joue alors un rôle de loupe.

**13** Aide p. 322 Sur le schéma suivant sont représentés un objet AB et son image A'B' à travers une lentille convergente.



► Reproduire le schéma et déterminer par construction la position de la lentille et la position des foyers objet F et image F'.

**14** Afin de déterminer la distance focale d'une lentille convergente, une élève dispose d'un objet plan lumineux AB de hauteur 2 cm et d'un écran, perpendiculaires à l'axe optique de la lentille.



Après avoir positionné la lentille, elle recherche la position de l'image nette A'B' de l'objet AB.

Cette image se forme à 60 cm de l'objet AB, elle est renversée de hauteur 1 cm.

► À l'aide d'un schéma, déterminer la distance focale de la lentille.

### En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**15** Une image nette de hauteur 5,0 cm est observée sur un écran placé à 40 cm d'une lentille convergente de distance focale 15 cm.

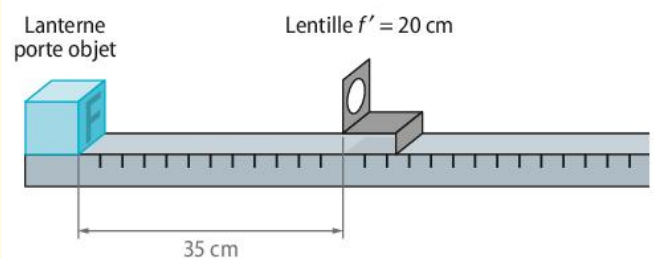
**1.** En utilisant la relation de conjugaison, déterminer la position de l'objet correspondant par rapport à la lentille.

**2.** Déterminer la position de l'objet pour que son image à travers cette lentille soit localisée au foyer image F'. Justifier.

### Critères d'évaluation

- 1 La valeur et le signe de  $\overline{OA'}$  ont correctement été déterminés à partir de l'énoncé.
- 2  $\overline{OA}$  a été calculée à partir de la formule de conjugaison. Une phrase de conclusion est donnée.

**16** L'expérience schématisée ci-dessous est réalisée par des élèves.



**1.** En utilisant la relation de conjugaison, déterminer la position de l'image de l'objet par rapport à la lentille.

**2.** Indiquer la position de l'image d'un objet qui serait situé très loin devant la lentille. Justifier.

### Critères d'évaluation

- 1 La valeur et le signe de  $\overline{OA}$  ont correctement été déterminés à partir de l'énoncé.
- 2  $\overline{OA'}$  a correctement été calculée à partir de la formule de conjugaison. Une phrase de conclusion est donnée.

## 17 Calcul d'incertitude

Lors d'une séance de travaux pratiques, chaque groupe d'élèves a dû déterminer la distance focale d'une même lentille convergente.

Les résultats des différents groupes sont consignés dans le tableau suivant.

Groupe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f'$ (cm)	14,8	14,9	15,2	14,9	15,0	14,8	14,8	15,1	14,9	15,0

► En effectuant un traitement statistique sur les dix valeurs obtenues par l'ensemble des groupes, exprimer la valeur finale de la distance focale et indiquer son incertitude.

**18** Aide p. 322 L'objectif d'un appareil photographique est modélisé par une lentille de distance focale  $f' = 10$  cm. L'appareil est mis au point sur un élève de hauteur 165 cm qui se tient perpendiculairement à l'axe optique de l'objectif à une distance de 2,5 m.

- Déterminer la distance entre la pellicule et la lentille.
- En déduire la valeur du grandissement.
- Déterminer la dimension de son image sur la pellicule.

## Couleur d'un objet

**19** Un tee-shirt est éclairé avec différentes lumières colorées.

En lumière rouge, il apparaît rouge.

En lumière bleue, il apparaît bleu.

En lumière verte, il apparaît noir.

► Déterminer la couleur de ce tee-shirt lorsqu'il est éclairé en lumière blanche.

**20** Aide p. 322 Cette photo d'un Rubik's Cube a été imprimée par une imprimante qui utilise des cartouches d'encre cyan, magenta, jaune et noire, mais dont la cartouche d'encre noire est vide.



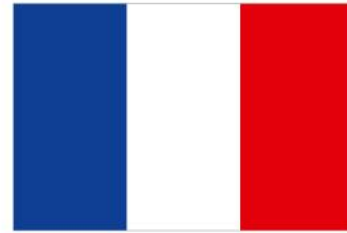
► Pour chaque couleur présente sur la photo du Rubik's Cube (jaune, rouge, bleu, vert, orange et noir), indiquer les encres qui ont été utilisées.

## 21 Exercice inversé

Chaque phrase suivante est une réponse. Proposer une ou des questions appropriées à la réponse donnée.

- Elle peut être diffusée, transmise ou absorbée.
- Il suffit de superposer des faisceaux de lumière bleue, rouge et verte.
- Il faut mélanger des peintures magenta et jaune.
- Car il absorbe le vert et le rouge.

**22** Des filtres rouge, vert, bleu, cyan, magenta et jaune sont successivement placés devant un drapeau français éclairé en lumière blanche.



► Dessiner, dans chaque cas, l'allure du drapeau français.

**23** L'oiseau arc-en-ciel vit en Australie. Il est éclairé en lumière naturelle.

► Indiquer, pour chaque couleur de l'oiseau, la couleur qui serait observée en le photographiant avec :

- un filtre rouge ;
- un filtre jaune.



## Différenciation Aides aux exercices

### Aide pour l'exercice 13

Commencer par tracer le rayon qui n'est pas dévié.

### Aide pour l'exercice 18

Il faut d'abord appliquer la relation de conjugaison sachant que la pellicule est confondue avec l'image nette de l'élève.

### Aide pour l'exercice 20

Une imprimante utilise la synthèse soustractive des couleurs.



## Synthèse

### 24 Jeux d'ombres

→ Réaliser, analyser

Un objet opaque cylindrique est placé entre un écran blanc et deux sources de lumière ponctuelles : rouge et verte d'intensités égales.

Source de lumière rouge



Source de lumière verte



Écran blanc



► Reproduire le schéma ci-dessus et justifier, par des tracés, les couleurs observées sur l'écran.

### 25 Projecteur de smartphone

→ Analyser, réaliser

Il est possible de projeter une vidéo sur un mur à partir de l'écran d'un smartphone placé au fond d'une boîte.



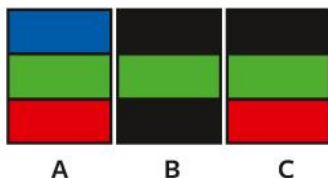
Cette projection est assurée par une lentille convergente placée sur la face opposée à 23 cm du smartphone.

- Déterminer la valeur de la distance focale de la lentille sachant que celle-ci doit être située à 1,50 m du mur pour obtenir une image nette.
- Déterminer la hauteur de l'image sur le mur sachant que sur le smartphone la hauteur est de 5,0 cm.
- En précisant la ou les échelle(s) choisie(s), réaliser un schéma de la situation puis vérifier graphiquement les valeurs de distance focale et de taille d'images obtenues dans les questions précédentes.

### 26 Aide p. 324 Écran plat

→ S'approprier, analyser

Chaque pixel d'un écran plat est constitué de trois luminophores rouge, vert et bleu.

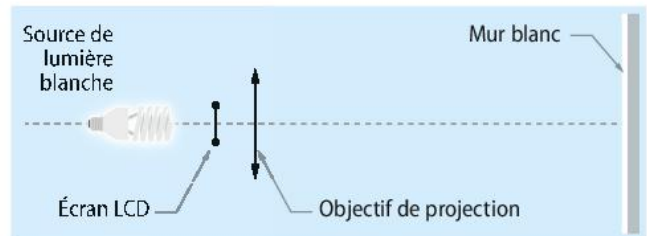


- Associer les trois pixels A, B et C à des zones de l'image ci-dessus.
- Dans la plupart des cas, chaque luminophore peut prendre 256 intensités lumineuses différentes. Déterminer combien de nuances différentes peut alors présenter chaque pixel à l'écran.

### 27 Vidéoprojecteur

→ S'approprier, analyser

Un vidéoprojecteur permet de projeter une image sur un écran. Il est constitué d'une source de lumière blanche, d'un écran LCD (*Liquid Cristal Display*) qui contient l'image à projeter et d'un objectif de projection. Il s'agit d'un système convergent, constitué de plusieurs lentilles, mais que l'on peut assimiler à une seule lentille convergente.



- En agissant sur le vidéoprojecteur, il est possible de régler manuellement la netteté de l'image sur l'écran. Sachant que les positions de l'écran LCD et de l'objectif sont fixes, indiquer sur quelle grandeur on peut alors agir.
- L'écran LCD est situé à 10 cm de l'objectif de projection. Le mur est à 5,0 m de la lentille. Déterminer la valeur de la distance focale de l'objectif pour que l'image formée sur le mur soit nette. Déterminer également la valeur du grandissement.
- Indiquer si le motif à projeter présent sur l'écran LCD doit être droit ou à l'envers. Justifier.

### 28 Calcul d'incertitude

→ Réaliser, analyser

Lors d'une séance de travaux pratiques, un objet lumineux AB est placé devant une lentille convergente de centre O. Pour différentes valeurs de distances OA, la position de l'image nette A'B' est repérée à l'aide d'un écran et la valeur de distance OA' correspondante est relevée.

OA (cm)	- 60,0	- 50,0	- 40,0	- 35,0	- 30,0	- 25,0	- 20,0
OA' (cm)	20,3	21,2	24,4	25,7	30,3	37,2	59,5

- À l'aide d'un logiciel tableur, entrer les valeurs expérimentales présentes dans le tableau puis représenter l'évolution de  $\frac{1}{OA'}$  en fonction de  $\frac{1}{OA}$ .
- En réalisant une modélisation, montrer que la relation de conjugaison est vérifiée.
- En utilisant la fonction «droitereg» d'Excel, déterminer les incertitudes sur le coefficient directeur et l'ordonnée à l'origine du modèle. ➔ Fiche 13 p. 362
- Exprimer le résultat de la mesure et comparer la valeur obtenue à la valeur de référence  $f_{ref} = 150$  mm. Conclure.

## 29 Loupe

→ Réaliser, analyser

Une lentille convergente de distance focale  $f' = 5,0$  cm est placée à  $3,0$  cm d'un objet de hauteur  $1,0$  cm.

- À l'aide des formules de conjugaison et de grandissement, déterminer la position et la taille de l'image de l'objet.
- En précisant la ou les échelle(s) choisie(s), réaliser un schéma de la situation puis vérifier graphiquement les valeurs obtenues à la question précédente.
- Expliquer pourquoi on peut dire que, dans ces conditions, la lentille constitue une loupe.

## 30 Azurant optique

→ S'approprier, analyser



Le linge blanc a une tendance naturelle à jaunir en raison d'une dégradation des fibres ; les lessives n'ont donc aucun effet sur ce phénomène.

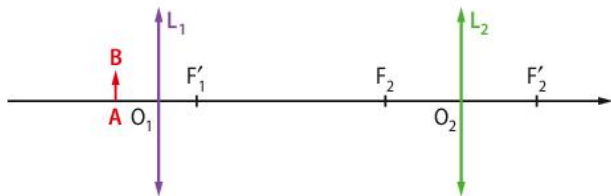
Une solution consiste à imprégner le tissu d'un azurant optique qui transforme, par fluorescence, une partie du rayonnement ultraviolet naturel en lumière bleue.

- Expliquer pourquoi un linge jauni imprégné d'azurant optique paraît blanc en lumière du jour.

## 31 Microscope

→ Réaliser, analyser

Un microscope est constitué de deux systèmes optiques : un objectif et un oculaire. Fonctionnant en lumière blanche, l'objectif et l'oculaire peuvent être assimilés à deux lentilles convergentes de distance focale respective  $f'_1$  et  $f'_2$ .



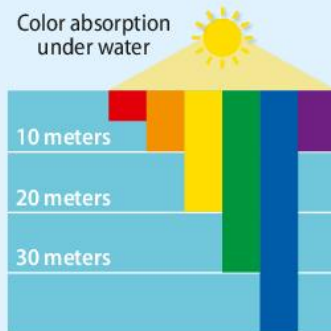
- Après avoir reproduit le schéma ci-dessus, justifier par construction que l'image intermédiaire  $A_1B_1$  de l'objet  $AB$  donnée par la lentille  $L_1$  se forme dans le même plan que  $F_2$ .
- L'image intermédiaire  $A_1B_1$  joue le rôle d'objet pour la lentille  $L_2$ . Construire des rayons partant de  $A_1B_1$  à travers la lentille  $L_2$ . Indiquer la particularité des rayons émergents.
- Les rayons lumineux provenant d'une image ou d'un objet situé à l'infini sont parallèles. Indiquer la position de l'image  $A'B'$  de  $A_1B_1$  pour un observateur placé de manière à voir les rayons émergents de  $L_2$ . Qualifier cette image de réelle ou virtuelle, droite ou renversée.



En anglais

## 32 The color of gorgonians

Sea water does not equally absorb light colors. For instance, red light is totally absorbed at a depth of 5 meters, while blue light is still present at a depth of 30 meters.



Gorgonians are magenta corals when observed with white light.

- Indicate the color of gorgonians when observed 20 meters under sea level. Justify.

## 33 Vase de Lycurgue

→ S'approprier, analyser

Le vase de Lycurgue apparaît vert lorsqu'il est éclairé de l'extérieur (gauche) et rouge lorsque la source de lumière blanche est à l'intérieur (droite).



Cette particularité provient de la présence à l'intérieur du verre uniquement de nanoparticules métalliques qui absorbent une partie de la lumière transmise.

- Expliquer les couleurs perçues par ce vase selon la position de l'éclairage en précisant en particulier la lumière absorbée par les nanoparticules métalliques.

### Différenciation

Aides aux exercices

Aide pour l'exercice 26

Un écran plat utilise la synthèse additive des couleurs.

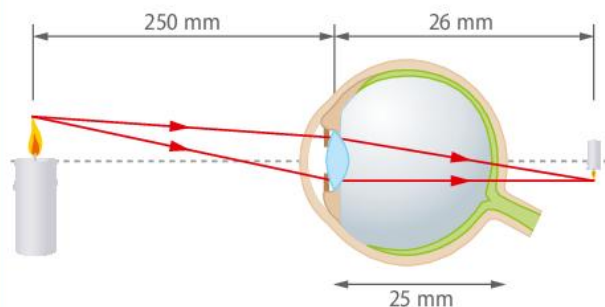


## Problèmes

### 34 Hypermétropie

Dans le cas d'un œil hypermétrope, l'image d'un objet proche se forme derrière la rétine ; il est donc vu flou. Des lunettes adaptées peuvent corriger l'hypermétropie.

#### Doc. 1 Œil hypermétrope



#### Doc. 2 Vergence d'une lentille

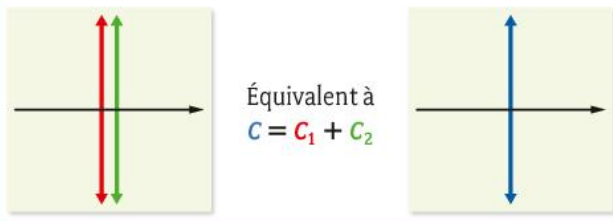
La vergence  $C$  d'une lentille correspond à l'inverse de sa distance focale.

Elle s'exprime en dioptries ( $\delta$ ).

Vergence ( $\delta$ )  $\rightarrow C = \frac{1}{f'}$   $\leftarrow$  Distance focale (m)

#### Doc.2 Association de lentilles

La vergence d'un système de deux lentilles minces accolées est la somme des vergences de chacune des lentilles minces constituant le système.



► Quelle doit être la distance focale de la lentille correctrice qu'il faut associer à cet œil afin que l'image de l'objet se forme sur la rétine ?

#### Différenciation Apprendre à résoudre 34

1. Calculer la valeur de la distance focale de l'œil non corrigé, puis sa vergence.
2. Calculer la valeur de la distance focale de l'œil corrigé, puis sa vergence.
3. En déduire la vergence, puis la distance focale de la lentille correctrice

### 35 Philatélie

Dans un catalogue spécialisé pour les philatélistes, on peut trouver la loupe suivante dont le grossissement commercial est de 6.



#### Doc. 1 Pouvoir séparateur de l'œil

L'œil est capable de distinguer deux points si l'angle  $\alpha$  est supérieur à  $3,0 \times 10^{-4}$  rad.

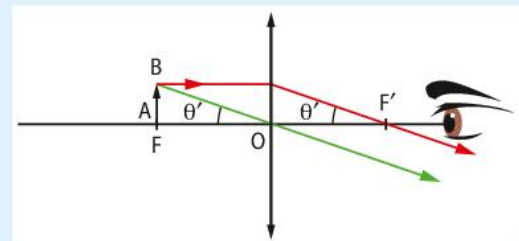


#### Doc. 2 Grossissement commercial

Le grossissement commercial est défini par  $G = \frac{\theta'}{\theta}$ .



$\theta$  : angle sous lequel est vu un objet à l'œil nu à 250 mm.  
 $\theta'$  : angle sous lequel est vu l'image d'un objet situé au foyer  $F$  à travers la loupe.



► Quelle est la taille des plus petits détails visibles avec cette loupe ?

#### Différenciation Apprendre à résoudre 35

1. Comprendre que l'observation des plus petits détails possible correspond au cas où  $\theta' = 3,0 \cdot 10^{-4}$  rad.
2. Calculer la valeur de l'angle  $\theta$  à partir de la relation définissant le grossissement commercial.
3. À partir du doc. 2, calculer enfin la taille des plus petits détails visibles avec cette loupe.

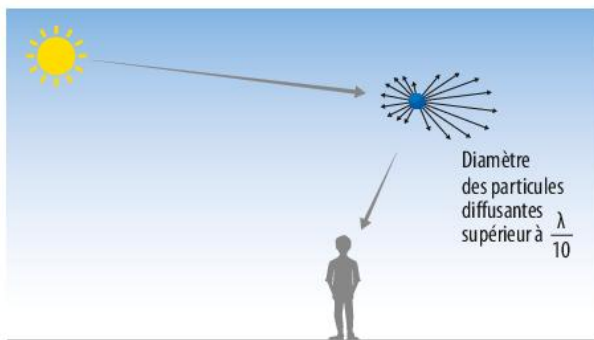
## 36 La couleur du ciel

Lorsque le temps est suffisamment dégagé, le ciel apparaît bleuté et les éventuels nuages blanchâtres.



### Doc. 1 Diffusion de Mie

Lorsque de la lumière de longueur d'onde  $\lambda$  éclaire des particules de diamètre supérieur à  $\frac{\lambda}{10}$ , ces particules diffusent cette lumière dans toutes les directions indépendamment de leur longueur d'onde ; c'est la diffusion de Mie.



### Doc. 2 Diffusion Rayleigh

Lorsque de la lumière de longueur d'onde  $\lambda$  éclaire des particules de diamètres inférieures à  $\frac{\lambda}{10}$ , l'intensité lumineuse  $I$  diffusée dans toutes les directions est inversement proportionnelle à  $\lambda^4$  ; c'est la diffusion Rayleigh.

$$I = \frac{K}{\lambda^4}$$

### Doc. 3 Particules présentes dans l'atmosphère

Les molécules qui constituent l'atmosphère absorbent très peu dans le visible et leur diamètre est de l'ordre de 0,1 nm. La taille des gouttes d'eau constituant les nuages est de l'ordre du millimètre.

► Expliquer, à l'aide de schémas, pourquoi depuis la Terre le ciel est bleu alors que les nuages apparaissent blancs.

## Objectif BAC

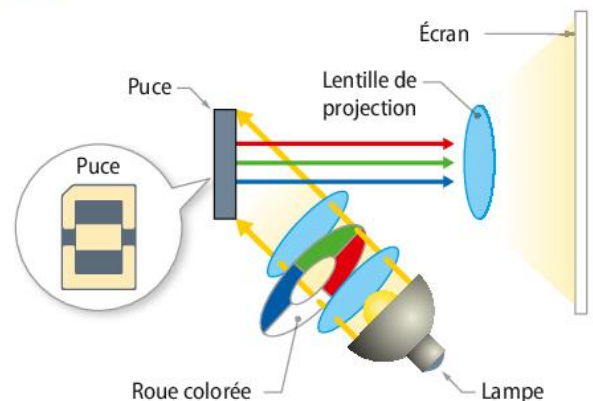
## 37 Home cinéma

Certains vidéoprojecteurs utilisent la technologie DLP (*Digital Light Processing*). Leur élément principal est une puce sur laquelle sont montés de très nombreux petits miroirs mobiles dont le mouvement est dicté par l'image à afficher. Cette puce est éclairée successivement et à un rythme important par des lumières rouge, verte et bleue.



Les différentes couleurs sont réfléchies ou non par le système de miroirs, selon que les pixels doivent apparaître colorés ou noirs.

### Doc. 1 Schéma de fonctionnement



### Doc. 2 Pouvoir séparateur de l'œil

L'œil est capable de distinguer deux points A et B si l'angle  $\alpha$  est supérieur à  $3,0 \times 10^{-4}$  rad.



1. Justifier le choix des couleurs de lumière utilisées.
2. La distance focale de la lentille de projection est de 20,0 mm. Indiquer la distance à laquelle la lentille doit se situer par rapport à la puce afin d'obtenir une image nette sur un écran à 5,00 m de la lentille.
3. Montrer que la valeur du grandissement est de  $\gamma = -25$ .
4. Sachant que les miroirs présents sur la puce sont des carrés de côté  $11 \mu\text{m}$ , indiquer la taille des pixels sur l'écran.
5. Ces pixels sont-ils discernables pour un observateur situé à 5,0 m de l'écran ? Justifier.





# Modèles ondulatoire et particulaire de la lumière

*Qu'est-ce que la lumière et comment modéliser son interaction avec la matière ?*

## Objectifs

Les domaines des ondes électromagnétiques

🕒 Activité p. 328

Modéliser la lumière par des photons

🕒 Activité p. 329

Interpréter des spectres d'émission atomique

🕒 Activité p. 330

Relier les phénomènes d'absorption et d'émission

🕒 Activité p. 331

— Les aurores boréales sont dues à l'ionisation et la désexcitation des atomes de gaz de la haute atmosphère.

## 1 Les domaines des ondes électromagnétiques

Le réseau 5G, qui devrait être disponible en France vers 2020, connectera toujours plus d'objets sans fil avec un meilleur débit et plus de rapidité. Lorsqu'on utilise un réseau sans fil, les informations sont transportées grâce à des ondes électromagnétiques.

À quel domaine d'onde électromagnétique appartiennent les ondes du réseau 5G ?

### Doc. 1 Sources d'ondes

Téléphone portable	Lampe	Appareil de radiographie	Cabine de bronzage	Être humain	Four micro-ondes	Fission de l'atome d'uranium
						

### FOCUS MATHS

Pour trouver l'ordre de grandeur d'une valeur, il faut écrire la valeur en notation scientifique  $a \times 10^n$  avec  $1 \leq a < 10$  et  $n$  entier.

Si  $a < 5$  alors l'ordre de grandeur est  $10^n$ .

Si  $a \geq 5$  alors l'ordre de grandeur est  $10^{n+1}$ .

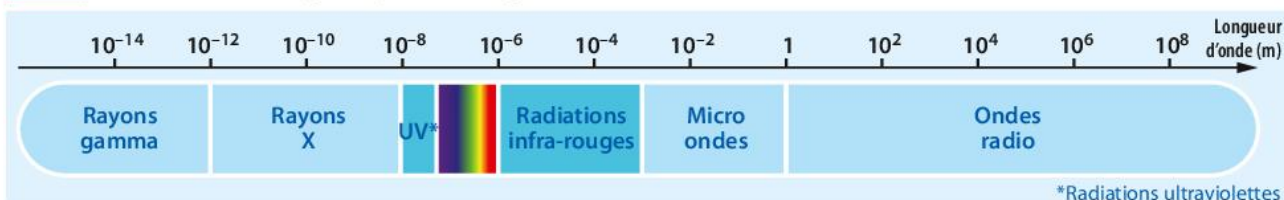
### Doc. 3 Lien entre célérité de la lumière, longueur d'onde et fréquence

$$\text{Célérité de la lumière (m} \cdot \text{s}^{-1}) \rightarrow c = \lambda \times \nu \leftarrow \text{Fréquence « nu » (Hz ou s}^{-1}\text{)}$$

Longueur d'onde (m)

Dans le vide ou l'air :  $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### Doc. 2 Ondes électromagnétiques et longueurs d'onde



#### Appropriation et analyse

→ S'approprier

→ Réaliser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Valider

1 Compléter un tableau en faisant correspondre un domaine d'ondes électromagnétiques du doc. 2 à un émetteur du doc. 1.

2 Calculer les intervalles de fréquences de chaque domaine d'ondes électromagnétiques.

3 Donner le domaine des ondes de l'une des bandes du réseau 5G centrée sur la fréquence de 26 GHz.

4 Réaliser une frise associant chaque domaine d'ondes électromagnétiques à un intervalle de longueurs d'onde et à un intervalle de fréquences.

