

Mes années BAC

Pour réussir le jour J

1^{re}

Spécialité Physique-Chimie

NOUVEAU BAC



Le cours détaillé



Des exos résolus et des sujets type bac



150 exercices d'entraînement



Des astuces pour gagner des points

bordas

**Et en +
ton livre
sur mobile**



Mes années BAC

Pour réussir le jour J

1^{re}

Spécialité Physique-Chimie

David Dubus

Professeur de physique-chimie

Sandrine Schreyeck

Agrégée de physique-chimie

The logo for the publisher Bordas, featuring a stylized lowercase 'b' followed by the word 'ordas' in a sans-serif font.

Sommaire

L'épreuve de physique-chimie 7

Constitution et transformation de la matière

1 Composition initiale d'un système

COURS

1. Déterminer la masse molaire.....9
2. Déterminer la quantité de matière.....10
3. Concentration et couleur d'une espèce.... 11

MÉTHODE

1. Calculer une concentration molaire 13
2. Exploiter la loi de Beer-Lambert.....14
- Pour réussir le jour J 15

ENTRAÎNEMENT

- 10 QCM pour réviser le cours 16
- Exercices 17

CORRIGÉS

.....22

2 Avancement d'une réaction chimique

COURS

1. Transformation chimique.....31
2. Détermination de l'état final32

MÉTHODE

1. Établir un tableau d'avancement..... 33
2. Transformation non totale 34
- Pour réussir le jour J 36

ENTRAÎNEMENT

- 10 QCM pour réviser le cours 37
- Exercices 38

CORRIGÉS

..... 43

3 Titrages colorimétriques

COURS

1. Réaction d'oxydoréduction.....55
2. Titration avec suivi colorimétrique..... 56

MÉTHODE

1. Établir une demi-équation électronique .. 58
2. Écrire l'équation d'une réaction entre un oxydant et un réducteur 59
3. Prévoir le changement de couleur observé à l'équivalence d'un titrage..... 59
- Pour réussir le jour J 61

ENTRAÎNEMENT

- 10 QCM pour réviser le cours 62
- Exercices 63

CORRIGÉS

..... 70

4 De l'atome aux molécules

COURS

1. Configuration électronique d'un atome... 80
2. Schéma de Lewis81
3. Géométrie des molécules..... 83
4. Caractère polaire ou apolaire d'une entité..... 84

MÉTHODE

1. Établir le schéma de Lewis d'une molécule..... 85
2. Déterminer la géométrie d'une molécule.. 86
3. Étudier la polarité d'une molécule.....87
- Pour réussir le jour J 88

ENTRAÎNEMENT

- 10 QCM pour réviser le cours 89
- Exercices 90

CORRIGÉS

..... 93

5 Cohésion, dissolution, extraction

COURS

1. Cohésion des solides..... 100
2. Dissolution d'un solide ionique 101

3. Dissolution d'un composé moléculaire..	103
4. Extraction par un solvant	103
5. Tensioactifs.....	104

MÉTHODE

1. Expliquer la miscibilité de deux solvants en étudiant leur polarité	106
2. Calculer des concentrations en quantité de matière d'ions en solution.....	107
3. Interpréter un protocole d'extraction liquide-liquide	109
● Pour réussir le jour J	111

ENTRAÎNEMENT

● 10 QCM pour réviser le cours	112
● Exercices	113

CORRIGÉS

.....	120
-------	-----

6 Structure des entités organiques

COURS

1. Squelette carboné.....	129
2. Nomenclature des alcanes.....	129
3. Groupes caractéristiques et familles.....	130
4. Spectroscopie infrarouge.....	132

MÉTHODE

1. Justifier le nom associé à une formule semi-développée	136
2. Exploiter un spectre d'absorption infrarouge.....	137
● Pour réussir le jour J	138

ENTRAÎNEMENT

● 10 QCM pour réviser le cours	139
● Exercices	140

CORRIGÉS

.....	143
-------	-----

7 Synthèses organiques

COURS

1. Transformation des réactifs.....	147
2. Traitement des produits.....	148
3. Rendement d'une synthèse.....	149

MÉTHODE

1. Identifier les différentes étapes d'un protocole.....	150
2. Justifier le choix des techniques utilisées ..	151
3. Déterminer le rendement de la synthèse ..	152
● Pour réussir le jour J	154

ENTRAÎNEMENT

● 10 QCM pour réviser le cours	155
● Exercices	156

CORRIGÉS

.....	161
-------	-----

8 Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique

COURS

1. Énergie libérée lors d'une réaction de combustion.....	166
2. Énergie molaire de réaction et énergies de liaison	167
3. Combustion et environnement	168

MÉTHODE

1. Écrire une équation de combustion	169
2. Estimer l'énergie molaire de réaction à partir des énergies des liaisons.....	170
● Pour réussir le jour J	171

ENTRAÎNEMENT

● 10 QCM pour réviser le cours	172
● Exercices	173

CORRIGÉS

.....	177
-------	-----

Mouvements et interactions

9 Champs et forces

COURS

1. Notion de champ.....	183
2. Interaction et champ électrostatiques ..	183
3. Interaction et champ gravitationnels	186

MÉTHODE

1. Déterminer la valeur d'une force d'interaction	188
---	-----

2. La force et le champ électrostatiques....	189
● Pour réussir le jour J	190

ENTRAÎNEMENT

● 10 QCM pour réviser le cours	191
● Exercices	192

CORRIGÉS

.....	197
-------	-----

10 Description d'un fluide au repos

COURS

1. Description d'un fluide à l'aide de grandeurs macroscopiques..... 205
2. Loi de Mariotte 207
3. Loi fondamentale de la statique des fluides 208

MÉTHODE

1. Utiliser la relation exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides... 210
2. Utiliser la loi de Mariotte..... 211
- Pour réussir le jour J 212

ENTRAÎNEMENT

- 10 QCM pour réviser le cours 213
- Exercices 214

CORRIGÉS 217

11 Mouvement d'un système

COURS

1. Force et vecteur variation de vitesse.....221
2. Relation entre force et variation du vecteur vitesse 222

MÉTHODE

1. Déterminer le vecteur variation de vitesse224
2. Vecteur variation de vitesse et somme des forces appliquées au système 226
- Pour réussir le jour J 227

ENTRAÎNEMENT

- 10 QCM pour réviser le cours 228
- Exercices 229

CORRIGÉS 234

L'énergie : conversions

12 Électricité et énergie

COURS

1. Courant électrique 242
2. Énergie et puissance 242
3. Source de tension..... 245

MÉTHODE

1. Calculer l'énergie consommée..... 247
2. Calculer l'énergie utile 248
- Pour réussir le jour J 249

ENTRAÎNEMENT

- 10 QCM pour réviser le cours 250
- Exercices 251

CORRIGÉS 255

13 Travail d'une force et énergie

COURS

1. Travail d'une force 264
2. Variations d'énergie au cours du mouvement..... 266

MÉTHODE

1. Calculer la valeur du travail d'une force constante 268
2. Exploiter la conservation de l'énergie mécanique..... 269
- Pour réussir le jour J 271

ENTRAÎNEMENT

- 10 QCM pour réviser le cours 272
- Exercices 273

CORRIGÉS 276

Ondes et signaux

14 Les ondes mécaniques

COURS

1. Les ondes mécaniques progressives..... 284
2. Les ondes mécaniques périodiques..... 285

MÉTHODE

1. Calculer la distance parcourue par une perturbation 287
2. Calculer la période d'une onde sinusoïdale 288
- Pour réussir le jour J 290

ENTRAÎNEMENT

● 10 QCM pour réviser le cours 291

● Exercices 292

CORRIGÉS 298**15** Image formée par une lentille**COURS**

1. Construction graphique de l'image d'un objet 307

2. Relation de conjugaison 307

3. Relation de grandissement 309

4. Caractéristiques d'une image 309

MÉTHODE

1. Déterminer analytiquement la position d'une image 310

2. Déterminer la grandeur d'une image, son sens et sa nature 311

● Pour réussir le jour J 312

ENTRAÎNEMENT

● 10 QCM pour réviser le cours 313

● Exercices 314

CORRIGÉS 318**16** Lumières colorées et couleurs des objets**COURS**

1. Synthèse additive 325

2. Synthèse soustractive 327

MÉTHODE

1. Prévoir l'effet de plusieurs filtres colorés sur une lumière incidente 328

2. Interpréter la couleur observée d'un objet éclairé 329

● Pour réussir le jour J 330

ENTRAÎNEMENT

● 10 QCM pour réviser le cours 331

● Exercices 332

CORRIGÉS 337**17** Interactions lumière-matière**COURS**

1. La lumière 342

2. Lumière et matière 343

MÉTHODE

1. Exploiter la relation entre fréquence et longueur d'onde 346

2. Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie 346

● Pour réussir le jour J 348

ENTRAÎNEMENT

● 10 QCM pour réviser le cours 349

● Exercices 350

CORRIGÉS 354**SUJET DE TYPE BAC**

Sujet 363

Corrigé 369

Formulaire 377

Classification périodique des éléments 382

L'épreuve de physique-chimie

Description de l'épreuve

■ Durée : 2 heures

Nature de l'épreuve

C'est une épreuve écrite qui concerne les élèves de première qui abandonnent la spécialité physique-chimie en terminale. Elle sera organisée au troisième trimestre de la classe de première dans chaque lycée. Elle comporte **deux exercices, chaque exercice étant noté sur 10 points**. Les sujets, exercices ou énoncés proposés seront issus d'une banque nationale numérique. Les copies seront anonymes et corrigées par d'autres professeurs que ceux de l'élève. L'ensemble des épreuves communes de contrôle continu comptera pour 30 % dans la note finale du baccalauréat.

Nature du sujet

La chimie représente environ 50 % de l'épreuve et la physique 50 %. Un exercice peut être consacré à la physique et un à la chimie, mais, dans certains sujets, les deux exercices peuvent être mixtes et recouvrir les deux disciplines. Les sujets traités portent sur des situations contextualisées et peuvent contenir des documents.

Calculatrice

L'usage de la calculatrice peut être interdit ou autorisé selon les épreuves. Cette mention est précisée sur le sujet. Si la calculatrice est interdite, le sujet comporte des aides aux calculs. Mais ces aides ne portent pas sur des calculs simples comme des multiplications de puissances de dix ou des rapports de nombres entiers.

Gérer son temps

Commencez par lire le sujet en entier ; repérez l'exercice ou les questions qui vous paraissent les plus faciles. Pour bien répartir son temps, il faut considérer qu'un point sur un exercice représente

environ 6 minutes. Ainsi, il faut consacrer environ une heure à un exercice.

Pensez à garder du temps pour relire attentivement votre copie. Corrigez les fautes d'orthographe, vérifiez vos formules et vos calculs, assurez-vous que tout est clair, correct et cohérent.

Bien rédiger un exercice

■ Rédiger et expliquer son raisonnement

Vous devez utiliser la numérotation de l'énoncé et écrire lisiblement.

Pour commencer, lisez rapidement l'ensemble des questions pour ne pas risquer de répondre au début de l'exercice à une question posée à la fin.

N'oubliez pas que les questions d'une même partie sont généralement liées les unes aux autres.

Appuyez-vous, quand cela est nécessaire, sur des schémas soignés.

Vous devez rédiger avec soin vos réponses en détaillant vos raisonnements. Vous montrerez ainsi votre maîtrise du sujet et des notions scientifiques évaluées.

Il ne faut pas écrire des formules et des calculs sans une explication simple et concise.

L'exploitation d'un graphique doit faire apparaître les constructions sur les

annexes ou être clairement expliquée dans la copie si l'annexe n'est pas à rendre.

Veillez à respecter les notations de l'énoncé, ne les remplacez pas. Si vous introduisez de nouvelles notations, pensez à les définir.

Utiliser le vocabulaire scientifique adapté.

■ Savoir présenter les calculs

Tout calcul doit être précédé d'une formule littérale qui correspond à la grandeur demandée dans la question. Pensez à mettre en valeur la relation littérale par exemple en l'encadrant.

Évitez les calculs intermédiaires, qui sont inutiles et sources d'erreurs.

Présentez votre résultat numérique avec la notation scientifique et le nombre convenable de chiffres significatifs.

Commenter le résultat obtenu. Si le résultat paraît aberrant, le signaler et dire pourquoi.

N'oubliez pas l'unité de la grandeur.

Dans le cadre d'une synthèse ou pour réaliser des analyses, un chimiste doit savoir le nombre d'atomes ou de molécules qu'il manipule : il doit connaître la quantité de matière contenue dans un échantillon.

Déterminer la masse molaire

a. Masse molaire atomique

■ La **masse molaire atomique** notée $M(X)$ d'un élément X correspond à la masse de $6,022 \times 10^{23}$ (nombre d'Avogadro N_A) atomes de cet élément, soit une mole. C'est une caractéristique d'un élément qui apparaît dans la classification périodique. Elle s'exprime en grammes par mol ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$).

■ Soit m_x la masse d'un atome quelconque en grammes, on a :

$$M(X) = N_A \times m_x$$

b. Masse molaire moléculaire

■ La **masse molaire moléculaire** est la masse d'une mole de molécules de l'espèce considérée. Elle se calcule à l'aide des masses molaires atomiques des atomes constitutifs de la molécule.

■ Généralement, les masses atomiques sont proches de valeurs entières, car les atomes sont composés d'un nombre entier de nucléons. Un écart substantiel à la valeur entière révèle l'existence d'isotopes. Par exemple : la masse molaire du chlore $M(\text{Cl})$ est de $35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; cela traduit l'existence des isotopes ^{35}Cl et ^{37}Cl .

■ Soit l'exemple de la masse molaire du méthane qui contient un atome de carbone et quatre atomes d'hydrogène (avec $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{H}) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$), on a :

$$M(\text{CH}_4) = M(\text{C}) + 4 M(\text{H}) = 12 + (4 \times 1) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Déterminer la quantité de matière

a. Déterminer la quantité de matière d'un composé à partir de sa masse

La quantité de matière et la masse d'un composé sont liées par la relation suivante :

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

n représente la quantité de matière du composé en moles (mol), m sa masse en grammes (g) et M sa masse molaire en grammes par mole ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$).

À NOTER

Il faudrait procéder de la même manière pour calculer une masse molaire d'ions.

b. Déterminer la quantité de matière d'un soluté à partir de sa concentration

■ Lorsqu'on dissout une espèce chimique solide, liquide ou gazeuse appelée **soluté** dans un liquide appelé **solvant**, on obtient une **solution**. Dans celle-ci, le solvant est le constituant majoritaire.

■ La **concentration molaire** d'un soluté représente la quantité de matière n de ce soluté par unité de volume V , d'où :

$$n_A = C_A \times V$$

avec n_A la quantité de matière de l'espèce chimique A exprimée en moles (mol), C_A la concentration du soluté en moles par litre ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) et V le volume de solution en litres (L).

■ La **concentration massique ou titre massique** d'une espèce chimique A en solution notée t_A est égale à la masse m_A de cette espèce par litre de solution :

$$t_A = \frac{m_A}{V}$$

avec t_A en grammes par litre ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), m_A en grammes (g) et V en litres (L).

■ La relation suivante relie les concentrations massique et molaire d'une espèce chimique A :

$$C_A = \frac{t_A}{M_A}$$

À NOTER

On peut aussi noter $[A]$ la concentration molaire d'une espèce A.

À NOTER

On peut aussi noter C_m la concentration massique.

c. Déterminer une quantité de matière à partir d'un volume molaire

■ Par définition, le **volume molaire** est le volume occupé par N_A molécules, c'est-à-dire une mole, d'une substance. Lorsqu'il est connu, la quantité de matière de la substance est donnée par la relation suivante :

$$n = \frac{V}{V_m}$$

avec V_m le volume molaire du gaz exprimé en litres par mole ($L \cdot mol^{-1}$), V le volume du gaz en litres (L) et n la quantité de matière en moles (mol).

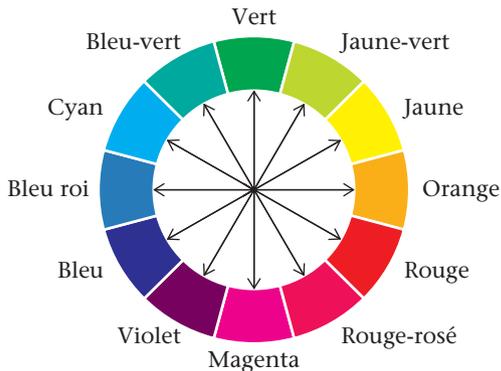
■ Dans les conditions normales de pression et de température, notées CNTP, soit à une température T de $0^\circ C$ (ou 273 K) et une pression P de 1013 hPa, toute mole de gaz, quelle que soit sa nature chimique, occupe un volume de 22,4 litres.

Concentration et couleur d'une espèce

a. Couleur d'une espèce en solution

■ Éclairée en lumière blanche, une solution paraît colorée si elle absorbe une partie des rayonnements de la lumière blanche.

■ La couleur de la solution résulte de la superposition des radiations transmises. Si la solution n'absorbe que dans un seul domaine de longueur d'onde, sa couleur est la complémentaire de celle des radiations absorbées.



Cercle chromatique : la couleur complémentaire est la couleur diamétralement opposée.

b. Notion d'absorbance

■ L'**absorbance** représente la proportion de lumière absorbée par une solution à une longueur d'onde donnée. Notée A , c'est une grandeur physique sans unité.

■ On mesure l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre. Le spectre d'absorption d'une solution est le graphe de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde.

c. Déterminer la concentration par spectrophotométrie

■ Un **dosage** est une méthode permettant de déterminer la concentration d'une espèce en solution.

■ Pour réaliser le dosage spectrophotométrique d'une espèce colorée, il faut généralement :

– régler le spectrophotomètre sur la longueur d'onde λ_{\max} correspondant au maximum d'absorption. À cette valeur, l'absorbance étant plus grande, l'incertitude sur la mesure est diminuée ;

– tracer une droite d'étalonnage, en mesurant l'absorbance A de plusieurs solutions de concentration C connue de l'espèce à doser. Cette droite illustre la relation de proportionnalité existant entre A et C :

$$A = k \times C$$

– mesurer l'absorbance de la solution à doser, puis, à l'aide de la droite d'étalonnage, en déduire la valeur de la concentration du soluté en solution.

d. Loi de Beer-Lambert

■ Pour des solutions suffisamment diluées (c'est-à-dire dont l'absorbance n'est pas trop forte), l'absorbance A d'une solution colorée est proportionnelle à la concentration C de l'espèce chimique responsable de sa couleur :

$$A = \varepsilon \times l \times C$$

avec ε le coefficient d'absorption molaire (en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), qui dépend de la nature de l'espèce, de la température, du solvant et de la longueur d'onde utilisée pour le spectrophotomètre, et l (en cm) la largeur de la cuve du spectrophotomètre où l'on mesure l'absorbance.

Calculer une concentration molaire

Énoncé

La vitamine C, ou acide ascorbique $C_6H_8O_6$, peut se présenter en sachet contenant, entre autres, une masse $m = 1,00$ g de vitamine C. On dissout le contenu d'un de ces sachets dans un verre d'eau. Sachant que le volume de la solution obtenue est $V = 100$ mL, déterminer la concentration molaire du soluté dans la solution.

Données :

Masses molaires : $M(H) = 1,01$ g · mol⁻¹ ; $M(C) = 12,0$ g · mol⁻¹ ; $M(O) = 16,0$ g · mol⁻¹.

Savoir-faire

- Déterminer la masse molaire d'une molécule 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.
- 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.

Corrigé détaillé

- On détermine la masse molaire de l'acide ascorbique :

$$M(C_6H_8O_6) = 6 \times M(C) + 8 \times M(H) + 6 \times M(O)$$

Application numérique :

$$M(C_6H_8O_6) = 6 \times 12,0 + 8 \times 1,01 + 6 \times 16,0 = 176 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

- Soit n la quantité de matière d'acide ascorbique contenue dans un sachet :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1,00}{176} = 5,68 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

- On calcule la concentration molaire de la solution d'acide ascorbique :

$$[C_6H_8O_6] = \frac{n_{C_6H_8O_6}}{V}$$

Application numérique :

$$[C_6H_8O_6] = \frac{5,68 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}} = 5,68 \times 10^{-2} \text{ mol}.$$

Exploiter la loi de Beer-Lambert

Énoncé

On a préparé cinq solutions de concentrations différentes en dichromate de potassium. La mesure de leur absorbance A pour une longueur d'onde de 400 nm donne les résultats suivants :

C (mmol · L ⁻¹)	1,0	2,0	4,0	6,0
A	0,35	0,62	1,32	1,95

L'absorbance A' d'une solution de concentration molaire inconnue C' mesurée dans les mêmes conditions est : $A' = 1,34$.

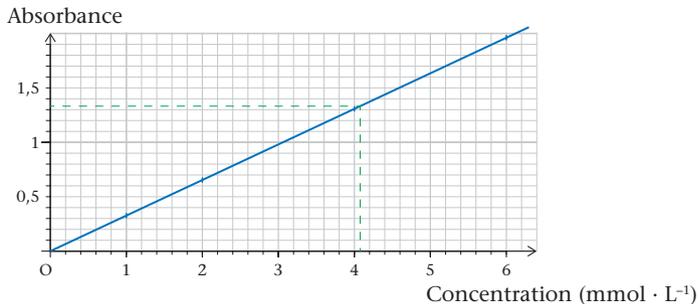
Tracer la courbe d'étalonnage $A = f(C)$ et en déduire la concentration molaire C' .

Savoir-faire

- Déterminer la concentration d'un soluté à partir de données expérimentales relatives à l'absorbance de solutions de concentrations connus.

Corrigé détaillé

- Pour tracer la courbe d'étalonnage, on porte A en ordonnée et C en abscisse.



- Pour déterminer la concentration C' , on procède par lecture graphique. Il faut repérer sur le graphique le point d'ordonnée A' . Son abscisse permettra d'obtenir la concentration C' .

Le point de la courbe d'ordonnée $A' = 1,34$ a pour abscisse $4,08$ mmol · L⁻¹.

À NOTER

Ne pas oublier d'indiquer sur les axes : les graduations, les échelles choisies, les grandeurs et leur unité (quand elles en ont).

Pour réussir le jour J !

X

Les erreurs à ne pas commettre

- Il est indispensable de connaître sur le bout des doigts les relations mathématiques du chapitre pour faire les exercices.
- Connaître les définitions des grandeurs qui y sont employées est également très important.
- Il s'agit également d'être capable de modifier une relation mathématique en fonction de la grandeur recherchée.
- Il faut être capable d'utiliser plusieurs relations si une n'est pas suffisante.

▶ *Exercice 5*

- Il faut être vigilant avec les unités utilisées. En effet, en chimie, les masses sont exprimées en grammes et les volumes en litres.

▶ *Exercice 2*

- Il faut penser à faire les conversions avant de réaliser les applications numériques.

▶ *Exercice 4*



Un point en + sur la copie

- Vos copies ne doivent pas ressembler à une succession de calculs. Pour chaque étape, vous devez indiquer le but des calculs réalisés.

▶ *Exercice 6*

- Il faut limiter les calculs intermédiaires : travailler le plus possible avec les relations littérales (ceci permet de se relire plus facilement).

▶ *Exercice 8*

- Il faut penser à donner les résultats avec le bon nombre de chiffres significatifs.

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 22

1 La masse molaire atomique s'exprime en :

- a. mol · g⁻¹. b. g. c. g · mol⁻¹.

2 La masse molaire moléculaire correspond à la masse de :

- a. 1 mole de molécules.
 b. $6,02 \times 10^{23}$ molécules.
 c. $6,02 \times 10^{-23}$ molécule.

3 La masse molaire du glucose C₆H₁₂O₆ est égale à :

- a. $M(\text{C}) + M(\text{H}) + M(\text{O})$.
 b. $6 \times M(\text{C}) + 12 \times M(\text{H}) + 6 \times M(\text{O})$.
 c. $1 \times M(\text{C}) + 6 \times M(\text{H}) + 6 \times M(\text{O})$.

4 La masse m d'une espèce chimique, sa quantité de matière n et sa masse molaire M sont reliées par la relation :

- a. $M = n \times m$. b. $n = \frac{M}{m}$.
 c. $m = n \times M$.

5 Une solution d'eau sucrée de volume 3,0 L contient 15 g de glucose dissous. La concentration massique en glucose de la solution est de :

- a. 0,20 g · L⁻¹. b. 45 g · L⁻¹.
 c. 5 g · L⁻¹.

6 La préparation d'un volume de 300 mL d'une solution de sulfate de cuivre de concentration massique 1,00 g/L nécessite de peser :

- a. 0,300 g de sulfate de cuivre.
 b. 300 g de sulfate de cuivre.
 c. 3,00 g de sulfate de cuivre.

7 Quelle peut être la formule d'un composé de masse molaire $M = 58,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ en unité usuelle ?

Données : Masses molaires

$M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

$M(\text{H}) = 1,01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

$M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

$M(\text{S}) = 32,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- a. CO₂. b. SO₂.
 c. C₄H₁₀.

8 Quelle est l'unité de mesure de l'absorbance ?

- a. Aucune. b. L/mol.
 c. mol/L.

9 L'absorbance d'une espèce colorée en solution est proportionnelle à :

- a. la concentration molaire de l'espèce colorée.
 b. la largeur de la cuve utilisée pour la mesure.
 c. la longueur d'onde utilisée pour la mesure.
 d. à l'inverse de la longueur d'onde utilisée pour la mesure.

10 La longueur d'onde λ_{max} d'un spectre d'absorption représente :

- a. la longueur d'onde maximale du rayonnement absorbé par la solution.
 b. la longueur d'onde du rayonnement le plus intense transmis par la solution.
 c. la longueur d'onde du rayonnement le plus absorbé par la solution.
 d. la longueur d'onde du rayonnement le plus transmis par la solution.

Exercices

niveau 1 5 min

► *Corrigés*, p. 22

L'aspartame est un dipeptide (deux résidus d'acides aminés liés par une liaison peptidique), dont le goût sucré fut découvert de façon inattendue par le chimiste James Schlatter qui préparait un tétrapeptide devant être testé comme médicament anti-cancer.

Une marque vendant de l'aspartame, comme édulcorant de synthèse, annonce qu'une de leur sucrète de 30 mg peut remplacer un morceau de sucre.

1. Un morceau de sucre a une masse de 6,0 g et est constitué de saccharose de formule brute $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Calculer la quantité de matière de saccharose contenue dans un sucre.

2. Quelle quantité de matière d'aspartame de formule brute $C_{14}H_{18}O_5N_2$ trouve-t-on dans une sucrète ?

niveau 1 10 min

► *Corrigés*, p. 23

Pour un TP, il faut préparer un volume $V = 500$ mL d'une solution aqueuse de sulfate d'aluminium de formule $Al_2(SO_4)_3$ de concentration $C = 0,350$ mol \cdot L⁻¹. Appelé aussi sulfate d'alumine, c'est un sel formé de cations aluminium (Al^{3+}) et d'anions sulfate (SO_4^{2-}).

Données :

$M(Al) = 27,0$ g \cdot mol⁻¹; $M(S) = 32,1$ g \cdot mol⁻¹; $M(O) = 16,0$ g \cdot mol⁻¹.

1. Quel est le titre massique (ou concentration massique) du sulfate d'aluminium en solution ?

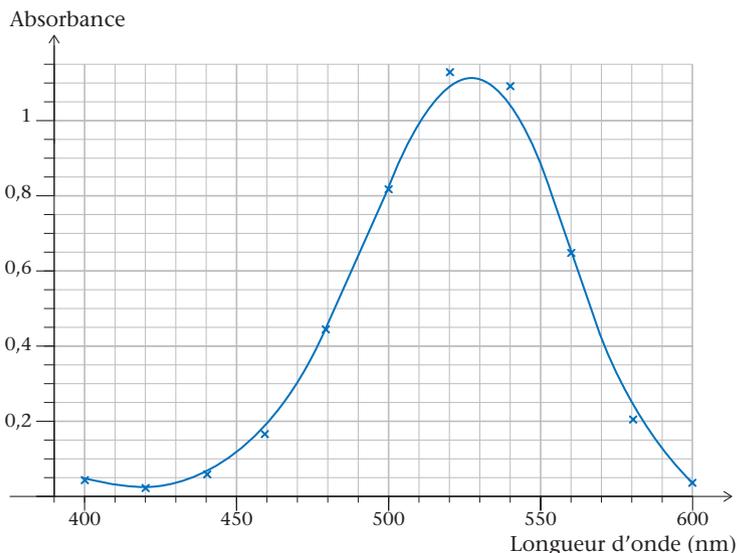
2. Déterminer la quantité n de sulfate d'aluminium introduite dans la solution préparée.

3. En déduire la masse du soluté qu'il faut peser pour préparer la solution.

niveau 1 6 min

► *Corrigés*, p. 24

Une solution de permanganate de potassium est violette. Son spectre d'absorption est donné ci-dessous.



1. Quelle longueur d'onde λ_{\max} correspond au maximum d'absorbance ?
2. Quelle est la valeur de l'absorbance maximale de cette solution ?
3. À quelle couleur correspond λ_{\max} ? Est-ce cohérent avec la couleur de la solution ?

À NOTER

Quand une solution absorbe dans un seul domaine de longueurs d'onde, sa couleur est complémentaire de celle des rayonnements absorbés.

niveau 2 15 min

Corrigés, p. 24

L'éosine aqueuse est un antiseptique local léger à visée asséchante. De formule $C_{20}H_6Na_2O_5Br_4$, elle est conditionnée dans des dosettes de volume $V = 2,0$ mL.

Le médicament contient $m = 2,0$ g d'éosine pour 100 mL.

1. Quel est le solvant de cette solution ?
2. À l'aide du tableau périodique des éléments, déterminer la masse molaire de chacun des atomes composant la molécule et la masse molaire de l'éosine.
3. En déduire la quantité d'éosine présente dans une dosette de 2,0 mL.

L'acide acétylsalicylique, plus connu sous le nom d'aspirine, est la substance active de nombreux médicaments aux propriétés antalgiques, antipyrétiques et anti-inflammatoires. Sa formule brute est $C_9H_8O_4$. Un comprimé d'aspirine 500 contient 500 mg d'aspirine.

Données : $M(C) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(H) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

$M(O) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Déterminer la concentration molaire C d'aspirine obtenue par dissolution d'un comprimé dans un verre rempli d'eau de volume $V = 250 \text{ mL}$.

2. On ajoute $V_1 = 25 \text{ mL}$ d'eau dans le verre. Quelle est la nouvelle concentration C' ?

Comparer sa valeur avec celle de C .

À $20 \text{ }^\circ\text{C}$ et sous une pression de 1 atmosphère, soit 1013 hPa, le volume molaire est de $24,055 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$. On dispose dans ces conditions de 200 g de dioxyde de carbone et de 200 g de dioxygène.

Données : $M(C) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(O) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Quelle est la quantité de matière contenue de chaque gaz ?

2. Quel volume occupe chacun de ces gaz pris séparément ?

3. Quel volume occupe le mélange des deux gaz dans les mêmes conditions de température et de pression ?

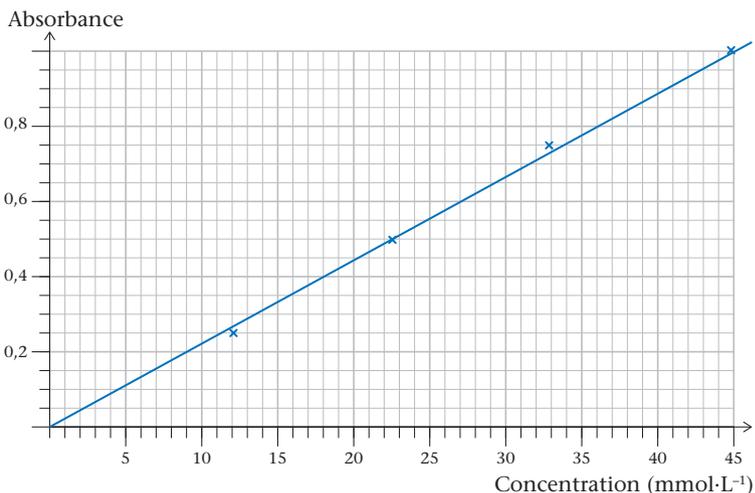
On désire doser une solution d'eau iodée de concentration inconnue C à l'aide d'un spectrophotomètre. Pour cela, on prépare un ensemble de solutions d'eau iodée de concentrations connues appelées solutions étalons. La mesure de l'absorbance se fait à une longueur d'onde idéalement choisie de 450 nm.

Donnée : Largeur de la cuve $l = 1,0 \text{ cm}$.

1. Comment choisit-on la longueur d'onde avec laquelle on fait les mesures ?

2. Dédurre de cette valeur la couleur d'une solution d'eau iodée.

3. À l'aide des mesures effectuées sur les solutions étalons, on obtient le graphe suivant.



- La loi de Beer-Lambert est-elle vérifiée ?
 - Comment appelle-t-on ce type de représentation graphique ?
 - Déterminer le coefficient directeur de la droite précédente et en déduire la valeur du coefficient d'extinction molaire ϵ de l'eau iodée dans les conditions de la mesure.
4. En utilisant ce graphe, déterminer la concentration C de la solution dosée, sachant que la mesure de son absorbance donne 0,52.

niveau 3 16 min

Corrigés, p. 28

Un briquet contenant du butane est plongé dans un cristalliseur rempli d'eau. On laisse échapper du gaz et on en mesure le volume à l'aide d'une éprouvette graduée placée au-dessus du briquet. La pesée du briquet avait donné avant l'expérience une masse de 20,51 g.

Données : $M(C) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(H) = 1,01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

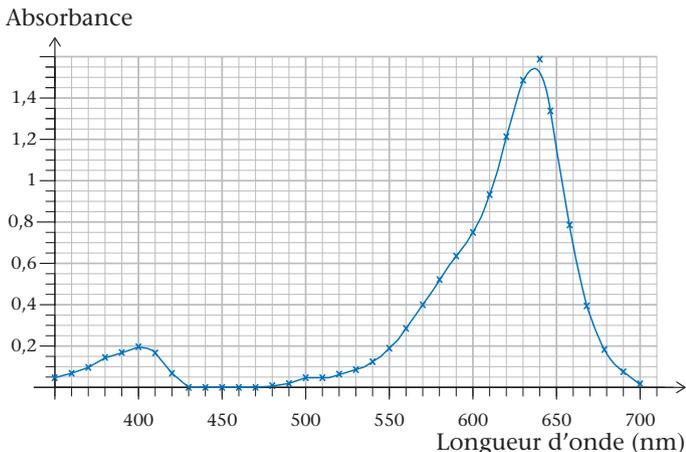
Masse du briquet vide : 18,70 g.

- Après avoir recueilli 40 mL de butane dans l'éprouvette graduée, la masse du briquet est de 20,41 g.
 - Sachant que le butane a pour formule brute C_4H_{10} , quelle quantité de butane s'est-il échappé du briquet ?
 - En déduire la valeur V_m du volume molaire dans les conditions de l'expérience.
- Quel volume de gaz reste-t-il encore dans le briquet ?

L'Alodont est une solution de bain de bouche dont la couleur bleue est due à la présence du colorant bleu patenté. Afin de déterminer la concentration C de l'Alodont en bleu patenté, on a préparé des solutions filles S_1 à S_8 de bleu patenté de différentes concentrations molaires à partir d'une solution mère S de concentration $C = 4 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et on a mesuré leur absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre. On a obtenu le tableau de valeurs suivant :

Solutions	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
$C (\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	0,4	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
A	0,064	0,133	0,161	0,194	0,225	0,255	0,288	0,319

On a tracé le spectre d'absorption d'une solution de bleu patenté :



- Déduire du spectre la couleur du colorant.
- Expliquer comment réaliser 50 mL de solution S_1 à partir de S .
- Tracer la courbe d'étalonnage $A = f(C)$. Que remarque-t-on, au vu de la courbe ? Que peut-on en déduire ?
- L'absorbance de la solution d'Alodont dans des conditions expérimentales similaires est $A_{\text{Alodont}} = 0,129$. Déterminer la concentration C_{Alodont} en bleu patenté de la solution.

Transformation chimique

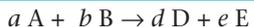
- Un **système chimique** est l'ensemble des espèces chimiques susceptibles de réagir entre elles lors d'une transformation chimique. Le système évolue d'un état initial à un état final, qui est atteint lorsque la transformation s'arrête. Celle-ci se déroule dans un **réacteur**.
- On appelle **état initial** l'état du système chimique avant la transformation. L'**état final**, lui, représente l'état du système après la transformation.
- On appelle les entités présentes au départ « **les réactifs** » ; au cours de la transformation chimique, leur quantité de matière diminue. Les entités produites au cours de la réaction sont appelées « **produits** ».
- Une **réaction chimique** traduit les réarrangements d'atomes se déroulant au cours d'une transformation chimique.
- Un **tableau d'avancement** permet de déterminer la composition du système au cours de la transformation chimique. On peut calculer les quantités de matière des produits formés et des réactifs restants, grâce à une grandeur appelée **avancement**, notée x , et dont l'unité est la mole.
- En notant n_i la quantité de matière de chaque réactif, on peut dresser le tableau d'avancement suivant, pour la transformation :

Équation de la réaction		$a A + b B \rightarrow d D + e E$			
État du système	Avancement	Quantité de matière (mol)			
Initial	$x = 0$	$n_i(A)$	$n_i(B)$	0	0
Intermédiaire	$0 \leq x \leq x_{\max}$	$n_i(A) - a x$	$n_i(B) - b x$	$d x$	$e x$
Final	x_{fin}	$n_i(A) - a x_{\text{fin}}$	$n_i(B) - b x_{\text{fin}}$	$d x_{\text{fin}}$	$e x_{\text{fin}}$

Détermination de l'état final

a. Transformation totale

- La réaction est qualifiée de « totale » si elle s'arrête lorsqu'un réactif vient à manquer. Le ou les réactifs ayant intégralement disparu sont appelés **réactifs en défaut** ou **limitants**, tandis que le ou les réactifs n'ayant pas été complètement consommés sont appelés **réactifs en excès**.
- L'avancement final de la réaction est alors égal à son avancement maximal : $x_f = x_{\max}$. On la note avec une simple flèche :



La réaction inverse n'a pas lieu.

- Pour calculer la valeur de l'avancement maximal, on cherche la plus petite valeur de l'avancement annulant la quantité initiale d'un des réactifs. Si, à la fin de la réaction, il ne reste plus aucun réactif, le mélange initial de réactifs a été réalisé dans les **proportions stoechiométriques**.

b. Transformation non totale ou limitée

- Une transformation chimique n'est pas toujours totale. Dans ce cas, aucun des réactifs n'a totalement disparu lorsque le système cesse d'évoluer. L'avancement final est alors inférieur à l'avancement maximal.

REMARQUE

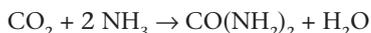
Ce n'est pas parce que l'un des réactifs est en plus petite quantité à l'état initial qu'il est le réactif limitant.

- Les proportions en réactifs et produits ne varient plus : on est à l'état d'équilibre du système chimique.
- On note l'équation de la réaction avec le signe \rightleftharpoons qui traduit l'existence de deux réactions inverses l'une de l'autre se produisant simultanément. Les réactifs et les produits coexistent à l'état final.
- Au niveau microscopique, une réaction chimique peut s'interpréter comme résultant de chocs efficaces entre molécules de réactifs. Lorsque la réaction n'est pas totale, des chocs efficaces peuvent également se produire entre molécules de produits pour donner des réactifs. Alors que le milieu réactionnel est le siège d'une activité chimique permanente à l'échelle microscopique, à l'échelle macroscopique les effets de cette activité se compensent.

Établir un tableau d'avancement

Énoncé

Afin d'obtenir de l'urée, on fait réagir 10 moles de gaz carbonique avec 15 moles d'ammoniac selon la réaction chimique d'équation suivante :



1. Établir le tableau d'avancement.
2. Déterminer le réactif limitant.
3. Calculer les quantités de matière dans l'état final.

Savoir-faire

- 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.
- Utiliser une équation linéaire du premier degré.
- Déterminer la composition du système dans l'état final en fonction de sa composition initiale pour une transformation considérée comme totale.

Corrigé détaillé

1. Pour dresser un tableau d'avancement, il faut :
 - recopier l'équation de réaction ;
 - préciser l'unité utilisée pour les quantités de matière ;
 - noter les quantités initiales de réactifs ;
 - veiller à écrire les nombres stœchiométriques et le signe convenable devant l'avancement (« + » pour indiquer une formation et « - » pour une disparition).

Équation de la réaction		$\text{CO}_2 + 2 \text{NH}_3 \rightarrow \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$			
État du système	Avancement	Quantité de matière (mol)			
Initial	$x = 0$	10	15	0	0
Intermédiaire	x	$10 - x$	$15 - 2x$	$0 + x$	$0 + x$
Final	x_{max}	$10 - x_{\text{max}}$	$15 - 2x_{\text{max}}$	$0 + x_{\text{max}}$	$0 + x_{\text{max}}$

2. Pour trouver l'avancement maximal, on formule deux hypothèses et on résout les équations.

Hypothèse 1 : si le dioxyde de carbone est le réactif limitant, alors le dioxyde de carbone est totalement consommé, donc :

$$10 - x_{\max} = 0 ; x_{\max} = 10 \text{ mol}$$

Hypothèse 2 : si l'ammoniac est le réactif limitant, alors l'ammoniac est totalement consommé, donc :

$$15 - 2 x_{\max} = 0 ; x_{\max} = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ mol}$$

On choisit la plus petite des valeurs de x_{\max} . Ici, l'ammoniac est le réactif limitant : $x_{\max} = 7,5 \text{ mol}$.

3. On remplace l'avancement x dans la dernière ligne du tableau et on obtient l'état du milieu réactionnel en fin de réaction.

À l'état final :

– dioxyde de carbone : $10 - 7,5 = 2,5 \text{ mol}$;

– urée : $0 + 7,5 = 7,5 \text{ mol}$;

– eau : $0 + 7,5 = 7,5 \text{ mol}$.

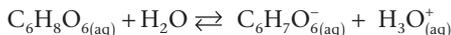
Cette réaction a produit 7,5 moles d'urée et 7,5 moles d'eau.

Transformation non totale

Énoncé

On dissout un sachet contenant 500 mg d'acide ascorbique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) de masse molaire $M = 176 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ dans un volume $V = 250 \text{ ml}$ d'eau. Le pH final de la solution est de 3,5, ce qui correspond à une concentration en ion oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+] = 3,2 \times 10^{-4} \text{ mol}$.

L'équation bilan de la réaction est :



La réaction est-elle totale ?

Savoir-faire

- Déterminer l'avancement final d'une réaction à partir de la description de l'état final.
- Comparer l'avancement final à l'avancement maximal.

Corrigé détaillé

- La quantité initiale d'acide ascorbique n_1 est :

$$n_1 = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6)}$$

Application numérique :

$$n_1 = \frac{0,500}{176} = 2,84 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

L'acide ascorbique étant le réactif limitant, on en déduit l'avancement maximal : $x_{\text{max}} = 2,84 \times 10^{-3} \text{ mol.}$

- La quantité d'ions oxonium n_2 formés est :

$$n_2 = [\text{H}_3\text{O}^+] \times V$$

Application numérique :

$$n_2 = 3,2 \times 10^{-4} \times 0,250 = 7,9 \times 10^{-5} \text{ mol.}$$

Cette quantité correspond à la valeur de l'avancement final.

Équation de la réaction		$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_{6(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_7\text{O}_{6(\text{aq})}^- + \text{H}_3\text{O}_{(\text{aq})}^+$			
État du système	Avancement	Quantité de matière (mmol)			
Initial	$x = 0$	2,84	Solvant	0	0
Intermédiaire	x	$2,84 - x$	Solvant	$0 + x$	$0 + x$
Final	x_f	$2,84 - 0,079$ $= 2,76$	Solvant	0,32	0,32

- Il reste beaucoup d'acide ascorbique ; la réaction n'est pas totale, elle est partielle : $x_f < x_{\text{max}}$.

Pour réussir le jour J !



Les erreurs à ne pas commettre

- Les définitions de certains termes comme transformation totale, limitée, avancement, mélange stœchiométrique sont à connaître.
- Pour remplir correctement le tableau d'avancement, il ne faut pas oublier que les coefficients stœchiométriques indiquent les proportions avec lesquelles les réactifs disparaissent et les produits se forment.
- Il ne faut pas non plus faire intervenir ces coefficients dans les calculs de masse molaire moléculaire.
- Pour déterminer le réactif limitant, il faut savoir résoudre une équation du premier degré.
- Il ne faut pas croire que le réactif limitant est forcément le réactif introduit en moindre quantité.

► Exercice 6

► Exercice 4

► Exercice 1



Un point en + sur la copie

- Il est utile de vérifier ses résultats en utilisant les ordres de grandeur.
- La recherche du réactif limitant doit être rédigée avec rigueur et soin étape après étape.
- Les autres calculs demandés dans ce type d'exercice (calcul de quantité de matière...) doivent être écrits de façon à faire apparaître les démarches utilisées.

► Exercice 10

- Il faut être attentif au nombre de chiffres significatifs.

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 43

1 Au cours d'une transformation chimique :

- a. l'avancement augmente.
- b. la quantité de matière des réactifs augmente.
- c. l'avancement diminue.

2 Lorsque l'avancement d'une réaction est nul :

- a. aucun produit n'a été formé.
- b. l'état final est atteint.
- c. tous les réactifs ont été consommés.

3 Le réactif limitant est celui :

- a. dont la quantité initiale est la plus petite.
- b. ayant le plus petit coefficient stœchiométrique.
- c. qui est consommé avant les autres.

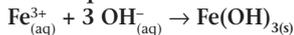
4 Lorsque le mélange de réactifs est stœchiométrique :

- a. les quantités initiales des réactifs sont égales.
- b. un réactif est consommé avant les autres.
- c. les proportions en quantité de matière respectent celles de l'équation chimique.

5 L'avancement de la réaction est maximal :

- a. si un des réactifs vient à manquer.
- b. si les produits ont été consommés.
- c. si la transformation s'arrête.

Soit l'équation de réaction :



À l'état initial, le système se compose de 3,0 mol d'ion ferrique et de 1,5 mol d'ion hydroxyde. On note x l'avancement de la réaction.

6 À un instant t de l'évolution du système, la quantité d'ions ferriques est :

- a. x .
- b. $3,0 - x$.
- c. $3,0 - 3x$.

7 La quantité d'hydroxyde de fer III formée à un instant t de l'évolution du système chimique est :

- a. x
- b. $2x$
- c. $3,0 - 3x$.

8 Le(s) réactif(s) limitant(s) est (sont) :

- a. les ions hydroxydes.
- b. les ions fer III.
- c. l'hydroxyde de fer III.

9 La valeur de l'avancement maximal est égale à la quantité :

- a. d'ions ferriques formés.
- b. initiale d'ions hydroxydes.
- c. d'hydroxyde de fer III formée.

10 À la fin de cette transformation chimique :

- a. il ne reste plus d'ions ferriques.
- b. il reste 1,5 mol d'ions ferriques.
- c. il s'est formé 0,5 mol d'hydroxyde de fer III.

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

CORRIGÉS

Exercices

niveau 1 6 min

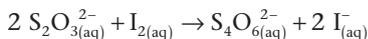
Corrigés p. 44

Deux réacteurs sont utilisés pour réaliser la même réaction chimique entre des ions thiosulfate incolores et du diiode de couleur brune. Les produits formés sont incolores.

Les quantités de matière initialement introduites sont :

- réacteur 1 : $n_i(\text{I}_2) = 4,0 \times 10^{-3}$ mol et $n_i(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 6,0 \times 10^{-3}$ mol ;
- réacteur 2 : $n_i(\text{I}_2) = 5,5 \times 10^{-3}$ mol et $n_i(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 6,0 \times 10^{-3}$ mol.

L'équation de la réaction est :



1. Quelle est la couleur du mélange réactionnel en début de réaction ?
2. Comment évolue la couleur dans les réacteurs au cours de la réaction ?
3. Quel réacteur sera le plus coloré en fin de réaction ?

CONSEIL

C'est une description qualitative de l'évolution des quantités de matière des espèces chimiques présentes lors des transformations qui est attendue.

niveau 1 5 min

Corrigés p. 44

En présence d'ions hydroxydes, les ions cuivre II forment un précipité bleu foncé d'hydroxyde de cuivre.

Les quantités de matière initiales sont :

$$n_i(\text{Cu}^{2+}) = 4,0 \text{ mol et } n_i(\text{OH}^-) = 6,0 \text{ mol}$$

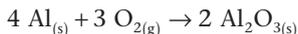
Corriger le tableau d'évolution suivant :

Équation de la réaction		$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$		
État du système	Avancement	Quantité de matière (mol)		
Initial	$x = 0$	4,0	6,0	0
Intermédiaire	x	$4,0 - 2x$	$6,0 - x$	$0 - 2x$
Final	x_{max}	$4,0 - 2x_{\text{max}}$	$6,0 - x_{\text{max}}$	$0 - 2x_{\text{max}}$

niveau 1 7 min

Corrigés p. 44

La lumière blanche dans les feux d'artifice est produite par la combustion de l'aluminium. L'équation de la réaction de l'aluminium avec le dioxygène de l'air s'écrit :



Initialement, le système est composé de n_1 moles d'aluminium et de n_2 moles de dioxygène.

Données :

$$M(\text{Al}) = 27 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}; V_m = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

1. Construire le tableau d'avancement de la réaction.
2. Quel est le réactif limitant quand on fait réagir 125 g d'aluminium et 70 L d'air ?

niveau 2 12 min

Corrigés p. 45

On prépare le sulfure d'aluminium par chauffage des éléments :



Cette réaction est extrêmement exothermique. Une fois refroidi, le produit formé est très dur.

On réalise le mélange d'une masse $m_{\text{Al}} = 10,0 \text{ g}$ d'aluminium en poudre et d'une masse $m_{\text{S}} = 15,0 \text{ g}$ de soufre.

Données :

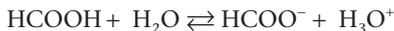
$$M(\text{Al}) = 27,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}; M(\text{S}) = 32,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

1. Déterminer les quantités de matière des réactifs.
2. Dresser le tableau descriptif de l'avancement de la réaction.
3. Déterminer la valeur x_{max} de l'avancement maximal.
4. Calculer la masse de sulfure d'aluminium formée.
5. Quelle masse restera-t-il du réactif en excès ?

niveau 2 13 min

Corrigés p. 47

On fait réagir avec l'eau un volume $V = 2,0 \text{ L}$ d'une solution aqueuse d'acide méthanoïque de concentration $C = 0,050 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ selon la réaction d'équation :



Données :

$$M(\text{H}) = 1,01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}; M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}; M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

CORRIGÉS

1. Calculer la quantité initiale d'acide méthanoïque.
2. Établir le tableau d'avancement de la réaction. Calculer la valeur de l'avancement maximal.
3. En fin de réaction, le pH a pour valeur 2,5 ; la concentration finale en ions oxonium H_3O^+ est donc :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 3,2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

En déduire l'avancement final x_f .

4. Que peut-on en conclure sur la transformation ?
5. Calculer les concentrations de l'acide méthanoïque et de l'ion méthanoate.

niveau 2 13 min

 **Corrigés p. 48**

L'aluminothermie est un procédé pyrométallurgique de production de métaux purs. L'une de ses utilisations les plus courantes est le soudage des rails de chemin de fer. À haute température (plus de 2 800 °C), la réaction entre l'hématite, un oxyde de fer rouge de formule Fe_2O_3 , et l'aluminium Al forment du fer Fe et de l'oxyde d'aluminium Al_2O_3 ou alumine.

Le système est initialement composé d'une quantité n_1 d'oxyde de fer et n_2 d'aluminium métallique de telle sorte que le mélange réactionnel soit dans les proportions stœchiométriques.

Données :

$$M(\text{Al}) = 27,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}; M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

1. Écrire l'équation de cette réaction.
2. Établir le tableau d'avancement de cette réaction.
3. Donner les relations mathématiques liant n_1 et l'avancement maximal x_{max} et celle entre n_1 et n_2 .
4. Déterminer la composition initiale du système en moles, sachant que la réaction a produit 70 g d'alumine.

niveau 3 20 min

 **Corrigés p. 49**

En 1775, Antoine-Laurent Lavoisier montra par une expérience que le dioxygène est l'un des constituants de l'air. Pour réaliser cette expérience, il utilisa une masse de mercure liquide $m_{\text{Hg}} = 122,2 \text{ g}$ qu'il chauffa jusqu'à ébullition pendant 12 jours. Au bout de ces 12 jours, il décida d'arrêter de chauffer et laissa refroidir. Il obtint une

masse $m_{\text{HgO}} = 2,38 \text{ g}$ de petites parcelles rouges d'oxyde de mercure (II) (HgO) et observa que le volume de gaz sous la cloche avait diminué de $0,14 \text{ L}$. Lavoisier constata que le gaz qui restait sous la cloche ne permettait ni la respiration des animaux ni la combustion.

Données :

$M(\text{Hg}) = 200,6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

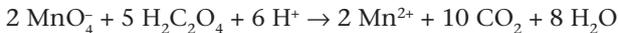
Aux conditions de température et de pression de l'expérience, le volume molaire $V_m = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Expliquer la diminution du volume de gaz dans la cloche. Pourquoi le gaz recueilli à la fin de l'expérience ne permet-il plus la combustion ?
2. Écrire l'équation de la réaction qui s'est produite.
3. Donner la quantité initiale de mercure.
4. Établir le tableau d'avancement.
5. Déterminer le réactif limitant.
6. Donner la composition du système à l'état final.
7. Calculer la masse m_{HgO} d'oxyde de mercure à l'état final.

niveau 3 16 min

Corrigés p. 50

On mélange une solution de permanganate de potassium à une solution d'acide oxalique. L'équation de la réaction est la suivante :



Alors que toutes les autres espèces en solution sont incolores, les ions permanganate colorent la solution en violet.

Initialement, le système contient :

- un volume $V_1 = 25,0 \text{ mL}$ d'acide oxalique de concentration $C_1 = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;
- un volume $V_2 = 10,0 \text{ mL}$ de permanganate de potassium à la concentration $C_2 = 10,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;
- un volume $V_3 = 5,0 \text{ mL}$ de solution contenant des ions H^+ à une concentration $C_3 = 2,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

1. Calculer les quantités initiales des réactifs.
2. Compléter le tableau d'avancement de la réaction sachant que l'eau joue le rôle de solvant.

Équation de la réaction		$2 \text{MnO}_4^- + 5 \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 6 \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{Mn}^{2+} + 10 \text{CO}_2 + 8 \text{H}_2\text{O}$					
État du système	Avancement	Quantité de matière (mmol)					
Initial	$x = 0$						
Intermédi.	x						
Final	x_{max}						

- Calculer la valeur de l'avancement maximal x_{max} .
- Peut-on qualifier le mélange initial de stœchiométrique ?
- Quelle est la concentration des ions permanganate à l'état final ?
Que peut-on en déduire ?

niveau 3 15 min

► Corrigés p. 52

Une bouteille de gaz butane de formule C_4H_{10} contient 13,0 kg de ce gaz.

Données :

$V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
 $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Calculer le volume de dioxygène consommé et le volume de dioxyde de carbone produit par la combustion de toute la bouteille.

niveau 3 20 min

► Corrigés p. 53

Dans le laboratoire d'un lycée, on réalise la synthèse de l'aspirine $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$ en utilisant 3,0 g d'acide salicylique $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ et 8,0 mL d'anhydride acétique $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$. Cette réaction produit également de l'acide acétique de formule $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$.

Données :

$M(\text{H}) = 1,01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
Masse volumique de l'anhydride acétique : $\rho = 1,08 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

- Écrire l'équation de la réaction.
- Calculer les quantités initiales de réactifs.
- Déterminer la masse d'aspirine obtenue à l'état final.
- Déterminer la masse d'acide salicylique qu'il aurait fallu introduire dans le mélange initial afin qu'il soit stœchiométrique.

Réaction d'oxydoréduction

a. Couple oxydant/réducteur

■ Un **oxydant** est une espèce chimique pouvant capter un ou plusieurs électrons. Un **réducteur** est une espèce chimique pouvant céder un ou plusieurs électrons.

Les ions $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ sont des oxydants, ils sont susceptibles de gagner deux électrons pour former le cuivre métal $\text{Cu}_{(\text{s})}$. Inversement, le cuivre métal $\text{Cu}_{(\text{s})}$ est un réducteur : les atomes de cuivre sont susceptibles de perdre deux électrons pour former les ions $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$.

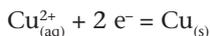
■ Deux espèces chimiques qui se transforment l'une en l'autre par gain ou perte d'électrons sont dites **conjuguées** et forment un couple **oxydant/réducteur**.

■ À chaque couple oxydant/réducteur est associée une **demi-équation** :



où n est le nombre d'électrons captés pour passer de la forme oxydée à la forme réduite.

■ Les deux espèces $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ et $\text{Cu}_{(\text{s})}$ sont **conjuguées et forment le couple $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}/\text{Cu}_{(\text{s})}$** . Le passage de l'oxydant au réducteur ou du réducteur à l'oxydant est décrit par la demi-équation :



À NOTER

On met un signe = entre l'oxydant et le réducteur lorsque le sens de la transformation n'est pas connu.

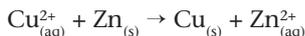
b. Réaction d'oxydoréduction

■ Lorsqu'on met en contact l'oxydant d'un couple avec le réducteur d'un autre couple, une transformation chimique a lieu, modélisée par une réaction d'oxydoréduction.

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

■ Quand l'oxydant gagne des électrons, il est réduit (il subit une réduction). Quand le réducteur perd des électrons, il est oxydé.

■ Si on plonge une lame de zinc $Zn_{(s)}$ dans une solution de sulfate de cuivre II ($Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$), la plaque de zinc se couvre d'un dépôt de cuivre rouge, alors que la teinte bleue de la solution s'atténue. Les ions Cu^{2+} sont réduits en cuivre métal et le métal zinc est oxydé en ions Zn^{2+} selon l'équation :



■ Le transfert d'électrons se fait directement entre les réactifs.

À NOTER

Les ions SO_4^{2-} sont des ions spectateurs. Ils n'interviennent pas dans la réaction chimique ; ils sont présents à l'état initial et à l'état final.

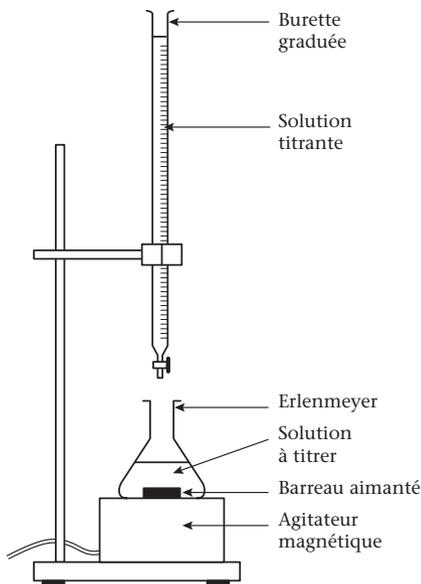
Titrage avec suivi colorimétrique

a. Principe d'un titrage

■ Le but d'un titrage est de déterminer la quantité de matière d'une espèce chimique en solution en la faisant réagir avec une autre espèce introduite en quantité connue. L'espèce dont on veut déterminer la quantité de matière est appelée **espèce titrée**.

■ La solution à titrer est prélevée à l'aide d'une **pipette jaugée** et introduite dans un erlenmeyer ou un bécher. C'est la prise d'essai.

■ Une solution dite **titrante**, de concentration connue, est placée dans une **burette graduée** et introduite progressivement dans la prise d'essai, sous agitation. Au fur et à mesure que l'on introduit le réactif titrant, le réactif titré est consommé.



Dispositif pour titrer une solution

b. L'équivalence

■ Au début du titrage, à chaque ajout de solution titrante, le réactif titré réagit avec le réactif titrant qui est entièrement consommé : **le réactif titrant est le réactif limitant.**

■ Pour un certain volume versé de solution titrante noté V_E , le réactif titré et le réactif titrant sont tous les deux entièrement consommés ; ils sont tous deux limitants. Ils sont dans les **proportions stœchiométriques** de la réaction support du titrage. V_E est appelé **volume équivalent** (ou volume à l'équivalence).

■ Si l'on continue d'introduire la solution titrante, il n'y a plus de transformation possible, car il n'y a plus de réactif titré dans le bécher ou l'erlenmeyer. **Le réactif titré est le réactif limitant.**

■ Lors d'un titrage colorimétrique, l'équivalence est repérée par un changement de teinte. Il est pour cela nécessaire qu'une des espèces impliquées dans la réaction de titrage ait une couleur caractéristique, comme par exemple le diiode I_2 qui a une couleur brune en solution aqueuse.

ATTENTION

Il est indispensable, pour utiliser une réaction dans un dosage, que cette réaction puisse être considérée comme totale et instantanée.

À RETENIR

L'équivalence correspond au changement de réactif limitant.

c. Détermination de la quantité de réactif titré

■ La quantité de matière de réactif titrant à l'équivalence est notée n_E .

■ On suppose que l'on dose un réactif A par un réactif B. L'équation de la réaction est :



■ À l'équivalence, les réactifs sont introduits dans les proportions stœchio-

métriques ; cela implique que $\frac{n(A)}{a} = \frac{n_E(B)}{b}$ ou encore $\frac{C_A \cdot V_A}{a} = \frac{C_B \cdot V_E}{b}$

où C_A et C_B sont les concentrations en quantité de matière des espèces A et B.

Établir une demi-équation électronique

Énoncé

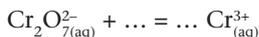
Écrire la demi-équation électronique du couple $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$.

Savoir-faire

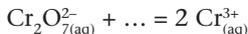
- Écrire les deux espèces chimiques de part et d'autre du signe égal, l'oxydant à gauche et le réducteur à droite.
- Vérifier la loi de conservation des éléments : ajuster si nécessaire les nombres stœchiométriques et faire intervenir si nécessaire des ions hydrogène H^+ et des molécules d'eau H_2O .
- Vérifier la loi de conservation de la charge en ajoutant des électrons du côté de l'oxydant et en ajustant leur nombre stœchiométrique.

Corrigé détaillé

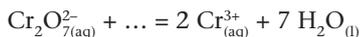
- Placer l'oxydant à gauche, le réducteur à droite :



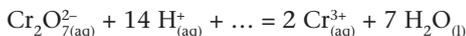
- Assurer la conservation des éléments autres que l'hydrogène et l'oxygène (ici l'élément Cr) :



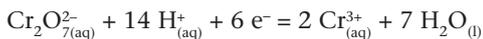
- Assurer la conservation de l'élément O à l'aide de molécules d'eau :



- Assurer la conservation de l'élément H à l'aide d'ions hydrogène :



- Assurer la conservation de la charge à l'aide d'électrons :



Écrire l'équation d'une réaction entre un oxydant et un réducteur

Énoncé

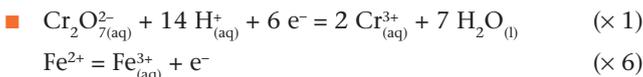
On donne les couples oxydant/réducteur $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}/\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ et $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}/\text{Cr}^{3+}_{(\text{aq})}$.

Écrire l'équation de la réaction qui se produit entre les ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}_{(\text{aq})}$ et les ions $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$.

Savoir-faire

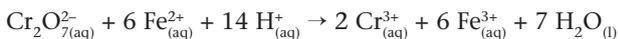
- Écrire les demi-équations électroniques pour chacun des deux couples mis en jeu, dans le sens où les transformations ont lieu.
- Multiplier si nécessaire les demi-équations par un facteur tel que le nombre d'électrons captés par l'oxydant soit égal au nombre d'électrons cédés par le réducteur.
- Sommer les deux demi-équations.

Corrigé détaillé



■ Il faut multiplier la demi-équation du couple $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ par 6 afin que les électrons ne figurent pas dans l'équation de la réaction d'oxydoréduction.

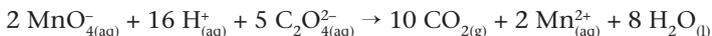
■ D'où :



Prévoir le changement de couleur observé à l'équivalence d'un titrage

Énoncé

On réalise le titrage d'une solution d'oxalate de sodium ($2 \text{Na}^+ + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$) de concentration inconnue par une solution de permanganate de potassium ($\text{K}^+ + \text{MnO}_4^-$). L'équation de la réaction du titrage est donnée :



La seule espèce colorée est l'ion permanganate MnO_4^- : il est violet en solution aqueuse. Expliquer comment l'équivalence sera repérée.

Savoir-faire

- Repérer la solution titrante et la solution titrée.
- Répertoire les espèces chimiques présentes avant l'équivalence en précisant leur couleur.
- Répertoire les espèces chimiques présentes après l'équivalence en précisant leur couleur.

Corrigé détaillé

■ La solution de permanganate de potassium est la solution titrante. Elle se trouve dans la burette graduée et est introduite petit à petit.

La solution d'oxalate d'ammonium est la solution titrée. Elle est dans un bécher (ou dans un erlenmeyer).

■ Avant l'équivalence, dès que l'on introduit dans le bécher la solution de permanganate de potassium, les ions MnO_4^- sont consommés, car ils réagissent avec les ions oxalates. Dans le bécher se trouvent donc des ions sodium Na^+ , des ions oxalate $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, des ions manganèse Mn^{2+} , des ions H^+ , mais ils sont tous incolores.

■ À partir de l'équivalence, les ions permanganate sont en excès, ils donnent une couleur violette à la solution. Il n'y a plus d'ions oxalate dans le bécher.

À l'équivalence, le contenu du bécher passe de l'incolore au violet.

Pour réussir le jour J !

X

Les erreurs à ne pas commettre

● Les lois de conservation des éléments et de la charge électrique doivent être respectées dans une demi-équation électronique.

► Exercice 2

● Les électrons ne doivent jamais apparaître dans l'équation de la réaction.

► Exercice 4

● Ne pas écrire les ions spectateurs dans la réaction de titrage.

► Exercice 5

● À l'équivalence, ne pas écrire systématiquement $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$. En effet, si les nombres stœchiométriques ne sont pas égaux à 1, cette relation n'est pas valable.

► Exercice 10



Un point en + sur la copie

● Donner une expression littérale avant de faire l'application numérique. Employer strictement les notations de l'énoncé, ne pas les changer.

► Exercice 6

● Une mesure n'est jamais parfaite, même si elle est réalisée avec soin. L'écart type σ_{n-1} caractérise la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Plus il est faible, plus les valeurs sont regroupées autour de la moyenne.

► Exercice 9

● L'incertitude type fournit une estimation de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à la grandeur mesurée.

► Exercice 9

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

CORRIGÉS

10 QCM pour réviser le cours

➤ *Corrigés, p. 70*

1 Une espèce chimique capable de céder un ou des électrons est un :

- a. acide. b. oxydant.
 c. réducteur.

2 On considère la demi-équation électronique : $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + \text{e}^- = \text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$.

- a. L'ion fer III est un réducteur.
 b. L'ion fer III est un oxydant.
 c. L'ion fer II est un oxydant.

3 Le couple oxydant/réducteur correspondant à la demi-équation précédente s'écrit :

- a. $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}/\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$. b. $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}/\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})}$.
 c. $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}/\text{Fe}_{(\text{s})}$.

4 La demi-équation d'oxydo-réduction du couple $\text{MnO}^-_{4(\text{aq})}/\text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}$ s'écrit :

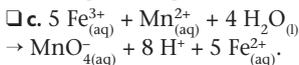
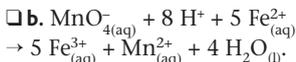
- a. $\text{MnO}^-_{4(\text{aq})} + 2 \text{e}^- = \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})} + 2 \text{O}_{2(\text{g})}$.
 b. $\text{MnO}^-_{4(\text{aq})} + \text{e}^- = \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}$.
 c. $\text{MnO}^-_{4(\text{aq})} + 8 \text{H}^+ + 5 \text{e}^- = \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})} + 4 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$.

5 Lors d'un titrage, on prélève la solution à titrer avec :

- a. une éprouvette graduée.
 b. une burette graduée.
 c. une pipette jaugée.

6 L'équation de la réaction de titrage de la solution d'ions fer II par la solution de permanganate de potassium est :

- a. $\text{MnO}^-_{4(\text{aq})} + \text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}$.



7 Lors de cette réaction :

- a. l'ion permanganate est réduit.
 b. l'ion permanganate est oxydé.
 c. l'ion fer II est oxydé.

8 Avant l'équivalence :

- a. l'ion fer II est le réactif limitant.
 b. l'ion permanganate est le réactif limitant.
 c. les deux réactifs sont limitants.

9 La relation à l'équivalence entre la quantité de matière initiale d'ions fer II et la quantité de matière d'ions permanganate est :

- a. $n_{\text{i}}(\text{Fe}^{2+}) = n_{\text{E}}(\text{MnO}^-_4)$.
 b. $n_{\text{i}}(\text{Fe}^{2+}) \times 5 = n_{\text{E}}(\text{MnO}^-_4)$.
 c. $\frac{n_{\text{i}}(\text{Fe}^{2+})}{5} = n_{\text{E}}(\text{MnO}^-_4)$.

10 Les ions permanganate sont de couleur violette, alors que les autres ions sont peu colorés à de telles concentrations. Lors de ce titrage, l'équivalence est repérée lorsque :

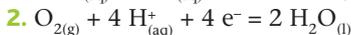
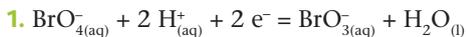
- a. le contenu du bécher passe du violet à l'incolore.
 b. le contenu du bécher passe de l'incolore au violet.
 c. le contenu du bécher passe de l'incolore au jaune.

Exercices

niveau 1 5 min

► *Corrigés, p. 71*

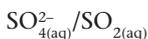
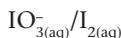
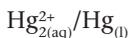
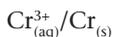
Déterminer les couples oxydant/réducteur mis en jeu dans les demi-équations d'oxydoréduction suivantes :



niveau 1 10 min

► *Corrigés, p. 71*

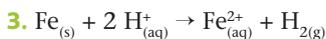
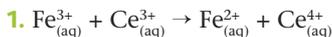
Établir les demi-équations électroniques associées aux couples suivants en milieu acide :



niveau 1 5 min

► *Corrigés, p. 72*

Parmi les réactions suivantes, lesquelles sont des réactions d'oxydo-réduction ? Justifier.



niveau 1 10 min

► *Corrigés, p. 72*

Soient les couples redox : $\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}/\text{Fe}_{(\text{s})}$; $\text{NO}^-_{3(\text{aq})}/\text{NO}_{(\text{g})}$; $\text{H}^+_{(\text{aq})}/\text{H}_{2(\text{g})}$; $\text{O}_{2(\text{g})}/\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$.

Écrire les demi-équations électroniques, puis l'équation de la réaction qui se produit entre :

1. le dioxygène et le dihydrogène. La réaction, explosive dès qu'on approche une allumette, produit de l'eau.

2. le fer métallique et les ions NO_3^- de l'acide nitrique conduisant à un dégagement de monoxyde d'azote $\text{NO}_{(\text{g})}$.

niveau 2 20 min

► *Corrigés*, p. 73

On plonge une lame de zinc dans un bécher contenant un volume $V = 50 \text{ mL}$ d'une solution bleue de sulfate de cuivre II ($\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{SO}_{4(\text{aq})}^{2-}$) de concentration $C = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données :

Masses molaires : $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

L'ion Cu^{2+} est bleu en solution aqueuse, l'ion Zn^{2+} et l'ion sulfate SO_4^{2-} sont incolores. Le cuivre est un métal rouge, le zinc est un métal gris.

1. On observe que la solution se décolore entièrement. Quelle indication peut-on en tirer ?
2. Un dépôt rouge apparaît sur la lame de zinc. Quelle est la nature de ce dépôt ?
3. Écrire l'équation de la réaction qui a lieu entre la lame de zinc et les ions cuivre $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+}$ (les ions sulfate sont spectateurs).
4. Quel est le rôle joué par les ions cuivre dans cette réaction ? Sont-ils oxydés ou réduits ?
5. Préciser les couples oxydant/réducteur mis en jeu dans cette réaction et écrire les demi-équations correspondantes.
6. Quelle est la masse de zinc m_1 qui a été oxydée ?
7. Quelle est la masse du dépôt rouge m_2 qui apparaît ?

CONSEIL

On pourra établir un tableau d'avancement pour répondre aux questions.

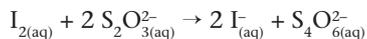
niveau 2 20 min

► *Corrigés*, p. 73

On dispose d'un flacon contenant une solution aqueuse brune de diiode I_2 de concentration inconnue C_0 . On veut doser cette solution par une solution de thiosulfate de sodium ($2 \text{Na}_{(\text{aq})}^+ + \text{S}_2\text{O}_{3(\text{aq})}^{2-}$) de concentration $C = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Protocole : On prélève $V_0 = 10 \text{ mL}$ de la solution de diiode à doser que l'on place dans un bécher de 100 mL muni d'un barreau aimanté. On remplit une burette graduée avec la solution de thiosulfate de sodium que l'on place au-dessus du bécher. On met l'agitation en marche. On ajoute progressivement la solution de thiosulfate de sodium incolore à la solution brune de diiode présente dans le bécher. La couleur de

la solution passe progressivement du brun au jaune pâle. La réaction de dosage est la suivante :



On ajoute alors quelques gouttes d'une solution limpide d'empois d'amidon qui forme avec le peu de diiode restant une espèce chimique de couleur bleue. On termine l'addition progressive de la solution de thiosulfate de sodium jusqu'à disparition complète de la couleur bleue. Cela se produit lorsqu'on a versé un volume total $V_E = 9,2 \text{ mL}$.

1. Quelle verrerie utilise-t-on pour prélever 10 mL de la solution de diiode à doser ?
2. Définir l'équivalence.
3. Faire le schéma annoté du montage nécessaire au dosage.
4. Pourquoi doit-on rincer la burette avec la solution titrante ?
5. Écrire les demi-équations électroniques et les deux couples oxydant/réducteur mis en jeu.
6. Parmi les réactifs, lequel est oxydant ? Lequel est réducteur ?
7. Au début du titrage, lorsqu'on ajoute la solution de thiosulfate de sodium dans le bécher contenant la solution de diiode, quel est le réactif en excès ?
8. Justifier le changement de couleur qui se produit à l'équivalence. Justifier l'utilisation de l'empois d'amidon.
9. Donner le tableau descriptif du système chimique à l'équivalence.
10. En déduire, en fonction de C , V_0 et V_E , la concentration C_0 de diiode I_2 contenue dans la solution à doser.

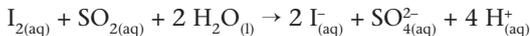
niveau 2 20 min

► *Corrigés, p. 75*

Selon la réglementation européenne, la concentration en masse de dioxyde de soufre dans un vin blanc ne doit pas dépasser $210 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Afin de vérifier si un vin blanc est conforme à la réglementation européenne, un laboratoire départemental d'analyse doit déterminer la concentration de dioxyde de soufre $\text{SO}_{2(\text{aq})}$ dans un vin blanc. Un technicien dose ce dernier à l'aide d'une solution aqueuse de diiode aqueux $\text{I}_{2(\text{aq})}$. Pour cela, il introduit dans un erlenmeyer un volume $V_1 = 20,0 \text{ mL}$ de vin blanc limpide très peu coloré, 4 mL d'acide sulfurique incolore et 1 mL d'empois d'amidon également incolore. La solution titrante, de concentration en diiode $C_2 = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, est ensuite ajoutée jusqu'à l'équivalence, repérée par le changement

de couleur du milieu réactionnel. L'équivalence est obtenue après avoir versé un volume $V_E = 6,28$ mL de solution de diiode.

L'équation support du titrage est :



Données : Masses molaires atomiques

Élément	H	C	O	N	S
Masse molaire atomique (g · mol ⁻¹)	1,00	12,0	16,0	14,0	32,1

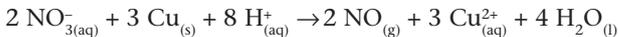
En présence d'empois d'amidon, le diiode donne à une solution aqueuse une teinte bleu foncé. Les ions iodure I^- , les ions sulfate SO_4^{2-} et le dioxyde de soufre en solution sont incolores.

1. Préciser, en justifiant, le changement de couleur qui permet de repérer l'équivalence.
2. Déterminer la concentration molaire C_1 en dioxyde de soufre de ce vin et en déduire que sa concentration massique C_m en dioxyde de soufre est égale à $0,201$ g · L⁻¹.
3. Cette concentration est-elle conforme à la réglementation européenne ? Justifier.

niveau 2 10 min

► Corrigés, p. 76

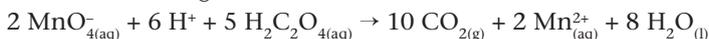
Une eau-forte est une gravure obtenue en dessinant à l'aide d'une pointe en métal sur une plaque de cuivre recouverte d'un vernis protecteur. La plaque est ensuite plongée dans une solution d'acide nitrique ($H^+_{(aq)} + NO_3^-_{(aq)}$) : les parties de cuivre non protégées par le vernis sont alors attaquées. L'équation chimique de la réaction modélisant la transformation est la suivante :



1. Cette transformation chimique est-elle une réaction d'oxydo-réduction ?
2. Parmi les réactifs, identifier l'oxydant et le réducteur.
3. Écrire les couples oxydant/réducteur mis en jeu et les deux demi-équations correspondantes.

La concentration des solutions de permanganate de potassium ($\text{K}^+_{(\text{aq})} + \text{MnO}^-_{4(\text{aq})}$) diminue lentement avec le temps. Afin de contrôler la concentration d'une solution restée quelque temps dans un placard, des élèves prélèvent un volume $V = 10,0$ mL de cette solution, qu'ils dosent avec une solution aqueuse d'acide oxalique $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_{4(\text{aq})}$ de concentration $C_1 = 4,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

La réaction de dosage est la suivante :



Huit groupes d'élèves ont réalisé cette expérience ; leurs résultats sont les suivants :

Groupe	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentration de la solution ($10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	2,46	2,40	2,47	2,41	2,43	2,40	2,45	2,39

Données : On donne les différentes formules intervenant dans la détermination de l'incertitude sur le résultat du mesurage d'un ensemble de n valeurs ($x_1, x_2 \dots x_n$).

$$\text{Écart type : } \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\text{Incertitude type sur la moyenne : } u(\bar{x}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

- Déterminer grâce aux valeurs trouvées par les élèves l'écart type sur la valeur de la concentration de la solution de permanganate de potassium.
- Déterminer l'incertitude type.
- Quel volume équivalent le groupe 3 a-t-il obtenu ? Même question pour le groupe 8.

Le titrage du groupe 3 donne une valeur de concentration plus élevée en ions permanganate MnO^-_4 que les autres. Il est possible d'identifier deux erreurs de manipulations :

- la solution titrante d'acide oxalique a été diluée par mégarde ;
- le volume de solution à doser a été prélevé en trop faible quantité.

4. Indiquer dans quel sens chacune de ces deux erreurs de manipulation modifie la valeur expérimentale du volume V_E de solution titrante versée à l'équivalence. Justifier chaque réponse.

5. Si l'on admet qu'une seule erreur de manipulation est la cause de la valeur élevée de la concentration en ions MnO_4^- , laquelle a été commise ? Justifier votre réponse.

niveau 3

25 min

type BAC

► Corrigés, p. 77

Un engrais pour gazon possède deux actions : il nourrit le gazon pendant plusieurs semaines et limite l'arrivée des mousses. Cet engrais se présente sous forme de granulés et l'étiquette indique :

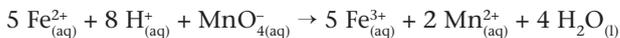
« Pourcentage massique en ions fer (II) : $P = 5,7\%$ »

Afin de vérifier cette indication, un technicien de laboratoire dissout une masse $m = 10,0$ g de ce produit dans une quantité suffisante d'eau pour obtenir $V = 200,0$ mL de solution : soit S_1 la solution ainsi obtenue et C_1 sa concentration en ions fer II.

Dans une burette graduée, il place une solution aqueuse de permanganate de potassium de concentration molaire $C_2 = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Dans un bécher, il introduit à l'aide d'une pipette jaugée un volume $V_1 = 25$ mL de solution S_1 . Il y ajoute 5 mL de solution d'acide sulfurique concentré, puis réalise un titrage précis et observe un changement de couleur après avoir versé un volume de solution de permanganate de potassium $V_E = 12,3$ mL.

L'équation de la transformation mise en jeu dans le dosage par titrage est :



1. Écrire les demi-équations électroniques des deux couples mis en jeu.
2. Quel nom donne-t-on aux ions potassium K^{+} ?
3. Remplir les parties non grisées du tableau descriptif de l'évolution du système ci-dessous.

Équation	$5 \text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+} + 8 \text{H}_{(\text{aq})}^{+} + \text{MnO}_{4(\text{aq})}^{-} \rightarrow 5 \text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+} + 2 \text{Mn}_{(\text{aq})}^{2+} + 4 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$					
État initial (mol)						
Au cours de la transformation (mol)						
État final (mol)						

4. Pourquoi ajoute-t-on de l'acide sulfurique avant de réaliser le titrage ?

5. On utilise ici la technique du dosage colorimétrique : l'équivalence est signalée par un changement de teinte net et facilement détectable. Expliquer comment varie la couleur de la solution à doser.

6. En déduire la relation littérale entre C_1 , V_1 , C_2 et V_E à l'équivalence. Préciser le raisonnement suivi pour obtenir cette relation.