 DIFFÉRENCIATION : ➔ Bonus

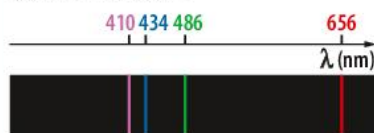
## 2 Modéliser la lumière par des photons

À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, il semble acquis que la lumière est une onde. Cependant, certains résultats expérimentaux nécessitent d'avoir recours à un autre modèle de la lumière. Les plus grands scientifiques de l'époque s'y sont alors intéressés.

Comment expliquer la présence de quatre raies dans le spectre de raies de l'atome d'hydrogène ?

### Doc. 1 L'expérience d'Angström (1862)

« Lorsqu'un tube contenant de l'hydrogène à faible pression est soumis à une haute tension, celui-ci émet une lumière bleue. À la traversée d'un prisme, cette lumière bleue donne quatre raies étroites et lumineuses dans le visible. »



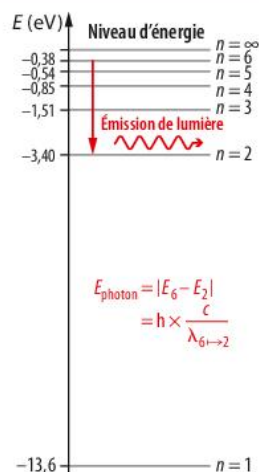
### Doc. 3 Diagramme d'énergie de l'atome d'hydrogène

L'atome d'hydrogène étant le plus simple de tous avec un électron et un proton, Bohr propose en 1913 de quantifier son énergie

par la relation :  $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$  ( $n$  est un entier strictement positif).

Le niveau  $n = 1$  correspond à l'état fondamental (le plus stable) de l'atome d'hydrogène, les niveaux supérieurs correspondent à des états excités. Un atome dans un état excité peut se désexciter vers un niveau d'énergie inférieure en émettant un photon d'énergie déterminée.

L'électronvolt est une unité d'énergie notée eV avec  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ .



### Doc. 2 Le photon

En 1900, Max Planck suggère que les échanges d'énergie entre une onde de fréquence  $\nu$  (lettre grecque nu) et la matière sont quantifiés : les transferts ne se font que par « paquets » d'énergie,

appelés *quanta*, de valeur :

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$E = h \times \nu = h \times \frac{c}{\lambda}$$

Constante de Planck (h)    Vitesse de la lumière (c)    Énergie (J)    Fréquence (Hz)    Longueur d'onde (m)

Si l'onde n'apporte pas de paquets entiers, le transfert ne peut avoir lieu. En 1905, Einstein introduit le concept de corpuscule de lumière qui sera plus tard appelé photon. Ce photon possède l'énergie d'un « paquet » défini par Planck.

### Appropriation et analyse

→ S'approprier, analyser, réaliser

### Conclusion

### De l'activité au cours

→ Analyser

- Calculer les énergies des photons émis dans les rayonnements présents dans le doc. 1 en joules puis en électronvolts.
- Vérifier que la raie de longueur d'onde 410 nm correspond à la transition du niveau 6 vers le niveau 2.
- Identifier les transitions correspondant aux autres raies visibles du spectre de l'atome d'hydrogène en prenant toujours le niveau 2 comme niveau d'arrivée.
- Justifier que les niveaux d'énergie d'un atome sont quantifiés.
- Expliquer en quoi le modèle du photon permet d'interpréter les spectres d'émission des atomes.

DIFFÉRENCIATION : Bonus

### 3 Interpréter des spectres d'émission atomique

Les lampes utilisées dans la vie courante contiennent des gaz nobles (hélium, néon, argon) mélangées avec un gaz atomique comme le mercure ou le sodium.

**Pourquoi le spectre d'émission permet-il de déterminer la nature d'un gaz ?**

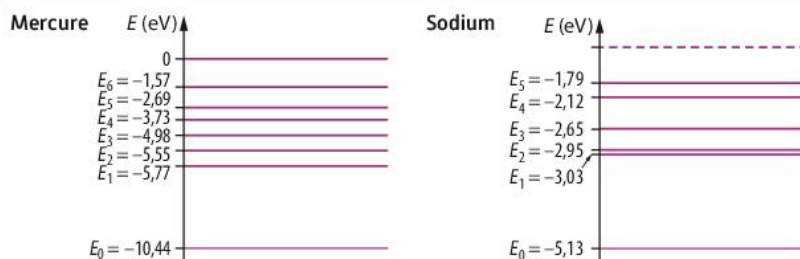
#### Doc. 1 Spectres des lampes



#### Doc. 2 Longueurs d'onde des raies d'émission

Pour l'atome de mercure :  
Raie violette : 405 nm ; raie bleue : 436 nm ; raie verte : 546 nm ; raie jaune : 578 nm.  
Pour l'atome de sodium :  
Raie jaune : 589 nm.

#### Doc. 3 Diagramme énergétique des atomes de mercure et de sodium



#### Doc. 4 Le spectre d'émission d'un mélange de gaz



#### Matériel disponible

Lampes à vapeur de mercure et de sodium • Spectroscopie ou réseau • Spectromètre à fibre optique.



**Sécurité :** la lampe spectrale doit être disposée hors du champ de vision des élèves. Toute observation prolongée est à proscrire.

#### Mise en œuvre

→ Réaliser

→ S'approprier, analyser

→ Réaliser

→ Analyser, réaliser

#### Conclusion

#### De l'activité au cours

→ Valider, analyser

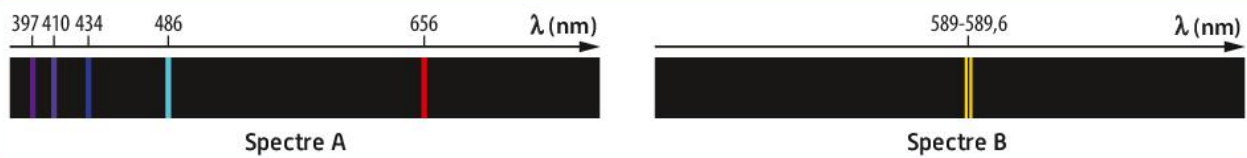
- Observer à l'œil nu chaque lampe. Noter la couleur observée. Observer les spectres des deux lampes avec le spectroscopie puis les représenter en couleurs.
- Attribuer à chaque atome du doc. 2 un des spectres d'émission du doc. 1. Préciser pour chaque lampe si elle est monochromatique ou polychromatique.
- À l'aide du spectromètre à fibre optique, mesurer les longueurs d'onde du spectre d'émission du mercure et du sodium.
- Pour chaque atome, calculer l'énergie du photon correspondant à la raie d'émission jaune, en joules puis en électronvolts, et en déduire à quelle transition elle correspond sur le spectre de l'atome (doc. 3).
- Indiquer si la lampe dont le spectre est donné sur le doc. 4 contient du mercure.
- Expliquer le lien existant entre le diagramme d'énergie d'un atome et son spectre d'émission.

## 4 Relier les phénomènes d'absorption et d'émission

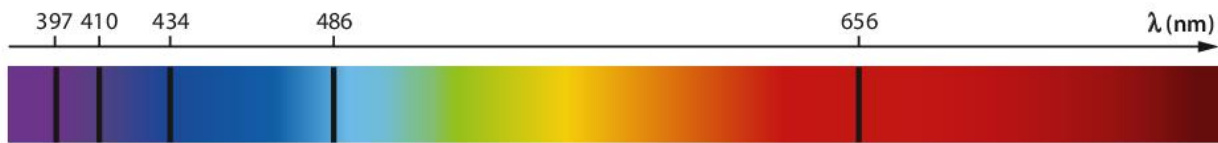
Le spectre de la lumière solaire est observé par William H. Wollaston en 1802. Il y remarque des raies noires et suppose que ces raies séparent les différentes couleurs de la lumière émise par le Soleil. Joseph Von Fraunhofer observe ces mêmes raies en 1814 puis d'autres raies dans les spectres de Sirius et Vénus.

→ À quoi correspondent les raies noires sur le spectre du Soleil ?

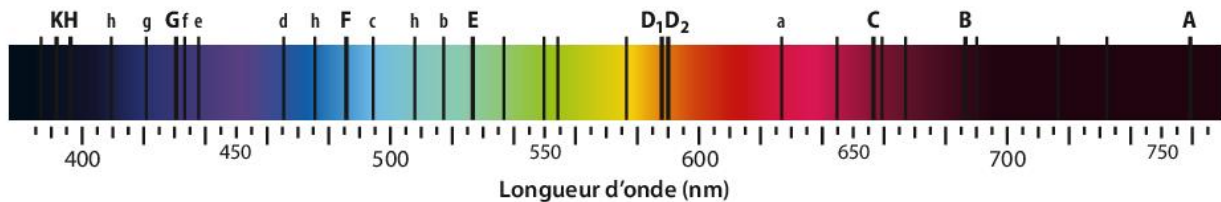
### Doc. 1 Spectres d'émission des atomes d'hydrogène (A) et de sodium (B)



### Doc. 2 Un spectre d'absorption



### Doc. 3 Quelques raies du spectre du Soleil



#### Appropriation et analyse

→ S'approprier, analyser

→ Analyser

→ Analyser, réaliser

1 Indiquer la relation entre le spectre A du doc. 1 et le spectre du doc. 2.

2 Déterminer le nom de l'atome correspondant au spectre d'absorption proposé sur le doc. 2.

3 Lire sur le doc. 3 les longueurs d'onde des raies D<sub>1</sub> et D<sub>2</sub>, C et F. Comparer ces raies aux raies des spectres d'émission proposés.

#### Conclusion

4 Identifier au moins un atome présent dans l'atmosphère du Soleil.

#### De l'activité au cours

→ Valider

5 Expliquer pourquoi un atome ne peut émettre que les radiations de mêmes longueurs d'onde que celles qu'il absorbe.

## Histoire

Christian Huygens fut l'un des premiers physiciens à développer l'idée que la lumière est une onde électromagnétique en travaillant sur les lois de la réflexion et de la réfraction. Les ondes radio furent découvertes à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle par plusieurs physiciens (Heinrich Hertz, Nikola Tesla, etc) et permirent le développement des télécommunications.



Nikola Tesla



**Doc. 2.** Les rayons X sont utilisés en imagerie médicale car ils traversent la chair et sont arrêtés par les os.

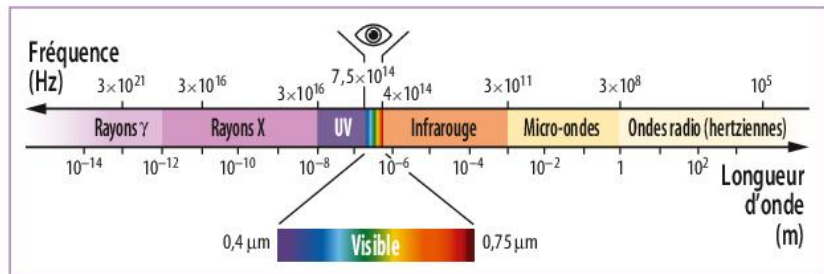
### Éviter les erreurs...

... en utilisant les **unités** pour vérifier une expression littérale.  
 $\lambda$  s'exprime en m,  $\nu$  s'exprime en Hz ou  $s^{-1}$ , donc  $c$ , qui s'exprime en  $m \cdot s^{-1}$ , s'obtient en écrivant :  $c = \lambda \times \nu$ .

## A Aspect ondulatoire de la lumière

### 1 Domaines des ondes électromagnétiques

- La lumière peut être décrite comme **une onde électromagnétique**.
- Les ondes électromagnétiques sont classées en différents domaines en fonction de leurs fréquences : ce sont **les domaines spectraux** (doc. 1).



**Doc. 1.** Domaines des ondes électromagnétiques.

- L'échelle des domaines des ondes électromagnétiques en fonction de la fréquence porte le nom de **spectre électromagnétique**.
- La **fréquence d'une onde électromagnétique** est notée  $\nu$  (lettre grecque « nu »). Comme pour tout phénomène périodique, la fréquence est l'inverse de la période  $T$  :

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \text{ou} \quad T = \frac{1}{\nu}$$

- $\nu$  : fréquence en hertz (Hz)
- $T$  : période en secondes (s)
- À chaque domaine spectral correspond **des applications spécifiques** (doc. 2).

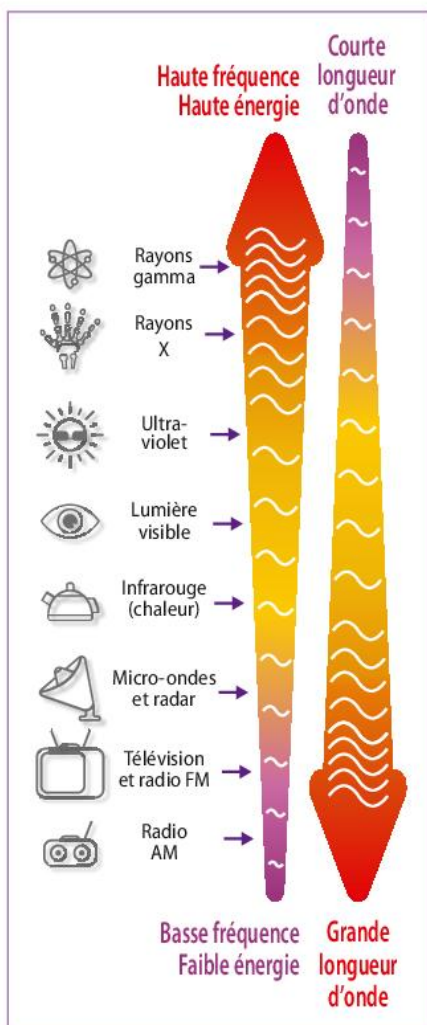
### 2 Relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence

- La relation entre la longueur d'onde dans le vide  $\lambda$  et la fréquence  $\nu$  de l'onde électromagnétique est :

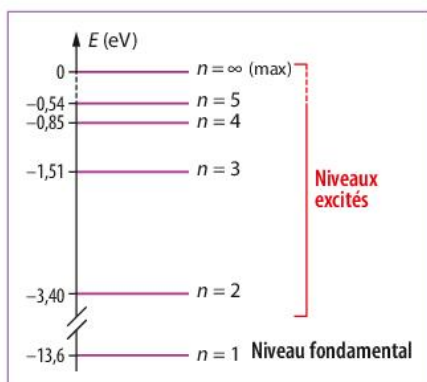
$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad \text{ou} \quad \lambda = c \times T$$

- $\lambda$  : longueur d'onde dans le vide ou dans l'air en mètres (m)
- $c$  : célérité de la lumière dans le vide ( $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
- $\nu$  : fréquence de l'onde en hertz (Hz avec  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ )

→ **Activité 1**



**Doc. 3.** Pour de courtes longueurs d'onde ( $\gamma$ , X, UV), les photons ont une grande énergie et sont donc dangereux pour les organismes vivants.



**Doc. 4.** Diagramme de niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.

## B Aspect particulaire de la lumière

### 1 Le photon

- La lumière peut également être décrite comme des « grains d'énergie » appelés **photons**.
- Un photon est une **particule de masse et de charge nulles**, qui se déplace à la **célérité de la lumière dans le milieu considéré**.

### 2 Énergie d'un photon

- L'énergie d'un photon est liée à sa fréquence par la **relation** :

$$E_{\text{photon}} = h \times \nu$$

$E_{\text{photon}}$  : énergie en joules (J)

$h$  : constante de Planck ( $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ )

$\nu$  : fréquence de l'onde en hertz (Hz)

- À l'échelle de l'atome, une unité plus adaptée de l'énergie est l'électronvolt (eV) avec : **1 eV =  $1,6 \times 10^{-19}$  J**.
- Comme  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , on peut écrire :

$$E_{\text{photon}} = h \times \frac{c}{\lambda}$$

Donc plus la longueur d'onde **augmente**, plus la fréquence **diminue**, plus l'énergie du photon associé **diminue** (**doc. 3**).

- Ces différentes relations permettent de faire le lien entre l'**aspect ondulatoire** (longueur d'onde  $\lambda$  ou fréquence  $\nu$ ) et l'**aspect particulaire** (photon caractérisé par son énergie  $E_{\text{photon}}$ ) de la lumière.

→ **Activité 2**

## C Interaction lumière-matière

### 1 Quantification de l'énergie d'un atome

- L'énergie de l'atome **ne peut prendre que certaines valeurs** bien définies, caractéristiques de l'atome.

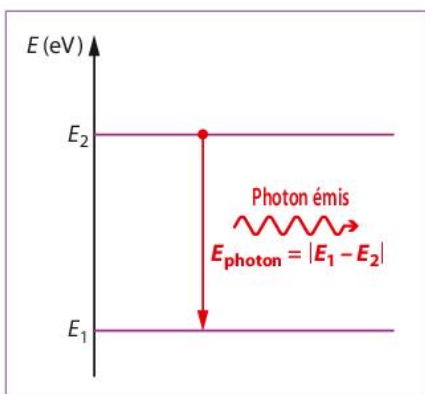
Les **niveaux d'énergie** d'un atome sont dits **quantifiés**.

- Les niveaux d'énergie d'un atome peuvent être représentés sur un **diagramme de niveaux d'énergie** (**doc. 4**).
- Dans son **état fondamental**, l'atome possède une **énergie minimale** correspondant à son **état le plus stable**. Les autres niveaux correspondent à des **états excités** de l'atome.
- Le diagramme permet de **prévoir les échanges d'énergie** qui peuvent avoir lieu **entre la lumière et la matière** (à l'échelle atomique).

## Histoire

Pendant des siècles les physiciens, d'Aristote à Einstein en passant par Ibn al-haytham, ont essayé de définir la lumière.

Leurs conclusions sont déroutantes : la lumière se comporte à la fois comme un ensemble de particules appelées photons et comme une onde électromagnétique.



**Doc. 6.** Émission d'un photon par un atome ( $E_2$  et  $E_1$  sont respectivement les énergies des niveaux de départ et d'arrivée).

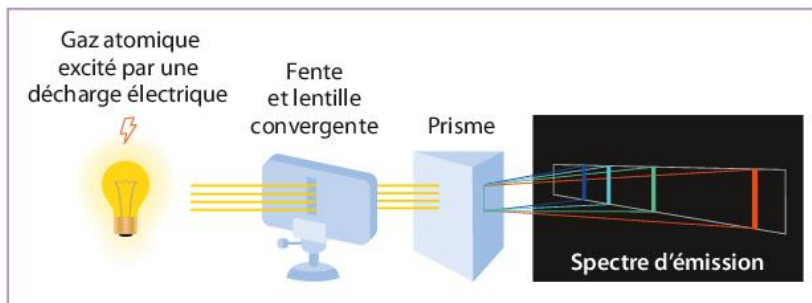
### Éviter les erreurs...

Ne pas oublier de convertir les électronvolts (eV) en joules (J) pour les applications numériques.

## 2 Émission d'énergie par un atome

Une décharge électrique permet d'exciter un gaz atomique (gaz constitué d'atomes identiques) et d'observer son spectre d'émission.

Le **spectre d'émission** d'un gaz atomique est un **spectre de raies** : à chaque raie est associée une **longueur d'onde d'émission** (doc. 5).



**Doc. 5.** Réalisation d'un spectre d'émission.

Lorsqu'un atome **passé d'un niveau d'énergie supérieur à un niveau d'énergie inférieur**, il effectue une **transition**.

Il **perd de l'énergie** et **émet un photon**.

Le **photon émis** est schématisé par une **ligne ondulée** et la transition entre deux niveaux d'énergie est représentée par une flèche qui va du niveau initial vers le niveau final (doc. 6).

Lorsqu'un atome se désexcite, il peut retourner directement à l'état fondamental ou y retourner en passant par des états excités intermédiaires.

Ainsi, la longueur d'onde du photon émis est calculée grâce à la relation :

$$E_{\text{photon}} = |\Delta E_{2 \rightarrow 1}| = |E_1 - E_2| = h \times \nu = h \times \frac{c}{\lambda_{2 \rightarrow 1}} \text{ et donc :}$$

$$\lambda_{2 \rightarrow 1} = h \times \frac{c}{|\Delta E_{2 \rightarrow 1}|}$$

$\lambda_{2 \rightarrow 1}$  : longueur d'onde du photon émis lors de la transition de l'atome du niveau 2 vers le niveau 1 en mètres (m)

$h$  : constante de Planck ( $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

$c$  : célérité de la lumière dans le vide ( $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$|\Delta E_{2 \rightarrow 1}|$  : écart énergétique positif entre les niveaux 2 et 1 en joules (J)

La valeur de la **longueur d'onde** du photon émis permet de connaître la **couleur de la raie** correspondante dans le spectre d'émission.

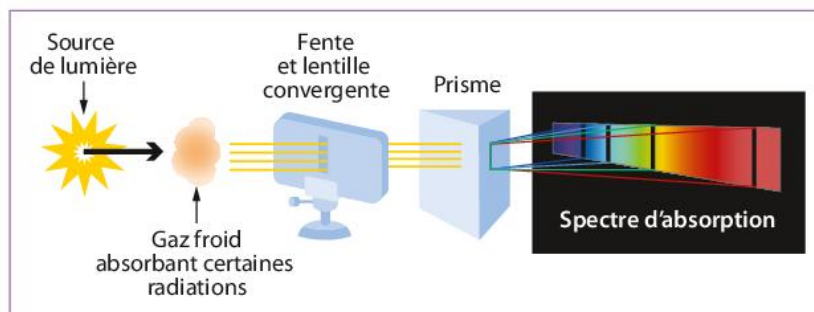
Le spectre d'émission d'un atome comporte **donc des raies colorées sur fond noir**, et ces raies correspondent aux photons émis lors des transitions de l'atome au cours de sa désexcitation.

→ **Activité 3**



### 3 Absorption d'énergie par un atome

► Éclairer un gaz atomique **avec de la lumière blanche** qui contient toutes les longueurs d'onde visibles permet d'observer le spectre d'absorption du gaz atomique : c'est **un spectre de raies noires sur fond continu lumineux** (doc. 7).



Doc. 7. Réalisation d'un spectre d'absorption.

► Un atome, dans son état fondamental, peut **absorber de l'énergie** pour passer dans un état excité.

Cette énergie peut lui être fournie **sous forme lumineuse** : si l'atome est « éclairé » par des **photons** d'énergie égale à la différence d'énergies entre le niveau de départ (état fondamental) et le niveau d'arrivée (état excité), alors l'atome absorbe ces photons et il passe dans l'état excité (doc. 8).

► Chaque raie noire **correspond à l'absorption de photons de la lumière incidente**. La longueur d'onde des photons absorbés se calcule par la même formule que pour le phénomène d'émission :

$$E_{\text{photon}} = |\Delta E_{1 \rightarrow 2}| = |E_2 - E_1| = h \times \nu = h \times \frac{c}{\lambda_{1 \rightarrow 2}}$$

D'où :

$$\lambda_{1 \rightarrow 2} = h \times \frac{c}{|\Delta E_{1 \rightarrow 2}|}$$

$\lambda_{1 \rightarrow 2}$  : longueur d'onde du photon absorbé lors de la transition de l'atome du niveau 1 vers le niveau 2 en mètres (m)

$h$  : constante de Planck ( $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

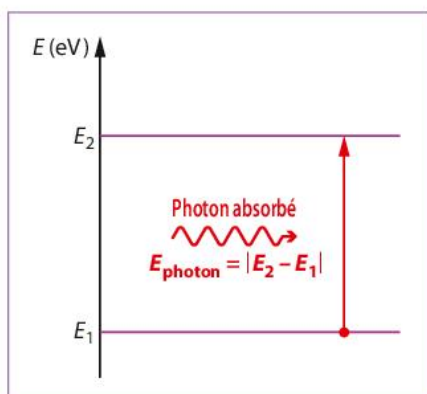
$c$  : célérité de la lumière dans le vide ( $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$|\Delta E_{1 \rightarrow 2}|$  : écart énergétique positif entre les niveaux 1 et 2 en joules (J)

► Les longueurs d'onde des raies d'absorption **correspondent exactement** aux longueurs d'onde des raies d'émission et ces longueurs d'onde, qui caractérisent **l'interaction entre la lumière et la matière (atomique)**, sont spécifiques de l'atome considéré.

► Une raie d'émission ou d'absorption correspond à une **transition** entre deux niveaux d'énergie de l'atome. La différence d'énergie est libérée ou absorbée **sous forme d'un photon**.