7. Calculer la concentration C_1 en ions fer (II) dans la solution S_1 d'anti-mousse.

8. Déduire la masse m_{fer} en ions fer II dans 200 mL de solution S_1 .

9. Déterminer le pourcentage massique en ions fer II que l'on peut déduire du titrage. On le notera P_{exp} .

Données : $M(\text{Fe}) = 56,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Ions	Coloration de la solution	Ions	Coloration de la solution
Fe^{3+}	Orangé (pâle à cette concentration)	MnO_4^-	Violet
Fe^{2+}	Vert (pâle à cette concentration)	Mn^{2+}	Incolore

4

De l'atome aux molécules

Configuration électronique d'un atome

- Les électrons de l'atome se répartissent dans des couches électroniques désignées par un nombre n . Des lettres minuscules (s, p, \dots) désignent les sous-couches.
- L'ordre de remplissage est le suivant : $1s, 2s, 2p, 3s, 3p, \dots$
- Dans la notation des configurations électroniques des atomes, les électrons du dernier niveau énergétique (n le plus élevé) sont appelés **électrons de valence** ou électrons **externes**.
- Sur la première couche, $n = 1$, il n'y a donc qu'une sous-couche $1s$ (deux électrons possibles) ; sur la deuxième couche, $n = 2$, il y a deux sous-couches : $2s^2$ (deux électrons possibles) et $2p^6$ (six électrons possibles).
- Dans le tableau ci-dessous, les électrons célibataires sont représentés par des points, les doublets d'électrons par des tirets et les électrons de valence sont soulignés.

	C	N	O	H	Cl
Numéro atomique Z	6	7	8	1	17
Configuration électronique	$1s^2$ <u>$2s^2 2p^2$</u>	$1s^2$ <u>$2s^2 2p^3$</u>	$1s^2$ <u>$2s^2 2p^4$</u>	<u>$1s^1$</u>	$1s^2 2s^2 2p^6$ <u>$3s^2 3p^5$</u>
Électrons de valence	4	5	6	1	7
L'atome et ses électrons de valence	$\cdot \underset{\cdot}{\overset{\cdot}{\text{C}}} \cdot$	$ \underset{\cdot}{\overset{\cdot}{\text{N}}}\cdot$	$ \underset{\cdot}{\overset{\cdot}{\text{O}}} $	$\text{H}\cdot$	$ \overset{\cdot}{\text{Cl}}\cdot$

- Les gaz nobles sont particulièrement stables, leur configuration électronique externe est du type $1s^2$ ou $ns^2 np^6$.

	He	Ne	Ar
Numéro atomique Z	2	10	18
Configuration électronique	$1s^2$	$1s^2 2s^2 2p^6$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
Électrons de valence	2	8	8

■ Les autres atomes tendent à acquérir cette stabilité, en essayant d'obtenir la même configuration électronique. Pour cela, ils peuvent former des ions ou établir des liaisons covalentes.

Schéma de Lewis

■ Le schéma de Lewis indique le nombre de doublets liants et non liants.

a. Schéma de Lewis d'un ion

■ Pour un anion, un ou plusieurs électrons s'ajoutent à la configuration électronique de l'atome dans son état fondamental.

Exemple : l'ion chlorure Cl^- possède $7 + 1 = 8$ électrons de valence, soit quatre doublets non liants. Cet ion a ainsi la configuration électronique de l'argon. Son schéma de Lewis est le suivant :



■ Dans le cas d'un cation, un ou plusieurs électrons manquent dans la configuration électronique de l'atome.

Exemple : l'ion hydrogène H^+ a perdu son seul électron. Sa structure électronique est $1s^0$. Il se caractérise par une **lacune électronique** qui est représentée par un rectangle vide. Son schéma de Lewis est :



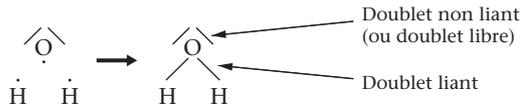
b. Schéma de Lewis d'une molécule

■ Dans une molécule, les ions sont liés par des liaisons covalentes. Une liaison covalente entre deux atomes est la **mise en commun** de deux électrons de valence. Deux cas sont possibles.

■ Cas n° 1 : chaque atome apporte un électron. Les deux électrons forment un **doublet liant** que l'on représente par un **tiret** entre les atomes concernés.

Exemples : le dihydrogène H_2 : $H \cdot H \longrightarrow H-H$

L'eau H_2O :



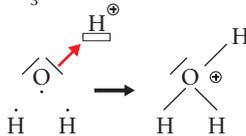
■ Cas n° 2 : les deux électrons proviennent du même atome. L'atome A possède une lacune électronique et l'atome B un doublet non liant : c'est une **liaison dite de coordination** :



L'atome A capte un électron et l'atome B cède un des deux électrons de son doublet non liant. Il en résulte :

- une charge négative sur l'atome A (ou disparition de la charge si A était un ion chargé positivement) ;
- une charge positive sur l'atome B (ou disparition de la charge si B était un ion chargé négativement).

Exemple : l'ion oxonium H_3O^+ :



■ Il existe des liaisons covalentes **doubles ou triples** qui établissent deux ou trois doublets liants entre les atomes.

Exemples : le dioxygène O_2 :



Le diazote N_2 :



■ Au final, dans la plupart des molécules, les atomes établissent des liaisons covalentes de manière à s'entourer de **quatre doublets** (huit électrons externes). Seul l'hydrogène n'établit qu'une liaison pour s'entourer **d'un doublet** (deux électrons).

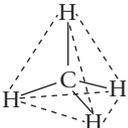
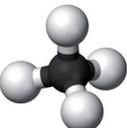
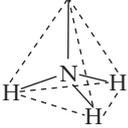
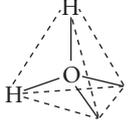
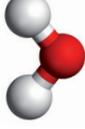
Géométrie des molécules

■ La **répulsion des doublets liants et non liants** définit la géométrie d'une molécule. Les doublets se positionnent dans l'espace de manière à être le plus loin possible les uns des autres pour minimiser cette répulsion.

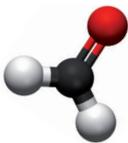
■ Les quatre doublets (liants et non liants) entourant un atome de carbone, d'azote ou d'oxygène impliqué dans des liaisons simples adoptent une **disposition tétraédrique**.

REMARQUE

Dans un tétraèdre, les angles formés par les doublets font environ 109° .

Formule brute	Formule de Lewis	Répartition des doublets	Modèle moléculaire	Forme de la molécule
CH ₄ (méthane)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$			Molécule tétraédrique
NH ₃ (ammoniac)	$\begin{array}{c} \text{H} - \overline{\text{N}} - \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$			Molécule pyramidale
H ₂ O (eau)	$\text{H} - \overline{\text{O}} - \text{H}$			Molécule coudée

■ Un atome de carbone, d'azote ou d'oxygène engagé dans une double liaison possède une **géométrie triangulaire plane**. Un atome de carbone ou d'azote engagé dans une triple liaison possède une **géométrie linéaire**.

Formule brute	Représentation de Lewis	Modèle moléculaire	Forme de la molécule
CH ₂ O (méthanal)	$\begin{array}{c} \overline{\text{O}} \\ \\ \text{H} - \text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$		Molécule triangulaire plane
C ₂ H ₂ (éthyne)	$\text{H} - \text{C} \equiv \text{C} - \text{H}$		Molécule linéaire

Caractère polaire ou apolaire d'une entité

a. Polarité d'une liaison

■ Selon leur configuration électronique, certains atomes capteront plus facilement des électrons que d'autres. Par exemple, l'atome d'oxygène ayant pour configuration $1s^2 2s^2 2p^4$ gagnera facilement deux électrons pour obtenir la configuration électronique d'un gaz noble : $1s^2 2s^2 2p^6$.

■ La facilité des atomes à capter un électron s'appelle l'**électronégativité** ; elle est notée χ .

■ Lorsque deux atomes sont liés chimiquement pour former une molécule, ils mettent en commun deux électrons et établissent alors une **liaison covalente**.

■ Dans le cas de deux atomes identiques, le doublet est partagé et symétrique par rapport à l'axe de liaison. Dans le cas de deux atomes différents, celui qui est le plus électronégatif attire plus fortement le doublet d'électrons. Il acquiert une charge partielle négative δ^- , alors que l'autre acquiert une charge partielle positive δ^+ . Une telle liaison est dite **polarisée**.

Exemple : la liaison O-H est polarisée, car l'atome d'oxygène, plus électronégatif que l'atome d'hydrogène, acquiert une charge partielle δ^- , alors que l'atome d'hydrogène acquiert une charge partielle δ^+ : $\delta^- \text{O}-\text{H}^{\delta^+}$.

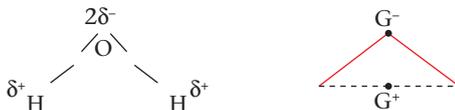
À NOTER

Les atomes les plus électronégatifs sont en haut à droite du tableau périodique des éléments. L'atome le plus électronégatif est l'atome de fluor, suivi de celui de l'oxygène, du chlore et de l'azote.

b. Polarité d'une molécule

■ Une molécule est **polaire** si le centre géométrique des charges partielles négatives G^- ne coïncide pas avec le centre géométrique des charges partielles positives G^+ .

Exemple : la molécule d'eau est polaire.



■ Une molécule est **apolaire** si les centres géométriques des charges partielles positives et négatives coïncident.

Établir le schéma de Lewis d'une molécule

Énoncé

Établir le schéma de Lewis de la molécule de dioxyde de carbone CO_2 .

Le numéro atomique du carbone est $Z = 6$; celui de l'oxygène est $Z = 8$.

Savoir-faire

- Établir la configuration électronique de chaque atome.
- Déterminer le nombre de liaisons covalentes établies par chaque atome.
- Écrire l'enchaînement des atomes avec leurs électrons de valence.
- Appairer les électrons célibataires pour former des liaisons covalentes.
- Vérifier qu'il ne reste aucun électron non apparié, que chaque atome est bien entouré de quatre doublets.

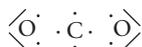
Corrigé détaillé

- La configuration électronique de l'atome de carbone est $1s^2 2s^2 2p^2$.

La configuration électronique de l'atome d'oxygène est $1s^2 2s^2 2p^4$.

- Il manque 4 électrons à un atome de carbone pour qu'il ait la configuration électronique d'un gaz noble avec 8 électrons externes : il établit donc 4 liaisons covalentes. De même, il manque 2 électrons à un atome d'oxygène pour qu'il ait 8 électrons externes : il établit donc 2 liaisons covalentes.

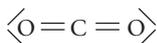
- On représente l'enchaînement des atomes.



- Chaque électron célibataire a vocation à s'associer avec l'électron célibataire d'un atome voisin pour former un doublet liant.



On obtient donc :

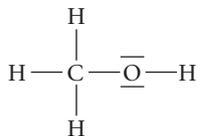


- Il ne reste aucun électron célibataire. Chaque atome est bien entouré de quatre doublets. Il peut aussi être intéressant de vérifier que le nombre total de doublets dans la molécule est égal à celui prévu initialement. On avait $4 + 6 + 6 = 16$ électrons de valence, donc huit doublets à établir. Le dioxyde de carbone compte bien huit doublets (quatre liants et quatre non liants).

Déterminer la géométrie d'une molécule

Énoncé

Déterminer la géométrie de la molécule de méthanol à partir de son schéma de Lewis :

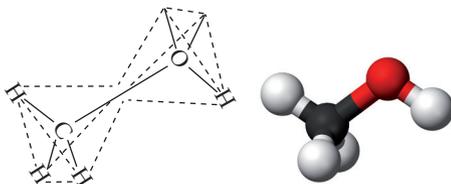


Savoir-faire

- Étudier successivement l'atome de carbone et l'atome d'oxygène.
- Pour chacun de ces atomes, compter le nombre de doublets liants et non liants.
- La géométrie de la molécule est telle que les doublets d'électrons s'écartent au maximum les uns des autres.

Corrigé détaillé

- L'atome de carbone est entouré de quatre doublets non liants. Pour minimiser leurs répulsions, ces doublets adoptent une disposition tétraédrique. La géométrie autour de l'atome de carbone est tétraédrique.
- L'atome d'oxygène est entouré de deux doublets non liants et de deux doublets liants. Pour minimiser leurs répulsions, ces quatre doublets adoptent également une disposition tétraédrique. La géométrie autour de l'atome d'oxygène est coude.



Étudier la polarité d'une molécule

Énoncé

La molécule de dioxyde de carbone est-elle polaire ?

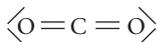
Données : électronégativité du carbone : $\chi(\text{C}) = 2,5$. Électronégativité de l'oxygène : $\chi(\text{O}) = 3,5$.

Savoir-faire

- Connaître ou établir le schéma de Lewis de cette molécule.
- Établir sa géométrie en recherchant le nombre de doublets autour de l'atome central et la disposition qui minimise leur répulsion.
- Comparer l'électronégativité du carbone et de l'oxygène afin de déterminer si la liaison C=O est polarisée.
- Faire un schéma en indiquant les charges partielles apparues.
- Déterminer la position de centre géométrique des charges partielles positives et celle du centre géométrique des charges partielles négatives.

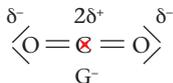
Corrigé détaillé

- Le schéma de Lewis du dioxyde de carbone est (voir méthode 1) :



- L'atome de carbone central n'a pas de doublet non liant et forme deux doubles liaisons, qui s'éloignent au maximum l'une de l'autre. La molécule est donc linéaire.

- L'oxygène est plus électronégatif que le carbone. La liaison C=O est donc polarisée. Chaque atome d'oxygène porte une charge partielle négative δ^- , alors que l'atome de carbone porte une charge partielle positive $2\delta^+$. Le centre géométrique des charges partielles négatives G^- est situé sur l'atome de carbone ; il coïncide avec la charge partielle positive : la molécule n'est donc pas polaire.



Pour réussir le jour J !



Les erreurs à ne pas commettre

- Le numéro atomique donne le nombre de protons. Dans le cas d'un atome, il renseigne aussi sur le nombre d'électrons, car un atome est électriquement neutre. Dans le cas d'un ion par contre, le nombre d'électrons est différent du numéro atomique.
- Une charge partielle négative correspond à un excès d'électrons, une charge partielle positive à un défaut d'électrons.
- Ne pas oublier de tenir compte des doublets non liants pour déterminer la géométrie d'une molécule.



Un point en + sur la copie

- Les atomes de carbone et d'hydrogène ayant des électronégativités voisines, la liaison carbone-hydrogène est considérée comme étant non polarisée. Par conséquent, les molécules organiques constituées uniquement de carbone et d'hydrogène sont apolaires. C'est le cas du cyclohexane, un solvant de formule brute C_6H_{12} .
- Pour déterminer si une molécule est polaire ou pas, il faut tenir compte de sa géométrie. Il est conseillé de s'aider d'un schéma. Cependant, dans le cas de molécules organiques constituées de plusieurs atomes de carbone, la géométrie est complexe, ce qui rend difficile l'étude des charges partielles. Dans ce cas, nous considérerons que si cette molécule comporte au moins un atome très électronégatif (F, O, Cl, N), elle est polaire. C'est le cas de l'éthanol C_2H_6O .
- Utiliser un vocabulaire scientifique et rigoureux. Utiliser par exemple le terme de « doublets » pour les électrons associés par paire. Connaître le vocabulaire qui décrit la géométrie d'une molécule : tétraédrique, pyramidale, coudée, triangulaire plane, linéaire.

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 93

1 L'atome de carbone ($Z = 6$) a pour configuration électronique dans l'état fondamental :

- a. $1s^2 2p^4$
- b. $1s^2 2s^2 2p^2$
- c. $1s^2 2s^2 3s^2$

2 L'atome de carbone possède :

- a. deux électrons de valence.
- b. quatre électrons de valence.
- c. six électrons de valence.

3 L'atome de carbone peut former :

- a. une liaison covalente.
- b. deux liaisons covalentes.
- c. quatre liaisons covalentes.

4 L'atome de carbone possède :

- a. aucun doublet non liant.
- b. un doublet non liant.
- c. deux doublets non liants.

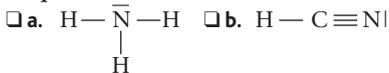
5 Le schéma de Lewis de la molécule de méthane CH_4 est :

- a. $\text{C}-\text{H}-\text{H}-\text{H}-\text{H}$
- b. $\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$
- c. $\begin{array}{c} |\text{H}| \\ | \\ |\text{H}-\text{C}-\text{H}| \\ | \\ |\text{H}| \end{array}$

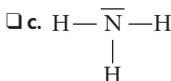
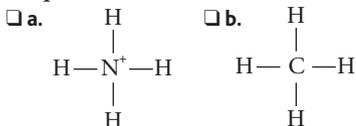
6 La molécule de méthane est :

- a. coudée.
- b. tétraédrique.
- c. pyramidale.

7 Parmi les molécules suivantes, lesquelles sont coudées ?



8 Parmi les molécules suivantes, lesquelles ont une géométrie tétraédrique ?



9 Deux atomes A et B sont liés par une liaison covalente. L'atome A est plus électronégatif que l'atome B.

- a. L'atome A attire davantage à lui les électrons de la double liaison.
- b. L'atome A possède un excès de charges positives.
- c. La liaison A-B est polarisée.

10 Le soufre est plus électronégatif que l'hydrogène. La molécule de sulfure d'hydrogène H_2S ci-dessous :



- a. est polaire.
- b. est apolaire.
- c. possède des liaisons polarisées.

Exercices

Données valables pour tous les exercices :

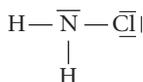
Numéros atomiques : azote N, $Z = 7$; carbone C, $Z = 6$; chlore Cl, $Z = 17$; hydrogène H, $Z = 1$; oxygène O, $Z = 8$; sodium Na, $Z = 11$; soufre S, $Z = 16$.

niveau 1 5 min

Corrigés p. 94

Dans les piscines, la réaction entre le chlore et l'ammoniac produit des chloramines, toxiques et néfastes pour la santé des baigneurs. La monochloramine a pour formule brute CH_2Cl .

1. Écrire la configuration électronique des atomes d'hydrogène, d'azote et de chlore.
2. Interpréter le schéma de Lewis de la molécule de monochloramine.



3. Déterminer la géométrie de cette molécule.

niveau 1 5 min

Corrigés p. 94

Établir le schéma de Lewis des molécules NH_3 , N_2 et HCl .

niveau 2 10 min

Corrigés p. 95

Établir le schéma de Lewis :

- a.** de l'ion sodium Na^+ ; **b.** de l'ion ammonium NH_4^+ ; **c.** de l'ion hydroxyde OH^- .

Dans le cas d'un ion polyatomique, indiquer l'atome qui porte la charge électrique.

DÉFINITION

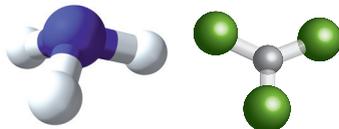
Un ion polyatomique est un ion composé de plusieurs atomes liés par des liaisons covalentes.

niveau 1 10 min

Corrigés p. 96

1. Ranger par polarisation croissante les liaisons suivantes : $\text{H}-\text{C}$, $\text{H}-\text{Cl}$, $\text{H}-\text{N}$, $\text{N}-\text{N}$, $\text{B}-\text{Cl}$.
2. Faire apparaître les charges excédentaires positives ou négatives sur les atomes correspondants.

3. Les modèles moléculaires de NH_3 et BCl_3 sont donnés ci-dessous. Justifier que la molécule d'ammoniac est polaire, alors que la molécule de trichlorure de bore ne l'est pas.



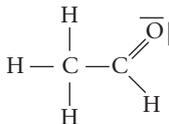
Données :

	C	N	H	Cl	B
Électronégativité χ	2,5	3,0	2,2	3,2	2,0

niveau 2 5 min

Corrigés p. 97

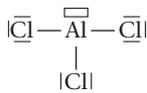
L'éthanal est une espèce chimique d'odeur fruitée, de formule brute $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$. Son schéma de Lewis est donné ci-dessous. Donner la forme géométrique de la disposition des atomes environnant chaque atome de carbone.



niveau 3 10 min

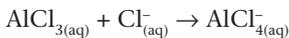
Corrigés p. 97

Les éléments aluminium Al ($Z = 13$) et chlore Cl ($Z = 17$) conduisent à la formation du trichlorure d'aluminium AlCl_3 et de l'ion AlCl_4^- .



1. Donner la configuration électronique de ces deux atomes et en déduire le nombre d'électrons de valence.
2. Expliquer la formation des liaisons dans AlCl_3 .
3. Déterminer la géométrie de cette molécule et donner la valeur des angles des liaisons.

4. En solution aqueuse, en présence d'ions Cl^- , AlCl_3 donne des ions AlCl_4^- selon la réaction :



Expliquer la formation de l'ion AlCl_4^- . Donner son schéma de Lewis et sa géométrie en précisant la valeur des angles des liaisons.

5. Quel atome porte la charge négative ? Expliquer.

niveau 3 15 min

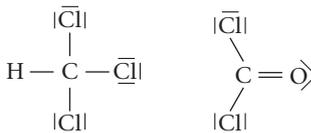
type BAC

Corrigés p. 98

Le chloroforme CHCl_3 est un solvant qui était jadis utilisé comme anesthésique. Dans les conditions normales d'utilisation, le chloroforme est une substance stable. Cependant, exposé à la lumière naturelle en présence d'air, il se décompose lentement. Sa dégradation (due à la lumière) en présence de dioxygène produit du phosgène $\text{COCl}_{2(\text{g})}$ et du chlorure d'hydrogène $\text{HCl}_{(\text{g})}$.

1. Quels sont les réactifs et les produits de cette réaction chimique ?
2. Écrire l'équation de la réaction et ajuster les nombres stoechiométriques.

On donne le schéma de Lewis du chloroforme et du phosgène ci-dessous.



3. Établir le schéma de Lewis des molécules de dioxygène et de chlorure d'hydrogène, puis justifier le schéma de Lewis des molécules de chloroforme et de phosgène.
4. Donner la géométrie de ces quatre molécules.
5. Pourquoi qualifie-t-on cette réaction de « transformation photochimique » ?

5

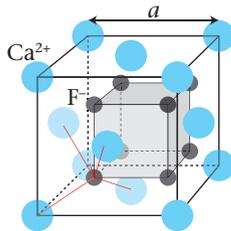
Cohésion, dissolution, extraction

Cohésion des solides

a. Cas des solides ioniques

■ Un solide ionique est un **assemblage régulier d'anions et de cations**. Un cation est entouré d'anions et réciproquement un anion est entouré de cations. Un solide ionique est électriquement neutre.

Exemple : $\text{CaF}_{2(s)}$



À NOTER

Dans un solide ionique, il y a autant de charges positives que négatives. Par conséquent, certains solides ioniques possèdent plus d'anions que de cations (ou inversement).

■ La cohésion d'un solide ionique est assurée par des **interactions électrostatiques** entre anions et cations.

b. Cas des solides moléculaires

■ La cohésion des liquides et des solides moléculaires est assurée par deux types d'interactions intermoléculaires : les interactions de van der Waals et les ponts hydrogène.

■ Les **interactions de van der Waals** sont des interactions faibles de nature électrostatique qui s'exercent entre des molécules, qu'elles soient polaires ou non.

Exemples :

La molécule H-I est polaire. Les charges électriques portées par les atomes permettent l'établissement d'interactions de van der Waals.

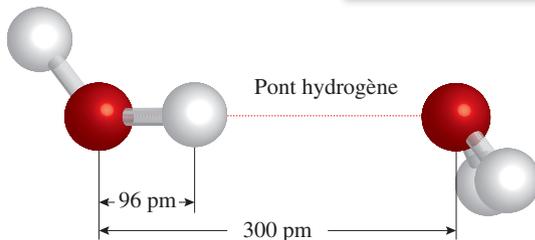
Le diiode I-I est apolaire « en moyenne » : pourtant, à cause du mouvement désordonné des électrons, des charges partielles peuvent apparaître sur les

atomes. Ces charges varient sans cesse, mais elles permettent néanmoins à une molécule d'interagir avec une molécule voisine.

■ Les **ponts hydrogène** s'établissent entre un atome d'hydrogène lié par liaison covalente à un atome très électronégatif (F, O, N) et un autre atome, lui aussi électronégatif, possédant au moins un doublet non liant.

À NOTER

Un pont hydrogène est noté en pointillé et les trois atomes concernés sont alignés. Un pont hydrogène est plus fort qu'une liaison de van der Waals.



Représentation d'un pont ou liaison hydrogène

■ Par exemple, le pont hydrogène est la force principale qui unit les molécules d'eau entre elles à l'état solide ou liquide. L'atome H d'une molécule (portant une charge δ^+) subit une forte attraction de la part de l'atome O d'une molécule voisine (portant une charge δ^-).

L'INFO EN PLUS

Ce sont des ponts hydrogène qui assurent la structure en double hélice de l'ADN.

Dissolution d'un solide ionique

a. Dissolution d'un solide ionique

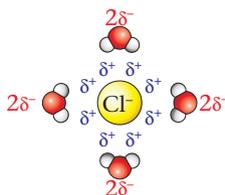
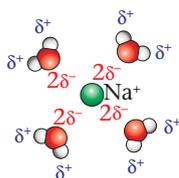
■ Dans un solvant polaire, des **interactions électrostatiques** apparaissent entre les molécules de solvant et le solide ionique. La structure ionique est fragilisée, les ions du solide se séparent. Cette étape est la **dissociation**.

■ Les ions en solution s'entourent de molécules de solvant. On parle de **solvatation** (ou d'hydratation si le solvant est l'eau).

■ Enfin, il y a **dispersion** des ions solvatés dans la solution.

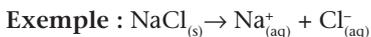
ATTENTION

Selon le signe des charges portées par l'ion en solution, l'orientation des molécules de solvant est différente.



Ions Na^+ et Cl^- en solution dans l'eau et dispositions des charges

■ Au cours d'une dissolution, il y a conservation des éléments chimiques et des charges électriques. La réaction associée à la dissolution d'un solide ionique dans l'eau est modélisée par une **équation**.



On obtient une solution aqueuse **électriquement neutre** de chlorure de sodium. Les ions hydratés sont notés avec le qualificatif « aq » (aqueux).

■ Un solide ionique ne se dissout pas dans un solvant apolaire.

À NOTER

Il existe des solides ioniques insolubles dans l'eau. Chez eux, l'attraction entre l'anion et le cation est trop forte pour que les molécules d'eau parviennent à les séparer (exemple : $\text{AgCl}_{(s)}$).

b. Concentration en quantité de matière

■ La **concentration en quantité de matière** en soluté A d'une solution se note $c(\text{A})$ et se réfère à ce qui a été introduit.

$$c(\text{A}) = \frac{n(\text{A})}{V}$$

avec $c(\text{A})$ la **concentration en quantité de matière** ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), $n(\text{A})$ la **quantité de matière** de soluté dissous (mol) et V le volume de la solution (L).

■ Les **solutions ioniques** ne contiennent plus le soluté A, mais des ions apparus lors de la dissolution. La **concentration en quantité de matière d'un ion X** en solution est notée $[\text{X}]$ et est donnée par la relation :

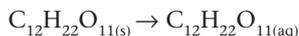
$$[\text{X}] = \frac{n(\text{X})}{V}$$

avec $[\text{X}]$ la concentration en quantité de matière de l'ion X ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), $n(\text{X})$ la quantité de matière de l'ion (mol) et V le volume de la solution (L).

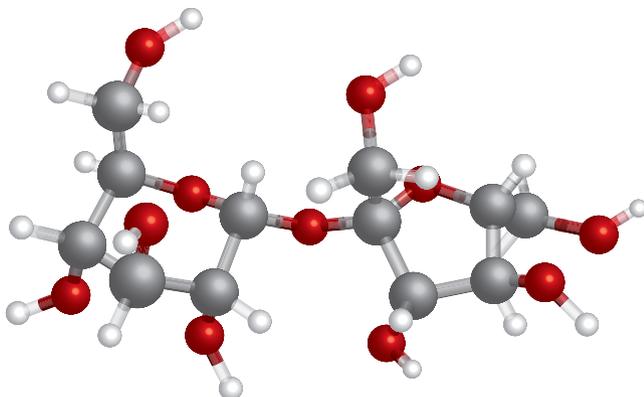
Dissolution d'un composé moléculaire

- Plus les molécules d'un soluté peuvent donner d'interactions avec celles d'un solvant et plus grande sera leur **solubilité** dans ce solvant.
- Un composé moléculaire constitué de molécules polaires est soluble dans un solvant polaire, d'autant plus si des ponts hydrogène peuvent s'établir entre le solvant et le soluté.

Exemple : Dissolution du saccharose dans l'eau



La molécule de saccharose est une molécule polaire du fait de la présence de plusieurs liaisons polarisées C-O et O-H.



Molécule de saccharose

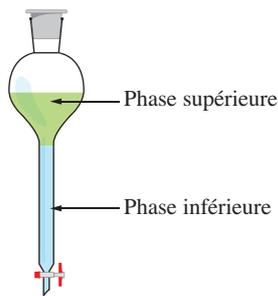
- Un composé moléculaire constitué de molécules apolaires est soluble dans un solvant apolaire.

Extraction par un solvant

- L'extraction d'une espèce chimique consiste à séparer une espèce chimique d'une phase solide ou liquide par solubilisation dans un solvant.
- L'**extraction directe** consiste à mélanger un produit naturel (pétales de rose, écorces d'orange...) à un solvant dans lequel l'espèce chimique que l'on souhaite recueillir est très soluble. Le solvant contenant l'espèce chimique extraite peut ensuite être récupéré par filtration.

■ L'**extraction liquide-liquide** consiste à transférer une espèce chimique en solution aqueuse ou mélangée à de l'eau vers un autre solvant.

■ En laboratoire, l'extraction liquide-liquide s'effectue au moyen d'une **ampoule à décantier**, dans laquelle on observe deux phases : une phase aqueuse et une phase organique. La phase supérieure est celle qui a la densité la plus faible.



Ampoule à décantier

Tensioactifs

a. Caractéristiques d'un tensioactif

■ Un tensioactif est composé de deux parties :

- une « tête » polaire constituée d'une extrémité ionique **hydrophile** qui va établir des **ponts hydrogène** avec les molécules d'eau ;
- une « queue » apolaire constituée d'une longue chaîne carbonée **hydrophobe** et **lipophile**, qui va établir des **liaisons de van der Waals** avec les corps gras.

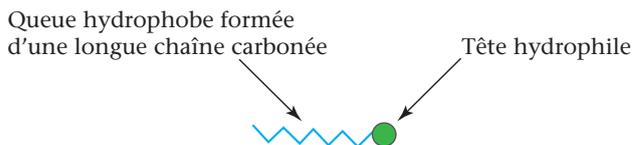
■ Ainsi, un tensioactif est une espèce chimique dite **amphiphile**, car elle possède une partie hydrophobe et une autre hydrophile.

DÉFINITIONS

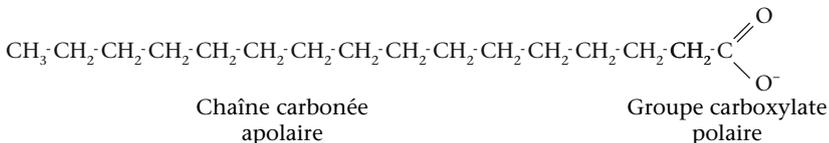
Hydrophile : qui a une affinité pour l'eau.

Hydrophobe : qui repousse l'eau.

Lipophile : qui a une affinité pour les corps gras (lipides).

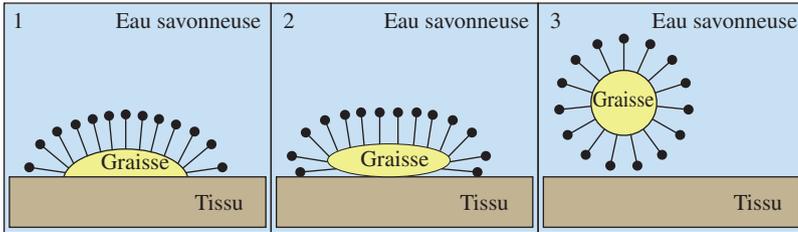


Exemple : ion palmitate



b. Propriétés lavantes du savon

■ Le savon est un tensioactif. En présence de graisses constituant la « saleté » du linge, la partie hydrophobe du savon s'enfonce dans la tache de graisse (1). Le corps gras est décollé du tissu (2), puis se retrouve piégé à l'intérieur de micelles qui se dispersent dans l'eau (3).



Action du savon sur une tache de graisse

c. Stabilisation des émulsions

■ Une **émulsion** est un mélange hétérogène formé de gouttelettes d'eau et d'huile qui sont des liquides normalement non **miscibles**. Afin de stabiliser les émulsions, il faut leur ajouter des molécules tensioactives qui vont former des micelles d'huile dans un milieu aqueux (mayonnaise) ou d'air dans un milieu aqueux (blancs en neige).

RAPPEL

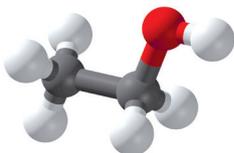
Deux liquides sont miscibles s'ils forment un mélange homogène. Deux liquides ne sont pas miscibles s'ils forment un mélange hétérogène.

■ Le battage énergétique de blancs d'œufs avec un fouet produit une mousse qui devient de plus en plus compacte. Le fouet fait entrer de l'air dans le blanc d'œuf liquide et les protéines du blanc d'œuf jouent le rôle de molécules tensioactives qui piègent les bulles d'air. Cette incorporation d'air fait augmenter le volume du mélange appelé « blancs en neige ».

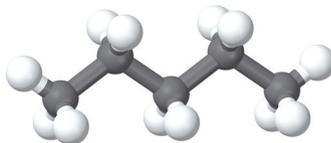
Expliquer la miscibilité de deux solvants en étudiant leur polarité

Énoncé

L'éthanol et le pentane sont des solvants couramment utilisés en laboratoire.



Éthanol



Pentane

Justifier la grande miscibilité de l'éthanol et de l'eau (l'éthanol est miscible à l'eau en toutes proportions) et la très faible miscibilité du pentane et de l'eau.

Données : électronégativités : $\chi(\text{O}) = 3,5$; $\chi(\text{H}) = 2,1$; $\chi(\text{C}) = 2,5$.

Savoir-faire

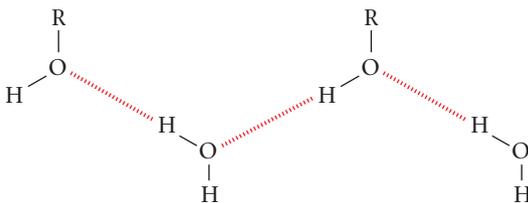
- Identifier les liaisons polarisées dans la molécule d'éthanol.
- Compte tenu de sa géométrie, déterminer si la molécule d'éthanol est polaire ou apolaire.
- Rechercher si des interactions peuvent s'établir entre l'éthanol et l'eau.
- Procéder de même avec la molécule de pentane.

Corrigé détaillé

- Les électronégativités des éléments C et H étant proches, les liaisons C-H sont peu polarisées. En revanche, comme l'atome d'oxygène est plus électronégatif que l'atome d'hydrogène et plus électronégatif que l'atome de carbone, les liaisons C-O et O-H sont polarisées.
- De par sa géométrie et la répartition des charges partielles, la molécule d'éthanol est polaire.
- L'eau étant également un solvant polaire, ces deux solvants sont miscibles : des interactions de van der Waals s'établissent entre les molécules d'eau et les molécules d'éthanol. Du fait de la présence du groupe -OH, l'éthanol s'associe également avec l'eau par des ponts hydrogène.

RAPPEL

Les ponts hydrogène s'établissent entre un atome d'hydrogène lié à un atome fortement électronégatif (F, S, O) et un autre atome possédant un doublet non liant (comme l'oxygène).



Ponts hydrogène (pointillés rouges) entre les molécules d'eau et d'éthanol

R représente la chaîne carbonée de l'éthanol ($R = \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-}$).

■ Le pentane est un solvant dont les molécules ne comportent que des atomes de carbone et d'hydrogène. Comme les liaisons C-H sont très peu polarisées, le pentane est un solvant apolaire. Il est donc faiblement miscible avec l'eau, solvant polaire.

Calculer des concentrations en quantité de matière d'ions en solution

Énoncé

On prépare un volume $V = 500 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse en dissolvant 10 g de sulfate de fer III, un solide ionique de formule $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

Déterminer les concentrations en quantité de matière des ions Fe^{3+} et SO_4^{2-} dans cette solution.

Donnée : $M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 400 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Savoir-faire

- Calculer la quantité $n(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)$ de sulfate de fer dissous.
- Écrire l'équation de dissolution du sulfate de fer dans l'eau.
- Réaliser un tableau d'avancement et exprimer x_{max} .
- En déduire les concentrations en quantité de matière des ions en solution $[\text{Fe}^{3+}]$ et $[\text{SO}_4^{2-}]$.

Corrigé détaillé

■ La quantité de sulfate de fer dissous est :

$$n(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)}{M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)} = \frac{10}{400} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

■ Le sulfate de fer III libère des ions fer III et des ions sulfate dont les formules sont données. L'équation associée à la dissolution de ce solide ionique dans l'eau doit respecter la conservation des éléments chimiques et la neutralité électrique de la solution :



■ La conservation des éléments lors de la dissolution d'un solide ionique se traduit par le tableau d'avancement suivant :

		$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(\text{s}) \rightarrow 2\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + 3\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$		
	Avancement (mol)	Quantité de matière (mol)		
État initial	0	$2,5 \times 10^{-2}$	0	0
En cours de transformation	x	$2,5 \times 10^{-2} - x$	$2x$	$3x$
État final	x_{max}	$2,5 \times 10^{-2} - x_{\text{max}}$	$2x_{\text{max}}$	$3x$

À l'état final, le solide a été entièrement dissous.

On a donc : $2,5 \times 10^{-2} - x_{\text{max}} = 0$, soit $x_{\text{max}} = 2,5 \times 10^{-2}$ mol.

$$[\text{Fe}^{3+}] = \frac{2x_{\text{max}}}{V} = \frac{2 \times 2,5 \times 10^{-2}}{0,500} = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = \frac{3x_{\text{max}}}{V} = \frac{3 \times 2,5 \times 10^{-2}}{0,500} = 0,15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

La concentration en quantité de matière de cette solution est :

$$c = \frac{n(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)}{V}, \text{ soit } c = \frac{2,5 \times 10^{-2}}{0,500} = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

On a donc :

$$[\text{Fe}^{3+}] = 2 \times c \text{ et } [\text{SO}_4^{2-}] = 3 \times c.$$

Ce qui est cohérent avec les nombres stœchiométriques de l'équation de dissolution.

Interpréter un protocole d'extraction liquide-liquide

Énoncé

La Bétadine est un antiseptique qui contient notamment du diiode I_2 . Cette espèce chimique colore la solution en jaune brun. Pour extraire le diiode présent dans la Bétadine (en solution aqueuse), un élève a le choix entre différents solvants : il choisit le cyclohexane. Il introduit 10 mL de Bétadine et 10 mL de cyclohexane dans une ampoule à décanter, qu'il agite en dégazant fréquemment, puis qu'il laisse reposer. Il observe alors deux phases dans l'ampoule à décanter : il élimine la phase inférieure et récupère la phase supérieure.

Justifier toutes les étapes du protocole (choix du solvant d'extraction, agitation vigoureuse de l'ampoule à décanter, dégazage et récupération de la phase supérieure).

Données :

	Solubilité du diiode ($g \cdot L^{-1}$)	Masse volumique ($g \cdot mL^{-1}$)	Miscibilité avec l'eau	
Eau	0,33	1,0		
Éthanol	170	0,79	Oui	
Tétrachlorométhane	33	1,59	Non	
Cyclohexane	28	0,78	Non	

Savoir-faire

- Donner les conditions que doit remplir un solvant d'extraction.
- Repérer dans le tableau les données sur la solubilité du diiode, la miscibilité des solvants et leur dangerosité.
- En déduire que le cyclohexane est le solvant le plus adapté.
- Expliquer pourquoi on agite l'ampoule à décanter.
- Comparer la masse volumique des solvants.
- Déterminer la composition des phases inférieure et supérieure.

Corrigé détaillé

■ Le solvant d'extraction ne doit pas être miscible avec le solvant initial (l'eau, car la Bétadine est une solution aqueuse) afin de pouvoir constituer deux phases distinctes et facilement séparables. L'éthanol n'est donc pas adapté.

■ L'espèce chimique à extraire doit être beaucoup plus soluble dans le solvant d'extraction que dans l'eau. C'est le cas pour le cyclohexane ($28 > 0,33 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) et le tétrachlorométhane ($33 > 0,33 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$).

Le moins dangereux des deux est le cyclohexane, qui ne présente pas le pictogramme à tête de mort qui signifie « toxique, poison ».

■ L'agitation facilite le passage du diiode de l'eau au cyclohexane, le diiode va migrer dans la phase organique. La phase aqueuse devient incolore et la phase organique devient colorée.

Ouvrir de temps en temps le robinet (ampoule retournée) permet aux éventuels gaz présents dans l'ampoule de s'échapper afin d'éviter une surpression.

■ Le cyclohexane constitue la phase supérieure, car sa masse volumique est inférieure à celle de l'eau. C'est la phase organique, celle que l'on veut récupérer. Pour cela, on fait couler dans un bécher la phase inférieure (aqueuse).

■ Dans un second bécher, on récupère la phase organique qui contient le cyclohexane et le diiode en solution.

Pour réussir le jour J !