→ **Activité 4**

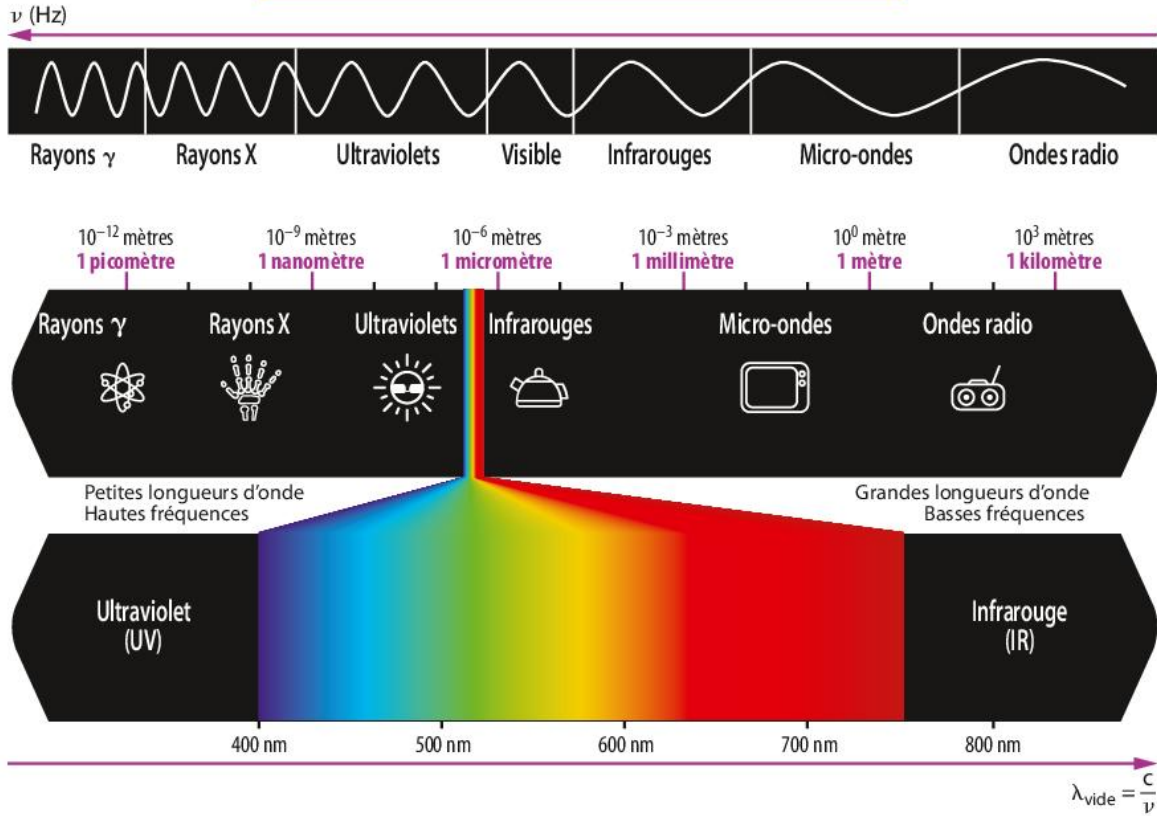


Doc. 8. Absorption d'un photon par un atome ( $E_1$  et  $E_2$  sont respectivement les énergies des niveaux de départ et d'arrivée).

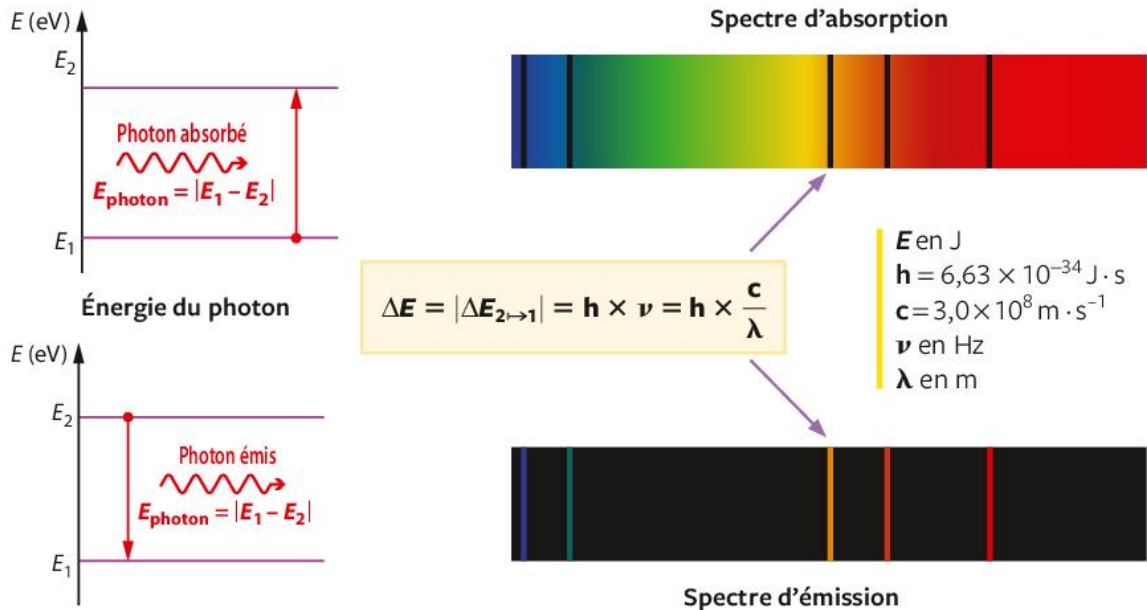
#### Éviter les erreurs...

La longueur d'onde est toujours positive, les constantes  $h$  et  $c$  le sont également, donc la différence d'énergie doit toujours être positive, que l'on étudie l'émission ou l'absorption d'un photon par l'atome.

## Domaines des ondes électromagnétiques



## Les échanges d'énergie entre la lumière et la matière (atomique)

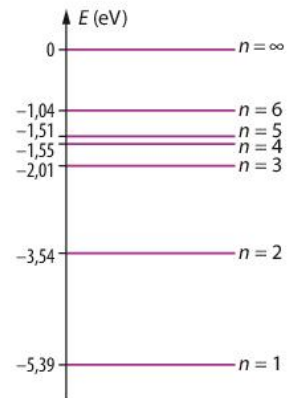
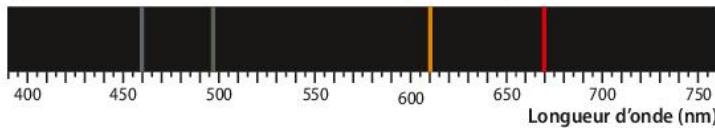


## Résoudre un exercice

### Énoncé

Les niveaux d'énergie de l'atome de lithium sont représentés sur le diagramme ci-contre.

1. Quelle est la longueur d'onde dans le vide du rayonnement émis lors de la transition du niveau  $n=2$  vers le niveau  $n=1$  ?
2. Le spectre d'émission du lithium est fourni ci-dessous. Quelle raie correspond à la longueur d'onde déterminée dans la question précédente ?



### Conseils

1. • Il faut toujours utiliser la différence d'énergie positive pour calculer la longueur d'onde de la transition.  
• Penser à convertir l'énergie en joules pour effectuer l'application numérique (elle est souvent fournie en eV).
2. Attention aux unités portées sur les spectres : la longueur d'onde peut être fournie en m, en nm, ...

### Résolution

1. La différence d'énergie entre les deux niveaux de l'atome est :  
 $\Delta E_{2 \rightarrow 1} = E_1 - E_2 = -5,39 - (-3,54) = -1,85 \text{ eV}$   
 Cette énergie est négative car libérée : l'atome émet le rayonnement. On convertit ensuite cette énergie en joules :

1,0 eV	$1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
1,85 eV	$1,85 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

$$|\Delta E| = 2,96 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Puis on calcule la longueur d'onde dans le vide  $\lambda$  du photon émis lors

$$\text{de la transition atomique : } \lambda = \frac{h \times c}{|\Delta E|}$$

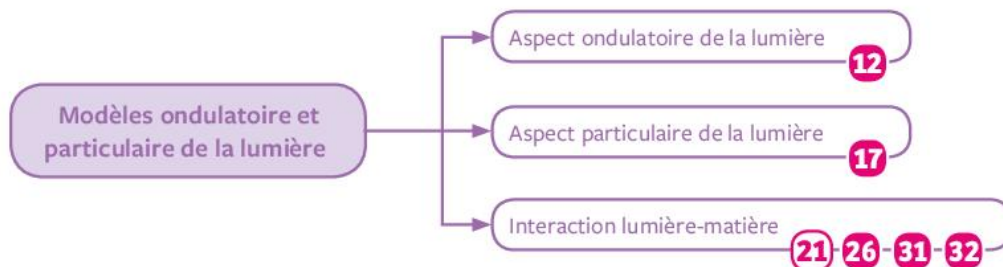
$$\lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{2,96 \times 10^{-19}} = 6,72 \times 10^{-7} \text{ m} = 670 \times 10^{-9} \text{ m} = 672 \text{ nm}$$

2. La lecture du diagramme montre que la raie rouge a une longueur d'onde proche de 672 nm : c'est cohérent avec la valeur obtenue.

→ Exercice 22 p. 340

## Des exercices avec différenciation

Pour chacun de ces exercices, il est possible d'avoir recours à une aide.



## Révision rapide

## QUIZ

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.



**1** L'ordre de grandeur de la célérité de la lumière dans le vide est :

- A:  $300\,000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- B:  $300\,000\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- C:  $300\,000\,000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- D:  $300\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

**2** Les raies émises par le sodium à  $589,0\text{ nm}$  et  $589,6\text{ nm}$  se trouvent dans le domaine :

- A: des ultraviolets.
- B: du rayonnement visible.
- C: des infrarouges.
- D: des ondes radioélectriques.

**3** Les rayons X sont utilisés :

- A: pour détecter les faux billets.
- B: pour éclairer.
- C: pour téléphoner.
- D: pour radiographier.

**4** Une télécommande émet une radiation de fréquence  $3 \times 10^{14}\text{ Hz}$ , il s'agit d'un rayonnement :

- A: visible.
- B: ultraviolet.
- C: radioélectrique.
- D: infrarouge.

**5** Dans le système d'unités internationales, l'unité de la fréquence est :

- A:  $\text{s}^{-1}$
- B: s
- C: Hz
- D:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

**6** Pour obtenir le spectre d'absorption de la vapeur atomique de mercure, il faut :

- A: éclairer cette vapeur par de la lumière blanche.
- B: chauffer cette vapeur.
- C: éclairer cette vapeur par une lampe à vapeur atomique de lithium.
- D: effectuer la combustion d'un échantillon de mercure.

**7** Dans le système d'unités internationales, l'unité de la longueur d'onde est :

- A: m
- B:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- C: nm
- D:  $\lambda$

**8** Une lampe spectrale contient uniquement de la vapeur de cadmium.

La lampe est alimentée par un générateur électrique adapté.

- A: La lumière émise contient toutes les radiations de la lumière blanche.
- B: Le spectre de cette lumière est un spectre continu.
- C: Le spectre présente les raies d'absorption du cadmium sur un fond continu.
- D: La lumière émise ne contient que les radiations caractéristiques de l'atome de cadmium.

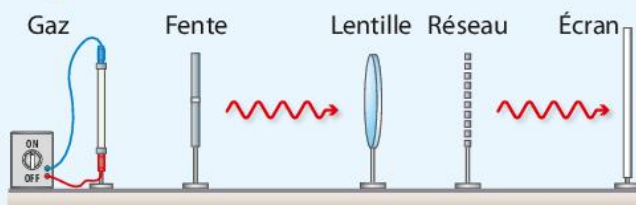
**9** La relation entre la fréquence d'un photon et sa longueur d'onde dans le vide est :

- A:  $\lambda = c \times \nu$ .
- B:  $\nu = c \times \lambda$ .
- C:  $\lambda \times \nu = c$ .
- D:  $\frac{\lambda}{\nu} = c$ .

**10** L'énergie d'un atome :

- A: peut prendre n'importe quelle valeur.
- B: est continue.
- C: est quantifiée.
- D: ne prend que des valeurs bien définies.

**11** Le montage ci-après permet d'obtenir le spectre :



- A:
- B:
- C:
- D:

**Données**

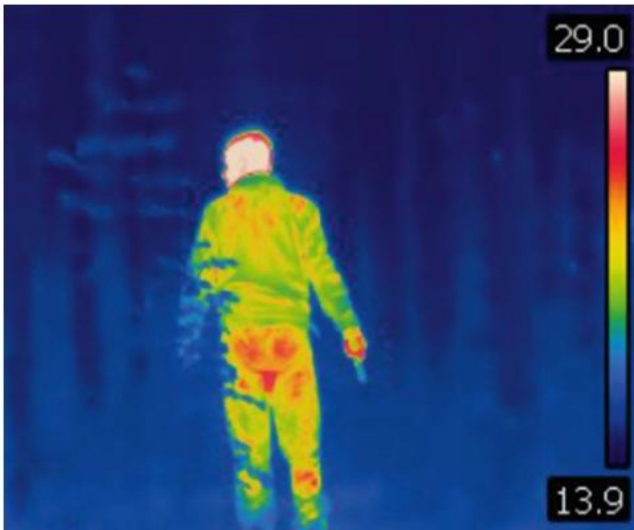
- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .
- Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Sauf mention contraire, les longueurs d'onde sont dans le vide ou l'air.

**Entraînement****Aspect ondulatoire de la lumière**

**12** Aide p. 340 Nos smartphones communiquent à l'aide d'ondes radio.

1. Localiser le domaine des ondes radio par rapport à celui du visible, en longueurs d'onde.
2. Certaines ondes du réseau 4G ont pour fréquence typique 2,60 GHz. Calculer la longueur d'onde associée.

**13** Dans un film de science-fiction, un monstre possède une vision lui permettant de visualiser certaines ondes émises par les corps chauds de ses ennemis.



1. Indiquer à quel domaine appartiennent ces ondes.
2. Une longueur d'onde typique de ce domaine est 1000 nm. Calculer la fréquence correspondante.
3. Expliquer comment on pourrait procéder pour devenir invisible aux yeux de ce monstre.

**14** Un rayonnement possède une longueur d'onde dans le vide égale à 700 nm.

1. Déterminer sa fréquence.
2. Sa longueur d'onde dans l'eau est 526 nm. Sa fréquence étant inchangée, en déduire la célérité de cette onde dans l'eau.

**Aspect particulaire de la lumière**

**15** Soit une radiation de longueur d'onde dans le vide 480 nm.

1. Déterminer l'énergie (en joules) du photon correspondant.
2. Exprimer cette énergie en électronvolts.

**16** Un laser hélium-néon émet un rayonnement de longueur d'onde 633 nm dans le vide.

1. Justifier que ce laser est monochromatique.
2. Calculer la longueur d'onde des photons émis.
3. En déduire la différence d'énergie séparant les deux niveaux correspondant à l'émission de ces photons. Elle sera exprimée en eV.
4. Représenter la transition sur un diagramme d'énergie.

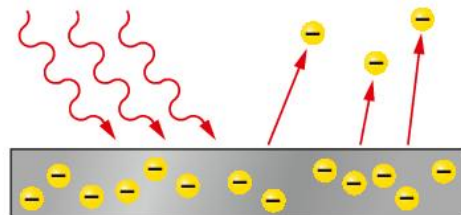
**17** Aide p. 340 Le tableau ci-dessous regroupe les caractéristiques de trois photons.

1. Retrouver les informations manquantes.

	1	2	3
Longueur d'onde (m)	$4,20 \times 10^{-7}$	$2,51 \times 10^{-10}$	?
Fréquence (Hz)	?	$9,00 \times 10^{17}$	$3,00 \times 10^{14}$
Domaine	?	?	?
Célérité ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$3,00 \times 10^8$	?	$3,00 \times 10^8$
Énergie (J)	?	$5,97 \times 10^{-16}$	$1,99 \times 10^{-19}$
Énergie (eV)	2,96	?	1,24

2. Justifier à l'aide de sa célérité que le photon 2 ne se déplace pas dans l'air ou le vide.

**18** En 1839, Antoine Becquerel et son fils Alexandre Edmond observent pour la première fois l'effet photoélectrique. Leur expérience permet d'observer l'émission d'électrons par une plaque métallique exposée à la lumière. Les premiers électrons sont émis lorsque l'énergie des photons incidents est 1,88 eV.



1. Convertir l'énergie  $E$  nécessaire à l'émission d'un électron en joules.
2. Calculer la fréquence  $\nu$  et la longueur d'onde  $\lambda$  d'un photon possédant cette énergie.
3. Parmi les lasers suivants, préciser ceux qui permettent l'extraction d'un électron de la plaque : laser violet (405 nm), laser bleu (445 nm) et laser rouge (650 nm). Justifier.

## Interaction lumière – matière

### En binôme : évaluation croisée

Chaque élève évalue l'exercice qu'il ou elle n'a pas fait.

**19** Lors d'une séance de travaux pratiques, Lena et Théo utilisent une lampe à vapeur de sodium. Celle-ci émet une lumière jaune-orangé (**doc. 1**).

#### Doc. 1 Niveaux d'énergie de l'atome de sodium

Niveau $n$	1	2	3	4	5	$\infty$
Énergie (eV)	-5,14	-3,03	-1,93	-1,51	-1,38	0

- La couleur jaune-orangé correspond à une transition entre les deux premiers niveaux ( $n = 1$  et  $n = 2$ ). Représenter le diagramme énergétique du sodium et indiquer cette transition par une flèche.
- Calculer la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation émise par la lampe.
- Déterminer la radiation possédant la plus courte longueur d'onde que peut émettre l'atome de sodium et son domaine.

#### Critères d'évaluation

- Le sens de la flèche est indiqué correctement sur le diagramme énergétique (du haut vers le bas).
- La longueur d'onde est exprimée en fonction de  $h$ ,  $c$  et  $\Delta E$ .
- L'énergie est convertie en joules.

**20** Tessa et Mégane étudient le spectre d'émission d'une lampe de Balmer, lampe contenant du gaz d'hydrogène.

#### Doc. 1 Longueurs d'onde de différentes raies colorées

410 nm	434 nm	486 nm	656 nm
--------	--------	--------	--------

#### Doc. 2 Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène

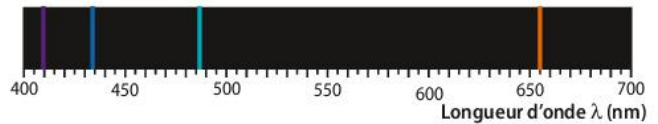
Niveau $n$	1	2	3	4	5	6	$\infty$
Énergie (eV)	-13,6	-3,40	-1,51	-0,85	-0,54	-0,38	0

- Pour les deux plus grandes longueurs d'onde (**doc. 1**) déterminer l'énergie du photon correspondant en eV.
- Les raies correspondent à une émission de photons lors d'une désexcitation vers le niveau  $n = 2$ . En déduire depuis quels niveaux l'atome d'hydrogène se désexcite.
- Reproduire le diagramme énergétique et représenter par une flèche la transition correspondant à la raie rouge.

#### Critères d'évaluation

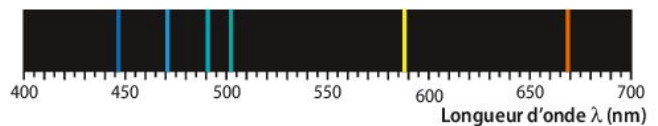
- L'énergie est exprimée en fonction de  $h$ ,  $c$  et  $\lambda$ .
- L'énergie est bien convertie en électronvolts.
- Le sens de la flèche est indiqué correctement sur le diagramme énergétique (du haut vers le bas).

**21** Aide p. 340 Étudions le spectre ci-dessous.



- Indiquer s'il s'agit d'un spectre d'émission ou d'absorption.
- Préciser le nom de la grandeur représentée sur l'axe des abscisses et son unité.
- Décrire le phénomène, ayant lieu dans l'atome, à l'origine de ces raies.

**22** Une ampoule contient un gaz noble. Pour déterminer sa nature, on observe son spectre d'émission.



On dispose également des longueurs d'onde (en nm) des principales raies d'émission de trois gaz nobles :

<b>Xénon (Xe)</b>	418 ; 433 ; 446 ; 508 ; 529 ; 534 ; 542 ; 547 ; 598 ; 605 ; 610 ; 660
<b>Hélium (He)</b>	447 ; 471 ; 492 ; 501 ; 587 ; 668
<b>Néon (Ne)</b>	439 ; 443 ; 585 ; 597 ; 618 ; 640 ; 660

► Identifier le gaz contenu dans l'ampoule.

**23** Pour poser un diagnostic, un cardiologue peut être amené à prescrire une scintigraphie myocardique. Ce procédé implique l'injection de thallium 201 par voie intraveineuse. Cet élément radioactif est uniquement fixé par les cellules vivantes du cœur. Son rayonnement de faible énergie est détecté par une caméra à scintillation. Un des rayonnements émis lors de la désintégration du thallium 201 possède une énergie  $E$  égale à 135 keV.

- Calculer la longueur d'onde  $\lambda$  dans le vide du rayonnement émis.
- Associer ce rayonnement à un domaine des ondes électromagnétiques.
- En vous appuyant sur le texte introductif et vos connaissances, donner votre avis quant à la dangerosité de cette méthode.

#### Différenciation

#### Aides aux exercices

##### Aide pour l'exercice 12

- 1 GHz =  $10^9$  Hz

##### Aide pour l'exercice 17

- La célérité de la lumière dans le vide (ou l'air) est plus grande que dans un autre milieu.

##### Aide pour l'exercice 21

- Un atome excité rejoint un niveau d'énergie plus bas en émettant un photon.

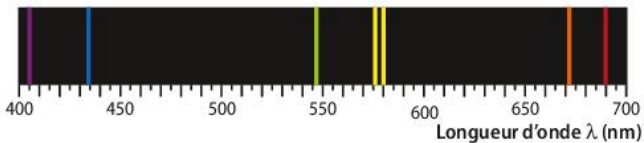


## Synthèse

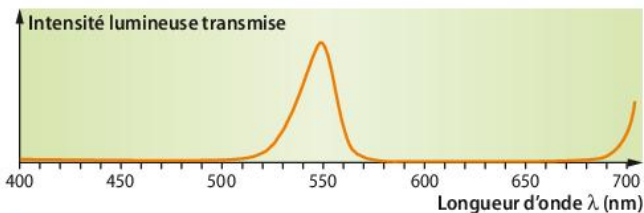
### 24 Production d'une lumière quasi-monochromatique

→ S'approprier, analyser, communiquer

Le spectre d'émission d'une lampe à vapeur de mercure est fourni ci-dessous.



La courbe représentant la lumière transmise par un filtre en gélatine coloré vert foncé en fonction de la longueur d'onde de la radiation qui le traverse est donnée ci-dessous.



1. Indiquer les longueurs d'onde émises par les atomes de mercure.
2. À l'aide de la lampe et du filtre, indiquer s'il est possible d'obtenir une lumière pratiquement monochromatique.
3. Si oui, donner la longueur d'onde de la radiation transmise et indiquer sa couleur.

### 25 DÉFINITION Définition de la seconde

→ S'approprier, analyser, réaliser

La définition de la seconde est donnée par : la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

1. Rechercher les sept unités fondamentales du système international.
2. Préciser les deux constantes fondamentales relatives à l'énergie d'un photon.
3. Donner la signification de césium 133.
4. Déterminer la longueur d'onde dans le vide associée à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.  
Préciser le domaine des ondes électromagnétiques auquel elle appartient.

5. En déduire la différence d'énergie (en J puis en eV) entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

Le résultat sera donné avec le nombre de chiffres significatifs adapté aux données.

### 26 Aide p. 342 Concentration en dioxyde de soufre de l'air dans une grande agglomération

→ S'approprier, réaliser

La fluorescence ultraviolet (UV) est une méthode permettant de déterminer la concentration en dioxyde de soufre dans l'air.

#### Doc. 1 Principe de la méthode

Dans l'air ambiant, les molécules de dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$  sont dans un état d'énergie « fondamental »  $E_0$ .

L'air ambiant est soumis à un rayonnement ultraviolet dont la longueur d'onde est  $\lambda_1 = 214 \text{ nm}$  : les molécules de dioxyde de soufre de l'air sont ainsi portées dans un état d'énergie  $E_1$ .

Le dioxyde de soufre de l'air se désexcite alors très rapidement et arrive dans un état d'énergie  $E_2$  en émettant un rayonnement UV de longueur d'onde  $\lambda_2$  supérieure à celle du rayonnement d'excitation et d'énergie 3,65 eV.

Ce rayonnement UV est reçu par un photomultiplicateur qui donne une tension de sortie  $U_S$  proportionnelle à la concentration en dioxyde de soufre présent dans la chambre de réaction.