X

Les erreurs à ne pas commettre

- Le solvant ne figure pas dans une équation de dissolution.
▶ *Exercice 2*
- On utilise « solubilité » pour parler d'un soluté qui se dissout dans un solvant et « miscibilité » pour deux liquides qui peuvent se mélanger.
▶ *Exercice 11*
- Lorsqu'un solide est hydraté, il faut prendre en compte l'eau dans le calcul de la masse molaire.
▶ *Exercice 12*



Un point en + sur la copie

- La solubilité, souvent exprimée en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, est la masse maximale d'une espèce chimique dissoute dans un litre de solvant, à une température donnée.
▶ *Exercice 11*
- Penser à écrire les résultats en notation scientifique sous la forme $a \times 10^n$ avec $1 \leq a < 10$ et n entier. La notation scientifique est la plus appropriée pour donner le nombre de chiffres significatifs.
▶ *Exercice 13*
- Pour évaluer la position des phases dans une ampoule à décanter, il faut se baser uniquement sur la masse volumique du solvant.
▶ *Exercice 7*
- On utilise le plus souvent la notation entre crochets pour désigner la concentration molaire d'un ion en solution : $[\text{Na}^+]$ par exemple. Cependant, on trouve parfois la notation $C(\text{Na}^+)$.
▶ *Exercice 3*

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 120

1 Un cristal ionique constitué d'ions Na^+ et O^{2-} a pour formule :

- a. NaO . b. Na_2O .
 c. NaO_2 .

2 Il existe une force répulsive entre :

- a. un anion et un cation.
 b. deux cations.
 c. deux anions.

3 L'énergie mise en jeu dans les interactions de van der Waals est :

- a. très inférieure à l'énergie rencontrée dans les cristaux ioniques.
 b. très inférieure à l'énergie des liaisons hydrogène.
 c. très inférieure à l'énergie des liaisons covalentes.

4 Dans le naphthalène, solide de formule C_{10}H_8 , la cohésion est assurée par :

- a. des interactions de van der Waals.
 b. des interactions électrostatiques.
 c. des liaisons hydrogène.

5 L'équation de la réaction de dissolution du sulfate de sodium $\text{Na}_2\text{SO}_{4(s)}$ dans l'eau s'écrit :

- a. $\text{Na}_2\text{SO}_{4(s)} \rightarrow \text{Na}_{(aq)}^+ + \text{SO}_{4(aq)}^{2-}$.
 b. $\text{Na}_2\text{SO}_{4(s)} \rightarrow 2 \text{Na}_{(aq)}^+ + \text{SO}_{4(aq)}^{2-}$.
 c. $\text{Na}_2\text{SO}_{4(s)} \rightarrow \text{Na}_{(aq)}^{2+} + \text{SO}_{4(aq)}^{2-}$.

6 Un volume $V = 100 \text{ mL}$ de solution aqueuse contient $0,100 \text{ mol}$ de

sulfate de sodium. La concentration en quantité de matière de la solution est :

- a. $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
 b. $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
 c. $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1,00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

7 La concentration en quantité de matière des ions sodium dans la solution précédente est :

- a. $[\text{Na}^+] = 0,500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
 b. $[\text{Na}^+] = 1,00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
 c. $[\text{Na}^+] = 2,00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

8 La concentration en quantité de matière des ions sulfate dans la solution précédente est :

- a. $[\text{SO}_4^{2-}] = 0,500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
 b. $[\text{SO}_4^{2-}] = 1,00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
 c. $[\text{SO}_4^{2-}] = 2,00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

9 En solution aqueuse, l'anion sulfate SO_4^{2-} est :

- a. dissocié. b. hydraté.
 c. solvaté.

10 En solution aqueuse, le cation sodium Na^+ est entouré de molécules d'eau.

- a. Des interactions électrostatiques existent entre les molécules d'eau et le cation.
 b. Les molécules d'eau s'organisent de telle sorte que les atomes d'hydrogène soient au plus près du cation.
 c. Les molécules d'eau sont orientées de telle sorte que l'atome d'oxygène soit au plus près du cation.

Exercices

niveau 1 5 min

► *Corrigés, p. 120*

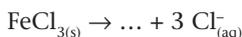
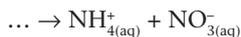
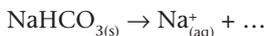
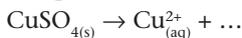
Attribuer à chacun des composés suivants sa température de fusion en justifiant : $-182\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-98\text{ }^{\circ}\text{C}$, $801\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Chlorure de sodium NaCl , méthane CH_4 , méthanol CH_3OH .

niveau 1 5 min

► *Corrigés, p. 121*

Recopier et compléter les équations de dissolution suivantes :



niveau 1 5 min

► *Corrigés, p. 121*

On prépare une solution aqueuse de chlorure de baryum $\text{BaCl}_{2(s)}$ telle que la concentration en quantité de matière des ions chlorure soit $[\text{Cl}^{-}] = 0,050\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

1. Écrire l'équation de dissolution dans l'eau du chlorure de baryum.
2. Que vaut la concentration en quantité de matière des ions baryum dans cette solution ?

niveau 1 10 min

► *Corrigés, p. 121*

Le bromure de potassium est un solide ionique utilisé comme sédatif. On veut préparer un volume $V = 100\text{ mL}$ d'une solution de bromure de potassium de concentration en quantité de matière $c(\text{KBr}) = 7,0 \times 10^{-3}\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données : masses molaires $M(\text{Br}) = 79\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{K}) = 39\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Écrire l'équation associée à la dissolution du bromure de potassium dans l'eau.
2. Calculer la quantité de matière de bromure de potassium à dissoudre.
3. Calculer la masse de bromure de potassium nécessaire pour préparer la solution.

niveau 2 5 min

► Corrigés, p. 122

Le savon de Marseille est composé d'oléate de sodium, de formule $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COONa}$.

Sa représentation schématique est la suivante :



1. Donner l'équation de dissolution du savon dans l'eau, sachant qu'il se forme des ions sodium Na^+ et des ions oléates.
2. Distinguer en couleur la partie hydrophile et la partie hydrophobe de l'ion oléate.
3. Dans une eau savonneuse, les ions oléate se disposent à la surface de l'eau. Au-delà d'une certaine concentration, ils forment également des micelles dans l'eau.
Représenter sur un schéma la disposition des ions oléate à la surface de l'eau.
4. Représenter sur un schéma une micelle.

niveau 2 10 min

► Corrigés, p. 122

Le chlorure de calcium est le deuxième sel le plus utilisé après le chlorure de sodium pour le salage des routes l'hiver. On souhaite préparer un volume $V = 250 \text{ mL}$ d'une solution de chlorure de calcium de concentration $c(\text{CaCl}_2) = 0,10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Donnée : $M(\text{CaCl}_2) = 111 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Calculer la masse de chlorure de calcium à peser.
2. Donner la liste du matériel nécessaire pour préparer cette solution.
3. Écrire l'équation de la réaction de dissolution du sulfate de sodium $\text{CaCl}_{2(s)}$ dans l'eau.
4. Quelle est la concentration en quantité de matière des ions calcium Ca^{2+} dans cette solution ?
5. Quelle est la concentration en quantité de matière des ions chlorure Cl^- dans cette solution ?

niveau 2 10 min

► Corrigés, p. 123

L'eugénol, extrait de l'huile essentielle des clous de girofle, est utilisé dans certains produits des domaines médical et dentaire en raison de ses propriétés antalgique et antiseptique. On souhaite extraire l'eugénol d'une solution aqueuse au moyen d'un solvant.

jus de fruit, vinaigre, jaune d'œuf...) et, pour l'autre, un corps gras (beurre, huile, chocolat...). L'un forme des gouttelettes microscopiques en suspension dans l'autre, grâce à l'action d'un « émulsifiant » ou « tensioactif » (caséine du lait, lécithines du soja, de l'ail, du jaune d'œuf ou de la moutarde...).

1. La mayonnaise étant une émulsion, quel ingrédient joue le rôle du corps gras ? Donner le nom des ingrédients qui constituent la partie aqueuse. Quel ingrédient joue le rôle de tensioactif ?
2. Justifier la nécessité de fouetter le mélange.
3. Comment agissent les molécules tensioactives dans la stabilisation de l'émulsion ?
4. Dessiner une micelle de type « huile dans eau » en plaçant les mots de légende suivants : huile / eau / partie lipophile / partie hydrophile.

niveau 2 5 min

🔗 *Corrigés*, p. 124

Le sérum physiologique est une solution aqueuse de chlorure de sodium. Il est conditionné dans des flacons de volume $V = 5,0$ mL contenant une masse $m = 45$ g de chlorure de sodium.

1. Écrire l'équation de dissolution du chlorure de sodium dans l'eau.
2. Calculer les concentrations en quantité de matière des ions chlorure et sodium.

Données : masses molaires $M(\text{Na}) = 23 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

niveau 3 20 min

type BAC

🔗 *Corrigés*, p. 125

Le thé contient environ 5 % de caféine, mais il contient aussi d'autres substances comme des sucres, des pigments, des graisses... On se propose d'extraire la caféine contenue dans le thé.

Données :

La caféine est un solide blanc dont la température de fusion est de 238 °C. Son extraction se fait en quatre étapes.

Extraction liquide-solide

- Porter à ébullition 20 mL d'eau dans un bécher.
- Dès l'ébullition, retirer le bécher de la plaque chauffante, y introduire 3 g de feuilles de thé et agiter. Filtrer et récupérer le filtrat dans un erlenmeyer.

Extraction liquide-liquide

- Verser le contenu de l'erlenmeyer dans une ampoule à décanter.

- Mesurer 20 mL de dichlorométhane, les ajouter dans l'ampoule, boucher, agiter.
- Poser l'ampoule sur le support, enlever le bouchon et laisser reposer. Récupérer la phase organique.

Élimination du solvant

- Évaporer le dichlorométhane : on obtient un solide légèrement verdâtre (présence d'impuretés, notamment de pigments comme la chlorophylle).

Contrôle du produit

- Mesurer la température de fusion du solide.

	Eau à 25 °C	Eau à 65 °C	Dichlorométhane	Acétone
Solubilité de la caféine	Faible 22 g · L ⁻¹	Importante 455 g · L ⁻¹	Importante 103 g · L ⁻¹	Faible 12 g · L ⁻¹
Densité	1,0	1,0	1,3	0,79
Pictogrammes			 Susceptible de provoquer le cancer	  Très inflammable, provoque une sévère irritation des yeux, risques de somnolence ou de vertiges
Point d'ébullition			40 °C	56 °C
Miscible à l'eau			Non	Oui

1. Pourquoi utilise-t-on de l'eau à 65 °C plutôt qu'à 25 °C pour extraire la caféine du thé ?
2. Quel est le rôle de la filtration ?
3. Pourquoi choisit-on le dichlorométhane pour extraire la caféine d'une solution aqueuse plutôt que l'acétone (deux raisons) ?
4. Pourquoi faut-il agiter l'ampoule à décanter ?
5. Pourquoi faut-il laisser reposer l'ampoule après agitation ? Comment s'appelle cette étape ?
6. Comparer les masses volumiques du dichlorométhane et de l'eau.

7. Réaliser un schéma de l'ampoule à décanter après agitation et décantation en précisant le contenu de chaque phase. Préciser où se trouvent la phase aqueuse et la phase organique et préciser dans quelle phase se trouve la caféine.

8. À quelle température faut-il chauffer pour évaporer le dichlorométhane ?

9. La température de fusion obtenue pour la caféine extraite du thé est de 241 °C. Proposer une explication quant à la différence observée avec la température de fusion théorique.

niveau 3 20 min

► *Corrigés*, p. 126

Le sel de Mohr est un solide ionique de formule $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$. À partir de ce solide, on souhaite préparer une solution S_1 de volume $V_1 = 100 \text{ mL}$ telle que la concentration en quantité de matière en ions fer soit égale à $5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données : les ions ammonium ont pour formule NH_4^+ et les ions sulfate SO_4^{2-} . $M(\text{Fe}) = 55,8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{S}) = 32,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{N}) = 14,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Dans le sel de Mohr, les ions fer sont-ils sous la forme d'ions Fe^{2+} ou Fe^{3+} ?

2. Écrire l'équation de dissolution du sel de Mohr dans l'eau.

3. Quelle est la relation entre la concentration c_1 en soluté apporté et la concentration en quantité de matière en ions fer ?

4. Calculer la masse molaire du sel de Mohr.

5. Quelle masse de sel de Mohr faut-il dissoudre ?

6. Déterminer la concentration en quantité de matière des ions ammonium et des ions sulfate dans la solution S_1 .

7. On veut préparer, à partir de la solution S_1 , 50,0 mL d'une solution S_2 de sel de Mohr de concentration en quantité de matière en ions fer égale à $1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Décrire précisément le protocole de la dilution à réaliser.

niveau 3 15 min

► *Corrigés*, p. 127

On dispose d'une solution aqueuse notée S_1 de chlorure de sodium de concentration en quantité de matière $c_1 = 3,5 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et d'une solution S_2 de chlorure de magnésium de concentration en quantité de matière $c_2 = 3,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

1. Écrire les équations de dissolution dans l'eau de ces deux solides ioniques.
2. En déduire les concentrations en quantité de matière des ions dans les solutions S_1 et S_2 .

On mélange un volume $V_1 = 100$ mL de la solution S_1 avec un volume $V_2 = 50$ mL de la solution S_2 . Aucune transformation chimique n'a lieu.

3. Calculer la quantité d'ions chlorure $n_1(\text{Cl}^-)$ apportée par la solution S_1 .
4. Calculer la quantité d'ions chlorure $n_2(\text{Cl}^-)$ apportée par la solution S_2 .
5. Calculer la quantité totale d'ions chlorure $n(\text{Cl}^-)$ dans le mélange.
6. En déduire la concentration des ions chlorure dans le mélange.

niveau 3 15 min

🔗 *Corrigés*, p. 128

Le sulfate de zinc est un solide hydraté de formule $\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$; cela signifie que 1 mole de ZnSO_4 est accompagnée de x moles de molécules d'eau.

On prépare un volume $V = 100$ mL d'une solution aqueuse de sulfate de zinc à partir d'une masse $m = 5,00$ g de sulfate de zinc hydraté. Un dosage permet de déterminer la concentration molaire en ions zinc dans la solution obtenue : $[\text{Zn}^{2+}] = 1,75 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données :

Masses molaires : zinc ($65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) ; soufre ($32,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) ; oxygène ($16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) ; hydrogène ($1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$).

1. Écrire l'équation de la dissolution du sulfate de zinc hydraté.
2. Calculer la quantité de matière de sulfate de zinc hydraté dans la solution.
3. En déduire la masse molaire du sulfate de zinc hydraté.
4. Déterminer la valeur de x .

Squelette carboné

- On appelle **chaîne carbonée** ou **squelette carboné** l'enchaînement des atomes de carbone dans une molécule organique.
- Lorsque chaque atome de carbone n'est lié qu'à deux autres atomes de carbone au plus, la chaîne carbonée est **linéaire**.
- Lorsqu'au moins un atome de carbone est lié à plus de deux autres atomes de carbone, la chaîne carbonée est **ramifiée**.
- Une chaîne carbonée **cyclique** se referme sur elle-même.

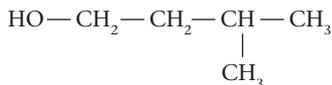
Nomenclature des alcanes

- Les alcanes sont des composés organiques composés uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Tous les atomes de carbone sont liés par des liaisons simples. La formule brute d'un alcane est C_nH_{2n+2} , avec n entier.
- Dans un alcane, la chaîne carbonée est dite **saturée**, car toutes les liaisons C-C sont des liaisons simples.
- Le nom d'un alcane linéaire est constitué d'un préfixe qui dépend de la longueur de sa chaîne, suivi de la terminaison « ane ».

Nombre d'atomes de carbone	1	2	3	4	5	6
Nom de l'alcane linéaire	Méthane	Éthane	Propane	Butane	Pentane	Hexane

- Dans le cas d'un alcane ramifié, la chaîne carbonée la plus longue, appelée **chaîne principale**, donne son nom à l'alcane.
- Les noms des ramifications, pris dans l'ordre alphabétique, précédés de leur numéro de position, sont placés avant le nom de l'alcane. Le numéro de l'atome portant la ramification doit être le plus petit possible.

- Le nom d'un alcool est obtenu en remplaçant le « e » final du nom de l'alcane correspondant par la terminaison « ol », précédée si nécessaire du numéro de l'atome de carbone lié au groupe -OH.



3-méthylbutan-1-ol

- Si l'on numérote la chaîne carbonée en partant de l'atome de carbone de gauche, le groupe méthyle est bien en position 3 et le groupement -OH en première position.
- L'indice de position du groupe caractéristique doit être le plus petit possible. Il est prioritaire sur les indices de position des ramifications.

À NOTER

L'atome de carbone lié au groupement -OH est appelé atome de carbone fonctionnel, car c'est celui qui porte le groupe caractéristique.

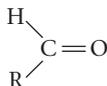
b. Composés carbonylés

- Les **composés carbonylés** sont des composés oxygénés comportant un groupe **carbonyle** :

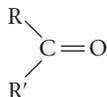


Parmi ces composés, on distingue les aldéhydes et les cétones.

- Un composé carbonylé dont l'atome de carbone fonctionnel est lié à au moins un atome d'hydrogène est un **aldéhyde** de formule générale :



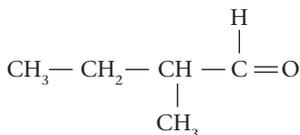
- Un composé carbonylé dont l'atome de carbone fonctionnel n'est lié qu'à des atomes de carbone est une **cétone** de formule générale :



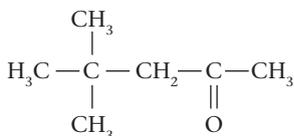
À NOTER

R ou R' représentent des chaînes carbonées.

■ Pour nommer un aldéhyde ou une cétone, on recherche la chaîne carbonée la plus longue comportant l'atome de carbone fonctionnel, on numérote les atomes de carbone afin que l'atome de carbone fonctionnel ait le numéro le plus petit possible et on remplace le « e » final de l'alcane correspondant par la terminaison « al » pour un aldéhyde et « one » pour une cétone.



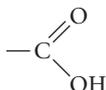
2-méthylbutanal



4,4-diméthylpentan-2-one

c. Acides carboxyliques

Les acides carboxyliques possèdent un **groupe carboxyle** :

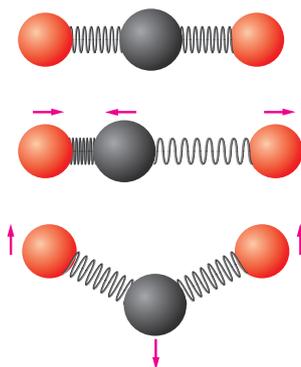


Le nom d'un acide est obtenu en remplaçant le « e » final de l'alcane correspondant par la terminaison « oïque » précédée du mot « acide ».

Spectroscopie infrarouge

a. Principe

- La spectroscopie infrarouge permet de mettre en évidence des liaisons particulières dans des molécules organiques. Son principe est semblable à celui de la spectrophotométrie dans le visible (voir chapitre 1).
- Dans une molécule, les atomes **vibrent** en permanence, ce qui fait varier légèrement et périodiquement la longueur et l'orientation des liaisons.



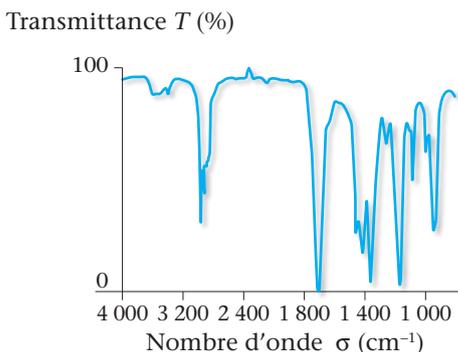
■ Les molécules organiques peuvent absorber des rayonnements infrarouges, ce qui modifie l'état de vibration de la molécule et de leurs liaisons. Des **bandes d'absorption** apparaissent ainsi dans le spectre.

■ Sur un spectre infrarouge, par convention, on porte en abscisse le **nombre d'onde σ** , inverse de la longueur d'onde λ , que l'on exprime généralement en cm^{-1} .

■ En ordonnée figure la **transmittance T** . C'est le rapport entre l'intensité lumineuse transmise par l'échantillon analysé et l'intensité lumineuse du rayonnement incident. Elle est exprimée en pourcentage.

À NOTER

Une transmittance de 100 % signifie qu'il n'y a pas d'absorption. Les bandes d'absorption d'un spectre infrarouge pointent donc vers le bas.



Spectre infrarouge et ses bandes d'absorption

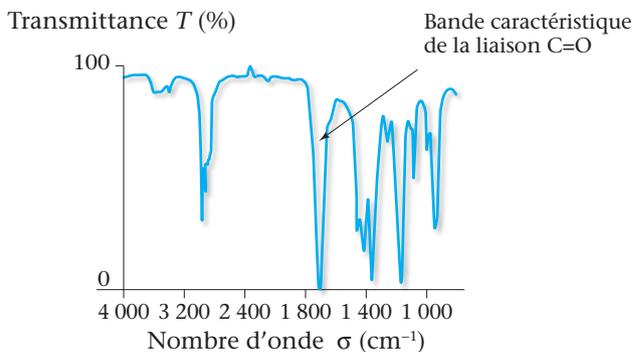
b. Bandes caractéristiques

■ Certains groupes caractéristiques donnent des bandes d'absorption dont la position dépend peu du reste de la molécule. Un spectre infrarouge indique donc leur présence dans une molécule.

À NOTER

Plus la liaison est forte, plus le nombre d'onde d'absorption est élevé.

■ Les bandes exploitables pour déterminer un groupe caractéristique correspondent à des nombres d'onde supérieurs à 1400 cm^{-1} . En dessous, le spectre est plus difficile à exploiter. C'est une zone qui correspond à l'empreinte digitale de l'espèce chimique et qui permet de l'identifier si l'on dispose d'un spectre IR de référence.



Spectre infrarouge de la butan-2-one

■ Dans le spectre de la **butan-2-one**, la bande d'absorption étroite vers 1700 cm^{-1} est caractéristique de la liaison $\text{C}=\text{O}$.

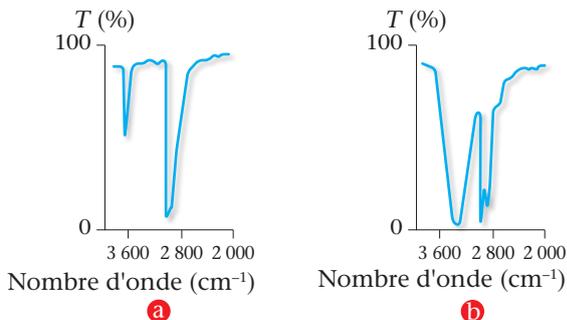
La bande large vers 3000 cm^{-1} est caractéristique de la liaison $\text{C}-\text{H}$.

La liaison $\text{C}-\text{C}$ donne une faible absorption, en général vers 1150 cm^{-1} , dans une région non exploitable du spectre.

c. Pont hydrogène (ou liaison hydrogène)

■ Un pont hydrogène est une interaction électrostatique attractive entre un atome d'hydrogène lié à un atome très électronégatif et un atome très électronégatif porteur d'un doublet non liant (oxygène par exemple).

■ Les ponts hydrogène établis entre deux molécules affaiblissent les liaisons covalentes O-H voisines et conduisent donc à la diminution du nombre d'onde. Ils entraînent également un élargissement de la bande d'absorption.



■ Dans le spectre infrarouge d'un alcool à l'état gazeux (fig. a), on observe une bande d'absorption étroite vers 3 620 cm⁻¹ qui correspond à une liaison O-H dite **libre**. Il n'y a pas de pont hydrogène entre les molécules.

■ Dans le cas d'un alcool à l'état liquide (fig. b), la bande d'absorption correspondant à la liaison O-H (dite **liée**) est large et profonde, entre 3 200 et 3 400 cm⁻¹. Des ponts hydrogène existent entre les molécules.

Table de données pour la spectroscopie infrarouge

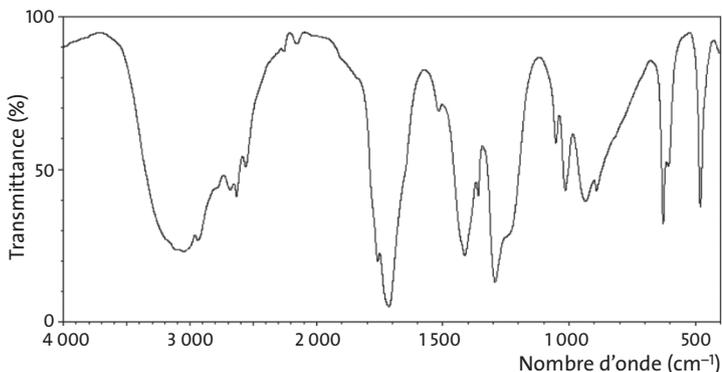
Famille	Liaison	Nombre d'onde (cm ⁻¹)
Cétone	C=O	1 705-1 725
Aldéhyde	C=O	1 720-1 740
	C _{tri} *-H	2 700-2 900
Acide carboxylique	C=O	1 740-1 800
	O-H	2 500-3 200
Alcool	O-H lié	3 200-3 450
	O-H libre	3 600-3 700

* C_{tri} : Carbone trigonal (engagé dans une double liaison)

Exploiter un spectre d'absorption infrarouge

Énoncé

Identifier le groupe caractéristique d'une molécule à partir du spectre infrarouge donné ci-dessous. À quelle famille appartient cette molécule ?



Savoir faire

- Repérer pour chacune des bandes d'absorption supérieure à $1\,400\text{ cm}^{-1}$ le nombre d'onde correspondant.
- Rechercher la liaison correspondant à ce nombre d'onde (voir tableau de données dans le cours).
- En déduire le groupe caractéristique de la molécule analysée.
- Identifier la famille à laquelle appartient la molécule.

Corrigé détaillé

■ D'après les données du tableau, la bande très large vers $3\,000\text{ cm}^{-1}$ correspond à une liaison O-H. La bande étroite vers $1\,700\text{ cm}^{-1}$ correspond à une liaison C=O. La molécule possède donc un groupe caractéristique carboxyle, c'est un acide carboxylique.

Pour réussir le jour J !



Les erreurs à ne pas commettre

● Dans l'écriture d'une formule semi-développée, vérifier que les atomes de carbone sont tous tétravalents (entourés de quatre liaisons).

► Exercice 1

● R- ne désigne pas un atome de la classification périodique. En chimie organique, on note R- un groupe d'atomes de carbone et d'hydrogène.

● Contrairement à la spectroscopie visible (chapitre 1) qui donne l'absorbance, la spectroscopie infrarouge donne la transmittance : une faible valeur de transmittance correspond à une forte absorption. Attention à l'axe des abscisses qui est orienté vers la gauche.

► Exercice 6



Un point en + sur la copie

● On peut distinguer un aldéhyde d'une cétone, car, sur son spectre, apparaissent deux bandes fines d'absorption entre $2\ 900$ et $2\ 700\text{ cm}^{-1}$ dues à la liaison C-H de la fonction aldéhyde qui ne sont pas présentes sur le spectre d'une cétone.

► Exercice 6

● La formule brute d'une molécule indique la nature et le nombre des atomes constituant la molécule. Elle ne donne aucune indication sur la structure de la molécule : chaîne carbonée, groupe fonctionnel.

► Exercice 5

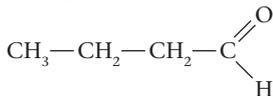
● Lorsqu'il n'y a pas d'ambiguïté sur la position du groupe caractéristique ou d'un substituant, l'indice de position n'est pas précisé. Par exemple, dans le cas de la propanone, le groupement carbonyle ne peut être que le carbone central.

► Exercice 1

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 143

1 Le composé



appartient à la famille des :

- a. aldéhydes.
- b. cétones.
- c. acides carboxyliques.

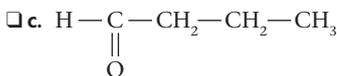
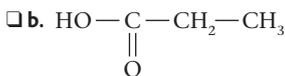
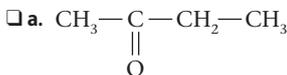
2 La molécule représentée ci-dessus est :

- a. le butanal.
- b. le butanol.
- c. la butanone.

3 Le groupe caractéristique présent dans la molécule de 2-méthylbutan-2-ol est :

- a. le groupe carboxyle.
- b. le groupe hydroxyde.
- c. le groupe hydroxyle.

4 Reconnaître le ou les acides carboxylique(s) parmi les composés suivants :



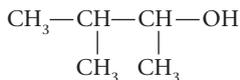
5 Le 3-méthylpentanal comporte :

- a. cinq atomes de carbone.
- b. six atomes de carbone.
- c. huit atomes de carbone.

6 Le groupe caractéristique OH s'appelle le groupe :

- a. carbonyle.
- b. hydroxyde.
- c. hydroxyle.

7 Quel est le nom de cette molécule ?



- a. Le 1,2-diméthylpropan-1-ol.
- b. Le 3-méthylbutan-2-ol.
- c. Le 2-méthylbutan-3-ol.

8 Dans un spectre infrarouge, on porte généralement en ordonnée :

- a. la transmittance.
- b. l'absorbance.
- c. le nombre d'onde.

9 Le nombre d'onde est :

- a. l'opposé de la longueur d'onde.
- b. l'inverse de la longueur d'onde.
- c. s'exprime en cm.

10 Lorsqu'il peut se former des ponts hydrogène, la bande d'absorption de la liaison O-H :

- a. est étroite.
- b. est large.
- c. est déplacée vers des valeurs plus grandes de nombres d'onde.

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

CORRIGÉS

Exercices

niveau 1 5 min

Corrigés p. 143

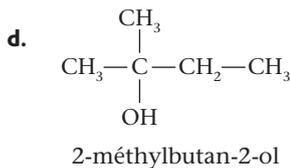
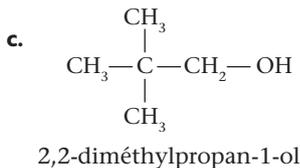
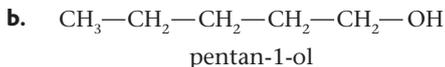
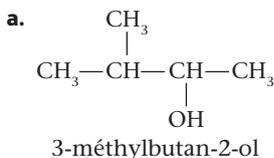
Écrire la formule semi-développée des composés suivants :

- a. 3,3-diméthylbutan-2-one.
 b. méthylpropanal.
 c. acide 3-méthylpentanoïque.
 d. cyclopentanone.

niveau 1 10 min

Corrigés p. 144

1. Justifier le nom de chacun des alcools suivants :

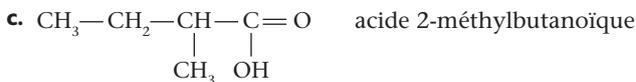
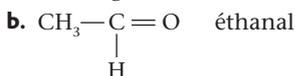
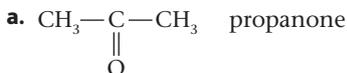


2. Quel est le point commun entre tous ces alcools ?

niveau 1 10 min

Corrigés p. 145

Donner le nom du groupe caractéristique, la famille correspondante et justifier le nom des molécules suivantes.



niveau 1 10 min

Corrigés p. 145

La bande d'absorption de nombre d'onde $1\,720\text{ cm}^{-1}$ est due à des liaisons C=O. Calculer la longueur d'onde correspondante. Vérifier que l'on est bien dans le domaine de l'infrarouge.

niveau 1 10 min

Corrigés p. 146

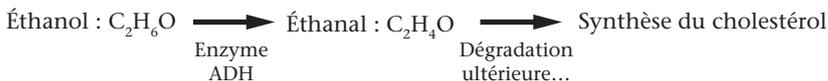
Donner toutes les formules semi-développées des cétones de formule brute $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$.

niveau 2 15 min

type BAC

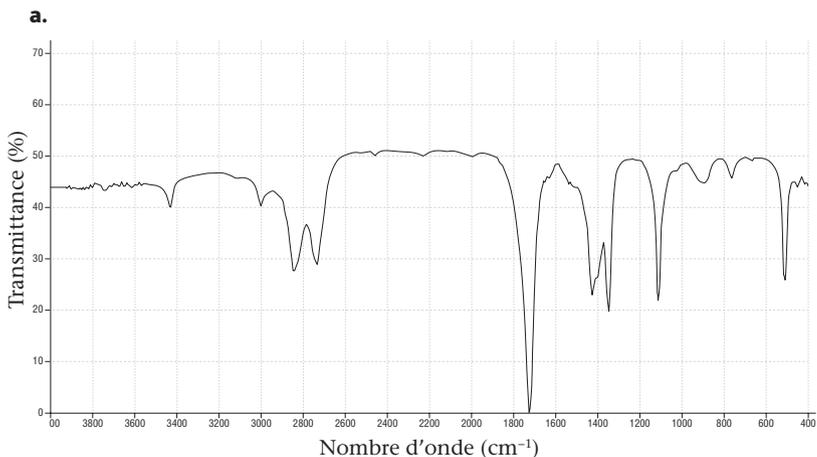
Corrigés p. 146

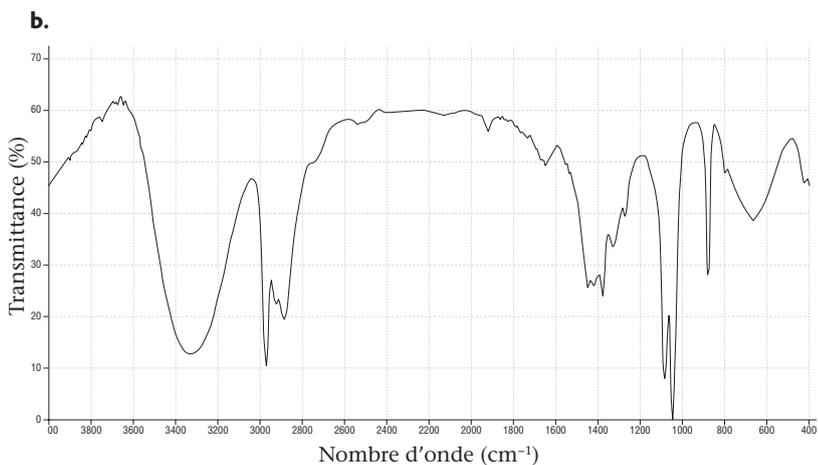
Quand une personne consomme de l'alcool, celui-ci passe immédiatement dans le sang, puis est éliminé en majeure partie par le foie. Dans un premier temps, il est transformé en éthanal par une enzyme. L'éthanal est une substance très toxique, qui provoque des dégâts dans l'ensemble de l'organisme. Il attaque les membranes cellulaires et cause des dommages indirects en inhibant le système des enzymes.



On se propose d'étudier la structure et les fonctions organiques des molécules d'éthanol et d'éthanal.

Spectroscopie infrarouge en phase liquide de deux molécules





Données :

Liaison	C-C	C-O	C=O (carbonyle)	C-H	O-H
Nombre d'onde (cm^{-1})	1000-1250	1050-1450	1650-1740	2800-3000	3200-3700

1. Représenter en formule semi-développée les molécules d'éthanol et d'éthanal et encadrer leurs groupes caractéristiques.
2. Quel est le nom du groupe fonctionnel porté par l'éthanol ?
À quelle famille appartient cette molécule ?
3. Quel est le nom du groupe fonctionnel porté par l'éthanal ?
À quelle famille appartient cette molécule ?
4. En utilisant les données spectroscopiques, associer chaque spectre infrarouge à la molécule correspondante en justifiant.

Transformation des réactifs

■ Pour réaliser la synthèse d'une espèce chimique, il faut choisir les **réactifs** appropriés ainsi que leurs quantités. Ils peuvent être solides, liquides, gazeux ou en solution.

■ Pour accélérer certaines réactions chimiques, on peut ajouter un catalyseur au mélange réactionnel. Un **catalyseur** est une espèce chimique introduite en petite quantité qui permet d'**augmenter** la vitesse d'une réaction, mais qui n'apparaît pas dans l'équation de la réaction et ne modifie pas l'état final du système.

■ Le **solvant** permet la solubilisation des réactifs ; il est introduit en grande quantité et n'intervient pas non plus dans l'équation de la réaction.

■ Les sous-produits sont les espèces chimiques synthétisées autres que le produit souhaité.

■ La plupart des synthèses organiques étant lentes, le montage utilisé est un **montage à reflux** qui permet d'accélérer la transformation chimique par chauffage **sans perte de matière** :

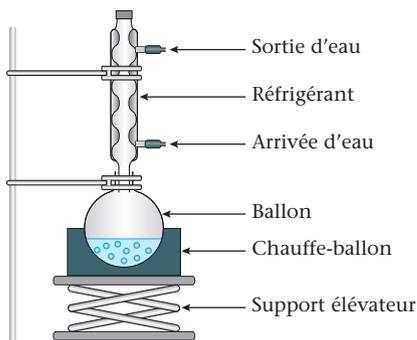
– un **réfrigérant** condense les vapeurs produites par le chauffage ;

– un **support élévateur** stoppe la transformation rapidement si nécessaire ;

– l'ajout de **pierre ponce** permet de réguler l'ébullition.

REMARQUE

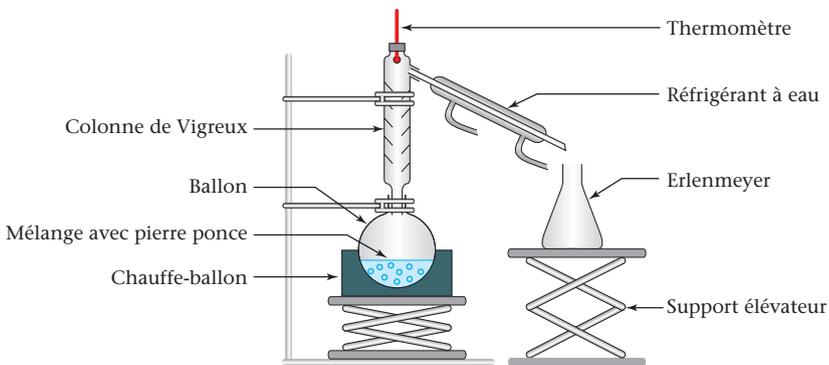
Les espèces présentes dès l'état initial, mais dont la quantité ne varie pas au cours de la transformation sont appelées espèces spectatrices.



Montage à reflux

Traitement des produits

- L'espèce chimique obtenue par synthèse est généralement mélangée au solvant, aux réactifs restants et aux autres produits de la réaction.
- **Extraction.** La première étape consiste en général à extraire l'espèce obtenue du milieu réactionnel. Si le produit est liquide, il est isolé dans une **ampoule à décanter** avec un solvant adapté. Ce procédé utilise les différences de solubilité d'espèces chimiques dans des solvants non miscibles. La phase inférieure est celle qui a la plus grande masse volumique. Si le produit est solide, il est isolé par **filtration**.
- **Purification.** Un montage de **distillation** est utilisé pour purifier un produit liquide.



Montage de distillation

Dans le cas d'un produit solide, la purification se fait par **recristallisation** afin d'éliminer les impuretés. Cette technique consiste en une dissolution d'un solide impur dans la quantité minimale d'un solvant porté à ébullition. Le refroidissement du mélange entraîne la recristallisation du solide pur, tandis que les impuretés restent en solution dans le solvant. Le solide est ensuite isolé par filtration.

Le solvant est choisi tel que :

- les impuretés y soient solubles, à froid comme à chaud ;
- le produit à purifier y soit soluble à chaud, mais cristallise à froid.

Si le produit est solide, il est séché à l'étuve. Si le produit est liquide, on ajoute un desséchant (par exemple du sulfate de magnésium anhydre).

■ **Analyse.** L'analyse d'un produit permet de vérifier sa pureté et de le caractériser. Elle peut se faire par chromatographie sur couche mince, par spectroscopie infrarouge ; pour les solides, par la mesure d'une température de fusion et, pour les liquides, par la mesure d'une température d'ébullition ou d'un indice de réfraction.

RAPPEL

La chromatographie sur couche mince (CCM) permet de séparer et d'identifier des espèces chimiques. Les chromatogrammes d'espèces chimiques incolores doivent être révélés après élution.

Rendement d'une synthèse

■ Le calcul du **rendement** ρ permet de déterminer l'efficacité d'une synthèse chimique :

$$\rho = \frac{\text{Masse de produit obtenue expérimentalement}}{\text{Masse maximale de produit théorique}}$$

■ Le rendement est un nombre sans unité, inférieur ou égal à 1. Il est souvent exprimé en pourcentage. L'intérêt du chimiste sera de déterminer des conditions opératoires permettant de l'optimiser pour s'approcher le plus près possible de 1.

■ Les pertes de rendement peuvent avoir diverses origines : réactions parasites, pertes lors des diverses étapes de la synthèse...

■ Le rendement de la synthèse est aussi le rapport, exprimé en %, entre la quantité de matière de produit effectivement obtenue n_p et la quantité de matière maximale théorique n_{\max} :

$$\rho = 100 \times \frac{n_p}{n_{\max}}$$

Identifier les différentes étapes d'un protocole

Énoncé

On désire préparer un ester dont la saveur et l'odeur sont ceux de la banane. Cet ester, l'acétate d'isoamyle, se présente sous la forme d'un liquide transparent incolore.