1. Tracer un diagramme énergétique simplifié des niveaux d'énergie de la molécule de dioxyde de soufre (on ne se préoccupera pas de l'échelle).
2. Représenter les transitions énergétiques subies par une molécule de dioxyde de soufre lors de sa détection.
3. Calculer les longueurs d'onde et les énergies (en eV) mises en jeu lors de ces transitions.
4. Indiquer pourquoi cette technique porte le nom de fluorescence ultraviolet.

### 27 L'atome d'hydrogène

→ Réaliser, analyser

Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont donnés

par la relation :  $E_n = -\frac{E_0}{n^2}$  où  $E_0 = 13,6 \text{ eV}$  et  $n$  est le niveau d'énergie.

$n = 1$  correspond au niveau d'énergie le plus bas, les niveaux  $n = 2, n = 3, \dots$  correspondent aux niveaux excités.

Un atome d'hydrogène initialement dans son état fondamental absorbe un photon de fréquence  $f = 2,92 \times 10^{15} \text{ Hz}$ .

1. Calculer la valeur en eV des niveaux d'énergie  $n = 2, n = 3$  et  $n = 4$ .
2. Calculer l'énergie du photon absorbé en joules et en électronvolts.
3. En déduire le niveau d'énergie atteint après absorption du photon.
4. Quel type de raie apparaît sur le spectre suite à cette absorption ? Expliquer.



En anglais

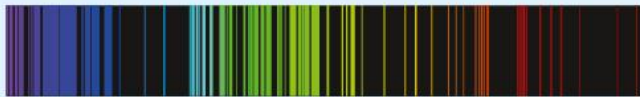
## 28 Lightsabers and the Force

The lightsaber is the weapon of a Jedi, an elegant weapon of a more civilized age. It can be used to cut through blast doors or enemies alike. Using the Force, a Jedi can predict and also deflect blaster bolts and reflect them.



The lightsaber (or laser sword) is also used by the Sith and most of the Force-sensitives. They consist of a plasma blade powered by a kyber crystal. This weapon requires skill and training and is greatly enhanced when used in conjunction with the Force.

Legend says that a special type of iron is used to create the blade.



### Doc. 1 Emission spectrum of Iron

Two characters of Star Wars, Rey and Kylo, use blue and red lightsabers, respectively.

- Using average wavelengths for these colors, calculate the energy of each lightsaber. Deduce which character uses the highest energy.
- According to doc. 1, can we use this iron to create the lightsabers?
- Discuss if it would be interesting to use a lightsaber using UV or IR light. For each case, compare to a blue lightsaber. You could talk about: energies, visibility and dangerousness.

## 29 Voiture solaire

→ S'approprier, réaliser, valider



Désormais, certains véhicules produisent leur électricité grâce à des panneaux solaires intégrés à leur carrosserie.

Une commercialisation de la première voiture solaire électrique a eu lieu en 2019.

La cellule photovoltaïque est l'élément de base des panneaux solaires : lors de la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique, les atomes de silicium qui composent la cellule passent d'un niveau d'énergie à un autre, plus élevé. Ce « saut d'énergie » peut se produire lorsqu'un photon est absorbé par le silicium.

L'énergie minimale  $\Delta E$  des photons nécessaire à la transition entre deux niveaux vaut 1,1 eV.

- Représenter le « saut d'énergie » sur un diagramme d'un niveau  $E_1$  à un niveau  $E_2$ .
- Calculer la longueur d'onde dans le vide  $\lambda$  du rayonnement correspondant à cette transition d'énergie  $\Delta E$ .
- Déterminer à quel domaine électromagnétique appartient cette radiation. Justifier.
- Indiquer si cette voiture peut fonctionner la nuit avec cette technologie. Expliquer.

## 30 Fluorescence et phosphorescence

→ Réaliser, analyser

Fluorescence et phosphorescence sont deux phénomènes physiques semblables.

### Doc. 1 Une méduse fluorescente

En 1962, O. Shimomura isola une protéine, la GFP (Green Fluorescent Protein), chez une méduse *Aequorea Victoria*.

Cette protéine possède la propriété d'émettre immédiatement de la lumière verte lorsqu'elle est éclairée par de la lumière UV.

C'est le principe de la fluorescence.



### Doc. 2 Autocollants phosphorescents

Certains stickers de chambres d'enfant sont phosphorescents : ils émettent une lumière visible la nuit à condition d'avoir été éclairés en journée.

- Donner une longueur d'onde possible pour une lumière verte ainsi que pour une radiation du domaine des UV.
- Comparer les deux énergies correspondantes.
- Représenter sur un diagramme énergétique les deux transitions observées : absorption de la radiation UV puis émission de la lumière verte. Toute l'énergie absorbée a-t-elle été émise avec la lumière verte?
- Expliquer la principale différence entre les deux phénomènes.

### Différenciation

Aides aux exercices

#### Aide pour l'exercice 26

- Le principe de la fluorescence est l'émission d'un rayonnement lumineux après absorption de lumière.





## Problèmes

### 31 Détecteur de faux billets

Au moment de l'introduction de l'euro, on pensait, à tort, que les nouveaux billets de banque seraient infalsifiables. Pour les protéger de toute falsification, il est possible d'incorporer des nanoparticules dans les couleurs d'impression.

Ces pigments ne peuvent être excités par fluorescence que de façon sélective : ils ne prennent une couleur rouge ou verte qu'avec une lampe à vapeur de mercure jouant le rôle de source UV. Les caissier(e)s peuvent ainsi rapidement déceler les faux billets.

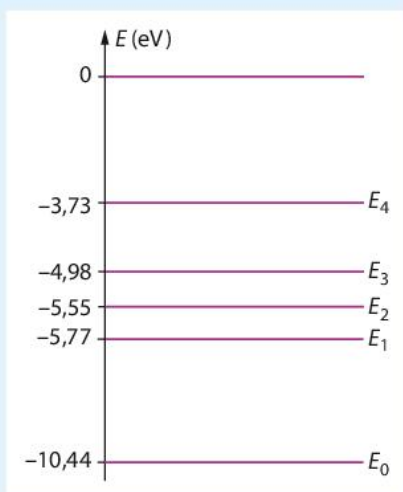
#### Doc. 1 Principe de fonctionnement de la lampe

Dans une lampe à vapeur de mercure, des électrons circulant dans le gaz entre deux électrodes bombardent les atomes du gaz et leur cèdent de l'énergie.

#### Doc. 2 Longueur d'onde du rayonnement UV

La longueur d'onde dans le vide utilisée est  $\lambda_1 = 253,6 \text{ nm}$ , valeur également admise dans l'air.

#### Doc. 3 Diagramme énergétique de l'atome de mercure



► Expliquer le principe de détection des faux billets de banque.

#### Différenciation Apprendre à résoudre 31

1. Expliquer le rôle des pigments contenus dans les billets.
2. Vérifier que le mercure permet l'émission d'un photon de longueur d'onde appropriée.
3. Décrire les résultats que l'on obtiendrait en testant un faux et un vrai billet.

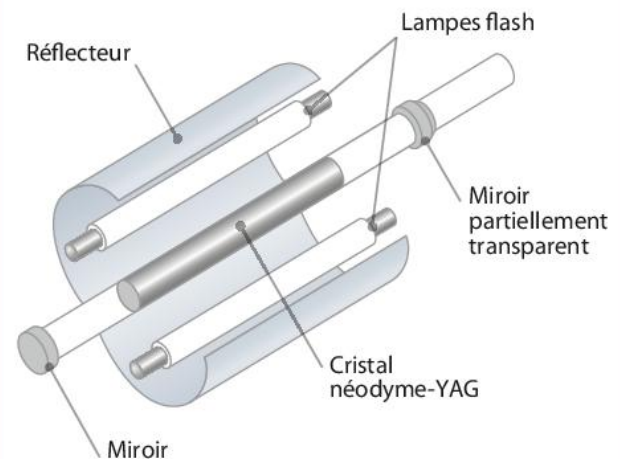
### 32 Le LIDAR topographique embarqué

Le LIDAR permet de reconstituer numériquement une surface, notamment de cartographier la Terre.

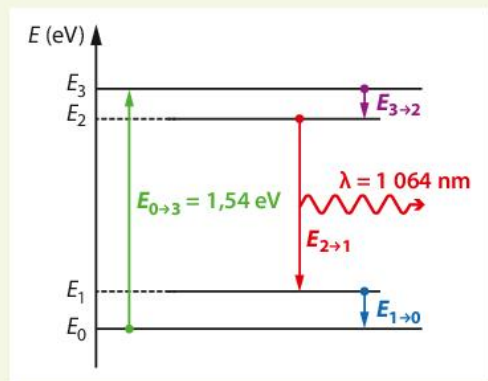
Embarqué à bord d'un avion ou d'un satellite, il envoie des impulsions laser ( $\lambda = 1064 \text{ nm}$ ) dont il mesure la durée de l'aller-retour.

Un des lasers utilisés est un laser dont le milieu amplificateur est un cristal solide néodyme-YAG décrit dans le doc. 1.

#### Doc. 1 Schéma du laser néodyme-YAG



#### Doc. 2 Le diagramme énergétique simplifié du laser néodyme-YAG



► Déterminer la longueur d'onde qui doit être présente dans le spectre de la lumière émise par la lampe flash.

#### Différenciation Apprendre à résoudre 32

1. Repérer la transition énergétique correspondant à l'excitation d'un électron.
2. Calculer l'énergie du photon correspondant (en J).
3. En déduire la longueur d'onde correspondante à partir de la relation appropriée.

## 33 Le trou noir Gargantua

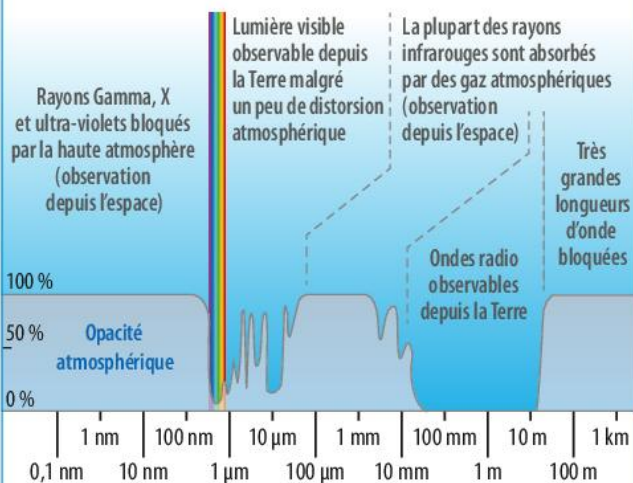
Dans un film de science-fiction, un trou noir nommé Gargantua est découvert.

### Doc. 1 Le télescope Uhuru

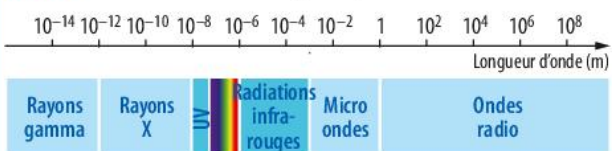
Uhuru a permis de découvrir de nombreuses sources de rayons X tel que le Cygnus X-1 considéré comme le premier trou noir observé.

Ce télescope fut placé en orbite autour de la Terre en 1970.

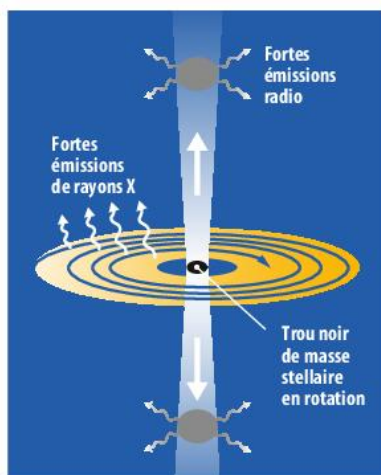
### Doc. 2 Absorption par l'atmosphère terrestre



### Doc. 3 Domaines électromagnétiques



### Doc. 4 Le trou noir



► Expliquer pourquoi il a été nécessaire d'utiliser Uhuru pour observer le potentiel premier trou noir.

## Objectif BAC

## 34 Étude des peintures

La technique LIBS consiste à focaliser une impulsion laser sur le matériau à étudier pour le vaporiser sous forme d'un plasma ; l'analyse spectrale de la lumière émise permet de déterminer la composition chimique du matériau.

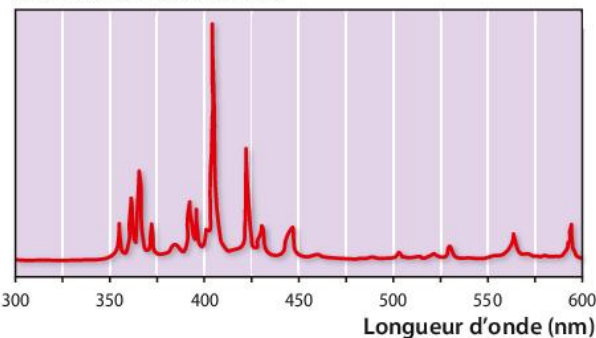
### Doc. 1 Œuvre étudiée : « Portrait de Margareta van Eyck », peinture flamande de Jan van Eyck (1439)



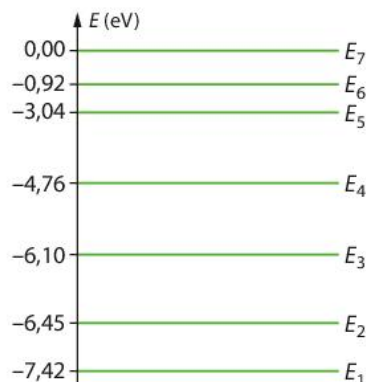
### Doc. 2 Analyse spectrale de la lumière plasma

Le spectre émis par une partie blanche du voile est analysé, seule la raie la plus intense est étudiée.

#### Intensité lumineuse émise



### Doc. 3 Diagramme énergétique du plomb



► Déterminer si la peinture utilisée pour la partie blanche du voile contient du plomb.

# Les véhicules autonomes bientôt sur le marché

## Vers un code de la route à la carte ?

**Respect strict ou transgression exceptionnelle si une situation le justifie, il faut choisir les règles sur la limite de vitesse à programmer dans ces véhicules.**

Dépasser la vitesse limite devrait-il (...) pour un véhicule autonome, être impossible ou interdit ? Deux points de vue s'opposent ici.

Pour certains, dépasser la vitesse limite devrait être interdit, mais non impossible (...) Ainsi, il est facile d'ima-

**Les passagers d'un véhicule autonome déclareraient à l'algorithme de commande une situation de dilemme**

giner des situations où un véhicule autonome devrait être autorisé à transgresser une limitation de vitesse : pour fuir un incendie qui se propage à 81 kilomètres par heure, pour accompagner un patient aux urgences, ou une future mère à la maternité, voire pour que son passager arrive à l'heure à un examen. Ainsi, les passagers d'un véhicule autonome déclareraient à l'algorithme de commande une situation de dilemme, dans laquelle ils estiment que les limitations de vitesse devraient être transgressées. Faute de quoi, l'algorithme, transformant une modalité déontique en une modalité aléthique, appliquerait le code de la route de façon trop intransigeante.

Pour d'autres, au contraire, cette application rigide se justifie par le fait qu'elle réduit statistiquement le nombre d'accidents : ces situations d'urgence sont finalement assez rares, alors que de nombreux accidents sont provoqués par des transgressions, plus ou moins justifiées, des limitations de vitesse.

Une résolution possible de cette controverse est d'imaginer un code de la route plus complexe que celui que nous connaissons, dans lequel la vitesse limite serait différente pour un véhicule conduisant un malade aux urgences, un candidat à un examen ou un spectateur au cinéma. Cette complexité permettrait de différencier ces situations sans, pour autant, nécessiter une transgression du code de la route.

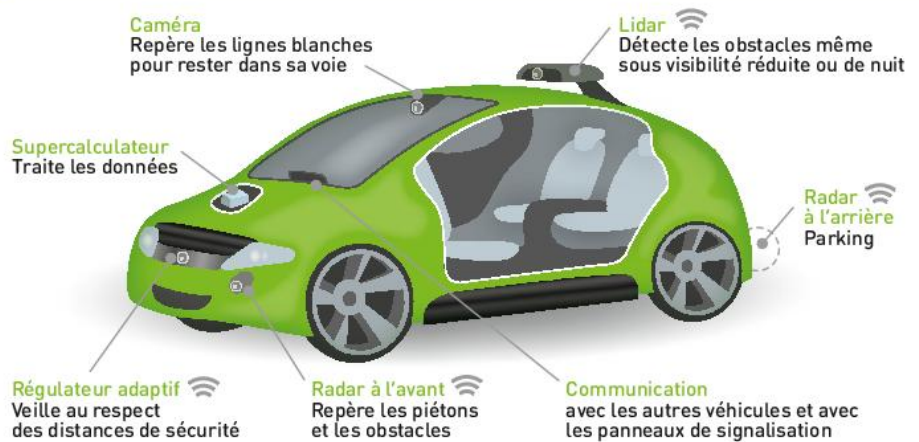
Extrait de l'article de Gilles Dowek, 26/12/2018, *Pour La Science* n° 495.

**De nombreux projets de voitures autonomes sont en cours. Le choix des règles à intégrer dans le logiciel de ces véhicules est loin d'être évident.**



▲ La voiture autonome du constructeur Mercedes-Benz.

## Fonctionnement d'une voiture autonome



Pour respecter les règles de circulation et éviter les obstacles, des capteurs laser (lidar), des radars et des caméras embarquées enregistrent les composantes de l'environnement en temps réel (piéton, autre véhicule, végétation, marquage au sol, signalisation, bâtiments...). Ces données sont traitées par un programme d'intelligence artificielle qui décide des manœuvres à effectuer: direction, freinage, accé-

lération, clignotants... Avec, à la clé, une promesse de réduction du temps et de la distance de parcours, de la consommation d'énergie, du nombre d'accidents et des embouteillages. La question de la sécurité fait néanmoins l'objet de nombreux débats.

### Exercice

► Consulter les sites de la presse spécialisée française et internationale. Lister les avantages et les limites de l'utilisation à petite et à grande échelle, des véhicules autonomes.

## Thème 1

### ► Chapitre 1

**Quiz 1.** C. **2.** B. **3.** A, B. **4.** B, D. **5.** C, D. **6.** B. **7.** A. **8.** C. **9.** B, C. **10.** D.

**16** **1.**  $M(\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4) = 180,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

$$\begin{aligned} \mathbf{2.} \quad n(\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4) &= \frac{m(\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4)}{M(\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4)} \\ &= 17 \times 10^{-2} \text{ mol.} \end{aligned}$$

**3.**  $N = 1,0 \times 10^{23}$  molécules.

**21** **1.**  $C = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**2.**  $C_m = 2,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**28** **1.**  $n(\text{O}_2) = 2,1 \times 10^{-3} \text{ mol}$ .

$$\begin{aligned} \mathbf{2.} \quad m(\text{O}_2) &= n(\text{O}_2) \times M(\text{O}_2) \\ &= 2,1 \times 10^{-3} \times 32,0 \\ &= 0,067 \text{ g.} \end{aligned}$$

**3.** Pour obtenir une masse précise à 3 décimales, une balance au dg près ne sera pas suffisante.

**32**  $m_{\text{solution}} = 2 \text{ g}$ .

**2.**  $n_{\text{éosine}} = 6 \times 10^{-5} \text{ mol}$ .

**3.**  $C = 3 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

### ► Chapitre 2

**Quiz 1.** A, D. **2.** D. **3.** A, C. **4.** A. **5.** B, C, D. **6.** A. **7.** D. **8.** C. **9.** C.

**13** **1.** Source lumineuse, prisme et cuve.

**2.** Étalonner en faisant passer la lumière blanche à travers une cuve contenant un liquide transparent.

**16** Pour un point de coordonnées  $(x, y)$  initialement, on obtient, après 4 dilutions, un point de coordonnées  $(x, y/4)$  et avec une cuve de largeur double, un point de coordonnée  $(x, 2y)$ .

**21** Pour la solution diluée 100 fois on trouve une concentration de  $580 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  donc pour la solution originale la concentration est  $58 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**23** **1.**  $A = kc$  ;  $k = 7 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**2.**  $A = 0,028$ .

**3.**  $\lambda = 805 \text{ nm}$ .

### ► Chapitre 3

**Quiz 1.** A. **2.** D. **3.** C. **4.** C. **5.** C, D. **6.** A, B. **7.** B, D. **8.** C.

**11** **1.** Oxydant : espèce chimique capable de gagner un ou plusieurs électrons. Réducteur : espèce chimique capable de céder un ou plusieurs électrons.

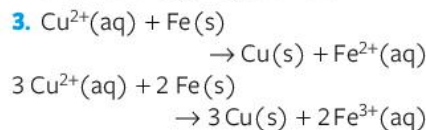
**2.** Espèces oxydées :  $\text{Ag}(s)$  et  $\text{Hg}(\ell)$ . Espèces réduites :  $\text{Ag}^+(\text{aq})$  et  $\text{Hg}_2^{2+}(\text{aq})$ .

**3.**  $\text{Ag}^+(\text{aq})/\text{Ag}(s)$  et  $\text{Hg}_2^{2+}(\text{aq})/\text{Hg}(\ell)$ .

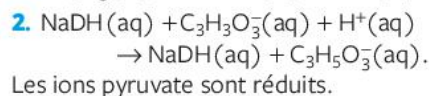
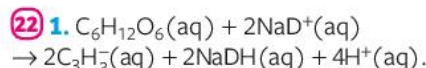
**17** Pour que le mélange soit stœchiométrique, il faut que  $2n_i(\text{Zn}) = n_i(\text{H}^+)$ .  $n_i(\text{H}^+) = 0,01 \text{ mol}$ .

**21** **1.** Réactifs : métal fer et ions cuivre.

**2.** Réactif limitant : ions cuivre. Avancement  $x_{\text{max}} = 0,008 \text{ mol}$ .



**4.** Les pentes des produits sont différentes donc ce sont les ions  $\text{Fe}^{3+}$  qui sont mis en jeu.



### ► Chapitre 4

**Quiz 1.** B. **2.** B. **3.** D. **4.** B. **5.** A, D. **6.** A, C. **7.** C. **8.** C, D. **9.** D. **10.** B. **11.** C. **12.** D.

**13** **1.** Réactif titrant :  $\text{MnO}_4^-$ . Réactif titré :  $\text{Fe}^{2+}$ .

**2.** On utilise une pipette jaugée pour prélever le réactif titré.

**3.** Voir montage doc. 1 p. 70.

**16** **1.**  $\text{Ce}^{4+} + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Ce}^{3+} + \text{Fe}^{3+}$ .

**2.** L'orthophénantroline est un indicateur coloré qui forme un complexe coloré bleu en se complexant au  $\text{Fe}^{2+}$ .

**3.** Le virage du titrage est caractérisé par la disparition de la couleur bleu de la solution, qui marque la disparition des ions  $\text{Fe}^{2+}$ .

**21** c.

**24** **1.** Avant l'équivalence, la solution a une couleur violet foncé. Après l'équivalence, il n'y a plus de  $\text{I}_2$  et seules des espèces incolores sont présentes. À l'équivalence, on s'attend donc à voir la couleur violette disparaître et la solution devenir incolore.

**2.**  $C_1 = 3,15 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .  $C_{\text{mexp}} = C_1 \times M = 0,201 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**3.**  $0,201 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} = 201 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} < 210 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Cette concentration est conforme à la réglementation européenne.

### ► Chapitre 5

**Quiz 1.** B, C. **2.** B, D. **3.** A, C. **4.** A, B. **5.** A. **6.** B. **7.** B, C. **8.** A, C. **9.** B, C. **10.** A, D. **11.** B. **12.** B, C. **13.** C.

**14** **1.**  $\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_2$ .

**2.** Il y a 22 électrons de valence.

**3.** 11 doublets. Liaison triple entre le C et le N de gauche et un doublet non liant sur le N de droite.

**23** **1.** Il y a 18 électrons de valence.

**2.** O, C et N sont bien entourés de 8 électrons.

**3.** Il y a deux liaisons autour du C donc il s'agit d'une molécule linéaire.

**28**  $\text{LiCl}$ , ionique,  $\text{HCl}$  polarisée,  $\text{Cl}_2$ , non polarisée,  $\text{MgCl}_2$  ionique.

### ► Chapitre 6

**Quiz 1.** A, D. **2.** A, D. **3.** B. **4.** D. **5.** C, D. **6.** D. **7.** C. **8.** C, D. **9.** B, D. **10.** B, D. **11.** A, C. **12.** A, C, D. **13.** D. **14.** C. **15.** B, D. **16.** D. **17.** C.

**20** **1.** Ions sulfure  $\text{S}^{2-}$  et  $\text{Al}^{3+}$ .

**2.**  $\text{Al}_2\text{S}_3$ .

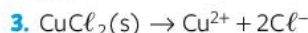
**3.** Interactions électrostatiques attractives entre  $\text{S}^{2-}$  et  $\text{Al}^{3+}$ .

**22**  $\text{HF}$  est une molécule polaire du fait de la différence d'électronégativité entre F et H ( $\text{H}-\text{F}$  polarisée). Interactions de van der Waals entre molécules polaires et ponts hydrogène (F électronégatif, a des doublets non liants).

31. 1. Dissolution car le chlorure de cuivre dihydraté est solide.

2.  $n = C \times V = 5,0 \times 10^{-2}$  mol de soluté.

$$m = n \times M(\text{CuCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}) \\ = n \times (2 \times M(\text{H}_2\text{O}) + M(\text{Cu}) + 2 \times M(\text{Cl}_2)) \\ = 0,050 \times (36,0 + 2 \times 35,5 + 63,5) \\ = 8,5 \text{ g}$$



4. Peser 8,5 g de soluté dans un verre de montre à l'aide d'une balance, les mettre dans une fiole jaugée de 200 mL. Ajouter de l'eau distillée jusqu'au col de la fiole. Agiter la solution. Après dissolution du soluté, compléter avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

## ► Chapitre 07

Quiz 1. A. 2. D. 3. A, C. 4. D. 5. C. 6. A, C. 7. A, C. 8. B, C. 9. B, C.

12. 1. Vrai.

2. Faux, c'est l'inverse.

3. Faux, ce sont les molécules polaires.

4. Vrai.

5. Vrai.

6. Faux, elle possède une extrémité lipophile et une autre hydrophile.

7. Faux, la longue chaîne carbonée constitue la partie lipophile.

15. 1. Ces solvants sont apolaires (le toluène de par la nature des liaisons C=C et C-H et la tétrachlorométhane de par sa géométrie).

2. Il s'agit d'une molécule apolaire, donc soluble dans ces solvants.

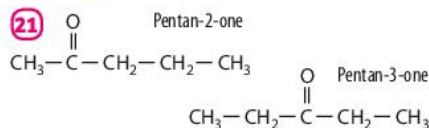
16. Il faut choisir un solvant non miscible avec l'eau dans lequel la menthone est très soluble : on a le choix entre l'éther et le benzène. On retient l'éther car le benzène est cancérigène. Il faut tout de même s'équiper de gants et lunettes et manipuler l'éther sous la hotte.

22. Le schéma le plus plausible est le b., la partie lipophile du savon étant naturellement orientée vers la graisse.

## ► Chapitre 08

Quiz 1. A. 2. C. 3. C. 4. C. 5. C. 6. B, C. 7. B, D. 8. C. 9. A. 10. B. 11. B. 12. D. 13. A. 14. C, D. 15. C, D. 16. C.

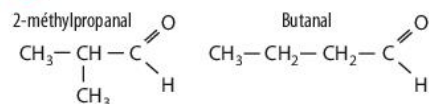
19. a. acide carboxylique ; b. cétone ; c. alcool ; d. aldéhyde



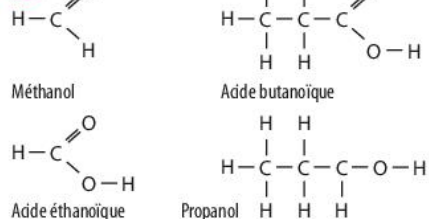
24.

Formule brute	Formule semi-développée	Famille
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$	Alcool (éthanol)
$\text{CH}_2\text{O}_2$	$\text{HC} \begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{matrix}$	Acide carboxylique (acide méthanoïque)
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	Aldéhyde (éthanal)

25.



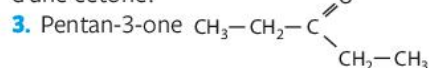
30.



36. Non, car les deux pics sont assez fins et se chevauchent.

45. 1. Non car la formule brute d'un alcool est de type  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$  donc la formule brute du pentan-1-ol est  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$ .

2. Bande caractéristique de la liaison C=O entre 1 625 et 1 820  $\text{cm}^{-1}$  et pas de bande caractéristique des aldéhydes (liaison C-H d'un carbone trigonal) ni des acides carboxyliques. Il s'agit donc d'une cétone.



## ► Chapitre 9

Quiz 1. C. 2. B, C. 3. B, D. 4. A. 5. B. 6. A, B, C. 7. A, B, C. 8. A, C. 9. A. 10. C. 11. A, D. 12. A, B. 13. A, D.

18. c.



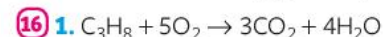
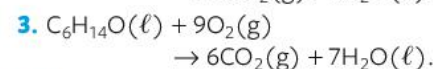
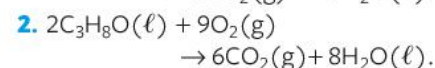
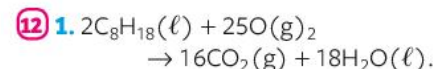
26.  $r = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{th}}}$ . Ici  $m_{\text{exp}}$  est  $m = 1,63$  g

et  $m_{\text{th}} = 2,11$  g. Les unités concordent, le calcul peut être effectué.

$$r = \frac{1,63}{2,11} = 0,773 \text{ soit } 77,3\%$$

## ► Chapitre 10

Quiz 1. A, C. 2. B, D. 3. A, B. 4. A. 5. B, D. 6. B. 7. D. 8. B. 9. A.

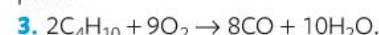


2. Liaisons rompues : 2 C-C ; 8 C-H ; 5 O=O.

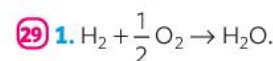
Liaisons formées : 6 C=O et 8 H-O.

3.  $E_{\text{comb}} = 2 \times 348 + 8 \times 413 + 5 \times 498 - (6 \times 798 + 8 \times 463) = -2002 \text{ kJ}$ .

20. 1. Il s'agit des alcanes et des alcools. 2. Elle qualifie une combustion incomplète.



4. CO est invisible et inodore. Il agit donc sans « prévenir ».



2.  $n(\text{H}_2) = 12,3 \times 10^6$  mol et  $n(\text{O}_2) = 4,69 \times 10^6$  mol.

$\text{O}_2$  est le réactif limitant donc  $n(\text{H}_2)$  consommés =  $9,38 \times 10^6$  mol.

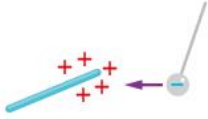
3.  $E_{\text{libérée}} = -2,26 \times 10^9 \text{ kJ}$ .

## Thème 2

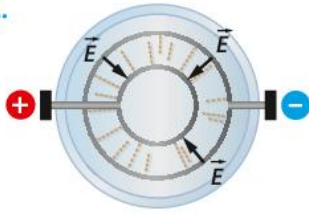
### ► Chapitre 11

**Quiz 1.** A, B, D. **2.** A, D. **3.** A, B. **4.** B. **5.** C. **6.** C. **7.** A. **8.** B.

**12**



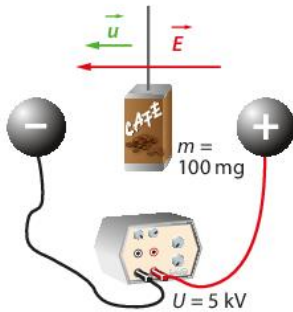
**21 1.**



**2.** Les grains entre la lame + et la lame - sont organisés selon les lignes de champ. En revanche, au centre de la boîte (encadré par l'électrode «+»), les grains sont désorganisés, preuve que le champ est nul. De même, la petite fille est isolée du sol, placée sur un support conducteur et entourée d'un bon conducteur. Elle est protégée car le champ électrique où elle se trouve est nul.

**24 1.** Champ  $\vec{E}$  horizontal sur le schéma, orienté du + vers le -, de valeur :

$$E = \frac{U}{d} = 10 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}.$$



**2.**  $\vec{F}_e = q \times \frac{U}{d} \times \vec{u}$ , avec

$q$  la charge de l'aluminium du paquet.

**3.** Quand l'aluminium du paquet touche la sphère -, il se charge négativement et est donc attiré dans l'autre sens, par la sphère +. Puis il va toucher la sphère +, se charger positivement et retourner sur la charge moins et ainsi de suite. Comme le balancier d'une horloge, le paquet de café oscille donc entre les sphères.

### ► Chapitre 12

**Quiz 1.** B. **2.** C. **3.** B, C. **4.** D. **5.** B. **6.** A. **7.** D. **8.** A, D.

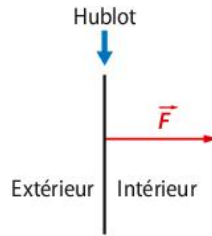
**11 1. a :** situation 1 (1 bar). **b :** situation 3 (2 bar). **c :** situation 2 (1,5 bar).

**2.**  $\rho_A < \rho_C < \rho_B$  car la masse d'un échantillon augmente avec la quantité de matière de cet échantillon. D'après les schémas, le volume est constant, donc la masse volumique augmente avec la quantité de matière.

**13** Loi de Mariotte :  $P \times V = \text{constante}$  donc  $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ .

$$\text{Ainsi, } P_2 = \frac{P_1 \times V_1}{V_2} = \frac{0,8 \times 1}{0,66} = 1,2 \text{ bar.}$$

**18 1.**



**2.**  $F = p \times S$

$$\text{donc } p = \frac{F}{S} = \frac{2\,400}{600 \times 10^{-4}} = 0,4 \text{ bar.}$$

**22 1.** Loi fondamentale de la statique des fluides :  $p_B - p_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$ ,

$$\text{donc } \rho = \frac{p_B - p_A}{g \times (z_A - z_B)}$$

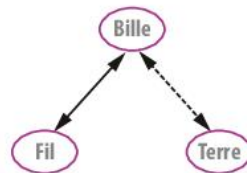
$$\rho = \frac{774}{9,8 \times 0,10} = 789,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

**2.** Ce liquide est donc de l'alcool.

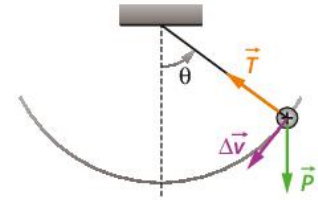
### ► Chapitre 13

**Quiz 1.** A. **2.** C. **3.** A, C. **4.** B, C. **5.** A, C. **6.** B. **7.** B. **8.** D.

**12 1.**



**2.** La direction de  $\Delta\vec{v}$  est la tangente à l'arc de cercle au point considéré. Le sens est vers la position où l'angle avec la verticale est nul.



**18 1.**  $\Sigma \vec{F}$  est vertical vers le haut.



**2.**  $\Delta\vec{v} = 12 - 0 = 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

$$\mathbf{3.} \Sigma F \approx m \times \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}.$$

$$\Sigma F \approx 750 \times 10^3 \times \frac{12}{2} \approx 4,5 \times 10^6 \text{ N.}$$

$$\mathbf{4.} P = m \times g = 750 \times 10^3 \times 9,81 = 7,3 \times 10^5 \text{ N.}$$

$$\mathbf{5.} F_p = \Sigma F - P = 4,5 \times 10^6 - 7,3 \times 10^5 = (4,5 - 0,73) \times 10^6 = 3,8 \times 10^6 \text{ N.}$$

## Thème 3

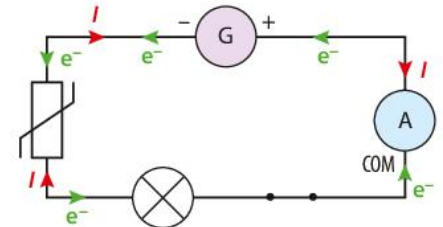
### ► Chapitre 14

**Quiz 1.** B, C. **2.** A, C. **3.** D. **4.** C. **5.** B. **6.** A, D. **7.** C. **8.** B.

**13 1.** Le courant électrique circule du pôle «+» vers le pôle «-» du générateur.

Les électrons de conduction circulent du pôle «-» vers le pôle «+» du générateur.

La borne «COM» de l'ampèremètre doit être positionnée du côté du pôle «-» du générateur.



**2.** La résistance diminue lorsque la température augmente (la tension reste constante). D'après la loi d'Ohm,  $U = R \times I$ , donc l'intensité augmente dans le circuit lorsque la température augmente.

17 Les données permettent d'écrire un système de deux équations à deux inconnues :

$$1,18 = E - r \times 0,100 \quad (1)$$

$$1,10 = E - r \times 0,500 \quad (2)$$

(1) - (2) donne  $0,08 = 0,400 \times r$  soit

$$r = \frac{0,08}{0,004} = 0,2 \Omega. E \text{ est déduite de l'une}$$

des équations, par exemple de (1) :

$$E = 1,18 + 0,2 \times 0,100 = 1,20 \text{ V.}$$

26 1.



$$\eta = \frac{P_{\text{lumineuse}}}{P_{\text{électrique}}}$$

$$P_{\text{lumineuse}} = P_{\text{électrique}} \times \eta = 25 \times 0,75 = 18,8 \text{ W}$$

$$P_{\text{perdue}} = P_{\text{électrique}} - P_{\text{lumineuse}} = 6,2 \text{ W}$$

2. Une lampe « vit » 20 000 h en moyenne d'où l'énergie perdue :

$$E_{\text{perdue}} = 6,2 \times 20\,000 \times 3\,600 = 4,5 \times 10^8 \text{ J} = 124 \text{ kWh}$$

soit un prix de 19 €.

## ► Chapitre 15

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

11 1.  $E_{c1} = \frac{1}{2} \times m_1 \times v^2 = 0,5 \times 820 \times \left(\frac{80}{3,6}\right)^2 = 2,0 \times 10^5 \text{ J.}$

$$E_{c2} = \frac{1}{2} \times m_2 \times v^2 = 0,5 \times 2\,470 \times \left(\frac{80}{3,6}\right)^2 = 6,0 \times 10^5 \text{ J.}$$

2. La seconde voiture subira le choc le plus important car c'est elle qui subira une plus grande différence d'énergie cinétique.

16 1.  $\vec{F}_1$  : portance verticale ;  
 $\vec{F}_2$  : poussée des moteurs ;  
 $\vec{F}_3$  : poids ;  $\vec{F}_4$  : traînée.

2.  $W(\vec{F}) = F \cdot d \cdot \cos(\theta)$  pour chacune des 4 forces, avec  $\theta$  l'angle entre la force et la trajectoire horizontale rectiligne de l'avion sur un palier.

$F_1$  : travail nul.

$F_2$  : travail moteur.

$F_3$  : travail nul.

$F_4$  : travail résistant.

19 1. Ce travail est nul car  $T$  est perpendiculaire au déplacement.

2. Théorème de l'énergie cinétique :  $\Delta E_c = \sum W(\vec{F}_{\text{appliquées}})$ . Ici seul le poids travaille donc  $\Delta E_c = \Delta E_{cA} - \Delta E_{cO} = \frac{1}{2} \times m \times v_A^2 = W(\vec{P})$ .

$$3. W(\vec{P}) = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-3} \times 2^2 = 40 \times 10^{-3} \text{ J.}$$

(travail moteur sur le trajet de O à A)

4. Le travail du poids au cours du mouvement AB est résistant sur le trajet de A vers B car  $z_B > z_A$ .

## ► Chapitre 16

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

13 1.  $E_{pp} = m \times g \times z$  donc

$$m = \frac{E_{pp}}{g \times z} = 1,02 \times 10^{-1} \text{ kg} = 102 \text{ g.}$$

2.  $E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$   
 donc  $v = \sqrt{\frac{2 \times E_c}{m}} = 4,43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

17 1.  $E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2 = 0,5 \times 305 \times 10^3 \times \left(\frac{250}{3,6}\right)^2 = 7,35 \times 10^8 \text{ J.}$

2.  $E_{pp} = m \times g \times z = 305 \times 10^3 \times 9,81 \times 182 = 5,44 \times 10^8 \text{ J.}$

3.  $E_m = E_c + E_{pp} = 1,28 \times 10^9 \text{ J.}$

## Thème 4

### ► Chapitre 17

Quiz 1. B, D. 2. A. 3. C. 4. B, D. 5. D. 6. C. 7. B.

13 Il s'agit d'un exemple où se propagent deux ondes de choc entre les boules dues à la perturbation initiale. Ce sont des ondes longitudinales.

15 On observera un retard  $t = \frac{d}{c} = 0,2 \text{ s.}$

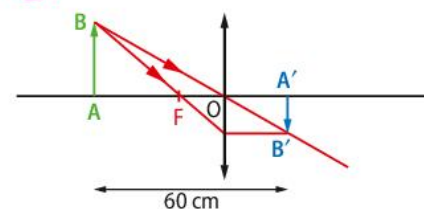
21 1. La période est de 4 carreaux soit  $T = 4 \times 0,25 = 1 \text{ ms.}$

2.  $\lambda = v \times T = 0,34 \text{ m.}$

## ► Chapitre 18

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

14



Résolution graphique :

En mesurant la distance OF sur le schéma et en faisant un calcul d'échelle (on mesure  $AA'$  et on sait que  $AA'$  vaut 60 cm dans la réalité), on trouve que  $OF = f' = 13,8 \text{ cm.}$

Résolution numérique :

On sait que  $\frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}} = \frac{\overline{OA}}{\overline{OA'}} = -2$

d'où  $\overline{OA} = -2 \overline{OA'}$ . On sait aussi que  $\overline{AO} + \overline{OA'} = \overline{A'A'} = 60 \text{ cm.}$

On en déduit que  $\overline{OA'} = \frac{60}{3} \text{ cm}$

En utilisant la relation de conjugaison,

on trouve  $f' = \frac{2 \overline{OA'}}{3} = 13,3 \text{ cm.}$

21 1. Que peut-il arriver à la lumière incidente lorsque qu'elle rencontre de la matière ?

2. Comment obtenir une lumière blanche sur un écran blanc ?

3. Comment fait-on pour obtenir une peinture rouge ?

4. Pourquoi un objet apparaît-il bleu ?

## ► Chapitre 19

Quiz 1. C. 2. B. 3. D. 4. D. 5. A, C. 6. A. 7. A. 8. D. 9. C. 10. C, D. 11. B.

14 1.  $v = \frac{c}{\lambda} = 4,29 \times 10^{14} \text{ Hz.}$

2.  $c_{\text{eau}} = v \times \lambda_{\text{eau}} = 2,26 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

21 1. Spectre d'émission

2. Longueur d'onde en nanomètres

3. Dans l'atome, les électrons sont excités puis se déséxcitent naturellement. Lors de cette déséxcitation (ou transition électronique), l'énergie perdue par l'électron est libérée sous forme de photon, ce qui correspond à une raie d'émission.

La manipulation de produits chimiques peut être dangereuse. Les fabricants de produits chimiques doivent suivre une réglementation stricte pour informer les utilisateurs des risques et des mesures de prévention.

Nouveaux pictogrammes				
				
Explosif	Inflammable	Comburant	Gaz sous pression	Corrosif
				
Toxicité aiguë pour l'organisme	Dangereux pour la santé	Toxicité spécifique sur la santé: cancérigène, mutagène, reprotoxique	Dangereux pour l'environnement	

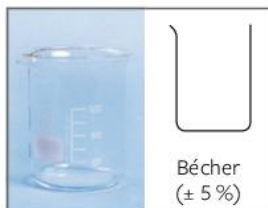
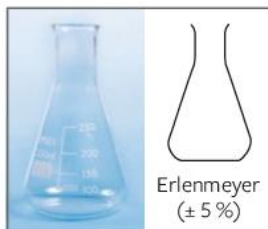
Chaque pictogramme est accompagné de codes précisant les **mentions de danger** (dangers physiques, pour la santé ou pour l'environnement) et les **conseils de prudence** (prévention, intervention, stockage et élimination).

Mentions de danger	
Dangers physiques	
H224	Liquide et vapeurs extrêmement inflammables.
H225	Liquide et vapeurs très inflammables.
H226	Liquide et vapeurs inflammables.
H260	Dégage au contact de l'eau des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément.
H272	Peut aggraver un incendie; comburant.
H290	Peut être corrosif pour les métaux.
Dangers pour la santé	
H300	Mortel en cas d'ingestion.
H301	Toxique en cas d'ingestion.
H302	Nocif en cas d'ingestion.
H304	Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires.
H310	Mortel par contact cutané.
H314	Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.
H315/317	Provoque une irritation / une allergie cutanée.
H318	Provoque des lésions oculaires graves.
H319	Provoque une sévère irritation des yeux.
H330/331/332	Mortel / Toxique / Nocif par inhalation.
H334	Peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation.
H335	Peut irriter les voies respiratoires.
H336	Peut provoquer somnolence ou vertiges.
H351	Susceptible de provoquer le cancer.
H361d	Susceptible de nuire au fœtus.
H373	Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.
Dangers pour l'environnement	
H400	Très toxique pour les organismes aquatiques.
H410/411	Très toxique / Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.
Informations additionnelles : propriétés physiques, environnementales et sanitaires	
EUH014	Réagit violemment au contact de l'eau.
EUH019	Peut former des peroxydes explosifs.

Conseils de prudence	
Prévention	
P210	Tenir à l'écart de la chaleur / des étincelles / des flammes nues / des surfaces chaudes.
P220	Tenir / stocker à l'écart des vêtements / matières combustibles.
P223	Éviter tout contact avec l'eau, à cause du risque de réaction violente et d'inflammation spontanée.
P261	Éviter de respirer les poussières / fumées / gaz / brouillards / vapeurs / aérosols.
P264	Se laver les mains soigneusement après manipulation.
P273	Éviter le rejet dans l'environnement.
P280	Porter des gants de protection / des vêtements de protection / un équipement de protection des yeux / du visage.
P284	Porter un équipement de protection respiratoire.
Intervention	
P310	Appeler immédiatement un CENTRE ANTIPOISON ou un médecin.
P331	NE PAS faire vomir.
P302 + P350	EN CAS DE CONTACT AVEC LA PEAU laver avec précaution et abondamment à l'eau et au savon.
P301 + P310	EN CAS D'INGESTION appeler immédiatement un CENTRE ANTIPOISON ou un médecin.
P305 + P351 + P338	EN CAS DE CONTACT AVEC LES YEUX rincer avec précaution à l'eau pendant plusieurs minutes. Enlever les lentilles de contact si la victime en porte et si elles peuvent être facilement enlevées. Continuer à rincer.
P342 + P311	En cas de symptômes respiratoires : appeler un CENTRE ANTIPOISON ou un médecin.
P370 + P378	En cas d'incendie, utiliser du sable pour l'extinction.
P301 + P330 + P331	EN CAS D'INGESTION rincer la bouche. NE PAS faire vomir.
Élimination	
P501	Éliminer le contenu / le conteneur dans une installation d'élimination des déchets agréée.



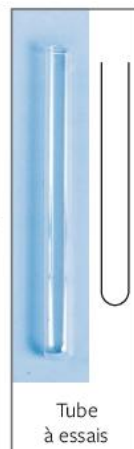
### Utilisation courante



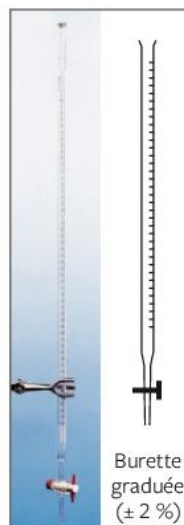
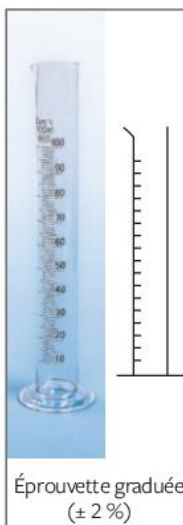
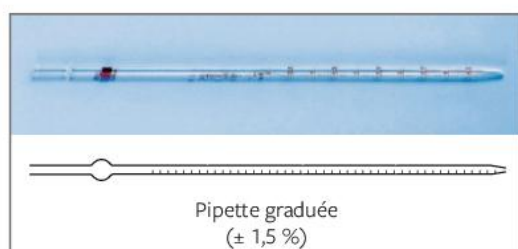
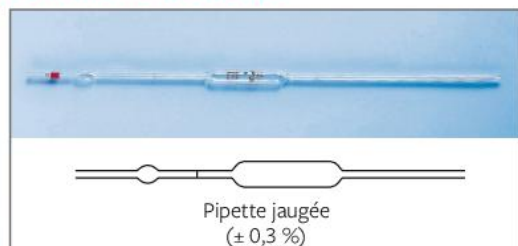
### Réaliser une extraction ou une filtration



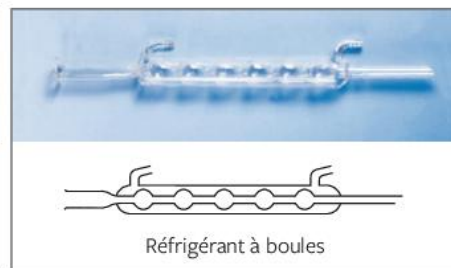
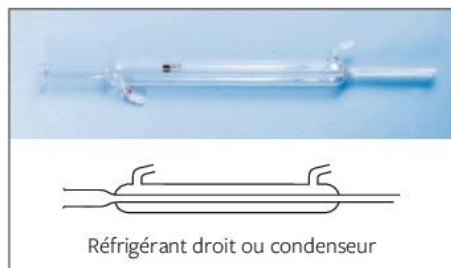
### Divers



### Mesurer un volume de liquide



### Réaliser une synthèse ou une hydrodistillation



La précision de quelques pièces de verrerie est indiquée entre parenthèses. Cette précision est d'autant plus grande que le pourcentage est faible.