Identifier les étapes (analyse, extraction, purification, transformation chimique) du protocole de l'expérience ci-dessous

- Dans un ballon, introduire un volume $V_1 = 20$ mL de 3-méthylbutan-1-ol, puis un volume $V_2 = 25$ mL d'acide éthanoïque. Ajouter une spatule d'acide paratoluènesulfonique (APTS) et quelques grains de pierre ponce. Chauffer à reflux pendant 20 min. Arrêter le chauffage et laisser refroidir le ballon.
- Verser le contenu du ballon dans une ampoule à décanter. Ajouter environ 50 mL d'eau salée (solution aqueuse saturée en chlorure de sodium) : deux phases apparaissent. Agiter, laisser décanter, éliminer la phase aqueuse.
- Laver la phase organique avec une solution saturée d'hydrogénocarbonate de sodium. Agiter tout en dégazant régulièrement, puis laisser décanter. Éliminer la phase aqueuse. Récupérer la phase organique.
- Distiller la phase organique et recueillir la fraction passant au-dessus de 135 °C.
- Mesurer la masse et le volume du distillat.

Savoir-faire

- Remettre les noms des différentes étapes dans le bon ordre.
- Associer à chacune d'elle les parties du protocole qui lui correspondent.

Corrigé détaillé

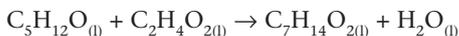
- L'étape a) correspond à la **transformation** des réactifs.
- b) L'ampoule à décanter permet d'**extraire** l'éthanoate de 3-méthylbutyle.
- L'étape de lavage de la phase organique peut être considérée comme une étape de **purification**.
- La distillation d) correspond également à une étape de **purification**.
- L'**analyse** du produit est réalisée en e) par détermination de sa masse volumique.

Justifier le choix des techniques utilisées

Énoncé

Justifier le choix de la distillation comme méthode de purification de l'éthanoate de 3-méthylbutyle (voir protocole de la méthode 1).

L'équation de la réaction s'écrit :



3-méthylbutan-1-ol + acide éthanóïque → éthanoate de 3-méthylbutyle + eau

Données :

	Formule brute	Masse volumique (g · mL ⁻¹)	Masse molaire (g · mol ⁻¹)	Température d'ébullition (°C)	Solubilité dans l'eau	Solubilité dans l'eau salée
3-Méthylbutan-1-ol	C ₅ H ₁₂ O	0,81	88	131	Faible	Très faible
Acide éthanóïque	C ₂ H ₄ O ₂	1,05	60	118	Grande	Grande
Éthanoate de 3-méthylbutyle	C ₇ H ₁₄ O ₂	0,87	130	141	Très faible	Très faible
Eau salée saturée		1,3				

Savoir-faire

- Établir la composition de la phase organique.
- Comparer les températures d'ébullition des espèces chimiques présentes dans la phase organique.
- Conclure.

Corrigé détaillé

■ La phase organique est constituée d'espèces chimiques peu solubles dans l'eau. Elle est donc constituée majoritairement d'éthanoate de 3-méthylbutyle : c'est le produit souhaité. Elle contient également probablement du 3-méthylbutan-1-ol : c'est l'un des réactifs.

■ Le 3-méthylbutan-1-ol, avec une température d'ébullition de 131 °C, est plus volatil que l'éthanoate de 3-méthylbutyl qui a une température d'ébullition de 141 °C.

■ La distillation permet donc de séparer ces deux espèces. Le 3-méthylbutan-1-ol sort en premier, vers 131 °C, suivi de près par l'éthanoate de 3-méthylbutyl.

REMARQUE

Les températures d'ébullition étant proches, il est nécessaire d'utiliser un montage avec une colonne à distiller.

Déterminer le rendement de la synthèse

Énoncé

En suivant le protocole précédent, on obtient une masse $m_{\text{exp}} = 15$ g d'éthanoate de 3-méthylbutyle.

Déterminer le rendement de la synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle.

Savoir-faire

- Rappeler la définition du rendement et l'expliquer pour la réaction étudiée.
- Déterminer les quantités de matière initiale des réactifs.
- Établir un tableau d'avancement, déterminer l'avancement maximal.
- En déduire la masse théorique maximale d'éthanoate de 3-méthylbutyle que l'on pourrait obtenir.
- Calculer le rendement.

Corrigé détaillé

■ Le rendement est le quotient de la masse de produit effectivement obtenue par la masse maximale attendue :

$$\rho = \frac{\text{Masse de produit obtenue expérimentalement}}{\text{Masse maximale de produit théorique}}$$

■ La masse d'éthanoate de 3-méthylbutyle obtenue expérimentalement est déterminée par pesée : elle est de 15 g.

Il faut donc calculer la masse d'éthanoate de 3-méthylbutyle théorique.

- Les réactifs sont des liquides, on a :

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

Application numérique :

$$n(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}) = \frac{0,81 \times 20}{88} = 0,18 \text{ mol.}$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = \frac{1,05 \times 25}{60} = 0,44 \text{ mol.}$$

- Tableau d'avancement :

Équation		$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_{(l)} + \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_{2(l)} \rightarrow \text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_{2(l)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$			
État du système	Avancement	Quantité de matière (mol)			
Initial	0	0,18	0,44	0	Solvant
En cours	x	$0,18 - x$	$0,44 - x$	x	Solvant
Final	x_{max}	$0,18 - x_{\text{max}}$	$0,44 - x_{\text{max}}$	x_{max}	Solvant

Le réactif limitant est le 3-méthylbutan-1-ol, $x_{\text{max}} = 0,18 \text{ mol}$.

- La masse théorique maximale d'éthanoate de 3-méthylbutyle que l'on pourrait obtenir est :

$$m_f(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2) = n_f(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2) \times M(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2) = 0,18 \times 130 = 23 \text{ g.}$$

- Le rendement est donc :

$$\rho = \frac{15}{23} = 0,65 \text{ ou } 65 \text{ \%}.$$

Pour réussir le jour J !



Les erreurs à ne pas commettre

● Commencer par parcourir l'ensemble de l'exercice avant de vous lancer, repérer les données fournies, car elles seront à exploiter à un moment ou à un autre.

► *Exercice 4*

● Identifier l'état physique du produit : s'il s'agit d'un solide ou d'un liquide, les techniques de purification, d'identification ne sont pas les mêmes.

► *Exercice 4*

● Ne pas confondre un montage à reflux et un montage de distillation. Dans un montage à reflux, le mélange est porté à ébullition, mais la vapeur reflue dans le ballon d'origine. Lors d'une distillation, les vapeurs sont recueillies dans un récipient séparé.

► *Exercice 2*



Un point en + sur la copie

● Un schéma de montage doit être lisible, suffisamment grand et légendé clairement.

► *Exercice 2*

● Lorsque dans un protocole on réalise une distillation, l'énoncé ne précise pas toujours s'il s'agit d'une distillation simple ou fractionnée. Un montage de distillation simple ne comporte pas de colonne à distiller, il est peu performant. On lui préfère souvent le montage de distillation fractionnée qui comporte une colonne de Vigreux.

► *Méthode 2*

● Dans un réfrigérant, l'arrivée d'eau s'effectue en bas et la sortie en haut, de manière à ce que sa double enveloppe soit remplie entièrement, même avec un petit débit.

► *Exercice 2*

10 QCM pour réviser le cours

► Corrigés, p. 161



1 Le pictogramme signifie :

- a. que le produit est toxique.
- b. qu'il faut manipuler le produit avec des gants.
- c. que le produit est corrosif.

Soit la réaction : $2 A + B \rightarrow 3 P + Q$,
avec $n_1(A) = n_1(B) = 0,12$ mol.

2 Le réactif limitant est :

- a. A.
- b. B.
- c. P.

3 La quantité maximale n_{\max} de produit P susceptible d'être obtenue est égale à :

- a. 0,12 mol.
- b. 0,18 mol.
- c. 0,36 mol.

4 Une manipulation a permis d'obtenir 0,16 mol de produit P. Le rendement est de :

- a. 16 %.
- b. 44 %.
- c. 89 %.

5 Le produit P obtenu est solide. Pour le purifier, on peut réaliser :

- a. une recristallisation.
- b. une distillation fractionnée.
- c. une chromatographie sur couche mince.

6 Pour contrôler la pureté de ce solide :

- a. on mesure son indice de réfraction.
- b. on mesure sa température de fusion.

c. on réalise une chromatographie sur couche mince.

7 Dans un montage à reflux, le réfrigérant à eau permet :

- a. d'éliminer les impuretés.
- b. d'abaisser la température du mélange à l'intérieur du ballon.
- c. de condenser les vapeurs formées.

8 Par rapport au chauffage classique, le montage à reflux permet :

- a. d'augmenter la température d'ébullition du milieu réactionnel.
- b. de ne pas rejeter les vapeurs formées dans l'atmosphère.
- c. de purifier les espèces formées.

9 Après une synthèse, on réalise parfois une chromatographie sur couche mince. Cette technique permet :

- a. de purifier le produit synthétisé.
- b. de vérifier la présence et la pureté de l'espèce synthétisée.
- c. d'isoler l'espèce synthétisée du mélange réactionnel.

10 Quelles sont dans l'ordre les étapes d'une synthèse organique ?

- a. Analyse, extraction, purification, transformation chimique.
- b. Transformation chimique, extraction, purification, analyse.
- c. Extraction, transformation chimique, purification, analyse.

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

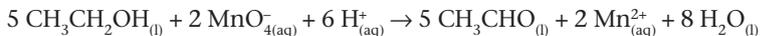
CORRIGÉS

Exercices

niveau 1 5 min

▶ *Corrigés, p. 162*

On réalise l'oxydation de l'éthanol en éthanal par une solution de permanganate de potassium ($\text{K}^+_{(\text{aq})} + \text{MnO}^-_{4(\text{aq})}$) acidifiée par de l'acide sulfurique ($2 \text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{SO}^{2-}_{4(\text{aq})}$).



1. L'acide sulfurique est-il un catalyseur ?
2. Identifier les réactifs.
3. Identifier les espèces chimiques spectatrices.

niveau 2 10 min

▶ *Corrigés, p. 162*

Le savon est le produit chimique d'une réaction appelée saponification qui résulte de l'action de l'ion hydroxyde OH^- sur un corps gras (graisses animales ou huiles végétales). Une solution concentrée d'hydroxyde de sodium (soude) est utilisée. Afin de favoriser le contact entre les réactifs, ceux-ci sont mis en solution dans l'éthanol.

Dans un ballon, introduire un volume $V = 15 \text{ mL}$ d'oléine (de formule brute $\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$), une solution d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})}$) de volume $V = 20 \text{ mL}$ et de concentration $c = 10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 20 mL d'éthanol et quelques grains de pierre ponce. Chauffer à reflux pendant 30 minutes.

Solution d'hydroxyde

de sodium à $10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$:

Éthanol à 95 % :



1. D'après les pictogrammes présentés, préciser les consignes de sécurité à suivre pour réaliser cette synthèse.
2. Schématiser et annoter le dispositif utilisé.
3. Quel est l'intérêt d'un chauffage « à reflux » ?
4. Justifier le rôle de la pierre ponce.

Verser le contenu du ballon dans un grand bœcher contenant une solution saturée de chlorure de sodium (eau salée). Le savon précipite, il apparaît sous forme solide.

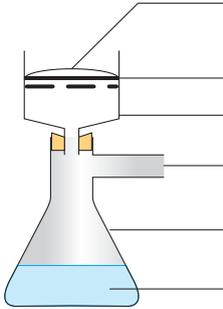
À NOTER

Cette technique est appelée relargage.

5. Qu'est-ce qu'une solution saturée de chlorure de sodium ?
 6. Le savon est-il soluble dans l'eau ? dans une solution saturée de chlorure de sodium ?

Réaliser une filtration sous pression réduite à l'aide d'un Büchner. Récupérer le savon, puis le mettre à sécher sur une coupelle.

7. Sur le schéma du montage de la filtration sous pression réduite, placer les mots : Papier-filtre, Fiole à vide, Vers la trompe à eau, Résidu solide, Filtrat, Entonnoir Büchner.

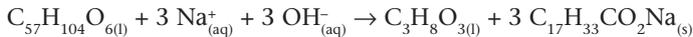


8. Pourquoi filtrer sous pression réduite ?

niveau 2 10 min

► *Corrigés*, p. 163

La masse de savon obtenue après avoir réalisé le protocole décrit dans l'exercice 2 est de $m_{\text{exp}} = 2,8 \text{ g}$. L'équation de la réaction de synthèse du savon est :



Données :

Masses molaires : $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
 $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Masse volumique de l'oléine : $\rho = 0,89 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

- Calculer les quantités initiales de réactifs.
- À l'aide du tableau d'avancement suivant, déterminer le réactif limitant.

		$C_{57}H_{104}O_{6(l)} + 3 Na^+_{(aq)} + 3 OH^-_{(aq)} \rightarrow C_3H_8O_{3(l)} + 3 C_{17}H_{33}CO_2Na_{(s)}$				
État	Avancement	Quantité de matière (mol)				
État initial						
En cours						
État final						

- En déduire la masse de savon attendue dans l'état final.
- Calculer le rendement ρ de la réaction.

niveau 3 20 min

type BAC

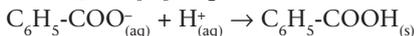
► Corrigés, p. 164

L'oxydation en milieu basique et à chaud de l'alcool benzylique $C_6H_5CH_2OH$ par les ions permanganate MnO_4^- en excès conduit à la formation d'ions benzoate $C_6H_5CO_2^-$ et de dioxyde de manganèse MnO_2 (solide brun). Cette transformation est totale.



Après réduction, par l'éthanol, des ions permanganate MnO_4^- excédentaires et élimination du dioxyde de manganèse MnO_2 , on obtient une solution contenant les ions benzoate.

L'addition d'acide chlorhydrique à cette solution permet la cristallisation de l'acide benzoïque $C_6H_5CO_2H$ (solide blanc) selon l'équation :



On recueille l'acide benzoïque après filtration, lavage et séchage.

A. Transformation chimique

Dans un ballon équipé d'un réfrigérant à reflux, introduire 2,0 mL d'alcool benzylique, 100 mL d'eau, 20 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium $Na^+ + OH^-_{(aq)}$ de concentration $2,0 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ (pour rendre le milieu basique), 4,5 g de permanganate de potassium et quelques grains de pierre ponce. Maintenir une ébullition douce pendant 30 minutes environ. Refroidir le mélange réactionnel. Ajouter quelques millilitres d'éthanol pour réduire les ions permanganate en excès.

- Quelle est la verrerie à utiliser pour mesurer les 2,0 mL d'alcool benzylique ? Justifier. Même question pour les 100 mL d'eau.
- Un des couples oxydant/réducteur mis en jeu lors de la synthèse de l'ion benzoate est $MnO_4^-_{(aq)}/MnO_{2(s)}$. Donner l'autre couple.

B. Séparation

Filtrer sur Büchner le mélange obtenu. Récupérer le filtrat.

3. Quel solide est éliminé lors de cette filtration ?
4. Sachant que les ions permanganate MnO_4^- (aq) introduits en début d'expérience sont violets, quelle est la couleur du filtrat ?
5. Que contient le filtrat ?

C. Récupération de l'acide benzoïque

Transvaser le filtrat dans un bécher. Placer le bécher dans un bain de glace et acidifier le mélange en ajoutant progressivement 20 mL d'une solution d'acide chlorhydrique. Un précipité blanc d'acide benzoïque apparaît. Filtrer sur Büchner et laver avec un peu d'eau glacée. Bien essorer et sécher sur papier-filtre.

	Masse molaire en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$	Solubilité dans l'eau	Solubilité dans l'éthanol
Alcool benzylique	108	Très faible	
Acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CO}_2\text{H}$	122	Peu soluble à froid, soluble à chaud	Soluble à froid et à chaud
Permanganate de potassium	158	Grande	
Ion benzoate $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CO}_2^-$		Grande	

6. Pourquoi place-t-on le bécher dans un bain de glace ? Pourquoi lave-t-on l'acide benzoïque à l'eau glacée ?

D. Purification

Recristalliser le produit brut dans l'eau. Pour cela, introduire dans un erlenmeyer les cristaux obtenus et ajouter environ 20 mL d'eau distillée. Porter à ébullition le contenu jusqu'à dissolution. Filtrer à chaud la solution sur Büchner, récupérer le filtrat, le refroidir dans un cristallisateur contenant un mélange eau-glace. L'acide benzoïque précipite. Filtrer la solution sur Büchner, laver à l'eau glacée, placer le solide récupéré dans une coupelle préalablement tarée. Sécher le produit purifié humide à l'étuve jusqu'à masse constante : $m_{\text{exp}} = 2,1 \text{ g}$.

7. D'après les critères d'un bon solvant de recristallisation, justifier le choix de l'eau ici. Aurait-on pu utiliser l'éthanol ? Justifier.

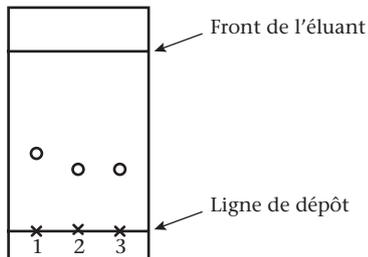
E. Contrôles de pureté

Afin de caractériser le produit formé, on réalise une chromatographie sur couche mince (CCM). Le chromatogramme, révélé sous UV, est donné ci-dessous :

Dépôt 1 : alcool benzylique dissous dans un peu d'éluant.

Dépôt 2 : solide obtenu dissous dans un peu d'éluant.

Dépôt 3 : acide benzoïque dissous dans un peu d'éluant.



8. Donner le but et le principe de la CCM.

9. Interpréter le chromatogramme.

F. Rendement

10. Calculer les quantités de matière des réactifs.

Donnée :

Masse volumique de l'alcool benzylique : $1,04 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

11. Compléter le tableau d'avancement ci-dessous.

		$3\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_2\text{OH}_{(l)} + 4\text{MnO}_4^{-(\text{aq})} \rightarrow 3\text{C}_6\text{H}_5\text{-COO}^{-(\text{aq})} + 4\text{MnO}_{2(s)} + \text{HO}^{-(\text{aq})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(l)}$					
		Quantité de matière (mol)					
État initial	0						Solvant
État final	x_{max}						Solvant

12. En déduire le réactif limitant, l'avancement maximal et la quantité de matière d'ions benzoate formés.

La quantité de matière d'acide benzoïque et d'ions benzoate sont les mêmes.

13. En déduire la masse d'acide benzoïque théoriquement prévisible.

14. Quel est le rendement (noté ρ ou η) de la préparation ? Commenter.

8

Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique

Énergie libérée lors d'une réaction de combustion

a. Combustible et comburant

■ Une combustion fait intervenir un **combustible** et un **comburant** (souvent le dioxygène de l'air). Les combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) et la biomasse sont les combustibles les plus courants ; ce sont des stocks d'énergie chimique.

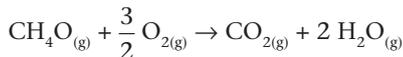
■ La biomasse regroupe l'ensemble des matières organiques d'origine végétale ou animale pouvant devenir des sources d'énergie. Ces matières organiques peuvent être utilisées soit directement (bois de chauffage), soit après une transformation chimique (biocarburants...).

À NOTER

On parle aussi de **combustible** pour désigner l'uranium produisant de l'énergie par fission dans les centrales nucléaires, bien qu'il ne s'agisse pas d'une réaction de combustion.

■ La combustion **complète** des alcanes et des alcools produit du **dioxyde de carbone** et de l'eau.

Par exemple, l'équation de combustion du méthanol s'écrit :



b. Une réaction d'oxydoréduction exothermique

■ La combustion est un cas particulier de **réaction d'oxydoréduction**. De manière générale, une réaction d'oxydoréduction se caractérise par un transfert d'électrons, d'un réducteur vers un oxydant. Le **dioxygène** est l'**oxydant**, le combustible est le **réducteur**. Le combustible est oxydé, tandis que le dioxygène est réduit.

Les deux couples en jeu lors de la combustion du méthanol sont :



■ La combustion est une réaction chimique qui permet de libérer de l'énergie chimique et de récupérer de l'énergie thermique. C'est une réaction

chimique **exothermique** : le système réactionnel cède de l'énergie au milieu extérieur.

■ L'énergie thermique est ensuite utilisée directement (chauffage des habitations...), convertie en énergie mécanique (moteurs des voitures...) ou électrique (centrales thermiques...).

■ L'énergie libérée par la réaction de combustion est notée \mathcal{E} et s'exprime en joules (J) ou kilojoules (kJ). Elle est d'autant plus importante que la quantité de combustible est grande.

L'énergie molaire de combustion $\mathcal{E}_{\text{m,comb}}$ est l'énergie libérée par mole de combustible transformée. Elle s'exprime en $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ ou $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

\mathcal{E} et $\mathcal{E}_{\text{m,comb}}$ sont liés par la relation :

$$\mathcal{E} = n \times \mathcal{E}_{\text{m,comb}}$$

où n est la quantité de matière de combustible transformé (en mol).

Énergie molaire de réaction et énergies de liaison

Lors d'une réaction chimique, des liaisons se rompent, d'autres se créent : l'énergie est soit absorbée, soit libérée sous forme de chaleur.

a. Énergie de liaison

■ L'énergie de liaison correspond à l'énergie nécessaire pour briser une liaison chimique de molécules à l'état gazeux. Les énergies de liaison sont donc toujours positives et s'expriment en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

À NOTER

Les énergies de liaison sont des valeurs moyennes, car une liaison dans une molécule possède une énergie qui dépend des autres liaisons.

■ L'énergie de liaison reflète la stabilité des liaisons : plus une liaison est « forte », plus son énergie est élevée. L'énergie d'une liaison, notée D , augmente avec le nombre d'insaturations.

Exemples : $D_{\text{C-C}} = 346 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; $D_{\text{C=C}} = 602 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

b. Énergie molaire d'une réaction de combustion

Dans le cas où les réactifs sont à l'état gazeux, l'énergie molaire d'une réaction de combustion est égale à la somme des énergies molaires des liaisons formées moins la somme des énergies molaires des liaisons détruites :

$$\mathcal{E}_{\text{m,comb}} = \sum D_{\text{A-B formées}} - \sum D_{\text{A-B détruites}}$$

c. Pouvoir calorifique massique

Le **pouvoir calorifique massique** d'un combustible solide ou liquide représente l'énergie dégagée par la combustion complète d'un kilogramme de combustible. Il permet de comparer différentes énergies comme le bois, le gaz naturel, le gaz propane, le fioul, les granulés de bois...

Il s'exprime en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ou $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Par exemple, le pouvoir calorifique massique du butane est de $48 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Combustion et environnement

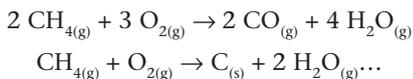
a. Effet de serre

Le dioxyde de carbone est un **gaz à effet de serre** : sa présence dans l'atmosphère permet, avec d'autres gaz, d'avoir une température moyenne qui rend la terre habitable. Cependant, l'augmentation des rejets de dioxyde de carbone due à l'activité humaine augmente l'effet de serre et entraîne un **réchauffement climatique**.

b. Combustion incomplète

■ Il arrive souvent qu'une combustion soit incomplète. Cela se produit lorsque l'apport en dioxygène est insuffisant. D'autres espèces que le dioxyde de carbone peuvent alors se former : du monoxyde de carbone CO , gaz incolore, inodore et toxique, ou du carbone (solide noir).

■ Lorsqu'une combustion est incomplète, plusieurs équations chimiques peuvent être écrites. Par exemple, pour la combustion du méthane :



c. Autres polluants

■ Les hydrocarbures polluent également en raison des substances indésirables qu'ils contiennent. L'exemple classique est le soufre, naturellement présent dans la plupart des gisements de charbon, pétrole ou gaz naturel et qui, lors de la combustion, se transforme en dioxyde de soufre, un gaz irritant pour les voies respiratoires.

■ À haute température, une fraction du diazote atmosphérique se combine avec le dioxygène pour former des gaz indésirables : les oxydes d'azote.

■ Dioxyde de soufre et oxydes d'azote sont les principaux responsables des pluies acides ; dans l'atmosphère, ils peuvent se transformer en acide sulfurique ou en acide nitrique.

Écrire une équation de combustion

Énoncé

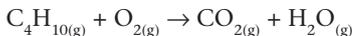
Écrire l'équation de la combustion complète du butane de formule brute C_4H_{10} .

Savoir-faire

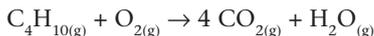
- Identifier les réactifs et les produits de la réaction.
- Écrire les formules des réactifs dans le membre de gauche et les formules des produits dans le membre de droite, séparés par une flèche.
- Ajuster les nombres stœchiométriques de manière à ce qu'il y ait conservation des éléments C et H.
- Terminer en ajustant le nombre stœchiométrique devant le dioxygène O_2 , de manière à ce que qu'il y ait conservation de l'élément O.
- S'il est impossible d'assurer la conservation de l'élément O avec un nombre entier, multiplier les deux membres de l'équation par 2.

Corrigé détaillé

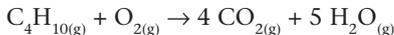
■ Les réactifs sont le butane et le dioxygène. La combustion étant complète, les produits sont le dioxyde de carbone et l'eau :



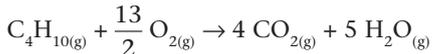
■ Conservation de l'élément C :



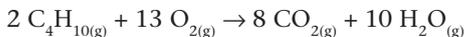
■ Conservation de l'élément H :



■ Conservation de l'élément O :



■ En multipliant tout par 2 :



Estimer l'énergie molaire de réaction à partir des énergies des liaisons

Énoncé

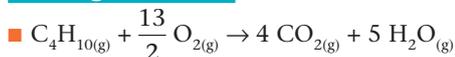
Estimer l'énergie molaire de combustion du butane.

Données : Énergies de liaison (en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) : $D_{\text{C-C}} = 346$; $D_{\text{C-H}} = 412$; $D_{\text{O=O}} = 496$; $D_{\text{C=O}}$ (dans CO_2) = 795 ; $D_{\text{O-H}} = 463$.

Savoir-faire

- Écrire l'équation de combustion du butane pour une mole de butane.
- Identifier les liaisons rompues. Elles sont à gauche de l'équation, du côté où se trouvent les réactifs. S'aider éventuellement de la formule développée ou semi-développée du butane.
- Comptabiliser le nombre de liaisons formées. Elles sont à droite de l'équation, du côté où se trouvent les produits.
- Chercher l'énergie de liaison des liaisons concernées. Ici, elles sont données, mais on les trouve facilement dans des livres de chimie ou sur Internet.
- Additionner toutes les énergies des liaisons rompues, ajouter toutes les énergies des liaisons formées, faire la soustraction.

Corrigé détaillé



La formule semi-développée du butane est : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$. Il faut tenir compte de la rupture de trois liaisons C-C ($3 \times 346 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$), de dix liaisons C-H ($10 \times 412 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) et de $\frac{13}{2}$ liaisons O=O ($\frac{13}{2} \times 496 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$).

■ Il se forme huit liaisons C=O ($8 \times 795 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) et 10 liaisons O-H ($10 \times 463 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$).

■ L'énergie molaire de combustion est la différence entre le nombre de liaisons formées et le nombre de liaisons rompues :

$$\mathcal{E}_{\text{m,comb}} = \sum D_{(\text{liaisons formées})} - \sum D_{(\text{liaisons rompues})}$$

Application numérique :

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{m,comb}} &= (8 \times 795 + 10 \times 463) - \left(3 \times 346 + 10 \times 412 + \frac{13}{2} \times 496 \right) \\ &= 10\,990 - 8\,382 = 2\,608 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= 2,6 \text{ MJ} \cdot \text{mol}^{-1}. \end{aligned}$$

Pour réussir le jour J !

X

Les erreurs à ne pas commettre

● En chimie, on écrit molaire à côté d'une masse, d'une énergie pour signifier que la grandeur est exprimée pour 1 mol de matière.

► Exercice 3

● On écrit massique à côté d'une grandeur pour signifier que la grandeur est exprimée pour 1 kg de matière.

► Exercice 9

● Le dioxyde de carbone produit par une combustion n'est pas toxique. Il est non combustible, non inflammable, non explosif, il est inoffensif à basse concentration. Cependant, c'est un gaz à effet de serre et son augmentation a un rôle dans le réchauffement climatique. Il est surtout issu du secteur des transports, de l'industrie et de l'habitat.

► Exercices 9 et 10



Un point en + sur la copie

● Il n'est pas possible de produire de l'énergie. Il est uniquement possible de convertir une forme d'énergie en une autre. Lors d'une combustion, de l'énergie chimique est transformée en énergie thermique.

► Exercice 4

● Une analyse dimensionnelle permet de détecter une erreur dans une expression littérale ou d'obtenir l'unité d'un résultat. Par exemple, pour vérifier que la relation $n = \rho \cdot \frac{V}{M}$ est bien homogène, il faut écrire les unités de chaque grandeur et vérifier que le membre de gauche et le membre de droite ont la même unité.

n s'exprime en mol, $\rho \cdot \frac{V}{M}$ en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \frac{\text{L}}{\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}}$, donc en mol.

► Exercice 10

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

CORRIGÉS

10 QCM pour réviser le cours

➤ Corrigés, p. 177

1 La combustion complète d'un alcane libère :

- a. du dioxyde de carbone.
- b. du carbone.
- c. de l'eau.

2 L'équation de combustion complète du propane s'écrit :

- a. $C_3H_{8(g)} + 5 O_{2(g)} \rightarrow 3 CO_{2(g)} + 4 H_2O_{(g)}$.
- b. $C_3H_{8(g)} + 7 O_{2(g)} \rightarrow 3 CO_{2(g)} + 4 H_2O_{(g)}$.
- c. $C_3H_{8(g)} + 10 O_{2(g)} \rightarrow 3 CO_{2(g)} + 8 H_2O_{(g)}$.

3 L'équation de combustion complète de l'éthanol s'écrit : $C_2H_6O_{(l)} + 3 O_{2(g)} \rightarrow 2 CO_{2(g)} + 3 H_2O_{(g)}$. Combien de moles d'eau se forment quand on brûle 5 moles d'éthanol ?

- a. 5.
- b. 10.
- c. 15.

4 Une combustion incomplète peut produire un gaz toxique :

- a. le diazote.
- b. le dioxyde de carbone.
- c. le monoxyde de carbone.

5 L'énergie molaire de combustion du propane vaut $\%_{m,comb} = 2\,056 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. L'énergie libérée par la combustion complète de 3,0 mol de propane est donc égale à :

- a. $6,2 \times 10^6 \text{ J}$.
- b. $6,2 \times 10^3 \text{ J}$.
- c. $6,2 \times 10^3 \text{ kJ}$.

6 L'énergie libérée lors d'une combustion dépend :

- a. du combustible.
- b. du caractère complet ou non de la combustion.
- c. de la masse du combustible.

7 Des stocks d'énergie chimique naturels peuvent être :

- a. une retenue d'eau.
- b. la biomasse.
- c. le glucose.

8 Une énergie de liaison est donnée en :

- a. J.
- b. $J \cdot \text{mol}^{-1}$.
- c. $K \cdot \text{mol}^{-1}$.

9 On donne les énergies de liaison suivantes (en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) : $D_{\text{H-H}} = 436$, $D_{\text{C-C}} = 345$ et $D_{\text{C-H}} = 415$. L'énergie à apporter pour rompre les liaisons de la molécule d'éthane C_2H_6 est de :

- a. 2 485 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- b. 2 835 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- c. 2 961 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

10 L'effet de serre qui existe aujourd'hui sur Terre :

- a. est un phénomène naturel.
- b. n'est dû qu'aux activités humaines.
- c. est en augmentation.

Exercices

niveau 1 5 min

Corrigés p. 177

Écrire l'équation de combustion complète des molécules d'hexane C_6H_{14} , de cyclohexane C_6H_{12} et de butan-1-ol $C_4H_{10}O$.

CONSEIL

Déterminer les nombres stœchiométriques de C et H puis ajuster l'élément O.

niveau 1 5 min

Corrigés p. 178

Le gaz présent dans les briquets est du butane. Un élève réalise la combustion complète de ce gaz en allumant un briquet.

1. Pourquoi ce gaz est-il à l'état liquide dans le briquet ?
2. Quels sont les réactifs et les produits de cette réaction chimique ?
3. Imaginer des expériences permettant de mettre en évidence la formation de ces produits.
4. En approchant un tube à essai de la flamme du briquet, l'élève remarque la formation d'un dépôt noir sur le tube. Quelle est la nature de ce dépôt noir ? Que conclut-il ?

niveau 1 10 min

Corrigés p. 178

Le bioéthanol C_2H_6O , obtenu par fermentation de sucres contenus dans différents végétaux (betteraves sucrières, pommes de terre ou céréales), peut être utilisé comme carburant pour les voitures à essence.

Données : Masses molaires : $M(H) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(O) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(C) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Écrire l'équation de la réaction de combustion complète de l'éthanol.

2. Écrire les formules développées des réactifs et des produits.

3. L'énergie molaire de combustion de l'éthanol est :

$$\mathcal{E}_{m,\text{comb}} = 1\,250 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Déterminer l'énergie libérée lors de la combustion de 30 kg d'éthanol.

niveau 1 10 min

Corrigés p. 178

Le méthane est le principal constituant du gaz naturel.

Données : Masses molaires : $M(C) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(H) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Énergies molaires de liaison (en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) : $D_{\text{C-H}} = 412$; $D_{\text{O=O}} = 496$;
 $D_{\text{C=O}}$ (dans CO_2) = 795 ; $D_{\text{O-H}} = 463$.

1. Écrire l'équation de la combustion complète du méthane.
2. Calculer l'énergie molaire de combustion du méthane.

niveau 2 10 min

Corrigés p. 179

Le propane de formule brute C_3H_8 est un alcane utilisé comme combustible dans les gazinières. L'énergie exprimée en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ libérée par la combustion d'une mole de propane est de la forme

$\mathcal{E}_{\text{m,comb}} = 210 + 664 n$, où n est le nombre d'atomes de carbone.

Données : $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

1 kWh = $3,6 \times 10^6 \text{ J}$.

1. Calculer l'énergie libérée par la combustion d'une mole de propane.
2. Déterminer le pouvoir calorifique du méthane en $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.
3. Le propane est conditionné en bouteilles de 13 kg. Calculer en MJ puis en kWh l'énergie que l'on peut obtenir en brûlant tout le propane contenu dans une bouteille.

RAPPEL

Le pouvoir calorifique est l'énergie dégagée par la combustion complète d'un kilogramme de combustible.

niveau 2 10 min

Corrigés p. 179

La diminution inéluctable des réserves fossiles et le changement climatique rendent nécessaire le développement de nouvelles sources d'énergie. Outre son usage alimentaire, la biomasse joue un rôle énergétique majeur dans les sociétés humaines, à travers le bois de chauffage par exemple, et ce depuis longtemps. Ce rôle s'étend aujourd'hui au domaine des transports.

Trois générations de biocarburants ont été élaborées. La première exploite la partie « consommable » de plantes terrestres riches soit en sucres (betterave, canne à sucre...) soit en huiles (soja, palme, colza...). Les sucres sont transformés en bioéthanol et les huiles en biodiesel. Le bilan environnemental de ces carburants de première génération étant contesté, la recherche sur les biocarburants de deuxième et troisième générations est privilégiée. Ces filières du futur utilisent des sources de biomasse non destinées à l'alimentation humaine ou animale. Les biocarburants de deuxième génération sont issus de la transformation de la lignocellulose contenue dans les résidus agri-

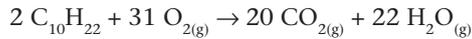
coles (paille) et forestiers (bois), ou dans des plantes provenant de cultures dédiées (à croissance rapide). Les biocarburants de troisième génération sont obtenus à partir d'algues.

1. Pourquoi développer les biocarburants ?
2. Pour quelles raisons le bilan environnemental des carburants de première génération est-il contesté ?
3. Quels sont les avantages des biocarburants de deuxième et de troisième générations par rapport aux biocarburants de première génération ?

niveau 2 10 min

Corrigés p. 180

De nombreux moteurs d'avion utilisent des carburants à base de kérosène, mélange constitué, entre autres, d'alcane de formules brutes $C_{10}H_{22}$. L'équation de la réaction de combustion complète d'un alcane de formule brute $C_{10}H_{22}$ s'écrit :



1. Écrire les deux couples oxydant/réducteur mis en jeu.
2. Établir les deux demi-équations électroniques associées à ces deux couples.

niveau 2 10 min

Corrigés p. 180

La formule brute d'un alcane possédant n atomes de carbone est C_nH_{2n+2} .

1. Donner la formule brute générale d'un alcool qui possède n atomes de carbone.
2. Écrire l'équation générale de la combustion complète d'un alcool.

niveau 3 15 min

type BAC

Corrigés p. 181

Constituant la troisième source d'énergie utilisée dans le monde, le gaz naturel se plie à différentes utilisations. De nombreux Français l'utilisent pour se chauffer. Les chaudières de première génération au gaz naturel rejettent du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau. Les chaudières actuelles, dites à condensation, permettent en plus de liquéfier la vapeur d'eau. Le passage de la vapeur d'eau à l'état liquide restitue de l'énergie. Le rôle de la chaudière à condensation est de récupérer une fraction de cette énergie de liquéfaction et de la transférer à l'eau du circuit de chauffe.

Le PCI ou pouvoir calorifique inférieur est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'un combustible avec obtention de vapeur d'eau. *A contrario*, le PCS ou pouvoir calorifique supérieur est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'un combustible avec obtention d'eau liquide.

Données : $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$; $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Énergie massique de liquéfaction de la vapeur d'eau : $L = 2\,257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1. Indiquer si le terme « chaudière à condensation » est approprié en termes de transformation physique.
2. La liquéfaction est-elle une transformation exothermique ou endothermique ?
3. Écrire l'équation de la réaction de combustion complète du méthane (principal composant du gaz naturel).
4. En déduire la quantité de matière, puis la masse d'eau produite lors de la combustion de 1,0 kg de méthane.
5. Le PCS et le PCI ne diffèrent que par l'énergie correspondant à la liquéfaction de l'eau. Le PCI du méthane vaut $50,0 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Calculer le PCS du méthane en $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, puis en $\text{kWh} \cdot \text{kg}^{-1}$.

niveau 3 15 min

Corrigés p. 182

Une automobile consomme $V = 6,8 \text{ l}$ d'essence aux 100 km. On assimilera ce carburant à de l'octane de formule brute C_8H_{18} de masse volumique $\rho = 0,74 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ et on supposera que la combustion est complète.

Données :

Masses molaires : $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1. Déterminer la quantité de matière d'octane brûlée pour parcourir 100 km.
2. Écrire l'équation de la réaction de combustion complète de l'octane.
3. Construire un tableau d'avancement et considérer l'essence comme réactif limitant.
4. Déterminer la masse de CO_2 produite pour un parcours de 100 km.

Notion de champ

a. Définitions

- Un champ est une **grandeur physique**. Il décrit localement une propriété de la nature qui peut être quantifiée par une mesure ou un calcul.
- Un champ peut être **scalaire**, lorsque la grandeur étudiée est caractérisée par sa valeur. C'est le cas par exemple des champs de pression ou de température.
- Le champ de vitesse du vent, lui, est un champ **vectériel**. La grandeur physique qui le caractérise est un vecteur.

b. Représentation des champs

- On représente un champ vectoriel au moyen de **lignes de champ**. Elles sont tangentes en chaque point aux vecteurs champ associés et sont **orientées par une flèche** dans le sens du champ.
- Un champ est **uniforme** lorsque la grandeur qui le définit reste **constante** en tout point de l'espace. C'est le cas d'un champ vectoriel quand, dans une région de l'espace, les vecteurs sont égaux. Les lignes de champ sont alors **parallèles**.

À NOTER

La notion de champ permet de connaître la valeur d'une grandeur en un point sans avoir à la mesurer ou à la calculer.

Interaction et champ électrostatiques

- Deux systèmes chargés électriquement sont en **interaction électromagnétique**. S'ils sont immobiles, l'interaction est qualifiée d'**électrostatique**. La présence d'un champ électrostatique se manifeste par l'action mécanique que subit une charge électrique.
- Un champ électrostatique agit sur des particules chargées. Il peut les **accélérer et les faire dévier** de leur trajectoire, comme les électrons dans un canon à électrons.

a. La charge électrique

- La charge électrique est une propriété de la matière à l'origine des phénomènes d'**électricité** et de **magnétisme**.
- Toutes les particules portant une charge électrique peuvent subir des forces. La charge q portée par un corps électrisé est un **multiple de la charge élémentaire**.

$$q = n \times e$$

n est un entier positif.

b. Loi de Coulomb

- La loi de Coulomb fut énoncée par Charles-Augustin Coulomb en 1785. Selon cette loi, deux objets A (portant la charge électrique q_A) et B (de charge q_B) dont les centres sont distants de d exercent l'un sur l'autre des forces telles que :

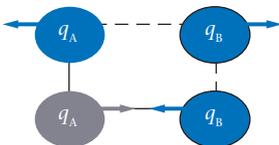
$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$$

- Ces forces ont la même intensité exprimée par la relation suivante, appelée **loi de Coulomb** :

$$F_e = k \frac{|q_A \cdot q_B|}{d^2}$$

avec la **constante de Coulomb** $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$, q_A et q_B en coulombs (C), d en mètres (m) et F en newtons (N).

- Ces forces ont pour direction la droite AB.