Le pourcentage (ici donné à 20 °C) est fourni à titre indicatif: il dépend du volume de la pièce de verrerie, du fabricant et de la température.

## Extraction liquide-liquide

## Principe

L'extraction liquide-liquide consiste à faire passer une espèce chimique qui se trouve dans un solvant donné, dans un autre solvant où elle est beaucoup plus soluble.

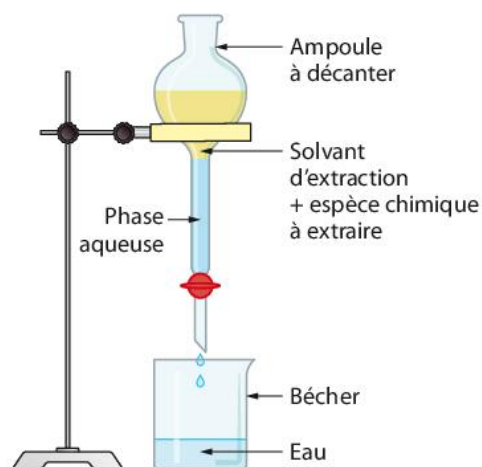
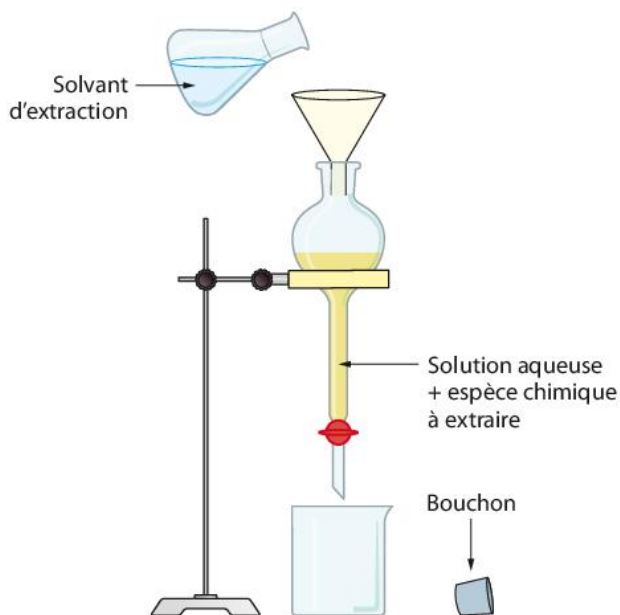
Le solvant d'extraction ne doit pas être miscible avec le solvant initial.

L'extraction doit être réalisée dans une ampoule à décanter.

## Les étapes :

- 1 **Vérifier** que le robinet de l'ampoule est fermé et **placer** un bécher sous l'ampoule à décanter.
- 2 À l'aide d'un entonnoir, **introduire le mélange** contenant l'espèce chimique à extraire dans l'ampoule à décanter et introduire le volume demandé du solvant d'extraction.
- 3 **Boucher l'ampoule**, l'enlever de son support, la retourner en maintenant fermement le bouchon. La paume d'une main maintient le bouchon et l'autre main tient le robinet.
- 4 **Agiter l'ampoule** pour favoriser le contact entre les deux liquides.
- 5 **Dégazer en ouvrant le robinet** de manière à éviter toute surpression dans l'ampoule.
- 6 **Fermer le robinet** et agiter une nouvelle fois puis dégazer de nouveau.
- 7 **Replacer l'ampoule** sur son support, retirer le bouchon et laisser décanter le temps que les deux phases se séparent.
- 8 **Ouvrir le robinet** et récupérer la phase inférieure dans le bécher. Fermer le robinet quand l'interface arrive à son niveau.
- 9 **Utiliser un deuxième bécher** pour récupérer la seconde phase.

**Remarque** La phase aqueuse est en général plus dense que la phase organique et c'est donc elle que l'on récupère dans le bécher.



## Filtration sous vide

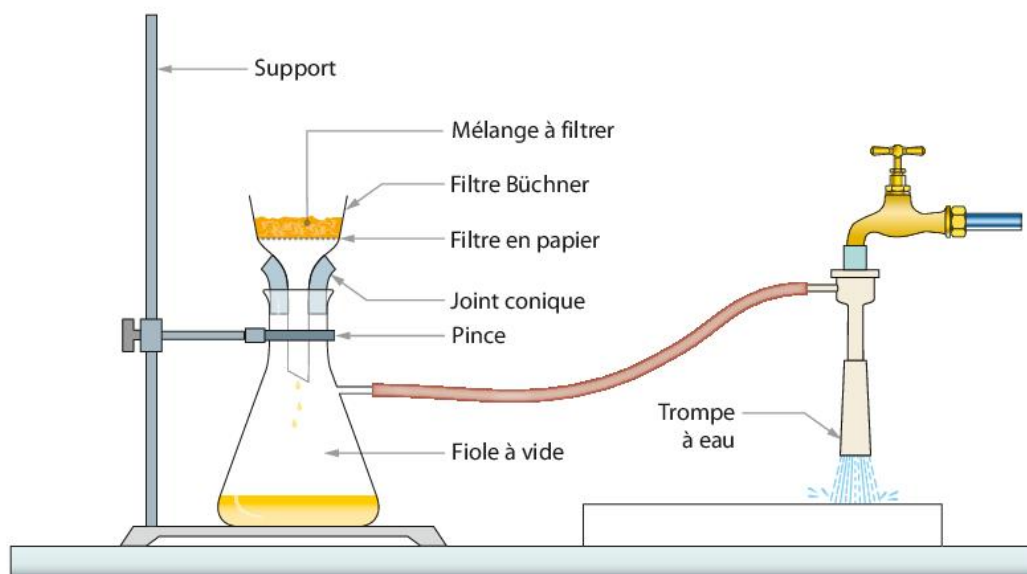
Pour séparer des espèces chimiques dans un mélange hétérogène composé de particules solides présentes dans un liquide, on peut utiliser deux techniques : la filtration sur papier filtre d'une part, ou la filtration sous vide d'autre part.

### Principe

La filtration sous vide est plus rapide que la filtration sur papier filtre car une dépression est créée par un dispositif d'aspiration avec une trompe à eau.

### Les étapes :

- 1 **Fixer la fiole à vide** sans trop serrer la pince et placer le filtre Büchner au-dessus.
- 2 **Placer le filtre en papier** à l'intérieur du filtre Büchner après l'avoir humidifié avec un peu de solvant.
- 3 **Exercer une aspiration** légère en ouvrant un peu le robinet.
- 4 **Verser doucement** le mélange dans le filtre Büchner et ouvrir progressivement le robinet.
- 5 **Laisser l'aspiration** se dérouler quelques minutes de manière à essorer le solide.
- 6 **Casser le vide** en ôtant le tuyau relié à la fiole à vide et fermer le robinet.
- 7 **Ajouter un peu de solvant** froid au solide de manière à éliminer les impuretés résiduelles.
- 8 **Triturer le solide** avec une spatule de manière à faciliter la dissolution des impuretés.
- 9 **Remettre en marche** l'aspiration pour éliminer le solvant de lavage.
- 10 **Casser de nouveau le vide** comme précédemment (étape 6).
- 11 **Récupérer le solide** à l'aide d'une spatule en le plaçant dans une boîte de Pétri.



## Montage de distillation simple

### Principe

Le montage de distillation simple permet de mesurer la température d'ébullition d'un liquide.

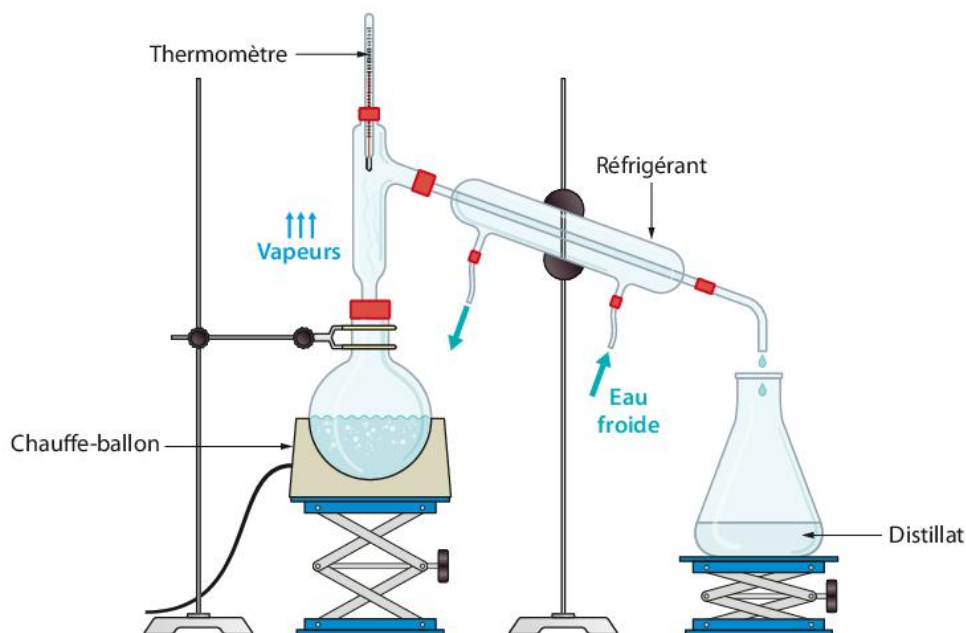
Lorsqu'un mélange de liquides est chauffé, c'est le liquide le plus volatil, donc celui qui a la température d'ébullition la plus faible, qui entre d'abord en ébullition.

Les changements d'état se faisant à température constante, sous la pression atmosphérique (ou la pression fixée), le mélange va garder **la température d'ébullition du liquide le plus volatil** tant que celui-ci ne sera pas entièrement transformé en vapeur.

La vapeur sera ensuite condensée dans le réfrigérant droit ce qui donnera le distillat.

### Schéma du montage

#### Application : montage de distillation simple



## A Utiliser un réactif de test ou un papier indicateur

**Réalisation** On ajoute quelques gouttes de réactif dans un tube à essais contenant environ 1 mL de la solution à tester et on observe le résultat.

Ion à identifier (couleur en solution aqueuse)	Formule	Réactif utilisé	Ion réagissant dans le réactif	Test positif	Nom et formule du produit formé
Chlorure (incolore)	$\text{Cl}^-$	Solution de nitrate d'argent <b>(<math>\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})</math>)</b>	Argent $\text{Ag}^+$	Précipité blanc qui noircit à la lumière	Précipité de chlorure d'argent $\text{AgCl}(\text{s})$ $\text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$
Sulfate (incolore)	$\text{SO}_4^{2-}$	Solution de chlorure de baryum <b>(<math>\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^-(\text{aq})</math>)</b>	Baryum $\text{Ba}^{2+}$	Précipité blanc	Précipité de sulfate de baryum $\text{BaSO}_4(\text{s})$ $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{BaSO}_4(\text{s})$
Phosphate (incolore)	$\text{PO}_4^{3-}$	Solution de nitrate d'argent <b>(<math>\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})</math>)</b>	Argent $\text{Ag}^+$	Précipité jaune	Précipité de phosphate d'argent $\text{Ag}_3\text{PO}_4(\text{s})$ $\text{PO}_4^{3-}(\text{aq}) + 3 \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}_3\text{PO}_4(\text{s})$
Carbonate (incolore)	$\text{CO}_3^{2-}$	Solution d'acide chlorhydrique <b>(<math>\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})</math>)</b>	Oxonium $\text{H}_3\text{O}^+$	Dégagement gazeux de dioxyde de carbone	$\text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) + 2 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2\text{O}(\ell)$
Cuivre (II) (bleu)	$\text{Cu}^{2+}$	Solution d'hydroxyde de sodium ou soude <b>(<math>\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})</math>)</b>	Hydroxyde $\text{OH}^-$	Précipité bleu	Précipité d'hydroxyde de cuivre(II) $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$ $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$
Fer(II) (vert pâle)	$\text{Fe}^{2+}$	Solution d'hydroxyde de sodium <b>(<math>\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})</math>)</b>	Hydroxyde $\text{OH}^-$	Précipité vert	Précipité d'hydroxyde de fer (II) $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$
Fer(III) (jaune orangé)	$\text{Fe}^{3+}$	Solution d'hydroxyde de sodium <b>(<math>\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})</math>)</b>	Hydroxyde $\text{OH}^-$	Précipité rouille	Précipité d'hydroxyde de fer (III) $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$ $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$
Magnésium (incolore)	$\text{Mg}^{2+}$	Ajout d'une solution d'hydroxyde de sodium puis de quelques gouttes de jaune thiazole		Une coloration rouge apparaît (le précipité d'hydroxyde de magnésium formé adsorbe le jaune thiazole qui vire du jaune au rouge)	
Calcium (incolore)	$\text{Ca}^{2+}$	Solution d'oxalate d'ammonium <b>(<math>2 \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}(\text{aq})</math>)</b>	Oxalate $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	Précipité blanc	Précipité d'oxalate de calcium $\text{CaC}_2\text{O}_4(\text{s})$ $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4(\text{s})$

**Réalisation** On verse quelques gouttes de la solution à tester sur une bandelette de papier indicateur.

Ion hydrogène	$\text{H}^+$	Papier pH	$\text{pH} < 7$
Ion hydroxyde	$\text{OH}^-$	Papier pH	$\text{pH} > 7$

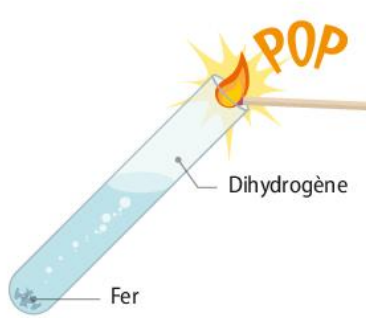
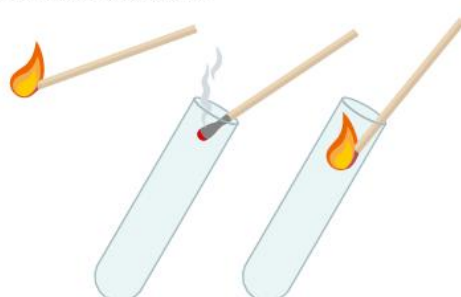
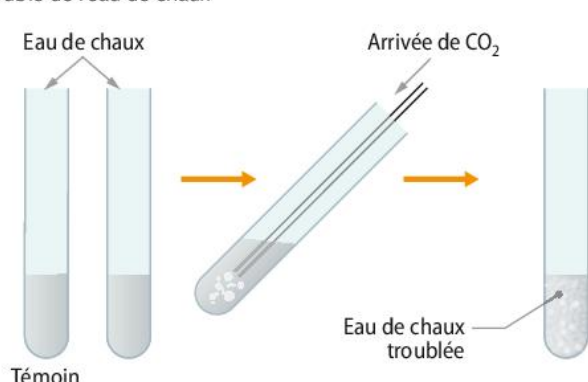
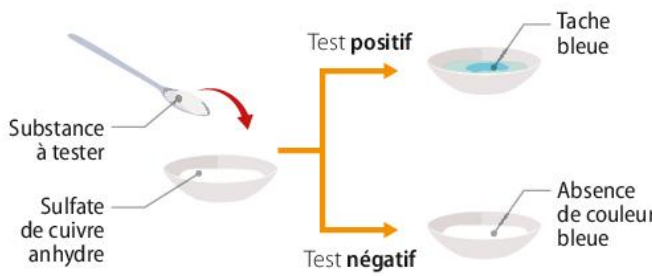
## B Test à la flamme

**Réalisation** On trempe un morceau de fil de fer décapé dans une solution contenant l'ion à tester, puis on le place dans une flamme.



Ion	Formule	Couleur
Lithium	$\text{Li}^+$	Rouge cramoisi
Sodium	$\text{Na}^+$	Jaune orangé
Potassium	$\text{K}^+$	Lavande
Césium	$\text{Cs}^+$	Bleu
Calcium	$\text{Ca}^{2+}$	Orange rougeâtre
Strontium	$\text{Sr}^{2+}$	Rouge vif
Baryum	$\text{Ba}^{2+}$	Vert jaunâtre
Cuivre	$\text{Cu}^{2+}$	Vert bleuâtre
Plomb	$\text{Pb}^{2+}$	Blanc bleuâtre

## Mise en évidence de quelques espèces moléculaires

Espèce mise en évidence	Symbole chimique	Test / réactif utilisé pour le test	Résultat
Dihydrogène gazeux	$H_2$	Approche d'une allumette	<p>Détonation</p> 
Dioxygène gazeux	$O_2$	Approche d'une bûchette incandescente	<p>Ravive la flamme de la bûchette</p> 
Dioxyde de carbone gazeux	$CO_2$	Eau de chaux	<p>Trouble de l'eau de chaux</p> 
Eau liquide	$H_2O$	Sulfate de cuivre anhydre (blanc)	<p>Bleuissement du sulfate de cuivre en présence d'eau</p>  <p>Test de reconnaissance de l'eau réalisé sur un solide</p>

## Chromatographie sur couche mince (C.C.M)

### Principe

La chromatographie est une technique d'analyse chimique utilisée pour séparer et identifier les substances chimiques présentes dans un mélange. Elle nécessite un support comme du papier ou une plaque à chromatographie et une phase liquide appelée éluant qui entraîne les espèces à analyser par capillarité.

### 1 Préparation de la cuve

- ▶ Si besoin, préparer le mélange de solvants qui constituera l'éluant, puis en verser dans la cuve à chromatographie afin d'obtenir une hauteur de liquide d'environ 1 cm.
- ▶ Boucher la cuve afin d'éviter l'évaporation des solvants et de saturer l'atmosphère de la cuve en vapeur d'éluant.

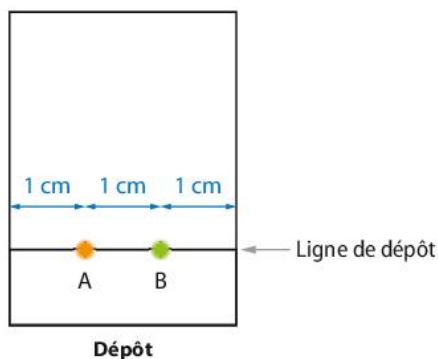
### 3 Dépôt des échantillons

À l'aide d'un cure-dent ou tube capillaire, déposer les échantillons sur la ligne de dépôt. Les dépôts doivent se faire à 1 cm des bords des plaques et doivent être espacés entre eux au minimum de 1 cm. La tache de dépôt ne doit pas être trop grosse, et il faut changer de cure-dent ou de capillaire pour chaque échantillon.

### 2 Préparation de la plaque

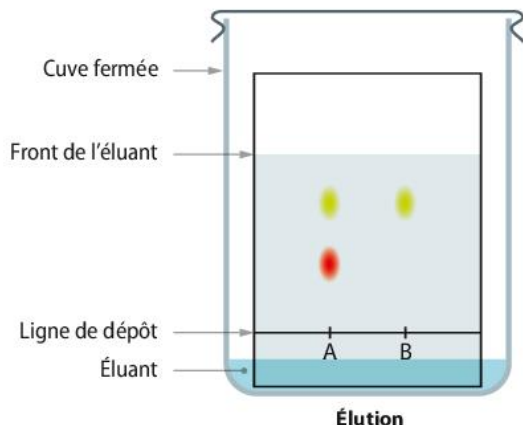
**Attention** Si la plaque utilisée est une plaque de silice, elle est très fragile. Éviter de la toucher avec les doigts.

Tracer au crayon de papier, à environ 1,5 cm du bord inférieur de la plaque, un trait qui constitue la ligne de dépôt.



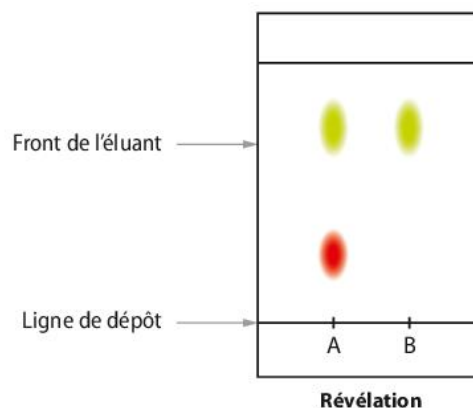
### 4 Éluion

- ▶ Introduire la plaque verticalement dans la cuve : la ligne de dépôt doit être au-dessus du niveau de l'éluant. Boucher la cuve.
- ▶ L'éluant contenu dans la cuve monte par capillarité le long de la plaque : c'est l'étape d'éluion. Attendre qu'il arrive à environ 1 cm du haut de la plaque, puis retirer la plaque et repérer par un trait la hauteur maximale atteinte par l'éluant : c'est la ligne de front. Sécher la plaque (à l'aide d'un sèche-cheveux par exemple).



### 5 Révélation du chromatogramme

- ▶ Dans le cas de composés colorés, le chromatogramme est directement exploitable.
- ▶ Pour les composés incolores, il est nécessaire de faire apparaître les taches : c'est l'étape de révélation. On peut pour cela utiliser une lampe à ultraviolet, des vapeurs de diiode ou une solution de permanganate de potassium.
- ▶ Entourer chaque tache au crayon et exploiter le chromatogramme obtenu.



## Montage de chauffage à reflux

### Principe

Un montage de chauffage à reflux est employé pour chauffer un milieu réactionnel afin d'accélérer la transformation chimique qui s'y déroule. La durée de la synthèse est ainsi réduite. Le chauffage permet également d'accroître la solubilité des réactifs dans le solvant. Cette technique expérimentale permet d'assurer le bon déroulement de la synthèse chimique sans perte de réactifs ni de produits. Le milieu réactionnel est porté à ébullition. Les vapeurs montent dans un réfrigérant à boules dont les parois sont refroidies par une circulation d'eau froide. Au contact avec les parois du réfrigérant, les vapeurs sont condensées et retombent goutte-à-goutte dans le milieu réactionnel: c'est le reflux.

### 1 Réaliser le montage

► Fixer le ballon à la barre de montage à l'aide d'une pince plate au niveau du col. Il doit être placé suffisamment haut pour ne pas qu'il touche le système de chauffage.

► Introduire les réactifs et le solvant dans le ballon.

**Remarque** L'agitation est assurée par l'ajout d'un barreau aimanté ou de quelques grains de pierre ponce au milieu réactionnel afin d'homogénéiser le mélange et de réguler l'ébullition.

► Placer le réfrigérant bien vertical sur le ballon (en graissant si nécessaire) et l'attacher à l'aide d'une pince à trois doigts à la barre de montage.

► Placer un agitateur magnétique chauffant (ou chauffe-ballon) sur le support élévateur et le monter de façon à ce que le ballon soit au contact du système de chauffage.

**Remarque** Le support élévateur permet d'éloigner rapidement le système de chauffage du ballon dans le cas où la transformation chimique s'emballe.

► Vérifier que le montage est bien vertical.

### 2 Alimenter le réfrigérant en eau froide

avec un faible débit d'eau. L'arrivée d'eau se fait par le bas et la sortie d'eau par le haut du réfrigérant.

### 3 Brancher et allumer le dispositif de chauffage.

Le mélange est porté à ébullition. Le reflux démarre lorsque la température d'ébullition du solvant est atteinte et que les premières gouttes de vapeur condensées retombent dans le ballon.

**Attention** Les gants ne doivent pas être portés en manipulant le dispositif de chauffage.

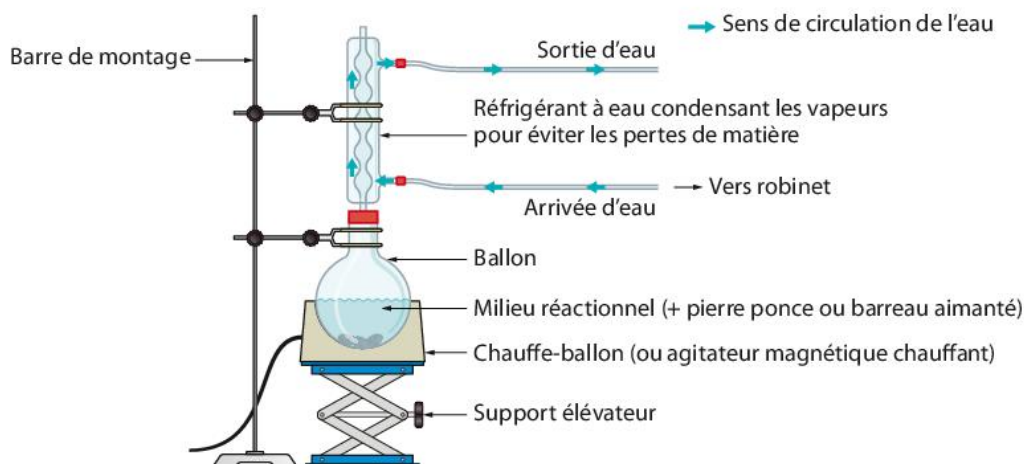
► Le reflux ne commence pas quand le système de chauffage est mis en marche.

► Les vapeurs produites ne doivent pas dépasser le tiers du réfrigérant.

► Ne jamais boucher le réfrigérant pour éviter les surpressions dans le montage.

**4 À la fin de la synthèse**, éteindre le chauffage et abaisser le support élévateur. Laisser circuler l'eau jusqu'à ce que le milieu réactionnel ait suffisamment refroidi. En effet, le ballon doit être à température ambiante pour pouvoir être manipulé en toute sécurité.

**Remarque** À la fin de la transformation chimique, le ballon contient le(s) produit(s) de la transformation chimique, le(s) réactif(s) en excès, le solvant ainsi que des éventuelles impuretés formées au cours du processus de synthèse. Il s'ensuit souvent des étapes d'isolement (filtration, extraction) et de purification afin de récupérer le(s) produit(s) d'intérêt.





## A Description

Le banc Kofler est constitué d'une plaque de métal soumise à un gradient de température imposé par un système de chauffage électrique interne et l'air ambiant.



La température est croissante de la droite vers la gauche.

### Éviter les erreurs

La température d'un point de la plaque dépendant de l'échange thermique ayant lieu avec l'air ambiant de la salle, il est nécessaire d'étalonner le banc Kofler juste avant son utilisation.

## B Étalonnage

Les étalons sont des substances pures ayant des températures de fusion spécifiques.

### Principe

- 1 L'étalonnage (doc. 1) consiste à déposer sur la plaque chauffante une petite quantité de substance étalon et chercher l'endroit précis où cette substance commence à fondre.
  - 2 L'aiguille du curseur est alors placée au niveau de l'endroit repéré.
  - 3 L'extrémité de l'index du curseur est placée au niveau de la température de fusion de l'étalon.
- La température de la salle évoluant, il est nécessaire de faire l'étalonnage du banc Kofler régulièrement.

## C Principe d'utilisation

- 1 Le solide séché à l'étuve, dont la température de fusion doit être déterminée, est déposé sur le banc puis poussé à l'aide d'une spatule pour repérer l'endroit où sa fusion commence.
- 2 L'aiguille du curseur rabattable est alors placée à l'endroit précis où la fusion a commencé.
- 3 La température de fusion de la substance étudiée se lit sur l'échelle graduée à l'extrémité de l'index du curseur.

### Éviter les erreurs

Dans le meilleur des cas, la température de fusion déterminée avec un banc Kofler est à  $\pm 1$  °C.

## Doc. 1 Étalonnage

Aiguille du curseur





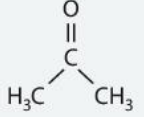

Extrémité de l'index

Curseur

## A Préfixes utilisés dans la nomenclature

Nombre de carbone dans la chaîne carbonée	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Préfixe associé	Méth-	Éth-	Prop-	But-	Pent-	Hex-	Hept-	Oct-	Non-	Déc-

## B Groupes caractéristiques

Famille	Formule brute	Groupe caractéristique	Formule générale	Suffixe	Exemple
Alcool	$C_nH_{2n+2}O$	$-OH$ Groupe hydroxyle	$R-OH$	-ol	$CH_3-CH_2-OH$ Éthanol
Aldéhyde	$C_nH_{2n}O$	 Groupe carbonyle	$R-C(=O)H$	-al	$CH_3-C(=O)H$ Éthanal
Cétone	$C_nH_{2n}O$ $n \geq 3$	 Groupe carbonyle	$R-C(=O)R'$ $R''-C(=O)R'''$	-one	 Propanone
Acide carboxylique	$C_nH_{2n}O_2$	 Groupe carboxyle	$R-C(=O)OH$	-oïque	$CH_3-CH_2-C(=O)OH$ Acide butanoïque

## C Bandes de reconnaissance des liaisons dans un spectre infrarouge (IR)

Liaison	Nombre d'ondes ( $cm^{-1}$ )	Intensité et commentaire
Liaison OH libre	Entre 3 590 et 3 650 $cm^{-1}$	Bande forte et fine
Liaison OH liée (liaison hydrogène)	Entre 3 200 et 3 600 $cm^{-1}$	Bande forte et large
Liaison C=O	Entre 1 625 et 1 820 $cm^{-1}$	Bande forte et de largeur moyenne
Liaison C=O des acides carboxyliques	Entre 1 660 et 1 740 $cm^{-1}$	Bande forte
Liaison C-H de CHO (carbone trigonal)	Entre 2 650 et 2 800 $cm^{-1}$	Bande moyenne
Liaison C-H (carbone tétraédrique)	Entre 2 800 et 3 000 $cm^{-1}$	Bande forte
Liaison C-O des alcools	Entre 1 000 et 1 150 $cm^{-1}$	Bande forte
Liaison OH des acides carboxyliques	Entre 2 500 et 3 300 $cm^{-1}$	Bande forte et large
Liaison C-O des acides carboxyliques	Entre 1 200 et 1 320 $cm^{-1}$	Bande forte

# Tableau d'avancement d'une transformation chimique

## A Tableau d'avancement

Le tableau d'avancement permet de prévoir la composition du système chimique lorsqu'il est siège d'une transformation chimique.

Le chimiste utilise la variable appelée avancement chimique  $x$ , exprimé en moles pour exprimer les quantités de réactifs et de produits. Lors de la transformation, l'avancement passe de la valeur  $x = 0$  mol à l'état initial à une valeur finale  $x_f$ .

### Étape 1

Établir ou chercher l'équation de la réaction ajustée.

Repérer la nature des espèces mélangées, les quantités initiales portent l'indice  $i$ .

Préparer un tableau comportant 2 colonnes de plus que le nombre d'espèces présentes dans l'équation.

Équation chimique		1 Cu <sup>2+</sup> (aq)	+	2 HO <sup>-</sup> (aq)	→	1 Cu(OH) <sub>2</sub> (s)
État du système	Avancement	Quantités de matière				
État initial	$x = 0$ mol	$n_i(\text{Cu}^{2+})$		$n_i(\text{HO}^-)$		0

### Éviter les erreurs

$n_i(\text{HO}^-)$  est la quantité de matière introduite, elle est indépendante de la transformation. Ne pas utiliser le nombre stœchiométrique.

### Étape 2

La quantité de réactif consommé est  $n_{\text{cons}}(\text{réactif}) = \text{Nbre stœchiométrique} \times x$ .

La quantité de produit formé est:  $n_{\text{formé}}(\text{produit}) = \text{Nbre stœchiométrique} \times x$ .

À l'avancement  $x_f$ , la quantité initiale d'ions Cu<sup>2+</sup> a diminué de  $x_f$ , celle des ions HO<sup>-</sup> a diminué de  $2x_f$  et la quantité de Cu(OH)<sub>2</sub> a augmenté de  $x_f$ .

Équation chimique		1 Cu <sup>2+</sup> (aq)	+	2 HO <sup>-</sup> (aq)	→	1 Cu(OH) <sub>2</sub> (s)
État du système	Avancement	Quantités de matière				
État initial	$x = 0$ mol	$n_i(\text{Cu}^{2+})$		$n_i(\text{HO}^-)$		0
État final	$x_f$	$n_i(\text{Cu}^{2+}) - 1x_f$		$n_i(\text{HO}^-) - 2x_f$		$1x_f$

Lorsque la transformation est totale, l'avancement final  $x_f$  est égal à une valeur maximale notée  $x_{\text{max}}$ .

La valeur de  $x_{\text{max}}$  est la plus petite valeur pour laquelle un réactif, au moins, a été entièrement consommé.

## B Rechercher le réactif limitant

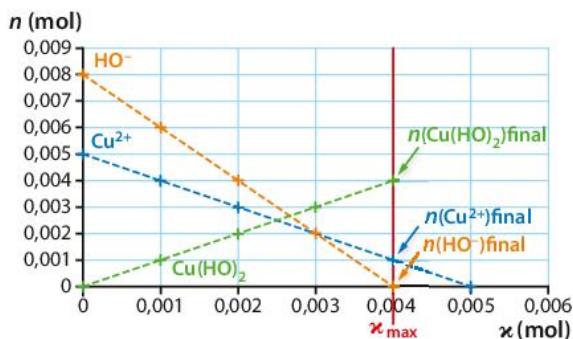
Pour trouver le réactif limitant, la transformation chimique étant supposée totale, il faut considérer que l'avancement final est égal à l'avancement maximal, soit  $x_{\text{max}} = x_f$ .

Faire l'hypothèse que chaque réactif est limitant et en déduire pour chacun une valeur de l'avancement maximal.

**Retenir le réactif pour lequel la plus petite valeur de  $x_{\text{max}}$  est obtenue.**

### Exemple

$n_i(\text{Cu}^{2+}) = 5,0 \times 10^{-3}$  mol ;  $n_i(\text{HO}^-) = 8,0 \times 10^{-3}$  mol



• Si l'ion Cu<sup>2+</sup> est limitant alors  $n_f(\text{Cu}^{2+}) = 0$ , d'après le tableau  $n_f(\text{Cu}^{2+}) = n_i(\text{Cu}^{2+}) - x_{\text{max}} = 0$ , d'où  $x_{\text{max}} = n_i(\text{Cu}^{2+}) = 5,0 \times 10^{-3}$  mol.

• Si l'ion HO<sup>-</sup> est limitant alors  $n_f(\text{HO}^-) = 0$ , d'après le tableau  $n_f(\text{HO}^-) = n_i(\text{HO}^-) - 2x_{\text{max}} = 0$ , d'où  $x_{\text{max}} = n_i(\text{HO}^-) \frac{n_i \text{HO}^-}{2} = \frac{8 \times 10^{-3}}{2} = 4,0 \times 10^{-3}$  mol.

La plus petite valeur de l'avancement maximal est  $x_{\text{max}} = 4,0 \times 10^{-3}$  mol.

Le réactif limitant est l'ion HO<sup>-</sup>. Le réactif en excès est l'ion Cu<sup>2+</sup>(aq),  $n_i(\text{Cu}^{2+})_{\text{excès}} = 1,0 \times 10^{-3}$  mol et il s'est formé  $4,0 \times 10^{-3}$  mol d'hydroxyde de cuivre (II).

Graphiquement, le bilan de matière à l'état final peut être obtenu en représentant les équations linéaires du premier degré suivantes.

$n(\text{Cu}^{2+}) = n_i(\text{Cu}^{2+}) - 1x = 5,0 \times 10^{-3} - x$ ;  
 $n(\text{HO}^-) = n_i(\text{HO}^-) - 2x = 8,0 \times 10^{-3} - 2x$ ;  
 $n(\text{Cu}(\text{OH})_2) = x$ .

## A Mesure et incertitude

Un opérateur qui répète  $N$  fois la mesure d'une grandeur  $X$  trouve dans la plupart des cas des valeurs différentes.

Les écarts sont dus à des sources d'erreurs (conditions de l'expérience, appareils de mesure, erreurs de manipulation...).

Il lui est donc impossible de connaître sa valeur exacte.

Chaque mesure d'une grandeur  $X$  est donc associée à une incertitude de mesure noté  $u(X)$ .

La meilleure estimation de la grandeur mesurée est la moyenne des  $N$  mesures :  $X_{\text{mes}} = \bar{X}$ .  
L'incertitude  $u(X)$  est égale à l'écart-type expérimental des  $N$  mesures :  
 $u(X) = S_{\text{exp}}$ .

**Remarque** Le menu statistique de la calculatrice NumWorks permet de calculer très facilement la moyenne et l'écart type.

**Remarque** Les valeurs aberrantes doivent être écartées du traitement statistique.

**Attention** Les notations dépendent de la calculatrice, les calculatrices différencient l'écart-type et l'écart-type expérimental.

## B Écriture du résultat et validation de la mesure

L'incertitude  $u(X)$  est arrondie à la valeur la plus proche et exprimée avec un seul chiffre significatif.

La valeur de  $X_{\text{mes}}$  est écrite avec un nombre de chiffres significatifs compatible avec l'incertitude.

### Exemple

$u(m) = 0,068\ 3\ \text{g}$  s'écrit :  $u(m) = 0,07\ \text{g}$  et  $m_{\text{mes}} = m = 1,824\ 3\ \text{g}$  s'écrit :  $m_{\text{mes}} = 1,82\ \text{g}$ .

Pour donner le résultat de la mesure, il faut rédiger une phrase.

### Exemple

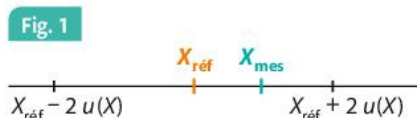
Dans les conditions de l'expérience, avec un échantillon de  $N$  mesures, la masse de l'échantillon est estimée à  $1,82\ \text{g}$  avec une incertitude-type  $u(m) = 0,07\ \text{g}$ .

La valeur  $X_{\text{mes}}$  est comparée à une valeur de référence  $X_{\text{réf}}$  pour valider ou invalider le résultat.

▶ La mesure est acceptable si  $X_{\text{mes}}$  appartient à l'intervalle  $[X_{\text{réf}} - 2u(X); X_{\text{réf}} + 2u(X)]$  [Fig. 1].

▶ La mesure n'est pas acceptable si  $X_{\text{mes}}$  est hors de l'intervalle  $[X_{\text{réf}} - 2u(X); X_{\text{réf}} + 2u(X)]$  [Fig. 2].

Dans ce cas le protocole suivi doit être analysé pour repérer les sources d'erreurs et y remédier.



## C Interprétation d'un histogramme

Un histogramme représente la fréquence de mesures obtenues dans des classes (intervalles de valeurs).

Il est obtenu à l'aide d'un tableur ou par programmation en Python.

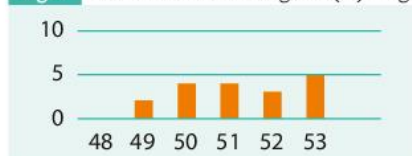
Méthodes

▶ L'histogramme permet d'évaluer une méthode de mesure.

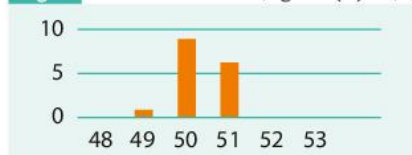
### Exemple

La pesée de  $50\ \text{mL}$  d'eau réalisée  $18$  fois avec une éprouvette graduée [Fig. 3] est moins précise qu'avec une fiole jaugée [Fig. 4] bien que la valeur moyenne soit identique, l'étendue (la dispersion) et l'écart-type sont plus grands pour le protocole 1.

**Fig. 3** Protocole 1 :  $\bar{m} = 50\ \text{g}$  et  $u(m) = 1\ \text{g}$

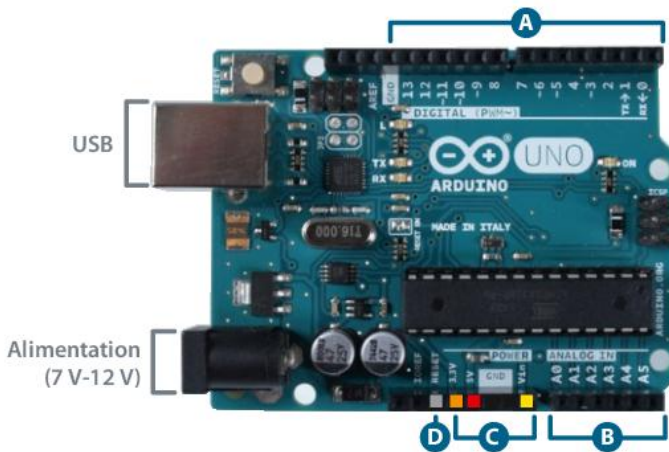


**Fig. 4** Protocole 2 :  $\bar{m} = 50,0\ \text{g}$  et  $u(m) = 0,4\ \text{g}$



## A Le matériel

- ▶ Un microcontrôle est un circuit intégré rassemblant sur une même carte un microprocesseur, plusieurs types de mémoires et des périphériques de communication (Entrées-Sorties).
- ▶ Il existe de nombreuses marques et de nombreux modèles de microcontrôleurs. Arduino est la plus connue d'entre elles.
- ▶ Il est indispensable de l'équiper d'un boîtier de protection.



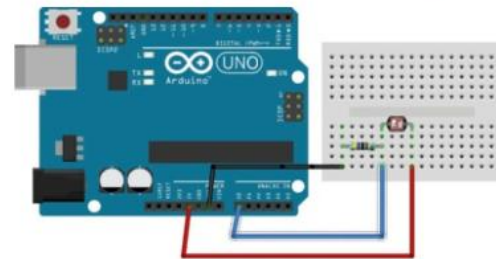
- A Broches dites numériques**  
(HIGH ou LOW en anglais – tout ou rien en français –0 ou 5 V).
- B Broches dites analogiques**  
valeur entre 0 V et 5 V.
- C Broches d'alimentation :**  
Rouge : sortie 5 V (+),  
Orange : sortie 3,3 V (+),  
Noire : les masses (-),  
Jaune : entrée reliée à l'alimentation (7 V-12 V).
- D Reset**

## C Exemples d'utilisation

### 1 Mesure de la tension aux bornes d'un capteur résistif

- ▶ Pour les capteurs résistifs, le montage utilisé est un diviseur de tension.
- En fonction des grandeurs étudiées et de l'évolution de la résistance, on peut choisir de mesurer la tension aux bornes de la résistance fixe ou aux bornes du capteur.

### Exemple de montage diviseur de tension :



### Programme Arduino correspondant :

```
// Initialise la variable valCapteur de type entier (integer)
int valCapteur = 0 ;
// Fonction appelée au démarrage de la carte Arduino
void setup() {
  // Initialise la communication avec le PC
  Serial.begin(9600);
}
// Fonction appelée en boucle tant que le microcontrôle est alimenté
void loop() {
  // Mesure la tension entre A0 et GND, valeur variant de 0 à 1023
  valCapteur = analogRead(A0);
  // Envoie la mesure au PC pour affichage et attend 500 ms
  Serial.println(valCapteur);
  delay(500);
}
```

- ▶ Pour effectuer une mesure, il est possible d'utiliser les broches A0 à A5 ; la masse est notée GND. L'ensemble peut être alimenté sous 5 V, par le microcontrôleur lui-même.
- ▶ Il est nécessaire de définir le débit de transmission des données entre le microcontrôleur et l'ordinateur dans la fonction `setup()`. Elle s'exprime en bauds c'est-à-dire le nombre de caractères transmis par seconde. Les valeurs sont normalisées et varient entre 300 et 115 200 bauds.
- ▶ Pour effectuer une mesure sur une seule broche, un débit de 9 600 bauds est suffisant. En revanche, il peut être nécessaire de l'augmenter pour suivre l'évolution temporelle d'une grandeur. Il est nécessaire d'indiquer une valeur identique de débit dans l'interface du logiciel de programmation Arduino, dans la fenêtre du moniteur série. Par défaut, les valeurs qui s'affichent dans la fenêtre du moniteur série sont des nombres compris entre 0 et 1 023, (1 023 correspondant à 5,00 V).

Certains capteurs, comme les capteurs de pression, délivrent des tensions de l'ordre de quelques dizaines de mV : dans ce cas, il est possible de changer la tension de référence. L'instruction nécessaire et la valeur ainsi obtenue sont variables suivant les modèles.

### Instruction à mettre dans la fonction `setup()` pour un microcontrôleur Arduino™ Uno

```
// Permet de travailler entre 0 et 1,1 V (au lieu de 5 V)
// Dans ce cas tension = valeur × 1,1 / 1023
analogReference(INTERNAL) ;
```

## 2 Montage d'allumage du témoin « Hot » d'une plaque à induction

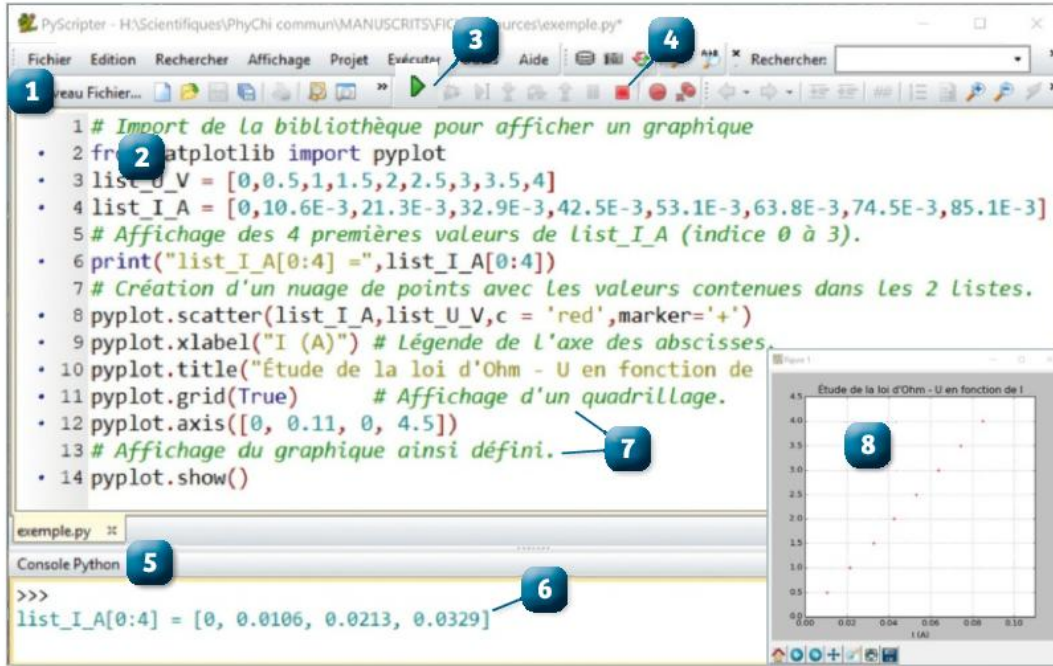
- ▶ Il est possible d'étalonner le capteur ou simplement de repérer la valeur renvoyée par le microcontrôleur lorsque la température dépasse 37 °C en réalisant la mesure de la tension aux bornes de la thermistance. On indique alors dans le programme Arduino cette valeur (800 dans notre exemple).
- ▶ Montage d'allumage du témoin « Hot ».
- ▶ Programme pour une thermistance de type CTN.



```
// Initialise la variable valCapteur de type entier (integer)
int valCapteur = 0;
// Fonction appelée au démarrage du microcontrôleur
void setup() {
  // Indique que la borne 13 est utilisée comme sortie
  pinMode(13,OUTPUT);
}
// Fonction appelée en boucle tant que le microcontrôleur est
// alimenté
void loop() {
  // Mesure la tension sur la broche A0, valeur variant de 0 à 1023
  valCapteur = analogRead(A0) ;
  if (valCapteur > 800) {
    // Délivre une tension entre les bornes GND et 13
    digitalWrite(13,HIGH);
  } else {
    // Ne délivre pas de tension entre les bornes GND et 13
    digitalWrite(13,LOW);
  }
  delay(500);
}
```

### A Le logiciel de programmation

Edupython permet d'écrire et d'exécuter des programmes en Python.



- 1 Barre des outils
- 2 Zone d'écriture du programme
- 3 Pour exécuter le code
- 4 Pour arrêter une exécution en cours
- 5 Console : zone d'exécution du programme
- 6 Affichage des résultats de la fonction print()
- 7 Commentaires
- 8 Fenêtre de résultat de la fonction pyplot.show()

### Éviter les erreurs

Le nom du fichier ne doit pas comporter d'espace, d'accent, de caractère spécial. Il commencera par une minuscule (Ex. : etudeLoiOhm.py).

### B Quelques notions de programmation

#### 1 Écrire des lignes de code

Python impose des **mots clés réservés** et une **ponctuation précise**.

L'**indentation**, c'est-à-dire l'ajout de quatre espaces ou d'une tabulation en début de ligne, est primordiale en Python : elle fait partie intégrante du langage.

Un **commentaire** commence par le symbole « # » : à partir de ce signe et jusqu'à la ligne suivante, le logiciel n'interprétera pas le texte, qui doit expliquer les instructions du programme.