Si q_A et q_B sont de **même signe**, les forces sont **répulsives**.

Si q_A et q_B sont de **signes contraires**, les forces sont **attractives**.

La **portée** de cette interaction est **infinie**, même si la norme de la force électrostatique décroît avec la distance entre les corps chargés.

À NOTER

La loi de Coulomb n'est valable que dans un référentiel où les charges sont fixes.

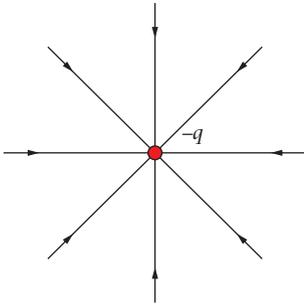
c. Le champ électrostatique

■ Un **champ électrostatique**, noté \vec{E} , est un champ vectoriel. Il est dirigé selon la force \vec{F} qui modélise l'action mécanique qui s'exerce sur une charge q et a pour expression :

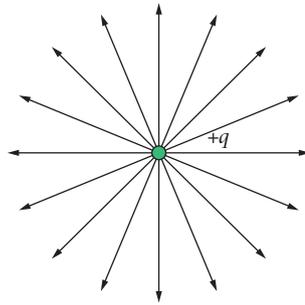
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

E est en newtons par coulomb ($\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$) ou en volts par mètre ($\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$), F en newtons (N) et q en coulombs (C).

■ On peut visualiser ce champ en faisant flotter de petites graines à la surface d'un liquide isolant à proximité de la source du champ.



Lignes d'un champ électrostatique créé par une charge négative



Lignes d'un champ électrostatique créé par une charge positive

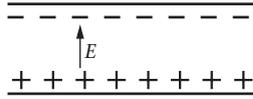
Les lignes de champ se dirigent vers la charge source lorsque celle-ci est négative et en partent lorsqu'elle est positive.

d. Exemple du condensateur plan

■ Un **condensateur plan** est formé de deux plaques conductrices planes et parallèles, les **armatures**, séparées par un **isolant** (air, verre, matériaux plastiques) aussi appelé **diélectrique**.

La plupart des condensateurs peuvent être assimilés à des condensateurs plans.

■ Lorsqu'un condensateur plan est soumis à une tension électrique, les armatures acquièrent des charges électriques opposées. Un **champ électrostatique** est alors créé entre les deux plaques.



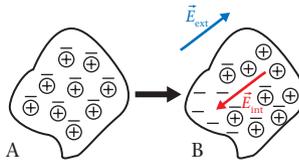
Caractéristiques de \vec{E} entre les armatures :

- **direction** : \vec{E} est perpendiculaire aux armatures ;
- **sens** : de l'armature positive à l'armature négative ;
- **intensité** : $E = \frac{U}{d}$, avec U en volts (V), d en mètres (m) et E en volts par mètre ($V \cdot m^{-1}$).

■ Dans un condensateur, les **lignes de champ électrostatique** sont des droites parallèles entre elles, **perpendiculaires aux armatures** et dirigées vers l'armature négative : le champ électrostatique, à l'intérieur d'un condensateur plan, est **uniforme**.

e. Influence électrostatique

■ On parle d'**influence électrostatique** lorsqu'un conducteur se charge localement sous l'effet d'un champ électrique extérieur.



Conducteur soumis à un champ extérieur

■ Lorsqu'un conducteur (schéma A) est soumis à un champ extérieur \vec{E}_{ext} (schéma B), les charges qu'il contient se déplacent : les charges positives dans le sens du champ et les charges négatives dans le sens opposé. Un **champ électrique** \vec{E}_{int} est alors créé à l'intérieur du conducteur, en sens opposé au champ extérieur.

Interaction et champ gravitationnels

a. Loi de gravitation universelle

■ La gravitation est une **interaction attractive à distance** entre deux objets ayant une masse. Son rayon d'action est **illimité**, mais sa valeur diminue quand la distance augmente. La gravitation est prédominante quand les objets en interaction ont des masses élevées, donc à l'échelle astronomique.

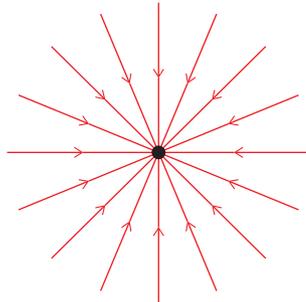
■ Deux objets A et B, de masses respectives m_A et m_B , dont les centres sont séparés d'une distance d , exercent l'un sur l'autre des **forces d'attraction gravitationnelle** ayant la même intensité F_G . C'est la loi de **gravitation universelle** :

$$F_G = G \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$$

avec G la **constante de gravitation universelle** égale à $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$, F_G en newtons (N), m_A et m_B en kilogrammes (kg) et d en mètres (m).

b. Champ de gravitation

■ Un objet massif exerce autour de lui une action mécanique d'attraction gravitationnelle sur tout autre objet massif. Il en résulte un champ de gravitation. C'est un **champ vectoriel centripète** : toutes les lignes de champ sont orientées vers le centre de l'objet massif à l'origine du champ.



Lignes centripètes du champ de gravitation

■ La relation entre le champ de gravitation \vec{g} et la force gravitationnelle \vec{F}_G subie par un objet de masse m est :

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_G}{m}$$

Déterminer la valeur d'une force d'interaction

Énoncé

- Calculer les valeurs F_e des forces d'interaction électrostatique entre le proton et l'électron d'un atome d'hydrogène. Ces forces sont-elles attractives ou répulsives ?
- Donner les similitudes et les différences entre les forces électrostatique et gravitationnelle.

Données : $k = 9,0 \times \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$;

$q_p = +1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $q_e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $d = 0,053 \text{ nm}$; $F_G = 3,6 \times 10^{-47} \text{ N}$.

Savoir-faire

- Utiliser la loi de Coulomb.
- Citer les analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle.

Corrigé détaillé

- Selon la loi de Coulomb, on a :

$$F_e = k \times \frac{|q_p \cdot q_e|}{d^2}$$

La charge d'un électron est $-e$ et celle du proton est $+e$.

$$F_e = k \times \frac{e^2}{d^2}$$

Application numérique :

$$F_e = 9,0 \times 10^9 \times \frac{(1,6 \times 10^{-19})^2}{(0,053 \times 10^{-9})^2} = 8,2 \times 10^{-8} \text{ N}.$$

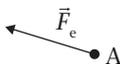
Les forces sont attractives, car électron et proton sont de signes opposés.

- Les forces électrostatique et gravitationnelle sont toutes deux de portée illimitée et de valeur inversement proportionnelle au carré de la distance. En revanche, l'interaction gravitationnelle est toujours attractive, tandis que l'interaction électrostatique peut être attractive ou répulsive selon le signe des charges. L'interaction électrostatique est également beaucoup plus intense.

La force et le champ électrostatiques

Énoncé

Un électron de charge $q = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ se trouve en un point A où règne un champ électrostatique \vec{E} . De ce fait, il ressent une force électrostatique de norme $F_e = 2,6 \times 10^{-15} \text{ N}$. Cette situation est représentée sur le schéma ci-dessous.



Caractériser le champ électrostatique au point A et le représenter à l'échelle : 1,0 cm correspond à $4,0 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$.

Savoir-faire

- Utiliser les expressions vectorielles de la force électrostatique et du champ électrostatique.

Corrigé détaillé

Soit l'expression du champ électrostatique \vec{E} :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

La direction du champ \vec{E} est la même que celle de la force \vec{F}_e . Mais comme la charge q de l'électron est négative, le sens du champ est opposé à celui de la force.

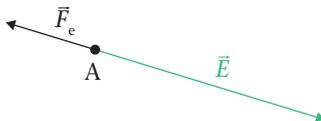
La norme E du champ a pour valeur :

$$E = \frac{F_e}{|q|} = \frac{F_e}{e}$$

Application numérique :

$$E = \frac{2,6 \times 10^{-15}}{1,6 \times 10^{-19}} = 1,6 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$$

En utilisant l'échelle proposée, le vecteur champ électrostatique a une longueur de : $\frac{1,0 \times 1,6 \times 10^4}{4,0 \times 10^3} = 4,0 \text{ cm}$.



Pour réussir le jour J !

X

Les erreurs à ne pas commettre

- Il faut connaître les lois de la gravitation et de Coulomb, les relations entre champs et forces.
- Il faut connaître les caractéristiques des lignes de champ. ▶ Exercice 5
- Il faut adapter les relations mathématiques du cours aux symboles utilisés dans l'énoncé. ▶ Exercice 3
- Ne pas confondre \vec{F} le vecteur force et F sa norme. Ce que l'on demande de calculer dans les exercices c'est F , la norme.
- Il faut être attentif aux données de l'énoncé et les convertir au besoin (masses en kilogrammes, distances en mètres, charges en coulombs). ▶ Exercice 9
- Une vérification du résultat trouvé avec les ordres de grandeur est peu chronophage et peut éviter bien des erreurs.
- Il faut accorder une attention particulière aux expressions vectorielles : deux vecteurs égaux ont même direction et même sens. Lorsqu'ils sont opposés, leur direction est la même et leur sens contraire. ▶ Exercice 4



Un point en + sur la copie

- Il faut toujours travailler le plus possible avec les relations littérales et éviter les calculs intermédiaires.
- Dans les réponses avant chaque calcul, il faut présenter la grandeur calculée ainsi que les lois utilisées. ▶ Exercice 3
- Avant de représenter une force, un champ ou une ligne de champ, il faut justifier son sens et sa direction. ▶ Exercice 5

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 197

1 Les champs vectoriels :

- a. sont caractérisés par des lignes de champ parallèles entre elles.
- b. peuvent être uniformes.
- c. sont caractérisés par des lignes d'égaux valeurs.

2 Le champ électrostatique :

- a. est un champ vectoriel.
- b. est caractérisé par sa valeur E donnée par $E = |q| \cdot F$.
- c. n'agit que sur des particules possédant une masse.

3 Les lignes de champ électrostatique :

- a. sont toujours orientées de la charge positive vers la charge négative.
- b. sont toujours orientées de la charge négative vers la charge positive.
- c. ne sont pas orientées.

4 Le champ gravitationnel :

- a. existe seulement autour des planètes et des étoiles.
- b. est un champ scalaire.
- c. est centripète.

5 Le champ de gravitation de la Terre :

- a. est dirigé vers le centre de la Terre.
- b. a une intensité constante à la surface de la Terre.
- c. est lié à la masse de la Terre.

6 Une grandeur vectorielle en un point de l'espace est caractérisée par :

- a. sa direction et son sens uniquement.
- b. son sens et sa valeur uniquement.
- c. sa direction, son sens et sa valeur.

7 L'interaction gravitationnelle prédomine :

- a. à l'échelle moléculaire.
- b. à l'échelle nucléaire.
- c. à l'échelle astronomique.

8 L'interaction électromagnétique est :

- a. toujours attractive.
- b. attractive ou répulsive.
- c. liée à la masse des corps en interaction.

9 Le champ électrostatique \vec{E} et la force subie \vec{F}_e par une particule de charge q dans ce champ sont liés par la relation :

- a. $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$.
- b. $\vec{F}_e = \frac{\vec{E}}{q}$.
- c. $\vec{F}_e = q \times \vec{E}$.

10 La force électrostatique exercée sur une particule de charge q :

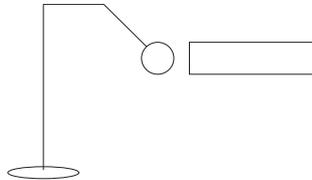
- a. est proportionnelle à la valeur du champ électrostatique.
- b. est de sens opposé au champ électrostatique si la charge q est positive.
- c. est de même sens que le champ électrostatique si la charge q est positive.

Exercices

niveau 1 8 min

▶ *Corrigés, p. 197*

Une tige en PVC est électrisée par frottement avec un morceau de peau de chèvre. On approche ensuite la tige d'un pendule constitué d'une boule en aluminium suspendue par un fil isolant.



1. La tige est électrisée négativement. Pourquoi ?
2. Que se passe-t-il lorsqu'on approche la tige de la boule ? Représenter la répartition de quelques charges sur le schéma ci-dessous.



3. On touche ensuite la boule avec la tige. Expliquer le transfert de charges qui s'effectue entre la tige et la boule. Représenter la répartition des charges sur un schéma.

niveau 1 5 min

▶ *Corrigés, p. 198*

Soient les caractéristiques suivantes :

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

Masse du Soleil : $M_s = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$.

Masse de la Terre : $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$.

Rayon de la Terre : $R_T = 6,38 \times 10^6 \text{ m}$.

Distance entre le centre de la Terre et le centre du Soleil : $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$.

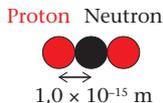
1. Calculer la valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par le Soleil sur la Terre.
2. Que peut-on dire de la force exercée par la Terre sur le Soleil ?

niveau 1 10 min

▶ *Corrigés, p. 198*

Les noyaux atomiques sont constitués de protons de charges positives et de neutrons qui ne sont pas chargés.

Peut-on expliquer la cohésion d'un noyau atomique en disant que l'interaction gravitationnelle entre un proton et un neutron compense la répulsion électrique entre deux protons ?



Données :

Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Masse d'un nucléon : $m_p = m_n = m_{\text{nu}} = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

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

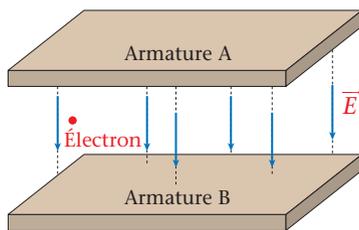
Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.

1. Quelle est la valeur de l'attraction gravitationnelle entre un proton et un neutron ?
2. Calculer la force électrique s'exerçant entre deux protons séparés par un neutron ?
3. Comparer les deux forces. Conclure sur la force qui assure la cohésion atomique.

niveau 1 12 min

► *Corrigés, p. 199*

Un condensateur est formé de deux armatures A et B portant des charges opposées. A est l'armature positive, B la négative. Il règne entre elles un champ électrique uniforme E représenté dans le schéma ci-dessous.



Un électron est lancé avec une vitesse initiale parallèle aux armatures. Sa trajectoire parabolique le rapproche de l'armature A.

Données :

$E = 300 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$.

Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

1. Représenter la force \vec{F}_e sur le schéma.
2. Calculer la valeur de l'intensité de \vec{F}_e .

niveau 1 13 min

► Corrigés, p. 200

La Lune est l'unique satellite naturel de la Terre. Les centres des deux astres sont en moyenne séparés d'une distance de $3,84 \times 10^5$ km.

Données :

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

Masse de la Lune : $M_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$.

Masse de la Terre : $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$.

1. Expliquer pourquoi la Lune subit l'attraction de la Terre.
2. Calculer la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur la Lune.
3. Représenter et décrire le champ de gravitation de la Terre sans tenir compte de l'échelle.

niveau 2 15 min

► Corrigés, p. 200

Le point d'équigravité Terre-Soleil est situé sur une ligne imaginaire joignant les centres des deux astres et où les champs de gravitation se compensent.

Données :

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

Masse du Soleil : $M_S = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$.

Masse de la Terre : $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$.

Rayon de la Terre : $R_T = 6,38 \times 10^6 \text{ m}$.

Distance entre le centre de la Terre et le centre du Soleil : $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$.

1. De quel astre ce point sera-t-il le plus proche ?
2. Quelle distance en kilomètres sépare le centre de la Terre du point d'équigravité Terre-Soleil ?

niveau 3 12 min

► Corrigés, p. 201

Un électron est situé dans le champ électrostatique \vec{E} d'un condensateur plan dans lequel règne le vide.

Données :

Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Intensité de la pesanteur : $9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Masse de l'électron : $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

Masse d'un nucléon : $m_p = m_n = m_{\text{nu}} = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

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

1. Quelles forces s'exercent sur cet électron ?
2. Quelle condition est requise pour que l'électron soit immobile ?
3. Calculer alors la valeur de l'intensité du champ électrostatique.

niveau 3 20 min

► *Corrigés, p. 202*

La Lune tourne autour de la Terre, car elle demeure dans son champ gravitationnel. Le centre de la Lune et celui de la Terre sont séparés par une distance $D = 3,8 \times 10^8$ m.

Données :

Masse de la Terre : $M_T = 5,98 \times 10^{24}$ kg.

Masse de la Lune : $M_L = 7,35 \times 10^{22}$ kg.

Rayon de la Terre : $R_T = 6,38 \times 10^6$ m.

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

1. Soit d la distance séparant le centre de la Lune de la surface de la Terre. Donner l'expression de la force exercée par la Lune sur un objet de masse m placé à la surface de la Terre.

On peut également écrire ainsi la norme de $F_{L/O} = m \times \mathcal{G}_L$, avec \mathcal{G}_L le champ de gravité de la Lune.

2. Déterminer l'expression littérale de l'intensité du champ de la Lune à la surface de la Terre en fonction de G , M_L , D et R_T .

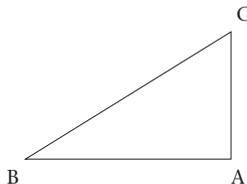
3. Comparer la valeur de ce champ à celle du champ exercé par la Terre à sa surface.

4. Quelle devrait être la masse M_L de la Lune pour qu'elle puisse « arracher » des objets de la surface de la Terre ?

niveau 3 22 min

► *Corrigés, p. 203*

Trois particules chargées forment un triangle rectangle BAC rectangle en A. La particule en A porte la charge q_A . Elle y subit une force électrique \vec{F}_e selon un angle $\alpha = 60,0^\circ$ par rapport à l'horizontale et dirigée vers le haut.



Données :

$AC = 4,0 \text{ cm}$; $AB = 6,0 \text{ cm}$; $q_A = -5,0 \text{ nC}$; $q_C = 14,0 \text{ nC}$; $F_e = 6,0 \times 10^{-4} \text{ N}$.

- Déterminer les caractéristiques du champ électrique $\overline{E_A}$ qui règne en A.
- Donner l'expression vectorielle de $\overline{E_{C/A}}$ et déterminer ses caractéristiques.
- Comment est orienté le champ électrique $\overline{E_{B/A}}$?

En déduire le signe de la charge q_B placée en B sans faire de calcul.

niveau 3 13 min

type BAC

Corrigés, p. 204

Dans des conditions de beau temps, un champ électrostatique quasiment uniforme de valeur $150 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ règne à la surface de la Terre. Ce champ est dirigé vers le sol.

Mais, au moment de la formation ou de l'approche d'un nuage orageux, la valeur du champ électrique croît fortement.

Les nuages d'orage sont des cumulonimbus composés à la fois d'eau et de glace. Lors des orages, le nuage est fortement chargé électriquement : son sommet est chargé positivement, tandis que sa base, presque horizontale, est chargée négativement.

Par influence, la partie de la Terre se trouvant sous le nuage se charge positivement (les charges négatives du sol étant repoussées). Le champ devient alors si intense, dépassant les $20 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$ et pouvant atteindre $100 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$ près des pointes comme les arbres, les clochers, etc. que l'air est ionisé, ce qui le rend beaucoup plus conducteur qu'habituellement. Une décharge électrique est alors possible, c'est l'éclair.

- Comment est chargée la surface du sol par beau temps ?
- On modélise par un condensateur plan l'ensemble formé par la base du nuage et la Terre
 - Quel isolant sépare les deux « plaques » de ce « condensateur » ?
 - Schématiser la situation et représenter quelques lignes de champ.
- On suppose que lors d'un orage l'altitude moyenne de la base du cumulonimbus est de $1,50 \text{ km}$ et la norme du champ électrique égale à $100 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$.

Calculer la valeur de la force F que subirait un électron situé entre le nuage et le sol.

Description d'un fluide à l'aide de grandeurs macroscopiques

■ Un fluide peut être considéré comme étant formé d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. Un fluide n'a pas de forme propre. Parmi les fluides, on distingue les liquides et les gaz :

– **dans un liquide**, les molécules sont spatialement très proches et donc interagissent fortement les unes avec les autres ;

– **dans un gaz**, les molécules sont beaucoup plus éloignées et n'interagissent pas ou peu entre elles. Elles sont donc libres d'occuper tout l'espace disponible.

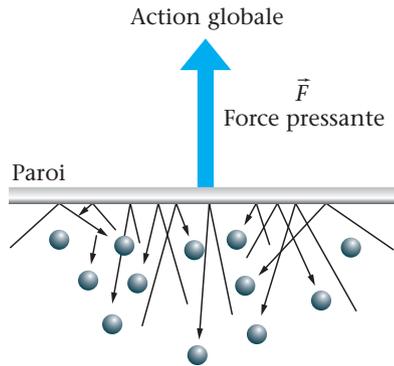
■ Il est impossible de décrire un fluide à l'échelle microscopique, car les molécules sont si nombreuses qu'il faudrait connaître un trop grand nombre de paramètres (vitesse, position, masse...).

■ On utilise donc pour décrire l'état d'un fluide des grandeurs macroscopiques, facilement accessibles à la mesure : la pression P , la température T , le volume V et la quantité de matière n .

a. Force pressante

■ Dans les fluides, les molécules sont animées d'un mouvement permanent et désordonné dans toutes les directions. Elles se déplacent en ligne droite tant qu'elles ne rencontrent pas d'obstacles. Cette agitation conduit à des chocs incessants entre elles et avec les parois du récipient qui les contient.

■ L'effet de ces chocs sur les parois est appelé **force pressante**. La force pressante est dirigée **perpendiculairement** à la surface sur laquelle elle s'exerce. Elle est représentée par un vecteur noté \vec{F} .



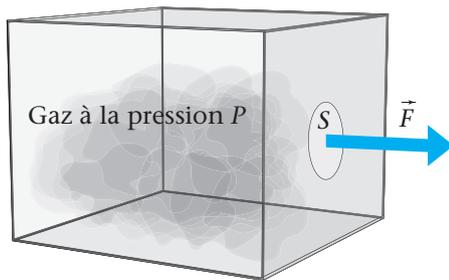
- Les **caractéristiques** d'une force pressante sont :
 - le point d'application, centre de la surface de contact ;
 - la direction, perpendiculaire à la surface pressée ;
 - le sens, du milieu qui agit vers la surface pressée ;
 - l'intensité, en newtons.

b. Pression

- Un fluide exerce une force pressante \vec{F} d'intensité F sur la surface S d'une paroi plane. La pression de ce fluide est définie par la relation :

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

avec P en pascals (Pa), F en newtons (N) et S en mètres carrés (m^2).



- Certaines unités de pression, non légales, comme le bar (bar), l'atmosphère (atm) ou l'hectopascal (hPa) sont encore utilisées :

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa.}$$

■ La **pression atmosphérique** est la pression de l'air qui nous entoure. Sa valeur moyenne au niveau de la mer est $P = 1,013 \times 10^5$ Pa, soit environ 1 bar. Elle diminue quand l'altitude augmente.

c. Température

■ La température d'un corps, à l'état liquide ou gazeux, est liée à l'agitation des particules qui le constituent. Plus les particules sont agitées, plus la température est élevée. L'agitation moléculaire est aussi appelée **agitation thermique**.

■ L'échelle légale de température est l'échelle de **température absolue** dont l'unité est le kelvin (K). L'échelle Kelvin est dite échelle absolue, car la température $T = 0$ K est la plus petite température qui puisse exister (elle correspond à une agitation nulle des particules). Une échelle très utilisée est l'échelle Celsius, dont l'unité est le degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$). La température absolue T et la température Celsius notée θ sont liées par la relation :

$$T \text{ (K)} = \theta \text{ (}^{\circ}\text{C)} + 273,15$$

d. Masse volumique

■ Chaque fluide possède sa propre masse volumique. L'hélium flotte au-dessus de l'air de la même manière que le pétrole flotte à la surface de l'eau, car la masse volumique de l'hélium est inférieure à celle de l'air.

■ Si l'on comprime un fluide, on oblige les particules à se rapprocher les unes des autres. Le volume du fluide diminue. Or, comme $\rho = \frac{m}{V}$, si V diminue, $\frac{m}{V}$ augmente, la masse volumique augmente.

■ Si un fluide est chauffé, l'agitation des particules augmente. Celles-ci s'éloignent les unes des autres, le volume augmente et la masse volumique diminue.

Loi de Mariotte

■ Pour une quantité de matière donnée d'un gaz à température constante, le produit de la pression P de ce gaz par le volume V qu'il occupe est constant lors d'une compression ou d'une détente :

$$P \times V = \text{constante}$$

avec P la pression du gaz en pascals (Pa) et V le volume du gaz en mètres cubes (m^3).

■ On peut aussi formuler cette loi de la manière suivante : à température constante, si l'on modifie le volume d'une certaine quantité d'un gaz (d'une valeur V_1 à une valeur V_2), dans le même temps, sa pression varie d'une valeur P_1 à une valeur P_2 de telle manière que :

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

■ Les gaz réels ne suivent pas toujours rigoureusement cette loi, mais ils s'en approchent d'autant plus que leur pression est faible.

L'INFO EN PLUS

Cette loi a été découverte à quelques années d'intervalle par l'Irlandais Robert Boyle (en 1662) et par le Français Edme Mariotte (en 1676). Certains la nomment loi de Boyle, d'autres loi de Mariotte et d'autres loi de Boyle-Mariotte.

Loi fondamentale de la statique des fluides

■ La pression dans un liquide au repos est appelée pression hydrostatique. Elle est provoqué par la pesanteur. Dans un liquide au repos :

- la pression est la même en tout point d'un plan horizontal ;
- la pression augmente avec la profondeur d'immersion.

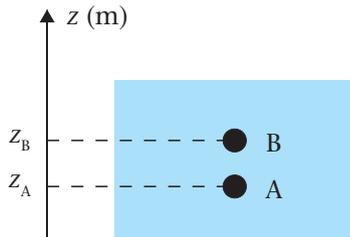
■ La différence de pression $P_A - P_B$ entre deux points A et B d'un liquide au repos situés à des profondeurs différentes est donnée par la relation :

$$P_A - P_B = \rho \cdot g \cdot (z_B - z_A)$$

P_A et P_B : pression du fluide (en Pa) ;
 ρ : masse volumique du liquide (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ;
 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).

À NOTER

Cette relation n'est pas à connaître, elle sera fournie dans les exercices, mais il faut savoir l'utiliser.



■ Sous l'eau, la pression augmente d'environ 1 bar tous les 10 mètres. En effet, si $z_B - z_A = 10$ m, avec une masse volumique de l'eau de $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, alors $P_A - P_B = 1\,000 \times 9,8 \times 10 = 98\,000 \text{ Pa} = 0,98 \text{ bar}$, soit environ 1 bar.

Nous avons vu qu'il règne 1 bar de pression atmosphérique en surface. À 10 mètres de profondeur, la pression est donc de 2 bars : 1 bar de pression atmosphérique auquel on ajoute 1 bar dû au poids de la colonne d'eau de 10 mètres de hauteur.

À 20 mètres de profondeur, la pression est de 3 bars : 1 bar de pression atmosphérique auquel on ajoute 2 bars pour la colonne d'eau de 20 mètres de hauteur.

À NOTER

La différence de pression entre deux points dépend aussi de la masse volumique du liquide et donc de sa nature.

Utiliser la relation exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides

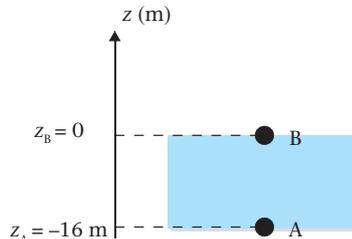
Énoncé

Déterminer la pression en bars P_A qui règne au fond d'un lac à 16 mètres de profondeur. La pression à la surface est $P_B = 1,0$ bar. La masse volumique de l'eau est $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Savoir-faire

- Réaliser un schéma pour préciser les grandeurs.
- Écrire la relation littérale entre profondeur et pression.
- Convertir les grandeurs.
- Écrire la relation avec les valeurs numériques.
- Conclure.

Corrigé détaillé



- La relation littérale entre profondeur et pression est :

$$P_A - P_B = \rho \cdot g \cdot (z_B - z_A), \text{ soit } P_A = P_B + \rho \cdot g \cdot (z_B - z_A).$$

- Il suffit d'exprimer la pression en Pa :

$$P_B = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

$$P_A = 1,0 \times 10^5 + 1,0 \times 10^3 \times 9,8 \times 16 = 2,6 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

Au fond du lac, la pression de l'eau est de 2,6 bars.

Utiliser la loi de Mariotte

Énoncé

Une bulle d'air de volume 15 mL est rejetée par le détendeur d'un plongeur à 16 mètres sous la surface d'un lac. La pression régnant à cette profondeur est de 2,6 bar. La pression atmosphérique régnant à la surface du lac P_B est de 1,0 bar. Calculer le volume de cette bulle lorsqu'elle atteint la surface (on suppose que la température ne change pas).

Savoir-faire

- Écrire la loi de Mariotte.
- Définir les grandeurs utilisées et donner leur valeur.
- Faire un calcul littéral.
- Effectuer l'application numérique.

Corrigé détaillé

- Loi de Mariotte : $P \times V = \text{constante}$.
- Au fond du lac, la pression sera notée P_A et le volume de la bulle d'air V_A . En surface, la pression sera notée P_B et le volume de la bulle (que l'on recherche) V_B .

On a : $P_A = 2,6$ bar, $V_A = 15$ mL, $P_B = 1,0$ bar, et on recherche V_B .

- $P_A \times V_A = P_B \times V_B$, soit $V_B = \frac{P_A \times V_A}{P_B}$.

- *Application numérique :*

$$V_B = \frac{2,6 \times 15}{1,0} = 39 \text{ mL.}$$

On peut laisser P_A et P_B en bars, car c'est le rapport $\frac{P_A}{P_B}$ qui intervient et celui-ci n'a pas d'unité. En laissant V_A en millilitres (mL), on obtient le résultat en millilitres.

Pour réussir le jour J !



Les erreurs à ne pas commettre

● Faire attention aux chiffres significatifs : un résultat ne peut être plus précis que les données.

► *Exercice 5*

● La relation exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides $P_2 - P_1 = \rho \times g \times (z_1 - z_2)$ sera fournie, mais il faut être attentif aux unités qui sont celles du système international : P_2 et P_1 en Pa (et non en bar), ρ en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (et non en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ou $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ que nous utilisons souvent en chimie), z_1 et z_2 en m.

► *Exercice 3*



Un point en + sur la copie

● Construire un schéma peut vous aider à mieux comprendre la situation.

► *Méthode 1*

● Pour tracer une courbe, choisir une échelle pour chacune des grandeurs et tracer les axes à la règle. Indiquer le nom de la grandeur à l'extrémité de l'axe ainsi que son unité. Représenter les points par des croix (+). Repérer l'allure globale du graphique en prenant du recul. Si les croix paraissent alignées, tracer à la règle la droite qui passe le plus près possible du plus grand nombre de croix ; on obtient ainsi une droite moyenne. La droite ne passe pas obligatoirement par tous les points. En effet, chaque mesure possède une incertitude qui fait que le point marqué est une possibilité parmi d'autres.

► *Exercice 8*

10 QCM pour réviser le cours

► Corrigés, p. 217

1 La relation entre la valeur F de la force pressante, la pression P et la surface S est :

a. $F = P \times S$. b. $P = F \times S$.

c. $F = \frac{P}{S}$.

2 Lorsque les chocs des molécules de gaz sur les parois d'un récipient deviennent plus intenses, la force pressante :

a. diminue. b. reste la même.

c. augmente.

3 Dans le système international, l'unité de pression est :

a. le pascal. b. le newton.

c. le bar.

4 Au sommet du mont Blanc, la pression est de 540 hPa. Cette pression s'écrit aussi :

a. $5,40 \times 10^4$ Pa.

b. $5,40 \times 10^2$ Pa.

c. 5,40 bars.

5 À température constante et pour une quantité de gaz donnée, la pression P et le volume V d'un gaz sont liés par la relation :

a. $P + V = \text{constante}$.

b. $P \times V = \text{constante}$.

c. $\frac{P}{V} = \text{constante}$.

6 Le volume d'un ballon d'hélium au sol est $V_1 = 2,8$ L et la pression atmosphérique vaut 1,0 bar. À une

altitude où la pression est divisée par deux, le volume V_2 du ballon est :

a. $V_2 = 1,4$ L. b. $V_2 = 2,8$ L.

c. $V_2 = 5,6$ L.

7 La pression de l'air dans une seringue est égale à $P_1 = 1\,028$ hPa. On déplace le piston et on trouve une pression $P_2 = 1\,043$ hPa.

a. Le piston de la seringue a été poussé.

b. Le volume d'air dans la seringue a augmenté.

c. La quantité d'air a augmenté.

8 Un plongeur descend à 20 mètres de profondeur. La pression de l'eau entourant le plongeur :

a. diminue de 2 bars.

b. augmente de 2 bars.

c. augmente de 3 bars.

9 Que se passe-t-il si un plongeur descend une bouteille en plastique vide et hermétiquement fermée à 10 mètres de profondeur ?

a. La bouteille gonfle.

b. Il ne se passe rien.

c. La bouteille s'écrase.

10 Le hublot du masque d'un plongeur a une surface de $1,4 \times 10^{-2}$ m² et la force pressante exercée par l'eau sur le hublot vaut $2,8 \times 10^3$ N.

Combien vaut la pression de l'eau autour du plongeur ?

a. 20 Pa. b. 39 Pa.

c. $2,0 \times 10^5$ Pa.

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

CORRIGÉS

Exercices

niveau 1 5 min

Corrigés p. 218

Un plongeur utilise une bouteille contenant 12 L d'air comprimé à 200 bars.

Calculer le volume que prendrait l'air comprimé à pression atmosphérique.

niveau 2 5 min

Corrigés p. 218

La pression de l'air contenu dans un ballon de handball est de 1,4 bar. Calculer la force exercée par l'air contenu dans le ballon sur une zone de 10 cm² (que l'on peut considérer comme plane).

niveau 2 5 min

Corrigés p. 218

Lors d'une plongée en mer Méditerranée, le capteur de pression d'un plongeur indique $P = 5,2 \times 10^5$ Pa.

On donne la relation $P_2 - P_1 = \rho \cdot g \cdot (z_1 - z_2)$.

Données :

$\rho_{\text{eau}} = 1,027 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$, $P_{\text{atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$.

À quelle profondeur le plongeur est-il descendu ?

niveau 2 5 min

Corrigés p. 218

L'autrichien Herbert Nitsch détient le record du monde de plongée en apnée, avec une profondeur de 214 mètres en mer.

Donnée : Masse volumique de l'eau de mer : 1,03 kg · L⁻¹.

1. La pression atmosphérique à la surface de la mer étant égale à $1,0 \times 10^5$ Pa, en déduire la pression régnant à une profondeur de 214 mètres. On donne la relation $P_2 - P_1 = \rho \cdot g \cdot (z_1 - z_2)$.

2. Chacun des tympan du plongeur a une surface $S = 0,60 \text{ cm}^2$. Calculer l'intensité de la force pressante qui s'exerce sur la face externe de chaque tympan.

On introduit un comprimé effervescent dans un flacon contenant un peu d'eau, puis on rebouche rapidement le flacon. La force pressante exercée par l'air extérieur sur le bouchon a pour valeur $F_{\text{ext}} = 32 \text{ N}$. La force pressante exercée par les gaz présents à l'intérieur de la bouteille a pour valeur $F_{\text{int}} = 53 \text{ N}$.

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

1. Le bouchon est un cylindre de diamètre D . Déterminer D .
2. Déterminer la valeur de la pression qui règne à l'intérieur du flacon.
3. Représenter les deux forces pressantes sur un schéma.

En vol de croisière, un avion évolue aux environs de 10 000 mètres d'altitude. À cette altitude la pression est très faible (environ 250 hPa), les besoins de l'organisme, en matière de respiration, ne peuvent pas être satisfaits. Il est donc nécessaire de faire régner dans l'avion une pression artificielle « vivable », appelée *pressurisation*.

Sur un avion tel que l'Airbus A320, les équipements de pressurisation établissent dans l'avion une pression équivalente à celle régnant aux environs de 2 400 mètres d'altitude, c'est-à-dire 750 hPa. La porte de l'avion est assimilée à un rectangle de 81 cm de largeur et de 185 cm de hauteur.

1. Calculer la valeur de la force pressante F_1 exercée par l'air extérieur sur la porte de l'avion.
2. Calculer la valeur de la force pressante F_2 exercée par l'air intérieur sur la porte de l'avion.
3. Dans quel sens se déformerait la porte si elle était souple ?

Un plongeur évolue à 5,0 m de profondeur. Lorsqu'il bloque sa respiration avant de remonter, ses poumons contiennent un volume $V = 4,1 \text{ L}$ d'air dont la pression est égale à la pression de l'eau à cette profondeur.

Mais attention, à la remontée, comme la pression diminue, le volume de l'air contenu dans les poumons augmente. Si le plongeur n'évacue pas cet air, la surpression risque de déchirer ses alvéoles pulmonaires.

1. La pression atmosphérique en surface vaut $P_{\text{surface}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$. Calculer la pression P à 5,0 m de profondeur. On donne la relation : $P_A - P_B = \rho \cdot g \cdot (z_B - z_A)$, avec g (intensité de la pesanteur) = $9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ et ρ (masse volumique de l'eau) = $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
2. Calculer le volume occupé par l'air contenu dans les poumons lorsque le plongeur arrive à la surface de l'eau.
3. Que risque-t-il de se passer, sachant que les poumons du plongeur peuvent contenir un volume maximal d'air de 5,6 L ?

niveau 3 15 min

type BAC

Corrigés p. 220

Un élève emprisonne une certaine quantité d'air dans une seringue, puis il déplace lentement le piston. Il relève la valeur de la pression pour différents volumes.

V (mL)	30	35	40	45	50
P (hPa)	1 328	1 138	996	885	797

1. Tracer la courbe représentant P en fonction de $\frac{1}{V}$ sur une feuille de papier millimétré.
2. La loi de Mariotte est-elle vérifiée ? Justifier.

ATTENTION

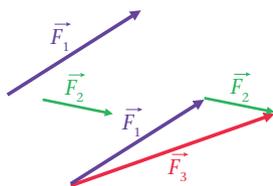
P est en ordonnées
et $\frac{1}{V}$ en abscisses.

Force et vecteur variation de vitesse

■ Une force qui agit sur un corps déjà en mouvement modifie le mouvement de celui-ci (sa trajectoire et/ou sa vitesse). Lorsqu'elle agit sur un corps au repos, elle le met en mouvement.

a. Composition de forces

■ Lorsqu'un corps est soumis en même temps à plusieurs forces, l'effet résultant est le même que s'il n'était soumis qu'à une seule force appelée **résultante**.



Addition de deux forces : $\vec{F}_3 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

■ Mathématiquement, la force résultante d'un système subissant n forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ correspond à la somme vectorielle de tous les vecteurs forces qui s'appliquent à ce corps. Elle s'écrit : $\sum \vec{F}_i$.

■ Tout comme les autres forces, la force résultante possède une **norme**, une **direction** et une **orientation**. Elle peut également être définie comme étant la force globale agissant sur un objet, quand toutes les forces agissant sur celui-ci sont ajoutées.

■ À part lorsqu'une seule force agit sur un objet, la force résultante ne correspond pas à une force « réelle ».

b. Vecteur variation du vecteur vitesse

■ La vitesse se définit par un vecteur caractérisé par sa direction, son sens et sa norme. Dans la plupart des mouvements, la vitesse varie au cours du temps, soit en norme, soit en direction, soit en sens, soit selon les trois caractéristiques à la fois.

■ Le vecteur $\overline{\Delta v_G}$ représente la variation du vecteur vitesse instantanée du centre d'inertie entre deux instants voisins t_{i-1} et t_{i+1} . Si à l'instant t_{i-1} le vecteur vitesse du système est $\overline{v_{i-1}}$ et $\overline{v_{i+1}}$ le vecteur vitesse à l'instant t_{i+1} , alors :

$$\overline{\Delta v_G} = \overline{v_{i+1}} - \overline{v_{i-1}}$$

c. Variation du vecteur vitesse et mouvement

La comparaison du vecteur vitesse avec la trajectoire du système permet de connaître la nature du mouvement :

- dans un **mouvement rectiligne accéléré**, $\overline{\Delta v_G}$ a même direction que la trajectoire et est dans le sens du mouvement ;
- dans un **mouvement rectiligne ralenti**, $\overline{\Delta v_G}$ a même direction que la trajectoire et est dans le sens opposé à celui du mouvement ;
- dans un **mouvement circulaire uniforme**, $\overline{\Delta v_G}$ a une direction perpendiculaire à la trajectoire et est orienté vers le centre de la trajectoire.

À NOTER

L'accélération représente la variation du vecteur vitesse d'un corps pendant un temps donné. Ce concept physique regroupe trois types d'événements distincts dans la vie courante : aller plus vite, ralentir et changer de direction.

Relation entre force et variation du vecteur vitesse

a. Expression approchée de la deuxième loi de Newton

■ Lorsque le mouvement d'un système de masse m est étudié par rapport à un référentiel galiléen, la variation $\overline{\Delta v_G}$ du vecteur vitesse du centre d'inertie de ce système calculée sur un intervalle de temps de faible durée et le vecteur \overline{F} représentant la résultante des forces qui s'exercent sur ce système pendant cet intervalle de temps sont **colinéaires** et de même sens.

■ Ils sont liés par la relation (deuxième loi de Newton) :

$$\overline{F} = m \frac{\overline{\Delta v_G(t)}}{\Delta t}$$

■ On peut déduire de cette relation :

- que lorsque la vitesse du centre d’inertie d’un système varie, alors la somme des forces qui s’exercent sur le système n’est pas nulle ;
- que lorsque la somme des forces qui s’exercent sur le système n’est pas nulle, alors la vitesse du centre d’inertie varie ;
- qu’un solide isolé (soumis à aucune force) ou pseudo-isolé (la somme vectorielle des forces qui lui sont appliquées est nulle) reste immobile ou est animé d’un mouvement rectiligne uniforme (**principe d’inertie** ou **première loi de Newton**).

■ Les référentiels galiléens sont les référentiels dans lesquels le principe d’inertie est vérifié. Exemples :

- le référentiel **héliocentrique** est utilisé pour l’étude des mouvements de planètes ;
- le référentiel **géocentrique** est utilisé pour l’étude des mouvements galiléens ;
- le référentiel **terrestre** est utilisé pour la plupart des expériences réalisées à la surface de la Terre.

b. L’inertie relie masse et force

L’effet d’une force sur le mouvement d’un système dépend de sa masse. Plus la masse est faible, plus l’effet de la force est important. Cet effet est même rigoureusement proportionnel : il faut appliquer une force d’intensité double pour le même mouvement quand on double la masse.

Par exemple, un chariot rempli est plus difficile à pousser qu’un chariot vide. Au rugby, il est plus difficile de plaquer un joueur de 130 kg qu’un joueur de 90 kg.

Déterminer le vecteur variation de vitesse

Énoncé

On trouve ci-dessous les positions d'un point M d'un mobile autoporteur tournant autour d'un axe O auquel il est attaché par un fil.

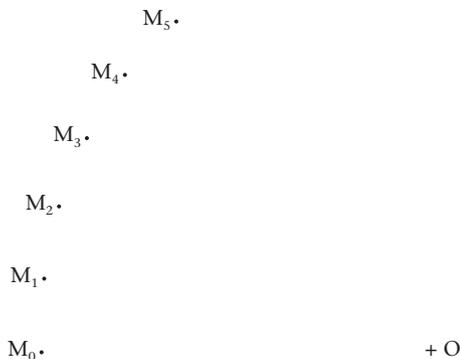
Quelle est la valeur de la variation de vitesse $\Delta\vec{v}$ en M_3 ?

Données :

$\Delta t = 30 \text{ ms}$.

Échelle : 1 cm pour 0,5 cm.

Échelle : 1 cm pour $5,2 \times 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Savoir-faire

- Construire un vecteur variation de vitesse.

Corrigé détaillé

- Le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}$ en M_3 correspond à la différence $\overrightarrow{v_4} - \overrightarrow{v_2}$.

La norme du vecteur vitesse $\overrightarrow{v_2}$ est définie par :

$$v_2 = \frac{M_1M_3}{2\Delta t}$$

Sur le graphique : $M_1M_3 = 2,8 \times 10^{-2} \text{ m}$.

En réalité : $M_1M_3 = \frac{2,8 \times 10^{-2}}{2} = 1,4 \times 10^{-2} \text{ m}$.

À NOTER

On fait toujours la différence entre les deux vecteurs qui encadrent la position étudiée.

$$v_2 = \frac{1,4 \times 10^{-2}}{2 \times 30 \times 10^{-3}} = 2,3 \times 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

La norme du vecteur vitesse \vec{v}_4 est définie par :

$$v_4 = \frac{M_3 M_5}{2 \Delta t}$$

Sur le graphique : $M_3 M_5 = 2,8 \times 10^{-2} \text{ m}$.

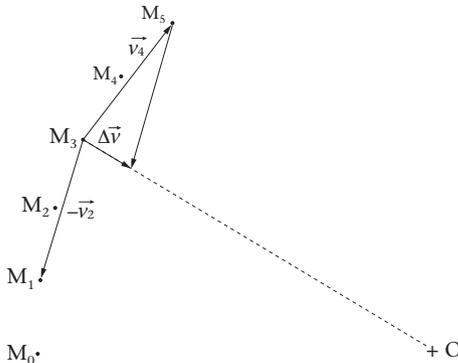
En réalité : $M_3 M_5 = \frac{2,8 \times 10^{-2}}{2} = 1,4 \times 10^{-2} \text{ m}$.

$$v_4 = \frac{1,4 \times 10^{-2}}{2 \times 30 \times 10^{-3}} = 2,3 \times 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

D'après l'échelle, \vec{v}_2 et \vec{v}_4 mesurent chacun $\frac{2,3 \times 10^{-1}}{5,2 \times 10^{-2}} = 4,4 \text{ cm}$.

■ On construit géométriquement le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ en M_3 . On trace pour cela \vec{v}_4 en M_3 en respectant sa direction, son sens et sa norme. On trace ensuite, au même endroit, le vecteur $-\vec{v}_2$ de même direction et de même norme que \vec{v}_2 mais de sens contraire.

■ On construit ensuite l'addition vectorielle des deux vecteurs en utilisant par exemple la méthode du triangle : à l'extrémité du vecteur \vec{v}_4 , on place l'origine du deuxième vecteur $-\vec{v}_2$. Ensuite, on réunit l'origine du premier vecteur à l'extrémité du deuxième vecteur. Le vecteur obtenu est la résultante cherchée : $\Delta \vec{v}$.



■ D'après la figure, le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ a pour longueur 1,7 cm. D'après l'échelle, un vecteur de cette longueur a pour norme : $\Delta v = 8,8 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

La variation de vitesse est radiale et orientée vers O, point d'attache du mobile.

Vecteur variation de vitesse et somme des forces appliquées au système

Énoncé

Le mobile autoporteur dont on a relevé les positions a pour masse 625 g.

1. À quelles forces est-il soumis ?
2. Déduire de la variation du vecteur vitesse, les caractéristiques de la force résultante que subit le mobile autoporteur en M_3 . Que peut-on dire de la relation entre son poids et la réaction du support ?

Savoir-faire

- 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.
- En déduire une estimation des forces appliquées au système.

Corrigé détaillé

1. Le mobile est soumis :
 - à son poids \vec{P} , de direction verticale et de sens vers le bas ;
 - à la réaction normale \vec{R}_N de direction verticale et orientée vers le haut ;
 - à la tension \vec{T} exercée par le fil de direction (OM) et de sens vers O.
2. La variation $\Delta\vec{v}$ du vecteur vitesse du mobile et le vecteur \vec{F} représentant la résultante des forces qui s'exercent sur ce système pendant cet intervalle de temps sont colinéaires et de même sens. Ils sont liés par la relation :

$$\vec{F} = m \frac{\Delta\vec{v}_G(t)}{\Delta t}$$

La valeur de la somme des forces \vec{F} est celle de $m \frac{\Delta\vec{v}_3}{\Delta t}$.

$$\text{Soit } F = 625 \times 10^{-3} \times \frac{8,8 \times 10^{-2}}{2 \times 30 \times 10^{-3}} = 0,92 \text{ N.}$$

La résultante des forces a pour direction (OM) et est orientée vers O, centre de la trajectoire.

Elle a donc même direction et sens que la tension \vec{T} . On peut en déduire que le poids \vec{P} et la réaction normale \vec{R}_N se compensent.

Pour réussir le jour J !

X

Les erreurs à ne pas commettre

- Il ne faut pas négliger l'apprentissage de la relation entre la somme des forces et la variation du vecteur vitesse.
- Il faut savoir utiliser la version approchée de la deuxième loi de Newton qualitativement et quantitativement.

► Exercices 3 et 8

- Il est impératif de savoir réaliser des additions de vecteurs : tant pour construire la résultante des vecteurs forces que pour construire le vecteur variation de vitesse.
- Il faut être attentif avec les relations utilisées dans ce chapitre. Ce sont des relations vectorielles. Il doit donc y avoir à gauche et à droite du signe égal des vecteurs.
- Il faut savoir expliquer l'influence de la masse sur l'effet d'une force sur le mouvement d'un système.

► Exercice 1



Un point en + sur la copie

- Il faut absolument savoir déterminer le vecteur variation de vitesse entre deux instants voisins.

► Exercice 8

- Dans les applications numériques, il faut donner des résultats avec le bon nombre de chiffres significatifs et la bonne unité.
- Il faut rédiger avec soin lorsqu'on utilise la version approchée de la deuxième loi de Newton, que ce soit pour exploiter la colinéarité des vecteurs résultante des forces et variation de vitesses ou la relation de proportionnalité entre les valeurs de ces forces.

► Exercice 7

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

CORRIGÉS

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 234

1 Un système soumis à un ensemble de forces qui se compensent :

- a. peut être immobile.
- b. peut être en mouvement rectiligne uniforme.
- c. peut être en mouvement circulaire uniforme.

2 Lors d'un freinage, une voiture s'arrêtera d'autant plus vite que :

- a. sa masse est grande.
- b. sa vitesse est importante.
- c. sa masse est petite.

3 Dans un mouvement circulaire uniforme, la résultante des forces qui s'exercent sur le système est :

- a. constante. b. nulle.
- c. dirigée vers le centre de la trajectoire.

4 Une force qui s'exerce sur un corps peut modifier :

- a. la masse de celui-ci.
- b. le sens de son mouvement.
- c. la valeur de sa vitesse.

5 Quand la résultante des forces extérieures que subit un système n'est pas nulle :

- a. le vecteur vitesse du centre d'inertie est colinéaire à cette résultante.
- b. le système accélère.
- c. le vecteur variation de vitesse du centre d'inertie est colinéaire à cette résultante.

6 Lorsqu'un système est en mouvement circulaire uniforme :

- a. sa vitesse est constante.
- b. son vecteur vitesse est constant.

c. la valeur du vecteur variation de vitesse est constante.

7 Si on connaît la variation du vecteur vitesse, on peut déterminer :

- a. la direction de la résultante des forces appliquées.
- b. le sens de la résultante des forces appliquées.
- c. la valeur de la vitesse en un point de la trajectoire.

8 Quelle(s) proposition(s) est exacte ?

- a. $\Delta \vec{v}_G = k \sum \vec{F}$.
- b. La résultante des forces est à l'origine du mouvement des corps.
- c. La résultante des forces est la conséquence du mouvement des corps.

9 Si une force non nulle horizontale et constante agit sur un mobile autoporteur immobile sur une table d'expérimentation, le mobile :

- a. accélère si la valeur de la force exercée dépasse celle du poids du mobile.
- b. se déplace avec une vitesse constante.
- c. a une variation de vitesse constante au cours du temps.

10 Un corps est soumis à une force constante. Quand la force est enlevée, le corps :

- a. s'arrête immédiatement.
- b. décélère puis s'arrête.
- c. continue son déplacement en mouvement rectiligne uniforme.

Exercices

niveau 1 8 min

► Corrigés, p. 234

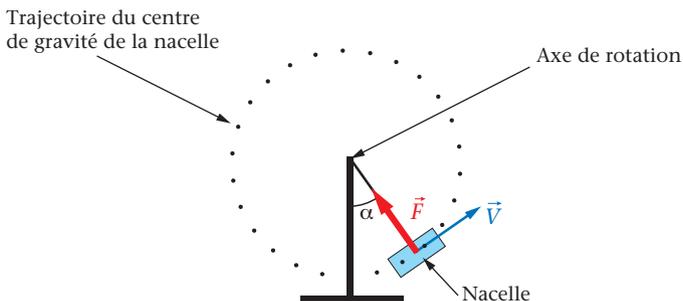
Le bobsleigh à quatre est une discipline phare des jeux olympiques d'hiver. Quatre co-équipiers doivent parcourir une piste verglacée le plus rapidement possible. Pour ce faire, les quatre sportifs poussent au départ le bob pendant 50 mètres avant de monter à l'intérieur.

Pourquoi poussent-ils le bob vide ? Ne serait-il pas plus judicieux que trois sportifs poussent le bob avec à son bord le pilote déjà installé aux commandes ?

niveau 1 10 min

► Corrigés, p. 234

La nacelle d'un manège est en mouvement de rotation uniforme autour d'un axe de rotation fixe. On admet que la résultante \vec{F} des forces subies par la nacelle au cours de ce mouvement est dirigée à chaque instant vers l'axe de rotation et qu'elle est perpendiculaire au vecteur vitesse. Cette situation est représentée sur le schéma ci-dessous.



1. Choisir un référentiel d'étude et indiquer le système étudié.
2. Quels seront la direction et le sens du vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}$ du centre d'inertie de la nacelle ?
3. La résultante des forces \vec{F} travaille-t-elle ? Justifier.

niveau 1 10 min

► *Corrigés, p. 235*

Un glaçon de masse $m = 20$ g est posé sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 25^\circ$ par rapport à l'horizontale. Les frottements qui s'exercent sur le glaçon, ainsi que la poussée d'Archimède, sont négligeables par rapport aux autres forces.

Montrer par une construction que le glaçon va glisser.

niveau 2 15 min

► *Corrigés, p. 235*

Un skieur s'élance sur une piste enneigée rectiligne faisant un angle $\alpha = 30,0^\circ$ avec l'horizontale. Sa vitesse augmente alors progressivement. On suppose cependant qu'elle est suffisamment faible pour que la force de frottement de l'air soit négligeable devant les autres forces. On ne tient compte ni des frottements de la neige sur les skis ni de la poussée d'Archimède exercée par l'air sur le skieur. Le mouvement du skieur, assimilable à un solide de poids $P = 800$ N, est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

1. Quels sont la direction et le sens du vecteur variation de $\Delta \vec{v}_G$ du centre d'inertie du skieur ?
2. En déduire la direction et le sens du vecteur somme des forces extérieures \vec{F} appliquées au skieur.
3. Dresser l'inventaire des forces exercées sur le skieur et les représenter sur un schéma, sans soucis d'échelle.
4. Représenter, sur le même schéma, le vecteur \vec{F} en tenant compte de la réponse à la question précédente.
5. En déduire la valeur de la réaction du sol \vec{R}_N .

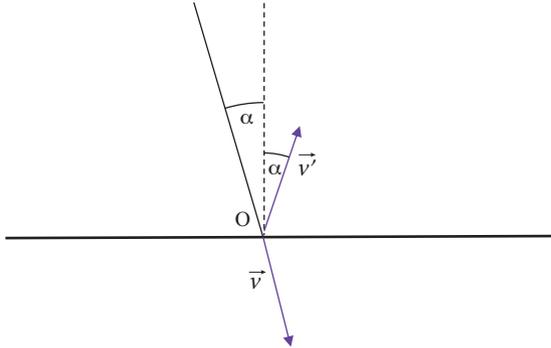
niveau 2 10 min

► *Corrigés, p. 236*

Une voiture se déplace sur une route verglacée.

1. Pourquoi aura-t-elle tendance, en abordant un virage, à poursuivre son chemin en ligne droite ?
2. La route est inclinée vers l'intérieur du virage.
 - a. Représenter sur un schéma les forces appliquées à la voiture. Représenter également la résultante des forces agissant sur l'automobile.
 - b. Qu'est-ce que cette inclinaison va entraîner sur le comportement de la voiture ?

Une balle rebondit contre une surface horizontale. Sur le schéma ci-après, les vecteurs vitesse de la balle à l'instant qui précède et à celui qui suit son rebond sont représentés au point O. Ils ont même norme.



1. Construire le vecteur variation de vitesse $\overline{\Delta v}_O$ de la balle à l'instant du choc contre la surface.
2. En déduire la direction et le sens de la résultante des forces exercées sur la balle au moment du contact.
3. Faire l'inventaire des forces exercées sur la balle au moment du rebond. Les frottements de l'air sont négligés.
4. Des frottements se produisent-ils lors du contact entre la balle et la surface ?

Un enfant pousse une bille d'une pichenette. Le centre d'inertie de celle-ci prend une trajectoire rectiligne et, au bout de quelques secondes, s'immobilise.

1. a. Que peut-on dire du mouvement du centre d'inertie de la bille ?
b. Quelles sont les forces qui agissent sur la bille ? Donner leur direction et leur sens.
c. Représenter sur un schéma les forces appliquées au système et en déduire la variation du vecteur vitesse $\overline{\Delta v}_G$ à un instant quelconque.
2. La bille percute un mur perpendiculairement et rebondit dans la même direction. Déduire de la variation du vecteur vitesse $\overline{\Delta v}_G$ à l'instant du choc contre le mur la direction et le sens de la force exercée par celui-ci.

Le dauphin à flancs blancs du Pacifique, lorsqu'il a atteint sa taille adulte, mesure environ 2,50 m. C'est un animal rapide et puissant capable de faire des sauts hors de l'eau de 3 mètres.

Un spécimen de 150 kg a été suivi par des scientifiques et l'un de ses sauts a été représenté sur le document suivant. Les positions du centre d'inertie du dauphin y sont données à intervalles de temps réguliers.

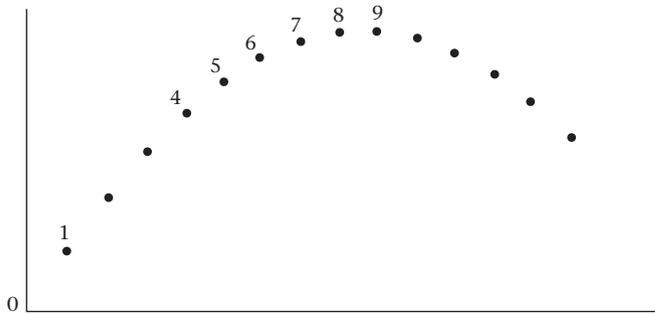
Échelle : 1 cm pour 0,50 m.

Échelle : 1 cm pour $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Durée entre deux positions : 0,10 s.

Donnée :

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



Positions du dauphin lors du saut

1. Déterminer les valeurs de la vitesse V_4 et V_6 du centre d'inertie du dauphin aux points 4 et 6.
2. Tracer ses vecteurs sur le document.
3. a. Construire sur le document le vecteur $\overline{\Delta v}$ au point 5 et déterminer sa valeur en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.
b. Indiquer les caractéristiques de la somme des forces qui s'exercent sur le système au point 5.
c. Peut-on considérer que le dauphin est en chute libre entre les points 4 et 6 ?

Une luge de masse $m = 15,0$ kg, lâchée sans vitesse initiale, est modélisée par son centre d'inertie G. Elle accélère sur une piste verglacée rectiligne faisant un angle $\alpha = 25^\circ$ avec l'horizontale. On néglige tous les frottements.

Donnée :

$$g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

1. Faire le bilan des forces agissant sur la luge. Les représenter sur un schéma.
2. Quels sont la direction et le sens du vecteur variation du vecteur vitesse du centre d'inertie de la luge ? Les représenter sur un schéma.
3. En déduire la direction et le sens de la somme des forces agissant sur la luge.
4. Quelle est la valeur de la réaction de la piste ?

Courant électrique

- Un courant électrique correspond à un **déplacement de porteurs de charge** : des électrons dans un métal ou des ions mobiles dans un électrolyte.
- L'intensité du courant de symbole I circulant dans un conducteur correspond à la **quantité de charges** Q qui traverse une section de ce conducteur pendant une durée Δt :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

avec Q en coulombs (C), Δt en secondes et I en ampères (A).

À NOTER

Le terme « intensité » est parfois remplacé par le mot « courant ». C'est une erreur : le courant désigne un déplacement de charges, tandis que l'intensité est la valeur numérique de ce déplacement.

Énergie et puissance

a. Puissance

- La puissance électrique est une grandeur qui caractérise un **transfert d'énergie**. Sa valeur traduit la vitesse à laquelle s'opère le transfert. On l'obtient en utilisant la relation suivante :

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

avec P la puissance en watts (W), E l'énergie électrique fournie ou reçue pendant la durée Δt en joules (J) et Δt la durée du transfert d'énergie en secondes (s).

- La puissance correspond donc à un **débit d'énergie**. Elle permet de définir les effets d'un appareil électrique. C'est une grandeur liée au **couple intensité-tension**. On peut donc la calculer ainsi :

$$P = U \times I$$

où U est la tension en volts, à laquelle est soumis l'appareil et I l'intensité en ampères du courant qui le traverse.

■ En courant continu, cette relation est valable pour tous les appareils. En courant alternatif, elle n'est valable que pour les appareils fournissant uniquement de l'énergie thermique. U et I sont alors les valeurs efficaces de la tension et de l'intensité.

■ La valeur de la puissance que peut fournir un générateur ou celle que peut consommer un récepteur, quand l'appareil est en fonctionnement normal, est sa **puissance nominale**. Elle est indiquée sur la fiche signalétique de l'appareil, accompagnée de sa tension nominale, ou tension normale d'utilisation.

Appareil	Calculatrice	Lecteur mp3	Lampe fluocompacte	Ordinateur portable, télévision	Appareil ménager	Installation domestique	Moteur de TGV	Centrale nucléaire
Puissance	10^{-3} W	1 W	10 W	100 W	1 kW	10 kW	10 MW	1 GW

Ordres de grandeur de puissances nominales

b. Énergie

■ Les appareils électriques sont des **convertisseurs d'énergie**. Ils peuvent transformer l'énergie électrique en énergie thermique, lumineuse, mécanique ou chimique.

■ La **consommation d'énergie** dépend de la puissance de l'appareil en fonctionnement et de sa durée d'utilisation :

$$E = P \times \Delta t$$

avec P la puissance en watts (W), E l'énergie électrique fournie ou reçue pendant la durée Δt en joules (J) et Δt la durée du transfert d'énergie en secondes (s).

À NOTER

Le wattheure est la valeur de l'énergie qui correspond à un transfert d'un watt pendant une heure : $1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J}$.

c. Effet Joule

■ Aucun conducteur n'est parfait. Tous auront une résistance non nulle, c'est pourquoi le passage du courant électrique dans tout appareil s'accompagne d'un échauffement. L'effet joule est l'effet thermique associé au passage du courant dans un conducteur. Il se manifeste sous deux formes : **transfert sous forme thermique** et par **rayonnement**.

■ Si cet effet est recherché dans des appareils tels que les radiateurs, les grille-pain, les sèche-cheveux, les fusibles, il peut également se révéler indésirable :

- il représente une perte d'énergie dans certains appareils électriques ou dans le transport de l'électricité ;
- il provoque l'échauffement des appareils électriques et leur détérioration.

■ La **tension** aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse :

$$U = R \times I$$

avec U la tension aux bornes du conducteur ohmique en volts (V), R sa résistance en ohms (Ω) et I l'intensité du courant qui le traverse en ampères (A).

■ La **puissance** dissipée par effet Joule P_j à un instant donné est :

$$P_j = R \times I^2$$

avec P_j la puissance en watts (W), R sa résistance en ohms (Ω) et I l'intensité du courant qui le traverse en ampères (A).

■ Tout conducteur fournit une quantité d'énergie donnée par la relation :

$$E_j = R \times I^2 \times \Delta t$$

À NOTER

La supraconductivité est un phénomène caractérisé par l'absence de résistance électrique chez certains matériaux (supraconducteurs), en général à des températures très basses.

d. Rendement d'un convertisseur

■ La **conservation de l'énergie** est l'un des principes fondamentaux de la physique. Ainsi, un appareil électrique restitue intégralement, après l'avoir convertie, l'énergie qui lui avait été fournie.

■ Pour indiquer la part d'énergie convertie jugée utile pour l'utilisateur, on utilise le **rendement** noté ρ . C'est une grandeur sans dimension qui reflète l'efficacité énergétique d'une chaîne énergétique (ou de l'une de ses étapes).

$$\rho = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{reçue}}}$$

■ En raison des pertes inévitables, l'énergie exploitable à la sortie d'une chaîne est toujours inférieure à l'énergie fournie à l'entrée de la chaîne. Le rendement est ainsi compris entre 0 et 1.

REMARQUE

Pour obtenir le rendement en pourcentage, il suffit de multiplier ρ par 100.

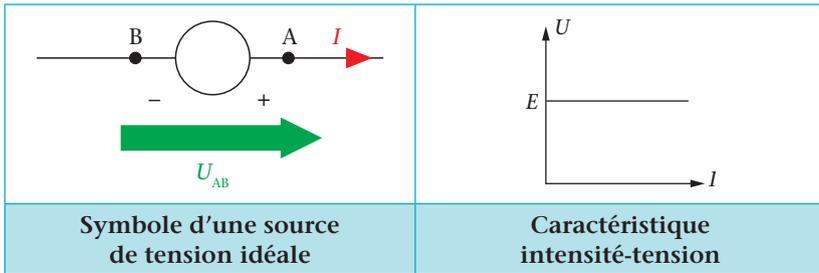
Source et tension

a. Modèle de la source réelle de tension continue

■ Une **source de tension idéale** fournit une tension E constante entre ses bornes, quel que soit le courant I débité. Cette valeur E est appelée **force électromotrice** (fem). Sa caractéristique intensité-tension est donc une droite parallèle à l'axe des abscisses.

À NOTER

La force électromotrice (fem) n'est pas une force au sens physique du terme.



■ Une **source de tension réelle** peut se représenter schématiquement comme un ensemble formé d'une source de tension E idéale en série avec une résistance r représentant la résistance interne des éléments constituant la source.

■ Si aucun conducteur n'est relié aux bornes de la source, celle-ci ne débitera aucun courant et la tension à ses bornes est la force électromotrice E . Lorsque la source est branchée à un circuit extérieur, la tension U_{AB} , positive, aux bornes d'un générateur traversé par un courant d'intensité I sortant par la borne A, est donnée par la relation :

$$U_{AB} = E - rI$$

avec U_{AB} la tension aux bornes du générateur en volts, E sa force électromotrice en volts (V), r sa résistance interne en ohms (Ω) et I l'intensité du courant en ampères (A).

Sa caractéristique intensité-tension est donc une droite décroissante, coupant l'axe des tensions en E et de pente égale à r , en valeur absolue.

<p align="center">Symbole d'une source de tension réelle</p>	<p align="center">Caractéristique intensité-tension</p>

b. Énergie électrique dans un générateur

■ Un **générateur**, comme une pile, convertit une partie de l'énergie chimique des réactifs présents en son sein en énergie électrique.

■ L'énergie électrique \mathcal{E} fournie par le générateur pendant une durée de fonctionnement Δt est donnée par la relation :

$$\mathcal{E} = U_{AB} I \Delta t$$

Soit :

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= (E - rI) I \Delta t \\ \mathcal{E} &= EI \Delta t - rI^2 \Delta t \\ \mathcal{E} &= \mathcal{E}_g - \mathcal{E}_j \end{aligned}$$

$\mathcal{E} = U_{AB} I \Delta t$ est l'énergie électrique transférée du générateur au reste du circuit. C'est l'énergie disponible aux bornes du générateur et pouvant être utilisée par les différents dipôles.

$\mathcal{E}_g = EI \Delta t$ représente l'énergie chimique convertie par le générateur.

$\mathcal{E}_j = rI^2 \Delta t$ correspond à l'énergie dissipée dans le générateur par effet Joule.

c. Bilan de puissance

Pour obtenir le **bilan de puissance**, on divise l'expression du bilan énergétique par la durée Δt .

$P_E = U_{AB} I$: puissance totale transférée du générateur au reste du circuit.

$P_u = EI \Delta t$: puissance convertie par le générateur.

$P_j = rI^2$: puissance dissipée dans le générateur par effet Joule.

Calculer l'énergie consommée

Énoncé

Un radiateur électrique branché sur le secteur porte une plaque sur laquelle on peut lire les indications suivantes : 2,0 kW, 230 V.

1. Quelles grandeurs désignent ces indications ?
2. Quelle serait la valeur de la résistance R de ce radiateur ?
3. Quelle est l'intensité efficace du courant dans le radiateur en fonctionnement normal ?
4. Quelle énergie est nécessaire pour faire fonctionner ce radiateur pendant 12 heures par jour pendant une semaine ? Donner le résultat en joules et en wattheures.

Savoir-faire

- Utiliser la relation permettant de calculer la puissance.
- Utiliser l'effet Joule. Cas des dipôles ohmiques.
- Connaître et utiliser la relation liant la puissance et l'énergie.

Corrigé détaillé

1. L'unité permet de reconnaître la grandeur associée : 2,0 kW représente une puissance et 230 V une tension.

2. La relation donnant la puissance d'un appareil en fonction de la tension à ses bornes et de l'intensité du courant qui le traverse est $P = U \times I$.

$$\text{Or, } I = \frac{U}{R}, \text{ donc } P = \frac{U^2}{R}, \text{ soit } R = \frac{U^2}{P}.$$

Application numérique :

$$R = \frac{230^2}{2 \times 10^3} = 26 \, \Omega \text{ (ohms).}$$

3. La relation permettant d'obtenir l'intensité est :

$$I = \frac{P}{U}$$

Application numérique :

$$I = \frac{2 \times 10^3}{230} \approx 8,7 \text{ A.}$$

À NOTER

Une grandeur physique peut être mesurée, calculée ou repérée. L'unité permet de la quantifier.

ATTENTION

Vérifier que toutes les données sont exprimées dans les unités nécessitées par l'expression. Il faut donc que P soit en watts.

4. La relation liant l'énergie et la puissance est $E = P \times \Delta t$.

Application numérique :

En joules, $E = 2,0 \times 10^3 \times 12 \times 7 \times 3600 = 6,0 \times 10^8 \text{ J}$.

En wattheures, $E = 2,0 \times 10^3 \times 12 \times 7 = 1,7 \times 10^5 \text{ Wh}$.

Calculer l'énergie utile

Énoncé

Un appareil convertissant l'énergie électrique en énergie mécanique a un rendement de 65 %. Il reçoit une énergie électrique de 1,2 kWh.

Calculer la valeur de l'énergie mécanique produite.

Savoir-faire

- Connaître et utiliser le rendement d'un convertisseur.

Corrigé détaillé

Le rendement d'un appareil électrique est donné par la relation :

$$\rho = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{reçue}}}$$

D'où :

$$E_{\text{utile}} = E_{\text{reçue}} \times \rho.$$

Application numérique :

$E_{\text{utile}} = 1,2 \times 0,65 = 0,78 \text{ kWh}$.

Pour réussir le jour J !

X

Les erreurs à ne pas commettre

- Il faut se rappeler que le sens du courant (de la borne + à la borne - du générateur) est l'inverse du sens de déplacement des électrons.
- Les relations mathématiques du cours sont à savoir par cœur : l'expression de la puissance Joule, la relation liant puissance et énergie, la relation donnant le rendement d'un convertisseur. Pour chaque relation, il faut savoir isoler la grandeur recherchée et tenir compte des unités.
▶ *Exercice 2*
- Il faut connaître le modèle du générateur réel.
- Il faut savoir interpréter et utiliser les caractéristiques intensité-tension ou tension-intensité.
▶ *Exercices 7, 8 et 9*
- Pour calculer le rendement, il faut reconnaître l'énergie utile et les pertes.



Un point en + sur la copie

- Il ne faut pas oublier que le rendement est toujours compris entre 0 et 1.
- Il faut être capable de discuter du sens de l'effet Joule.
▶ *Exercices 6 et 11*
- Il faut savoir réaliser et interpréter une chaîne de puissance ou d'énergie.
▶ *Exercice 10*
- Il faut toujours rédiger ses réponses en expliquant la grandeur calculée et la relation utilisée.
- Pour tracer une caractéristique, il faut être vigilant sur la grandeur à mettre en abscisses et sur celle à mettre en ordonnées.

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 255

1 L'unité de puissance électrique est :

- a. le joule. b. le watt.
 c. le volt.

2 Le générateur d'un circuit :

- a. fournit de l'énergie électrique aux récepteurs.
 b. a un rendement égal à 1.
 c. est un convertisseur d'énergie.

3 La puissance d'un dipôle soumis à une tension de 5 V et traversé par un courant d'intensité 20 mA est :

- a. $P = 0,1$ W.
 b. $P = 100$ W.
 c. $P = 250$ W.

4 Un appareil d'une puissance de 2000 W fonctionne pendant 3 heures. Il consomme :

- a. 6 000 J. b. 6 kWh.
 c. 6 Wh.

5 L'énergie électrique d'un appareil :

- a. est la grandeur qui définit, par exemple pour une lampe, sa capacité à éclairer davantage.
 b. est une grandeur instantanée.
 c. dépend de la puissance de l'appareil.

6 Un four de puissance 3 kW a consommé une énergie électrique de 4 500 Wh. Il a fonctionné :

- a. 40 minutes. b. 1 h 30 minutes.
 c. 1 h 50 minutes.

7 Le rendement d'un convertisseur :

- a. est supérieur à 1 pour tous les appareils chauffants.
 b. est doublé si l'énergie reçue est multipliée par deux pour une même énergie utile.
 c. est le reflet de l'efficacité d'une chaîne énergétique.

8 Un système électrique « basse consommation » est un convertisseur d'énergie :

- a. dont le rendement énergétique est amélioré.
 b. dont la consommation électrique est diminuée.
 c. dont le fonctionnement nécessite de « basses tensions ».

9 Que peut-on dire si la tension U_{AB} aux bornes d'un générateur réel s'exprime sous la forme $U_{AB} = E - rI$.

- a. La tension U_{AB} est indépendante de l'intensité du courant.
 b. Quand l'intensité du courant I augmente, la tension U_{AB} augmente.
 c. La tension U_{AB} augmente si l'intensité du courant I diminue.

10 L'effet Joule :

- a. est associé à un transfert thermique.
 b. n'existe que dans les conducteurs ohmiques.
 c. provoque un échauffement d'un conducteur ohmique.

Exercices

niveau 1 8 min

► *Corrigés, p. 255*

Un courant constant de 3,00 A circule dans un circuit. Il s'interrompt au bout de 6,00 minutes lorsqu'on ouvre l'interrupteur.

Donnée :

Charge de l'électron : $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C.

1. Quelle quantité de charges a parcouru ce circuit ?
2. Combien d'électrons ont été déplacés ?

niveau 1 10 min

► *Corrigés, p. 256*

Sur le culot d'une lampe, on lit les indications « 40 V, 80 W ».

Après avoir été installée, la lampe fonctionne 10 heures, en courant continu, dans ses conditions normales d'utilisation.

1. Que représentent les indications sur le culot de la lampe ?
2. On fournit de l'énergie à la lampe par transfert électrique. Sous quelle forme est-elle convertie ?
3. Quelle est l'énergie consommée par la lampe en joules ? en wattheures ?
4. Calculer l'intensité du courant qui traverse la lampe

niveau 1 8 min

► *Corrigés, p. 256*

Le disque d'un compteur fait un tour chaque fois que l'énergie consommée dans l'installation domestique est de 2,5 Wh. Plusieurs appareils fonctionnent en même temps pour une puissance totale de 2 200 W.

Combien de tours le disque du compteur va-t-il effectuer si les appareils sont utilisés en même temps durant 1 h 30 ?

niveau 1 11 min

► Corrigés, p. 256

Un générateur de force électromotrice 9,0 V et de résistance interne 16Ω fournit un courant d'intensité $I = 250 \text{ mA}$.

1. Calculer la valeur de la tension U_{PN} aux bornes de ce générateur.
2. Le générateur fonctionne pendant une durée $\Delta t = 30$ minutes.

Calculer :

- a. L'énergie qu'il fournit en wattheures.
- b. La puissance de ce transfert d'énergie.

niveau 1 6 min

► Corrigés, p. 257

Un fer à repasser de résistance 50Ω est traversé par un courant d'intensité $I = 4,5 \text{ A}$.

1. Calculer la puissance dissipée par effet Joule.
2. Calculer l'énergie dissipée par effet Joule pendant une heure de repassage.

niveau 2 15 min

► Corrigés, p. 257

Un conducteur ohmique de résistance égale à 500Ω est inséré dans un circuit dans lequel circule un courant électrique d'intensité $I = 35 \text{ mA}$. Sa puissance maximale admissible est de $0,75 \text{ W}$.

1. Représenter le schéma de ce circuit et en particulier les appareils de mesure nécessaires pour mesurer l'intensité I du courant dans le circuit et la tension U_{AB} aux bornes du conducteur ohmique en précisant le sens de branchement permettant d'obtenir une valeur positive.
2. Calculer la puissance électrique fournie à ce conducteur ohmique.
3. Calculer la valeur de la tension U_{AB} aux bornes du conducteur ohmique.
4. Déterminer la tension maximale à laquelle peut être soumis ce dipôle.
5. Sous quelle forme l'énergie est-elle convertie ?
6. Pourquoi le conducteur ohmique risque-t-il d'être endommagé en cas de tension trop importante à ses bornes ?

On a relevé dans le tableau ci-dessous la tension entre les bornes d'un récepteur et l'intensité du courant qui le traverse.

U (V)	0	1	2	3	3,5	4	4,5	5	6
I (mA)	0	2,8	5	11,3	14	20,1	28	34,8	55

1. Représenter le schéma du circuit électrique utilisé pour réaliser ces mesures. Préciser les branchements des appareils de mesure.
2. Tracer la caractéristique intensité-tension de ce récepteur.
3. Ce récepteur est-il un conducteur ohmique ?
4. Quelle est la puissance de ce dipôle pour une tension $U = 5,2$ V ?

On a relevé les valeurs de l'intensité du courant qui traverse une pile de 4,5 V et de la tension à ses bornes.

Les valeurs sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

U (V)	4,58	4,55	4,5	4,44	4,31	4,25	4,15
I (mA)	0	20	55	100	193	239	322

1. Tracer la caractéristique intensité-tension de cette pile.
2. Déterminer graphiquement la valeur de la fem E et de la résistance interne r .

Dans le tableau ci-dessous on a relevé la tension entre les bornes d'un dipôle et l'intensité du courant qui le traverse.

Tension (V)	0	1	2	3	4	5	6
Intensité (mA)	0	4	8	11,5	16,3	21,3	23,4

1. Tracer la caractéristique intensité-tension de ce dipôle.
2. Le dipôle étudié est-il un conducteur ohmique ?
3. En déduire sa résistance R .
4. Le constructeur indique une valeur maximale supportable $P_{\max} = 0,50$ W. Déterminer les valeurs I_{\max} et U_{\max} à ne pas dépasser.

L'étiquetage d'une lampe fluocompacte de 15 W indique qu'elle équivaut à une lampe à incandescence de 60 W, tout en durant dix fois plus longtemps.

1. Schématiser la chaîne énergétique mise en jeu dans une lampe.
2. Que peut-on dire de cette équivalence vantée par l'étiquetage ?
3. Quelle quantité d'énergie est économisée en utilisant la lampe fluocompacte à la place d'une lampe à incandescence pendant ses dix mille heures de fonctionnement ? Donner la valeur en kilowattheures puis en joules.
4. Le rendement de la lampe fluocompacte est de 25 %. Calculer l'énergie dissipée sous forme de chaleur par une telle lampe au cours de sa vie.
5. Pourquoi l'utilisation dans le langage courant du terme « pertes » à propos de cette énergie dissipée n'est-elle pas rigoureuse du point de vue de la physique ?

Un chauffe-eau électrique a les caractéristiques suivantes indiquées sur sa plaque : « 230 V ; 1 500 W ; 100 L ».

La durée de chauffe est de quatre heures.

Donnée :

Capacité thermique de l'eau : $c = 4,187 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

1. Pourquoi le rendement de la résistance qui assure le chauffage de l'eau est-il égal à 1 ?
2. Quelle est la valeur de l'intensité du courant qui traverse la résistance lorsque le chauffe-eau fonctionne normalement ?
3. Calculer, en joules, l'énergie électrique fournie au chauffe-eau pendant qu'il chauffe.
4. La température de l'eau augmente de 50 °C pendant la durée de chauffe. L'énergie E_1 nécessaire pour élever la température de ΔT pour une masse m d'eau est donnée par la relation :

$$E_1 = mc\Delta T$$

Calculer E_1 .

5. Que remarque-t-on ?

13

Travail d'une force et énergie

Travail d'une force

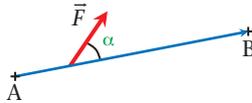
a. Définition du travail d'une force constante

■ Une force constante conserve même direction, même sens et même intensité au cours du déplacement du système. On appelle **travail d'une force constante** \vec{F} , lors d'un déplacement de son point d'application de A vers B, le produit scalaire de la force \vec{F} par le vecteur déplacement \overline{AB} :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overline{AB} = F \times AB \times \cos(\vec{F}; \overline{AB}) = F \times AB \times \cos(\alpha)$$

où α est l'angle entre la force et le déplacement.

Le travail $W_{AB}(\vec{F})$ s'exprime en joules (J), F la valeur de la force en newtons (N) et AB le déplacement en mètres (m).



■ Le travail est une grandeur algébrique qui permet d'évaluer l'effet d'une force sur l'énergie mécanique d'un système en mouvement. Suivant l'orientation de la force \vec{F} par rapport au déplacement \overline{AB} , l'effet de la force sur le mouvement du système sera différent.

■ Si $\alpha \in [0^\circ; 90^\circ[$, le travail est positif, on dit qu'il est moteur. La force favorise le déplacement du système qui gagne de l'énergie.

■ Si $\alpha = 90^\circ$, le travail est nul. La force ne travaille pas et n'a donc pas d'effet sur le déplacement.

■ Si $\alpha \in]90^\circ; 180^\circ]$, le travail est négatif. Il est dit résistant (le système perd de l'énergie). La force s'oppose au déplacement.