#### 2 Les bibliothèques nécessaires

Une « **bibliothèque** » est un ensemble de fonctions classées en modules. Les fonctions sont des petits programmes déjà prêts à être utilisés. On « **importe** » les bibliothèques entières, ou certains de leurs modules, en début de programme, pour pouvoir utiliser leurs fonctions.

#### Éviter les erreurs

Pas d'espace en début de ligne.

En physique-chimie, on utilise la bibliothèque :

- **math** pour les fonctions de calcul, le réel pi, les fonctions trigonométriques, les logarithmiques ;
- **scipy.stats** pour les fonctions statistiques notamment la régression linéaire ;
- **matplotlib** pour l'affichage graphique ;
- **serial** pour la gestion du microcontrôleur.

#### 3 Les variables

Elles stockent des valeurs et permettent d'exploiter les mesures, les paramètres, les valeurs initiales. Elles sont habituellement listées en début de programme.

Le logiciel EduPython est doté de l'autocomplétion : en tapant les premières lettres d'une variable, son nom complet est accessible rapidement, il ne faut donc pas craindre d'utiliser des noms trop longs.

#### Éviter les erreurs

- Le nom des variables doit être explicite et compréhensible pour faciliter la lecture du code. Le nom d'une variable commence par une minuscule et ne comporte pas d'espace ni d'accent.
- La virgule des nombres décimaux s'écrit avec un point.

#### 4 Les listes de données

- Les listes sont indispensables pour l'étude des séries de mesures, les représentations graphiques.
- Chaque valeur d'une liste est séparée de la précédente par une virgule et elle est repérée implicitement par le logiciel par un indice commençant à 0. Pour atteindre la  $n$ ème valeur, il faut prendre l'habitude d'utiliser l'indice  $n - 1$ .

#### 5 Les fonctions de base

- `append()` ajoute une valeur à la fin d'une liste de valeurs.
- `input()` exploite l'information qui a été saisie au clavier par l'utilisateur ou l'utilisatrice, suite à un affichage dans une fenêtre avec le message passé en paramètre de la fonction `input`.
- `len()` renvoie le nombre d'éléments d'une liste.
- `print()` affiche du texte, ou des valeurs de variables, ou une suite de texte et de valeurs de variables.

#### 6 Les boucles

- La boucle itérative, ou boucle « for », exécute les instructions indentées qui suivent la ligne du « for » un nombre défini de fois. Ce nombre de répétitions est le nombre de valeurs que peut prendre un compteur automatique (souvent noté « i » pour « indice ») dans un intervalle « range ».
- La boucle conditionnelle « si ... alors (... sinon) » n'exécute l'instruction des lignes indentées suivantes que si la condition est remplie.

#### Éviter les erreurs

Lorsque le compteur atteint la dernière valeur de l'intervalle `range`, alors on sort de la boucle sans exécuter son code. L'intervalle est de type `[valeur de début, valeur de fin[`.

## C Les fonctions utiles en physique-chimie

#### Éviter les erreurs

Avant d'utiliser une fonction, vérifier que le module qui la contient est bien embarqué dans le programme. Toutes les fonctions dont le nom commence par `pyplot` nécessitent l'import du module `pyplot` de la bibliothèque `matplotlib`.

- `linregress()` nécessite l'import du module `linregress` de la bibliothèque `scipy.stats`. Cette fonction renvoie une liste dont les 3 premiers éléments sont la pente, l'ordonnée à l'origine et le coefficient de corrélation.

- `pyplot.arrow()` représente des vecteurs. Il est indispensable de choisir une échelle lorsque la norme du vecteur représente une autre grandeur que celles des axes, par exemple pour faire apparaître les vecteurs vitesse sur une trajectoire.

- `pyplot.axis()` permet de fixer l'échelle des axes.

- `pyplot.grid()` commande l'affichage d'un quadrillage sur le graphique.

- `pyplot.pause()` fait apparaître les éléments du graphique un à un, pour créer des animations, c'est utile notamment pour visualiser les ondes mécaniques.

- `pyplot.plot()` crée un segment de droite pour relier les points passés en paramètre. Elle peut être utilisée dans une boucle pour créer une courbe en reliant des points de proche en proche.

- `pyplot.scatter()` crée un graphe de type nuage de points.

La fonction a besoin des listes des abscisses et des ordonnées, et on peut aussi choisir la forme et la couleur des points qui apparaîtront dans le graphique.

- `pyplot.show()` affiche le graphique à l'écran, tel qu'il a été défini à l'aide des autres fonctions de `pyplot` appelées avant elle.

**Cette fonction doit donc toujours être appelée en dernier.**

- `pyplot.text()` ajoute du texte sur le graphe. Il faut préciser l'abscisse et l'ordonnée du point de départ du texte puis le texte.

- `pyplot.title()` donne un titre au graphique.

- `pyplot.xlabel()` et `pyplot.ylabel()` définissent la légende de l'axe.

## D La récupération de données

### 1 Avec des logiciels de pointage

- Pour éviter de saisir manuellement les coordonnées des points d'une trajectoire, il est possible de récupérer les données à partir d'un logiciel de pointage.

 [➔ Protocole](#)

### 2 Avec le microcontrôleur

- Il est possible de récupérer avec Python les valeurs envoyées par le microcontrôleur.



- Absorbance**, 34  
 Absorption, 319  
 Acide carboxylique, 140, 141  
 Alcane, 141, 176  
 Alcool, 140, 141, 143, 176  
 Aldéhyde, 140, 141  
 Amphiphilie, 126  
 Amplitude (d'une onde), 300  
 Ampoule à décanter, 125, 352  
 Avancement (d'une transformation chimique), 53  
 Avancement final, 54  
 Avancement maximal, 53  
 Avogadro (constante d'), 16  
**Banc Kofler**, 161, 359  
 Bande d'absorption, 143  
 Beer-Lambert (loi de), 35, 36, 37  
 Bilan de matière, 55  
**Caractéristique tension-courant**, 247  
 Cartographie d'un champ, 199  
 Célérité, 300, 342  
 Cétone, 140, 141  
 Chaîne alkyle, 140, 141  
 Champ électrostatique, 198, 199  
 Champ gravitationnel, 198, 199  
 Champ vectoriel, 198  
 Charge électrique, 196  
 Charge élémentaire, 196  
 Chauffage à reflux, 158, 358  
 Chromatographie sur couche mince, 160, 357  
 Comburant, 176  
 Combustible, 176  
 Combustion, 176, 177  
 Concentration effective, 107  
 Concentration en masse, 18  
 Concentration en quantité de matière, 18, 107  
 Conjugaison (relation de), 318  
 Couleur (d'un objet), 319  
 Couleur d'une solution, 35  
 Coulomb (loi de), 197  
 Courant électrique, 246  
**Décantation**, 159  
 Demi-équation (oxydoréduction), 52  
 Densité, 126  
 Détergent, 127  
 Diffusion, 319  
 Dissolution d'un solide ionique, 106, 107  
 Distillation, 354  
 Distillation fractionnée, 159, 160  
 Doublet liant / non liant, 88  
**Effet Joule**, 249  
 Électrisation, 196  
 Électron de valence, 88  
 Électronégativité, 90, 91, 105  
 Émulsion, 127  
 Énergie cinétique (définition et théorème), 266, 267  
 Énergie d'activation, 176  
 Énergie de la combustion, 177  
 Énergie électrique, 248  
 Énergie mécanique (définition et théorème), 282, 283  
 Énergie potentielle de pesanteur, 282  
 Enjeux de société (combustion), 177  
 Équivalence (titrage), 71  
 Exothermique (transformation), 176  
 Extraction liquide-liquide, 125, 159, 352  
**Famille organique**, 140  
 Filtration sous vide, 158, 159, 353  
 Fluide (description d'un), 214  
 Force électrique, 197  
 Force pressante, 215  
 Forces conservative et non conservative, 282, 283  
 Formule brute, 140  
 Formule semi-développée, 140  
 Formule statistique, 104  
 Foyer objet/image, 318  
 Fréquence (d'une onde), 342  
 Front d'onde, 300  
**Gaz parfait**, 19  
 Géométrie des molécules, 89, 90  
 Grandissement (relation de), 318  
 Groupe caractéristique, 140, 141  
**Hydrophilie/hydrophobie**, 126  
**Image réelle/virtuelle**, 318  
 Incertitude, 71  
 Intensité (électrique), 246  
 Interaction de van der Waals, 104, 124  
 Interaction électrostatique, 104, 124, 196, 197  
 Interaction gravitationnelle, 197  
 Interaction intermoléculaire, 104, 105, 106  
 Isolement (d'un produit synthétisé), 158, 159  
**Lacune électronique**, 89  
 Lentille convergente, 318  
 Lewis (schéma de), 88  
 Liaison covalente, 88  
 Liaison polarisée, 91  
 Lipophilie/liphobie, 126  
 Loi fondamentale de la statique des fluides, 215  
 Longueur d'onde, 301, 342  
 Lumière, 342  
**Mariotte (loi de)**, 215  
 Masse d'un système (influence sur les forces), 230, 231  
 Masse molaire, 16  
 Masse molaire atomique/moléculaire, 16, 17  
 Masse volumique, 126  
 Masse volumique (d'un fluide), 214  
 Mélange stoechiométrique, 54  
 Micelle, 127  
 Miscibilité, 125  
 Mole, 16  
 Molécules polaire et apolaire, 91, 105, 124  
 Mouvement parabolique, 231  
 Niveau d'énergie (d'un atome), 343  
**Nombre d'onde**, 142  
 Nomenclature des molécules organiques, 141  
 Nomenclature des molécules ramifiées, 141  
**Ohm (loi d')**, 247  
 Onde électromagnétique, 342  
 Onde mécanique périodique, 301  
 Onde mécanique progressive, 300  
 Onde sinusoïdale, 301  
 Ondes transversale et longitudinale, 300  
 Oxydant, 52  
 Oxydoréduction (transformation et équation), 52, 53  
**Période**, 301  
 Phase organique, 125, 352  
 Photon, 343, 344, 345  
 Planck (constante de), 344  
 Poids, 230  
 Polarisation (d'une molécule), 105  
 Pont hydrogène, 104, 105, 124  
 Pouvoir calorifique massique, 177  
 Pression (d'un fluide), 214  
 Principe d'inertie, 230  
 Puissance électrique, 248  
 Purification (d'un produit de synthèse), 159, 160  
**Quantité de matière**, 17, 19, 53, 124  
**Raie d'émission/d'absorption**, 344, 345  
 Réactif limitant, 53, 54, 71  
 Réaction normale (force), 230  
 Recristallisation, 160  
 Réducteur, 52  
 Réfractomètre, 161  
 Rendement (d'une synthèse chimique), 161  
 Rendement d'un convertisseur, 249  
**Savon**, 126, 127  
 Solide ionique, 91, 104  
 Solide moléculaire, 104  
 Solubilité, 124  
 Soluté, 18  
 Soluté ionique, 124  
 Soluté moléculaire, 124  
 Solution électrolytique, 246  
 Solvants polaire et apolaire, 124, 125  
 Somme vectorielle des forces, 230, 231  
 Spectre, 34  
 Spectre d'absorption, 34  
 Spectre de raies, 344, 345  
 Spectrophotométrie (appareil et dosage), 34, 35, 37  
 Spectroscopie infrarouge, 142, 161, 360  
 Squelette carboné, 140  
 Synthèse additive/soustractive, 319  
 Synthèse organique, 158  
**Tableau d'avancement**, 54, 361  
 Température (d'un fluide), 214  
 Température de changement d'état, 106  
 Tensioactif, 126  
 Tension continue, 246, 247  
 Titrage, 70  
 Transformation chimique totale, 53  
 Transition électronique, 345  
 Transmission, 319  
 Transmittance, 142  
 Travail (d'une force constante), 266, 267  
 Trichotomie, 319  
**Vecteur vitesse**, 230  
 Virage (titrage), 71  
 Volume molaire, 19

## CRÉDITS PHOTOS

Couverture : h : iStockphoto/Debenport • g : iStockphoto/DNY59 • d : Getty Images/S. Allen • p. 10 : Agefotostock/Collection Westend61/H. Meyrl • p. 11 : iStockphoto/A. Danilovich • p. 17 : iStockphoto/oasistrek • p. 23h : iStockphoto/agrobacter • p. 23b : iStockphoto/R. Samokhin • p. 25hg : iStockphoto/Plainview • p. 25hd : BSIP/Godong • p. 27hd : D.R. • p. 28h : Photo12/Alamy/Granger Historical Picture Archive • p. 28b : iStockphoto/Warchi • p. 29 : Photo12/Alamy/T. Gainey • p. 34 : 123rf/Puntasit Choksawatdikorn • p. 42 : Shutterstock/Walterericsy • p. 43 : iStockphoto/Theeradeck Sanin • p. 44 : D.R. • p. 46hd : D.R. • p. 46mg : iStockphoto/Kaانات • p. 47 : iStockphoto/DigiClicks • p. 51 et p. 150 : Fotolia/pict rider • p. 61g : D.R. • p. 61d : iStockphoto/Krezofan • p. 62 : iStockphoto/Kin-wun • p. 64 : iStockphoto/Sjo • p. 65 : iStockphoto/Jmsilva • p. 77hg : iStockphoto/NikiLitov • p. 77hd : iStockphoto/Leonsbox • p. 77md : iStockphoto/Knappe • p. 78 : iStockphoto/Lux Blue • p. 79hd : BSIP/B. Boissonnet • p. 79md : iStockphoto/Ma\_y\_a • p. 80h : Shutterstock/M-C Hatch • p. 80b : Fotolia/meailleuc.com • p. 81 : Shutterstock/Lestertair • p. 86 : Photo12/Alamy/Science History Images • p. 91 : Photo12/Alamy/Prisma Archivio • p. 95 : 123rf/R. Villalon • p. 96 : iStockphoto/atakss • p. 98 : iStockphoto/sylvirobi • p. 99 : Shutterstock/P. Ziska • p. 102g : Pierre-Frédéric Denys/https://shfret.fr • p. 103hg : D.R. • p. 104hm : Shutterstock/Cagla Acikgoz • p. 109 : D.R. • p. 111hd : iStockphoto/Kuzmik\_A • p. 111bd : Shutterstock/Freedom\_Marussia • p. 112 : iStockphoto/blackred • p. 113bd : © ESA - S. Conava • p. 114h : Fotolia/Korta • p. 116bg : iStockphoto/Molekulul • p. 116bm : Dreamstime/Ollaweila • p. 116bd : D.R. • p. 117 : Fotolia/MangAllyPop@ER • p. 119mg : BSIP/B. Boissonnet • p. 124 : Shutterstock/N. Novak • p. 125b : Aurimages/Collection Dagli Orti/Bibliothèque des Arts Décoratifs, Paris • p. 133 : iStockphoto/Barcin • p. 134hg : Fotolia/irinagrionii • p. 134mg : Fotolia/Viktor • p. 134bg : Fotolia/Food-micro • p. 135 : Photo12/Science Photo Library • p. 138 : © ESA/ATG medialab • p. 147hd : Shutterstock/Master-L • p. 147bg : iStockphoto/Colinhko • p. 149 : iStockphoto/M. Rossiiteva • p. 151h : iStockphoto/kalig • p. 151b : iStockphoto/FotoDuets • p. 152 : iStockphoto/xmoch • p. 153 : Shutterstock/Ph. Wongduang • p. 156hg : iStockphoto/A. Ruiz • p. 156hd : iStockphoto/barmaline • p. 156m : iStockphoto/Anfrey • p. 158hg : iStockphoto/Olavs • p. 158hm : D.R. • p. 158b : 123rf/G. Kollidas • p. 159 : D.R. • p. 161h : © Jeulin ref 251027 - 2019 • p. 165hg : iStockphoto/Vaaseena • p. 165bd : iStockphoto/Xamtiw • p. 167 : iStockphoto/V. Novokhatska • p. 168 : iStockphoto/Peter TG • p. 170hg : Shutterstock/I. Iakovlev • p. 170md : iStockphoto/demio • p. 171 : © NASA • p. 172hg : iStockphoto/Z. Pospisil • p. 172hm et p. 176 : iStockphoto/Xylke • p. 172hd : iStockphoto/V. Arndt • p. 172mg : Shutterstock/multiart • p. 172mm : Shutterstock/T. Balaguer • p. 172md : iStockphoto/Walika • p. 175 : Shutterstock/AJCespeces • p. 183hd : iStockphoto/France68 • p. 183bg : iStockphoto/T. Kizilkaya • p. 184 : © Julian Melchiorri, 2016 • p. 185 : iStockphoto/DorotaM • p. 188g : iStockphoto/M. Skoropadskaya • p. 188d : iStockphoto/ewf3D • p. 189hg : Biosphoto/J. Zaccaria • p. 189hm : hemis.fr/B. Stichelbaut • p. 189hd : Photo12/Alamy/SuperStock/RGB Ventures • p. 189mg : © CNRS Photothèque/Safire/C. Delhaye • p. 189bd : Photo12/Alamy/aenal-photos.com • p. 190 : Agence de presse photographique Vandystadt/All Sport France/D. Givois • p. 191 : Photo12/Alamy/D. Wall • p. 193 : Shutterstock/Y. Korchmar (Coulomb machine) • p. 197 : D.R. • p. 198 : Météo France/DR • p. 203mg : Photo12/Alamy/M. Ventura • p. 203md : Photo12/Alamy/D. Kindersley Ltd • p. 203hd : © Electron and Confocal Microscopy Laboratory, Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture • p. 204bg : BSIP/Science Source • p. 204md : REA/N. Tavemier • p. 206 : Shutterstock/O. Grechin • p. 207 : Cosmos/SPL/D. Kindersley • p. 208h : Photo12/Alamy/K. Shaleim • p. 208m et md : AFP photo/ESA • p. 209 : iStockphoto/studio023 • p. 210mg : http://sciences-physiques.ac-dijon.fr/documents/Flash/pression/pression.swf • p. 211 : 123rf/W.Sintapanon • p. 212g : © Jeulin ref 252018-2019 • p. 217 : © NASA • p. 221hg : p. iStockphoto/MaFelipe • p. 221md : REA/Zuma/National Geographic • p. 221bd : D.R. • p. 222 : p. Photo12/Alamy/Central Historic Book • p. 225 : iStockphoto/SanerG • p. 226 : AFP Photo/Getty Images/C. Spencer • p. 227 : Sipa/Niviere • p. 229hg et mg : Shutterstock/Ev. Safronov • p. 229bg : Shutterstock/A. Razak Latif • p. 233 : Shutterstock/C. Nicola • p. 236 : Photo12/Alamy/dpa picture alliance • p. 237 : iStockphoto/Clicsbyabrar • p. 239 : D.R. • p. 240 : Shutterstock/Wavebreakmedia • p. 241hg : Métaurfaces Greenervave, photo Jérémy Laydevant • p. 241hd : Patrick BAGEIN • p. 242 : REA/Tian Yiwei/XINHUA-REA • p. 243 : iStockphoto/Knappe • p. 244 : iStockphoto/3 Alexd • p. 245 : iStockphoto/jfmdesign • p. 247 : iStockphoto/Witoldkri • p. 255 : iStockphoto/CribbVisuals • p. 256b : Shutterstock/Vectorpocket • p. 259bg : ESA/ATG medialab, SunSOHO (ESA&NASA) • p. 259bd : Shutterstock/MNI • p. 260hg : REA/N. Tavemier • p. 260hd : Shutterstock/Chesky • p. 260md : iStockphoto/Sshepard • p. 261 : Photo12/Alamy/dpa picture alliance • p. 262 : Shutterstock/Pavel L. Photo and Vidéo • p. 263 : Bridgeman Images/Sean Sexton Collection/English Photographer (C19th) • p. 264 : AFP Photo/Sputnik • p. 265 : Photo12/Alamy/R. Davis • p. 271 : iStockphoto/mevans • p. 275 : iStockphoto/Carso80 • p. 276 : Photo12/Alamy • p. 277 : iStockphoto.com/fotoVoyager • p. 278g : iStockphoto/Louis16 • p. 278d : iStockphoto/P. Vuckovic • p. 279h : iStockphoto/Technotr • p. 279mg : 123rf/L. Gojda • p. 280g : D.R. • p. 283m : Photo12/Alamy/L. Gamett • p. 283b : Fotolia/Firenight • p. 287 : iStockphoto/R. Mellado • p. 288m : Photo12/Alamy/Wildscotphotos • p. 288b : Shutterstock/M. Uspenskaya • p. 289h : 123rf/Grisei • p. 290 : © NASA • p. 293hd : D.R. • p. 293b : Photo12/Alamy/Arctic Images • p. 294 : Photo12/Alamy/R. Del Bianco • p. 295 : Shutterstock/EpicStockMedia • p. 296 : Photo12/Alamy/Independent Photo Agency Sri • p. 301 : iStockphoto/Phive2015 • p. 305hg : iStockphoto/fotografixx • p. 305hd : iStockphoto/VanderWolf-images • p. 305mg : iStockphoto/DSGpro • p. 307mg : iStockphoto/edelmar • p. 307bd : iStockphoto/Voyagerix • p. 309 : iStockphoto/megaflopp • p. 311 : Photo12/Alamy/Dutourdumonde • p. 319 : iStockphoto/subimpunson • p. 321m : iStockphoto/scanrail • p. 322md : iStockphoto/ampueroleonardo • p. 322bg : iStockphoto/Popartic • p. 323mg : D.R. • p. 323bg : Shutterstock/O. Alexander • p. 324mg : Photo12/Alamy/L. Taborau • p. 324bd : RMN-Grand Palais Dist/© The British Museum, Londres/The Trustees of the British Museum • p. 325 : D.R. • p. 326g : iStockphoto/xmrmx • p. 326d : iStockphoto/elfinima • p. 327 : Shutterstock/D. Belitsky • p. 328 (de gauche à droite) : iStockphoto/Bombuscreative • iStockphoto/Chiradech • iStockphoto/D. Farkas • iStockphoto/dlewis • iStockphoto/mapodie • iStockphoto/Grassetto • p. 332h : iStockphoto/ChooChin • p. 332b : © Roger-Viollet • p. 339 : iStockphoto/Marccophoto • p. 342hg : Photo12/Alamy/Moviestore Collection Ltd • p. 342md : Photo12/Alamy/L. Wemer • p. 342bg : Shutterstock/G. Czapski • p. 354 : Bridgeman Images/Lukas-Art in Flanders VZW/Groeningemuseum, Bruges, Belgium • p. 347hd : Photo12/Alamy/VDWI Automotive • p. 347m : Le Parisien/D.R.

Toutes les photos non référencées sont de : Christophe Michel/Paxal Image

Responsable d'édition : Alexandra Fouilleroux.

Édition : Aurore Balduzzi, Julie Drappier, Séverine Duparcq.

Assistante d'édition : Édith Grosbellel.

Couverture : Audrey Hette.

Conception de la maquette intérieure : Audrey Hette.

Réalisation : Catherine Nguyen (Marse).

Coordination et direction artistique : Studio Humensis.

Schémas : Lionel Buchet, Catherine Nguyen (Marse), Soft Office (fiches)

Infographies : Mathilde Boucher.

Iconographie : Marie-Pascale Meunier, Loan Herr (couverture).

Photogravure et préresse : Marse et Carole Pronnier.

Fabrication : Coralie Zémé.

Les éditions Belin, les directeurs d'ouvrage et les auteurs remercient

Mehdi Baali, Pierre-Adrien Bréard, Théotime Combes, Éva Drevet-Mulard et Yohan Reguai pour leurs lectures critiques.

Merci à l'administration du lycée Varoquaux, au proviseur M. Bergé, à Mme Brun et M. Lemoine ainsi qu'à toute leur équipe pour leur accueil lors des photos d'expérience. Un merci particulier à Nicolas Prignon pour son aide efficace.

Nous remercions enfin les sociétés Jeulin et Pierron pour le prêt de matériel.

Toutes les références à des sites Internet présentées dans cet ouvrage ont été vérifiées attentivement à la date d'impression. Compte tenu de la volatilité des sites et du détournement possible de leur adresse, les éditions Belin ne peuvent en aucun cas être tenues pour responsables de leur évolution. Nous appelons donc chaque utilisateur à rester vigilant quant à leur utilisation.

Le code de la propriété intellectuelle n'autorise que « les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » [article L. 122-5] ; il autorise également les courtes citations effectuées dans un but d'exemple ou d'illustration. En revanche « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » [article L. 122-4]. La loi 95-4 du 3 janvier 1994 a confié au C.F.C. (Centre français de l'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris), l'exclusivité de la gestion du droit de reprographie. Toute photocopie d'œuvres protégées, exécutée sans son accord préalable, constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.



La pâte à papier utilisée pour la fabrication du papier de cet ouvrage provient de forêts certifiées et gérées durablement.

Imprimé en Italie par La Tipografica Varese  
N° d'édition : 03580411-01 - Dépôt légal : mai 2019