À NOTER

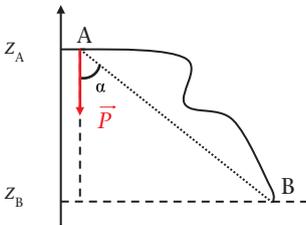
Pour qu'une force fournisse un travail à un corps, elle doit avoir une composante dans la direction de son mouvement.

b. Travail d'une force conservative

- Une force est dite conservative si son travail **ne dépend pas du chemin suivi** par son point d'application, mais uniquement de ses positions initiale et finale.
- Le travail d'une telle force ne fait pas varier l'énergie mécanique totale du système auquel elle s'applique.
- Le poids est une force conservative. Quand un objet de masse m passe de A à B :

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overline{AB} = P \times AB \times \cos(\vec{P}; \overline{AB}) = P \times AB \times \cos(\alpha)$$

Ainsi, $W_{AB}(\vec{P}) = -mg \cdot (z_B - z_A) = mg \cdot (z_A - z_B)$.



À NOTER

Les forces de frottement sont une manifestation macroscopique de la force électrostatique (force conservative) qui s'exerce à l'échelle atomique.

Si l'objet de masse m descend dans le champ de pesanteur, le travail du poids est moteur :

$$z_A - z_B > 0 \text{ et } W_{AB}(\vec{P}) > 0.$$

Si l'objet monte, le travail du poids est résistant :

$$z_A - z_B < 0 \text{ et } W_{AB}(\vec{P}) < 0.$$

c. Travail d'une force non conservative

- Une force de frottement est généralement notée \vec{f} . Elle est toujours opposée à la vitesse (\vec{f} et \overline{AB} ont même direction, mais sont de sens contraire). Ce n'est pas une force conservative. En effet, **son travail dépend de la trajectoire suivie** : plus celle-ci est grande, plus le système perd de l'énergie par transfert thermique vers l'extérieur. Cette énergie perdue correspond au travail de la force de frottement.

$$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \overline{AB} = f \times AB \times \cos(f; \overline{AB})$$

$$= \vec{f} \times AB \times \cos(\alpha), \text{ or } \alpha = 180^\circ \text{ et } \cos(180^\circ) = -1.$$

D'où :

$$W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB$$

Comme $W_{AB}(\vec{f}) < 0$, c'est un travail résistant.

Variations d'énergie au cours du mouvement

a. Énergie cinétique

■ On appelle **énergie cinétique** d'un mobile notée E_c l'énergie qu'il possède du fait de son mouvement.

■ Pour un solide en translation (tous les points ont le même vecteur vitesse) :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

avec E_c en joules (J), la masse m en kilogrammes (kg) et la vitesse v du mobile en mètres par seconde ($m \cdot s^{-1}$).

b. Théorème de l'énergie cinétique

■ Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un solide, entre deux positions A et B, est égale à la somme des travaux des forces extérieures appliquées au solide entre ces positions :

$$\Delta E_c = E_{cB} - E_{cA} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = \sum W(\overrightarrow{F}_{\text{ext}})$$

Si $\Delta E_c = \sum W(\overrightarrow{F}_{\text{ext}}) > 0$, les forces extérieures produisent un travail **moteur**. Le système reçoit de l'énergie. Il accélère et voit son énergie cinétique augmenter.

Si $\Delta E_c = \sum W(\overrightarrow{F}_{\text{ext}}) < 0$, le travail produit par les forces extérieures est **résistant**. Le système perd de l'énergie. Au cours du déplacement, il ralentit et son énergie cinétique diminue.

Si $\Delta E_c = \sum W(\overrightarrow{F}_{\text{ext}}) = 0$, le système n'échange pas d'énergie. Il a un mouvement uniforme.

c. L'énergie potentielle de pesanteur et sa variation

■ L'énergie potentielle d'un système ne se présente pas sous une forme visible comme l'énergie cinétique : c'est une énergie en **réserve**.

■ Soit une altitude de référence z_0 (le plus souvent égale à 0). Un solide de masse m placé dans le champ de pesanteur terrestre \vec{g} à une altitude z possède une énergie potentielle de pesanteur :

$$E_{pp} = mg \cdot (z - z_0)$$

avec E_{pp} en joules (J), m en kilogrammes (kg) et z en mètres.

■ La variation d'énergie potentielle d'un objet de masse m se déplaçant d'un point A d'altitude z_A à un point B d'altitude z_B est :

$$\Delta E_{pp} = E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = mg \cdot (z_B - z_0) - mg \cdot (z_A - z_0) = mg \cdot (z_B - z_A) = -W_{AB}(\vec{P})$$

■ Le travail du poids est égal à l'opposé de la variation de l'énergie potentielle de pesanteur. C'est une caractéristique des forces conservatives que de dériver d'une énergie potentielle.

d. Conservation ou non de l'énergie mécanique

■ L'énergie mécanique d'un système en un point est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle de ce système en ce point :

$$E_m = E_{pp} + E_c$$

■ La variation de l'énergie mécanique d'un système en mouvement entre deux points A et B est égale à la somme des travaux des forces non conservatives qu'il subit au cours du mouvement :

$$\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = \Sigma \left[W_{AB}(\vec{f}_{nc}) \right]$$

■ Lorsqu'un système n'est soumis au cours de son mouvement qu'à des forces conservatives et/ou des forces dont le travail est nul, son énergie mécanique se conserve (reste identique tout au long du mouvement) :

$$\Delta E_m = 0 \quad \text{et} \quad \Delta E_c = -\Delta E_p$$

L'énergie cinétique se transforme en énergie potentielle et inversement au cours du mouvement.

Par exemple, un corps « en chute libre ».

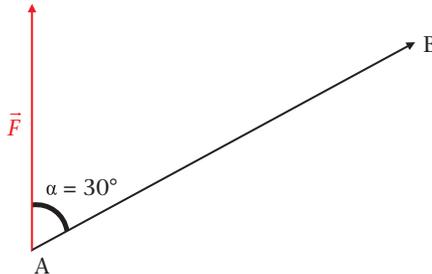
■ Si le système subit des forces non conservatives, son énergie mécanique varie au cours du mouvement. À cause des frottements, l'énergie mécanique diminue. Les frottements sont dits **dissipatifs**.

Calculer la valeur du travail d'une force constante

Énoncé

Dans la situation suivante, une force constante \vec{F} d'intensité égale à 5,0 N est appliquée à un solide ponctuel en mouvement sur une distance $AB = 10$ cm.

Indiquer la valeur du travail de la force \vec{F} . Quel qualificatif peut décrire ce travail ?



Savoir-faire

- Appliquer la définition du travail d'une force constante.
- Raisonner à partir du signe du résultat.

Corrigé détaillé

■ Il s'agit ici d'utiliser la relation mathématique permettant de calculer le travail en prenant soin de respecter les unités du système international.

Le travail d'une force constante est :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overline{AB}$$

$$= F \times AB \times \cos(\vec{F}; \overline{AB}) = F \times AB \times \cos(\alpha)$$

$$= 5,0 \times 10 \times 10^{-2} \times \cos(30^\circ) = 4,3 \times 10^{-1} \text{ J.}$$

Le travail a pour valeur $4,3 \times 10^{-1}$ joules.

- Comme cette valeur est positive, le travail est moteur ; la force favorise le déplacement du solide.

CONSEIL

Vérifier que la calculatrice est paramétrée en degrés.

À NOTER

La valeur de l'angle permet également de qualifier le travail de la force.

Exploiter la conservation de l'énergie mécanique

Énoncé

Une balle de masse $m = 300 \text{ g}$ est lancée verticalement vers le haut depuis le sol avec une vitesse $v_B = 6,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Quelle altitude maximale la balle atteint-elle ? On supposera les frottements négligeables.

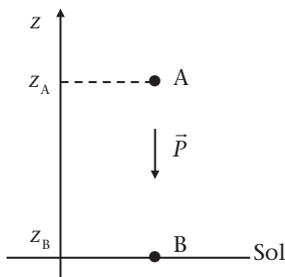
Donnée : intensité de la pesanteur $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Savoir-faire

- Effectuer l'inventaire des forces extérieures s'exerçant sur le système.
- Les représenter sur un schéma simplifié en respectant leur direction et leur sens.
- Vérifier que toutes les forces autres que celles qui sont conservatives ont un travail nul.
- Appliquer la conservation de l'énergie mécanique entre deux positions du système.

Corrigé détaillé

- Les frottements étant négligés, la balle n'est soumise qu'à son poids.
- Représentation du poids :



- La seule force qui s'exerce sur le système est le poids, qui est une force conservative.
- On peut donc appliquer la conservation de l'énergie mécanique entre le point B du lancer et le point A où l'altitude est maximale. On choisit le sol comme origine des altitudes.

L'énergie mécanique se conserve donc :

$$E_m(B) = E_m(A)$$

$$E_c(B) + E_{pp}(B) = E_c(A) + E_{pp}(A)$$

Dans un mouvement vertical, la vitesse s'annule lorsque l'altitude est maximale, donc lorsque $E_c(A)$ est nulle.

La balle part de B au sol, donc $E_{pp}(B) = 0$.

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = mgz_A$$

On obtient z_A , l'altitude maximale :

$$z_A = \frac{\frac{1}{2}mv_B^2}{mg} = \frac{\frac{1}{2}v_B^2}{g}$$

Application numérique :

$$z_A = \frac{\frac{1}{2}6,0^2}{9,8} = 1,8 \text{ m.}$$

La balle atteint une altitude maximale de 1,8 mètre.

Pour réussir le jour J !

X

Les erreurs à ne pas commettre

- Il est indispensable de connaître les relations mathématiques du chapitre pour faire les exercices : expression de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle de pesanteur et du travail d'une force constante.
- Il faut connaître et comprendre le théorème de l'énergie cinétique, savoir la définition d'une force conservative et être attentif au signe des travaux et à leur signification.
- Il faut se rappeler qu'une variation d'énergie consiste en une soustraction de l'état final par l'état initial.
▶ *Exercice 4*
- Il faut également tenir compte du sens du signe de cette variation : une variation positive signifie qu'un système gagne de l'énergie.
▶ *Exercice 10*
- Il faut être vigilant avec les unités utilisées et penser à faire les conversions avant de réaliser les applications numériques.
- Il ne faut pas oublier de régler correctement sa calculatrice pour l'utilisation du cosinus.
- Ne pas oublier que si un travail peut être négatif, la valeur d'une force est toujours positive..



Un point en + sur la copie

- Il faut énoncer avec soin les théorèmes avant de les utiliser.
▶ *Exercice 7*
- Il faut limiter les calculs intermédiaires : il s'agit de mener le calcul littéral jusqu'à avoir une expression mettant en jeu la grandeur demandée en fonction des données de l'énoncé.
▶ *Exercice 9*
- Les réponses aux questions doivent toujours comporter une phrase expliquant la grandeur qui va être calculée.

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

CORRIGÉS

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 276

1 Le travail d'une force constante dont le point d'application se déplace en ligne droite entre A et B :

- a. est toujours moteur.
- b. ne dépend que du point de départ et du point d'arrivée.
- c. est donné par la relation $W_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \sin(\vec{F}; \vec{AB})$.

2 Une force est dite conservative si :

- a. son travail est nul lorsque le point effectue un aller-retour.
- b. son travail est indépendant du chemin suivi par le point matériel lors de son déplacement.
- c. elle permet au point de garder une vitesse constante.

3 Le travail du poids d'un corps :

- a. est toujours dirigé verticalement.
- b. a toujours un effet sur le déplacement.
- c. est une grandeur algébrique.

4 La force de frottement d'un système a un travail :

- a. toujours négatif.
- b. dont le signe dépend du déplacement du système.
- c. toujours nul.

5 Au cours du déplacement d'un point matériel, le travail d'une force de frottement d'intensité constante :

- a. est toujours résistant.
- b. est moteur lors d'une descente.
- c. ne dépend pas du chemin suivi.

6 La variation d'énergie mécanique d'un point est égale à la somme des travaux des forces :

- a. conservatives et non conservatives.
- b. conservatives.
- c. non conservatives.

7 La variation de l'énergie cinétique d'un point matériel se déplaçant de A à B est égale à la somme des travaux des forces :

- a. conservatives.
- b. non conservatives.
- c. conservatives et non conservatives.

8 Lors d'une chute libre, un point matériel :

- a. conserve son énergie mécanique.
- b. voit son énergie mécanique diminuer.
- c. a une vitesse constante.

9 Un solide de masse $m = 17$ kg chute de 12 m. Son énergie potentielle de pesanteur (on prend $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) :

- a. reste constante.
- b. diminue de $2,0 \times 10^3 \text{ J}$.
- c. augmente.

10 Lors des oscillations d'un pendule, son énergie mécanique :

- a. reste constante lorsqu'il n'y a pas de frottements.
- b. s'exprime par $E_m = E_{pp} + E_c$ seulement s'il n'y a pas de frottements.
- c. augmente grâce aux frottements.

Exercices

niveau 1 5 min

Corrigés p. 276

Des déménageurs doivent réorganiser une pièce. L'un d'eux fait glisser sur le plancher une armoire de 200 kg sur une longueur de 10 mètres. Pour cela, il exerce une force de direction horizontale sur l'armoire de valeur $F = 4,5 \times 10^2$ N.

1. Calculer la valeur du travail de la force que le déménageur exerce sur l'armoire. Que déduire de la valeur trouvée ?
2. Quel est l'effet du poids sur le déplacement ?

niveau 1 5 min

Corrigés p. 277

La voiture moyenne française en 2018 a une masse de 1,262 tonne.

1. Calculer l'énergie cinétique d'une telle voiture roulant à la vitesse $v_1 = 50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
2. Calculer son énergie cinétique si elle roule à la vitesse $v_2 = 100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

niveau 2 8 min

Corrigés p. 277

Un traîneau de masse $m = 150$ kg est tiré par des chiens sur une piste horizontale entre deux points séparés de 400 mètres. L'attelage des chiens exerce une force de traction \vec{F} , d'intensité $F = 500$ N. Celle-ci fait un angle de 5° avec la direction de \overline{AB} . Les frottements de l'air sont négligés, tandis que ceux dus à l'action de la neige sont constants et d'intensité $f = 2,0 \times 10^2$ N.

1. Calculer le travail de la force \vec{F} .
2. Calculer le travail de la force de frottement.
3. Préciser pour les forces évoquées si le travail est moteur ou résistant.

niveau 2 14 min

Corrigés p. 278

Lors d'un déménagement, un piano à queue de masse $m = 500$ kg tombe du cinquième étage. Chaque étage a une hauteur $h = 3,0$ m.

Donnée : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1. Calculer l'énergie potentielle de pesanteur du piano juste avant sa chute. Le niveau du sol est pris comme origine des altitudes.

2. Calculer la variation de l'énergie potentielle de pesanteur lorsque le piano passe du cinquième au troisième étage. Interpréter le signe de la valeur obtenue.

3. a. Reprendre les questions 1 et 2 en prenant comme nouvelle origine des énergies potentielles de pesanteur le niveau du cinquième étage.

b. Que peut-on en conclure ?

niveau 2 12 min

Corrigés p. 279

Un jongleur lance une balle de masse $m = 100$ g verticalement depuis une hauteur $h = 1,50$ m avec une vitesse initiale $v_0 = 9,0$ m · s⁻¹.

1. Calculer l'énergie mécanique initiale de la balle.

2. Les frottements sont supposés négligeables, quelle hauteur maximale la balle atteindra-t-elle ?

Donnée : $g = 9,81$ m · s⁻².

niveau 2 15 min

Corrigés p. 280

Un parachutiste de masse $m = 75$ kg effectue un saut depuis un avion. Après une phase de chute libre, il ouvre son parachute, puis parcourt une trajectoire rectiligne AB les 150 derniers mètres de la descente avec une vitesse constante $v = 7,8$ m · s⁻¹.

Donnée : $g = 9,81$ N · kg⁻¹.

1. Quelles forces s'exercent sur le parachutiste pendant les 150 derniers mètres de la descente ?

2. Déterminer l'expression de la variation de l'énergie mécanique du parachutiste entre le point A et le point B situé juste avant l'impact avec le sol.

3. Déterminer l'expression du travail de la force de frottement \vec{f} sur le trajet de A vers B.

4. Calculer f en utilisant la variation de l'énergie mécanique.

5. Donner une autre méthode permettant de calculer la valeur du travail des forces de frottement de l'air.

Un véhicule de 1 200 kg, initialement à l'arrêt en A, est soumis à une force \vec{F} qui correspond à l'action du moteur sur le véhicule. Constante, horizontale, cette force est colinéaire au vecteur vitesse du véhicule et de même sens que celui-ci. 1 700 mètres après son départ, au point B, le véhicule a atteint la vitesse de $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. On néglige les frottements.

1. À quelles forces est soumis le véhicule ?
2. À l'aide du théorème de l'énergie cinétique, déterminer l'intensité de la force \vec{F} .

Un pendule est modélisé par une bille d'une masse de 20 g suspendue à un fil de masse nulle de longueur $l = 70 \text{ cm}$. La résistance de l'air est négligée.

Donnée : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1. À quelles forces la bille est-elle soumise ?
2. Justifier l'expression suivante : « L'énergie mécanique du pendule reste constante. »
3. On écarte le fil d'un angle $\alpha = 25^\circ$ depuis le point A de sa position d'équilibre et on le lâche : le pendule oscille ensuite librement. Quelle est la vitesse de la bille v_O lorsque celle-ci passe par sa position d'équilibre en O.

Un joueur de golf sur un green horizontal doit effectuer un *putt* de longueur $AB = 5,0 \text{ m}$ en ligne droite. La balle est assimilée à un point matériel de masse $m = 45 \text{ g}$.

Au cours de ce mouvement, la balle est soumise à une force de frottement constante de valeur $2,0 \times 10^{-2} \text{ N}$.

Donnée : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1. Donner l'expression du travail des forces auxquelles la balle est soumise au cours du mouvement.
2. L'énergie mécanique de la balle se conserve-t-elle au cours du mouvement ?
3. Quelle doit être la valeur v_A que doit communiquer le golfeur à la balle pour que celle-ci atteigne le trou avec une vitesse nulle ?

Une onde mécanique transporte de l'énergie mais ne transporte pas de matière. En revanche, elle interagit avec la matière qu'elle traverse et les effets de ces interactions peuvent être importants : les séismes et la houle sont des exemples d'ondes mécaniques dont les conséquences peuvent se révéler dévastatrices.

Les ondes mécaniques progressives

a. Propagation d'une onde mécanique progressive

■ Une **onde mécanique progressive** correspond à la propagation d'une perturbation physique, de proche en proche, dans un milieu matériel, sans transport de matière.

■ La perturbation associée à l'onde fait intervenir un mouvement local de la matière ; cette dernière regagne sa position d'origine immédiatement après la propagation de l'onde, car le milieu matériel est élastique.

On parle du déplacement d'un mobile et de la propagation d'une onde.

■ La propagation d'une onde mécanique s'effectue dans les directions que lui offre le milieu, à partir d'une perturbation d'origine. Le son, qui peut être émis dans toutes les directions, **est une onde à trois dimensions**. Une pierre qui tombe dans l'eau créera **une onde à deux dimensions** (matérialisée par les vaguelettes à la surface de l'eau). Le long d'une corde, la propagation d'une perturbation est **une onde progressive à une dimension**.

■ On compare la direction de déplacement temporaire de la matière et celle de la propagation de l'onde :

- si les directions sont les mêmes, on dit que l'onde est **longitudinale** ;
- si les directions sont perpendiculaires, on dit que l'onde est **transversale**.

b. Célérité d'une onde progressive et notion de retard

■ La **célérité** v en mètres par seconde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) d'une onde progressive correspond à la vitesse de déplacement d'une perturbation dans le milieu

de propagation. Elle est égale au **rapport de la distance parcourue d** en mètres (m) **sur la durée du parcours Δt** en secondes (s) :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

■ Une onde mécanique reste constante dans un **milieu homogène** (milieu dont les propriétés sont les mêmes en tout point de l'espace) et **isotrope** (milieu dont les propriétés sont les mêmes dans toutes les directions).

Exemple de la célérité du son à 20 °C :

- dans l'air : $v_{\text{air}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- dans l'eau : $v_{\text{eau}} = 1\,500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- dans le verre : $v_{\text{verre}} = 5\,300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

■ Si une perturbation arrive au point A à l'instant t_A , se propage et arrive à l'instant t_B en un point B, le **retard de la perturbation** noté τ est égal à la différence entre t_B et t_A :

$$\tau = t_B - t_A$$

La relation entre le retard τ en secondes (s) de la perturbation, la célérité v de l'onde en mètres par seconde et la distance AB en mètres (m) entre les points est :

$$\tau = \frac{AB}{v}$$

Les ondes mécaniques périodiques

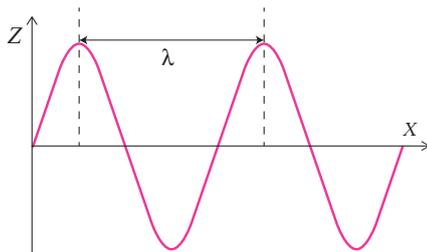
a. Définitions

- Une onde progressive est dite **périodique** lorsque la perturbation se reproduit, identique à elle-même, à intervalles de temps égaux T (en secondes) appelés périodes temporelles ou plus simplement périodes.
- Une onde progressive sinusoïdale est la propagation d'une perturbation qui peut être décrite par une **fonction sinusoïdale**.

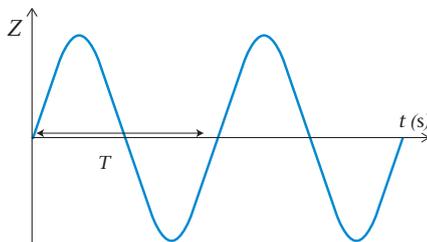
b. Double périodicité

- Les ondes progressives périodiques présentent une double périodicité : temporelle et spatiale.

■ La **périodicité spatiale** λ est la distance qui sépare deux points consécutifs dans le même état vibratoire. On peut également définir λ comme la distance parcourue par l'onde en une période T . Lorsque l'onde est sinusoïdale, la périodicité spatiale est appelée **longueur d'onde**.



■ La **période temporelle** T d'une onde périodique est la plus petite durée au bout de laquelle un phénomène périodique se reproduit de façon identique. Pendant une durée égale à la période T , l'onde progresse d'une distance égale à sa périodicité spatiale λ .



■ Ainsi, toute onde progressive périodique est caractérisée par la relation :

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

avec v la célérité de l'onde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), T la périodicité temporelle (s) et λ la longueur d'onde (m).

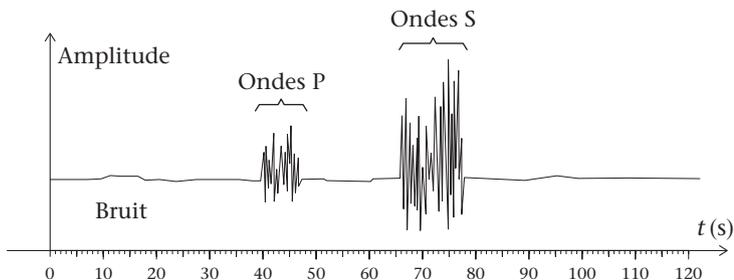
■ La fréquence f en hertz (Hz) de l'onde périodique est égale à l'inverse de sa période temporelle T :

$$f = \frac{1}{T}$$

Calculer la distance parcourue par une perturbation

Énoncé

Lors du séisme qui s'est déroulé à San Francisco (Californie) en 1989, le sismogramme suivant a été réalisé à la station sismique Eureka, située au nord de la Californie.



Les **ondes P** sont les ondes les plus rapides à se propager depuis l'épicentre. L'origine du repère ($t = 0$ s) a été choisie au moment du début du séisme à San Francisco.

Calculer la distance séparant l'épicentre du séisme la station Eureka.

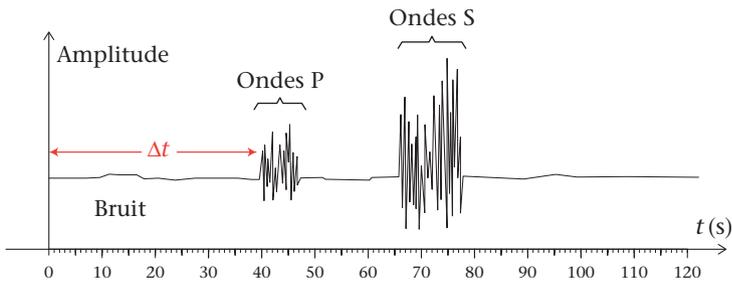
Donnée : Célérité moyenne des ondes P : $v = 10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Savoir-faire

- Utiliser l'enregistrement de l'évolution d'une perturbation dans le temps.
- Connaître et exploiter la relation entre la durée de propagation, la distance parcourue par une perturbation et la célérité.

Corrigé détaillé

- Par lecture graphique, on obtient la durée Δt nécessaire aux ondes P pour parcourir la distance d entre l'épicentre et la station Eureka : $\Delta t = 40$ s.



- On utilise la relation suivante :

$$d = v \times \Delta t$$

Application numérique :

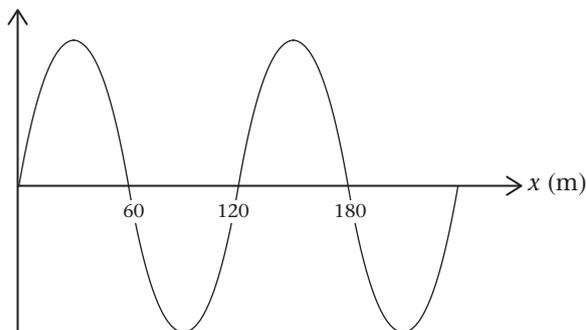
$$d = 10 \times 40 = 4,0 \times 10^2 \text{ km.}$$

L'épicentre se situe à environ 400 km de la station Eureka.

Calculer la période d'une onde sinusoïdale

Énoncé

Un océanologue modélise la houle par une onde progressive sinusoïdale dont voici la représentation à un instant t :



La houle se propage à une vitesse de $13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

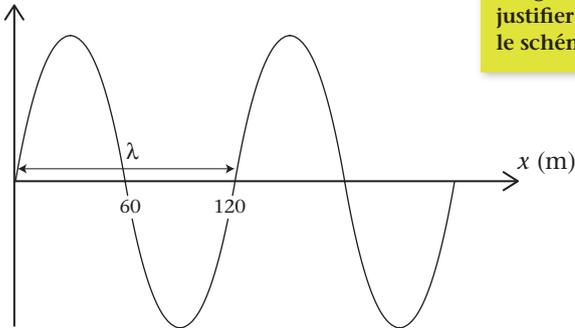
Savoir-faire

- Déterminer les caractéristiques d'une onde mécanique périodique à partir d'une représentation spatiale.
- Exploiter la relation entre période, longueur d'onde et célérité.

Corrigé détaillé

- La longueur d'onde de la houle est la plus petite distance qui sépare deux points du milieu dans le même état vibratoire.

Dans le cas présent, cette distance est de 120 m.



À NOTER

Énoncer la définition de la longueur d'onde permet de justifier la lecture effectuée sur le schéma.

- La période T d'une onde correspond à la durée écoulée lorsque cette onde parcourt une distance égale à la longueur d'onde. On utilise la relation suivante :

$$T = \frac{\lambda}{v} = \frac{120}{13} = 9,2 \text{ s.}$$

CONSEIL

Rappeler la définition de la période temporelle permet de faire le lien avec la longueur d'onde.

Pour réussir le jour J !



Les erreurs à ne pas commettre

- Les définitions de certains termes comme célérité, retard, période spatiale et temporelle sont à connaître.
- Il faut connaître les relations mathématiques liant célérité, longueur d'onde et période et celle liant retard, distance et célérité.
- Il est nécessaire de reconnaître la période spatiale et la période temporelle selon le type de représentation.
- Il faut être capable de reconnaître quand une onde mécanique progressive est périodique.

► *Exercice 3*

► *Exercice 1*



Un point en + sur la copie

- Il faut rédiger avec soin afin notamment d'expliciter la démarche permettant d'obtenir la longueur d'onde d'un phénomène vibratoire ou sa période.
- Pour mesurer la période temporelle ou la longueur d'onde d'un phénomène, il faut mesurer plusieurs motifs, ce qui permet d'avoir une meilleure précision.
- Il est utile de vérifier ses résultats en utilisant les ordres de grandeur.
- Il faut être attentif au nombre de chiffres significatifs.

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 298

1 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.

2 Le son est une onde :

- a. longitudinale.
- b. transversale.
- c. dont la célérité est constante au cours de la propagation si le milieu est homogène.

3 La célérité d'une onde mécanique est :

- a. plus petite dans un liquide que dans un solide.
- b. plus grande dans un gaz que dans un solide.
- c. plus petite dans un liquide que dans un gaz.

4 Une onde mécanique qui se propage dans un milieu matériel transporte :

- a. de l'énergie.
- b. de la matière.
- c. une information.

5 La périodicité temporelle d'une onde progressive périodique est caractérisée par :

- a. sa vitesse.
- b. sa longueur d'onde.
- c. sa période.

6 Une onde ne peut se propager qu'à deux dimensions :

- a. le long d'une corde.
- b. à la surface de l'eau.
- c. le long d'un rail métallique.

7 Une onde sinusoïdale est une onde :

- a. périodique.
- b. transversale.
- c. suivant une fonction sinusoïdale du temps.

8 Le retard :

- a. est le temps que met une perturbation avant de commencer à se propager.
- b. dépend de la distance parcourue par l'onde et de la célérité de celle-ci.
- c. représente la durée que met la perturbation pour aller d'un point M à un point M'.

9 La longueur d'onde est :

- a. l'amplitude de l'onde.
- b. la distance parcourue par une perturbation en une seconde.
- c. la distance parcourue par une perturbation pendant une période.

10 Pour une onde mécanique progressive périodique, la relation qui relie la longueur d'onde λ , la célérité v et la période T est :

- a. $\lambda = v \times T$
- b. $\lambda = \frac{v}{T}$
- c. $T = \lambda \times v$

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

CORRIGÉS

Exercices

niveau 1 6 min

▶ *Corrigés, p. 298*

Un pêcheur observe son bouchon à la surface d'un lac, lorsqu'un enfant lance une pierre à proximité de sa ligne.

1. Que remarque le pêcheur à la surface de l'eau ?
2. Quel mouvement fait le bouchon au cours du temps ? Comment peut-on l'expliquer ?
3. L'onde créée à la surface de l'eau est-elle une onde mécanique progressive ?

niveau 1 5 min

▶ *Corrigés, p. 299*

Une oreille moyenne distingue deux sons lorsqu'ils sont séparés par une durée d'au moins 0,10 s.

Donnée : $v_{\text{air}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

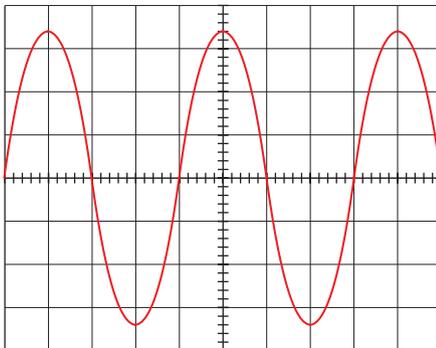
À quelle distance d'un mur faut-il se placer pour percevoir l'écho qu'il renvoie ?

niveau 1 10 min

▶ *Corrigés, p. 299*

Les ondes sonores sont des ondes progressives sinusoïdales qui présentent une double périodicité. L'oscillogramme ci-dessous correspond au son reçu par un microphone.

La sensibilité horizontale de l'oscilloscope est de 10 ms/division.



Données :

Célérité du son dans l'air : $v_{\text{air}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Célérité du son dans l'eau : $v_{\text{eau}} = 1\,500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. À quelle période, temporelle ou spatiale, le signal visualisé permet-il d'accéder ?
2. Déterminer les valeurs de ces périodes.
3. Faire de même en considérant que l'expérience a lieu sous l'eau.

niveau 2 12 min

► *Corrigés, p. 300*

En plomberie, on utilise le cuivre pour la distribution des eaux (froide ou chaude) et pour le chauffage, car c'est un matériau qui peut être recyclé, résistant, facile à mettre en œuvre et esthétique.

Un expérimentateur frappe un coup sur une canalisation en cuivre et réalise un enregistrement 100 m plus loin sur la conduite d'eau, où il capte deux signaux, espacés de 46,7 ms.

Donnée :

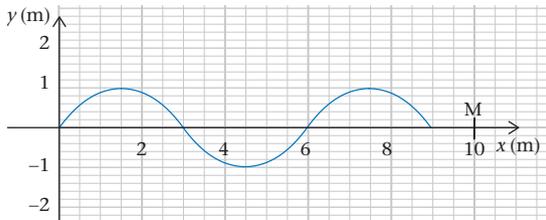
Célérité du son dans l'eau : $v_{\text{eau}} = 1\,500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Pourquoi l'enregistrement fait-il apparaître deux signaux ?
2. Calculer la célérité du son dans le cuivre.

niveau 2 18 min

► *Corrigés, p. 300*

Une onde progressive sinusoïdale se propage selon l'axe Ox à une célérité de $f = 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



1. Donner les valeurs de l'amplitude y_{max} , de la longueur d'onde λ , de la période T et de la fréquence f .
2. Représenter $y(x)$ à $t = 1,5 \text{ s}$.
3. À quel moment le point M est-il atteint ? Représenter $y(t)$ en M.

niveau 2 12 min

► Corrigés, p. 302

Lors de ses déplacements, le dauphin utilise un organe fonctionnant comme un sonar. Il émet des clics ultrasonores d'une portée de plusieurs centaines de mètres. Les ondes se réfléchissent sur les obstacles que rencontre le dauphin, puis sont captées à leur retour par celui-ci et interprétées par son cerveau.

Un dauphin se déplaçant à une vitesse $v_D = 55 \text{ km/h}$ émet un clic alors qu'il se trouve à une distance $d = 150 \text{ m}$ d'un rocher.

Données :

Célérité des ondes ultrasonores dans l'eau : $v_{\text{eau}} = 1\,500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. S'il continue sur sa lancée, dans combien de temps le dauphin atteindra-t-il le rocher ?
2. La position du dauphin est supposée rester la même entre l'émission du clic et la réception de son écho. Au bout de combien de temps le dauphin recevra-t-il cette onde ultrasonore ?
3. Le temps de réaction du dauphin étant de 600 ms, pourra-t-il éviter le rocher ?

niveau 2 8 min

► Corrigés, p. 302

L'échographie est une technique médicale utilisant une sonde à ultrasons. Les sondes ultrasonores fonctionnent successivement en émission et en réception.

On utilise un émetteur d'ultrasons de fréquence $f = 3,5 \text{ MHz}$.

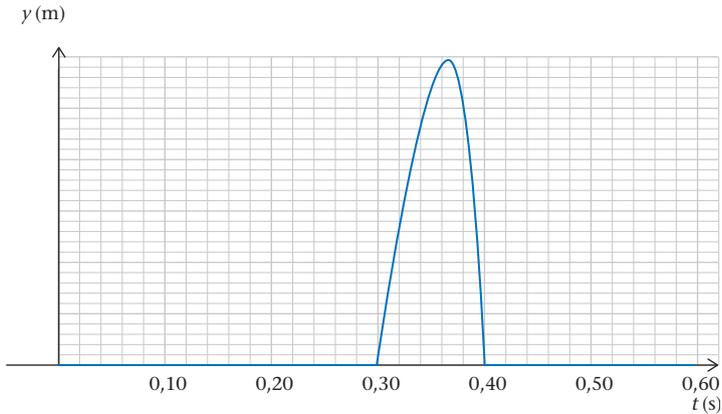
Donnée : $v_{\text{corps}} = 1\,500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Quelle est la grandeur physique qui varie dans une onde ultrasonore ?
2. Quelle est la longueur d'onde de cette onde progressive ?
3. En comparant le temps que met l'onde pour parcourir l'hémisphère droit et l'hémisphère gauche du cerveau d'un patient, on s'aperçoit qu'ils sont différents. Que peut-on en déduire ?

niveau 2 10 min

► Corrigés, p. 303

Une perturbation se propage depuis le point O le long d'une corde. Le graphique suivant représente l'enregistrement du signal en un point P situé à 0,50 m du point O.



1. Décrire ce type d'onde à l'aide de quatre qualificatifs.
2. À quel moment t_p la perturbation atteint-elle le point P ?
3. Quelle est la célérité v de la perturbation ?

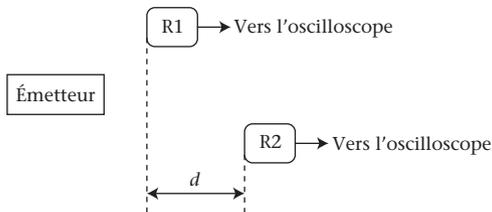
niveau 3

25 min

type BAC

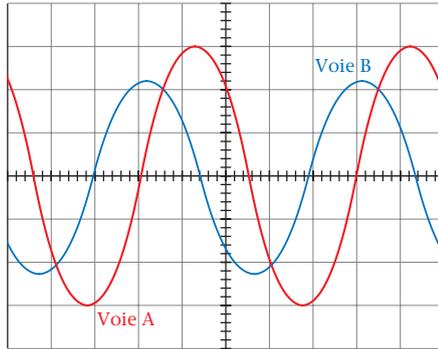
Corrigés, p. 304

Lors d'un TP, un groupe d'élèves doit déterminer la célérité d'une onde ultrasonore. Pour ce faire, le protocole leur indique de réaliser le montage suivant :



Les récepteurs sont éloignés l'un de l'autre d'une distance d .

Un émetteur envoie une onde ultrasonore progressive et sinusoïdale qui se propage dans l'air jusqu'à deux récepteurs R_1 et R_2 dont les signaux sont appliqués respectivement sur les voies A et B d'un oscilloscope et observés sur l'écran de celui-ci :



La sensibilité horizontale (ou durée de balayage) est de $5,0 \mu\text{s}/\text{div}$. Le calibre vertical est le même pour les deux voies.

Données :

L'incertitude sur la vitesse se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$U(v) = v \times \sqrt{\left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{U(T)}{T}\right)^2}$$

On considère que l'incertitude sur la mesure à l'oscilloscope est de $0,20$ division et celle sur la mesure de la longueur de $0,1 \text{ cm}$.

À NOTER

L'incertitude de mesure est notée U , qui vient de l'anglais *uncertainty*.

1. Quelles sont les fréquences des deux signaux ? Vérifier que les ondes utilisées sont bien ultrasonores.
2. Lorsque l'émetteur est à égale distance des deux récepteurs, les signaux que ceux-ci reçoivent sont en phase. Le récepteur R_1 étant fixe, on déplace R_2 le long d'un axe Ox jusqu'à ce que les courbes se retrouvent en phase pour la sixième fois. Les deux récepteurs sont alors éloignés d'une distance d_1 telle que $d_1 = 5,1 \text{ cm}$. Déterminer la valeur de la longueur d'onde λ .
3. Calculer la valeur de la vitesse v de l'onde ultrasonore et son incertitude $U(v)$.
4. Le même dispositif est maintenant immergé. Sans changer la fréquence f de l'émetteur, on observe sur l'oscillogramme que pour observer deux signaux successifs en phase, il a fallu éloigner R_2 de R_1 sur une distance quatre fois plus grande que dans l'air. En déduire la célérité des ultrasons dans l'eau.

Le « radar de recul » d'une voiture fonctionne tel un sonar en utilisant des ultrasons. Dans ce dispositif, la production d'ultrasons est réalisée par des transducteurs piézoélectriques qui convertissent une énergie électrique en énergie mécanique et réciproquement. Les capteurs fonctionnent donc à la fois comme récepteurs et émetteurs. Cependant, ils ne sont réellement opérants comme émetteurs que lorsqu'ils ont cessé de fonctionner en tant qu'émetteurs.

Ils génèrent des salves ultrasonores de durée $\Delta t_1 = 1,7$ ms avec une périodicité $\Delta t_2 = 12$ ms. Les informations que donnent les capteurs permettent à l'afficheur du tableau de bord d'indiquer la distance entre l'arrière de la voiture et l'obstacle détecté pour des valeurs comprises entre 0,30 m et 2,0 m.

La figure ci-dessous illustre le fonctionnement d'un capteur.



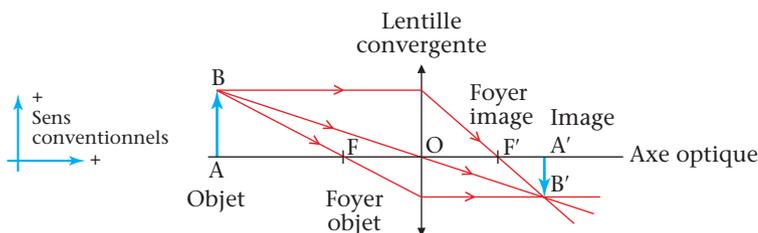
Donnée : Célérité du son dans l'air à 20 °C : $v = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Indiquer les durées Δt_1 et Δt_2 en légende sur la figure ci-dessus.
2. Qu'est-ce qui contraint ce dispositif à une distance minimale $d_{\min} = 0,30 \text{ m}$?
3. Quelle caractéristique du signal émis oblige le capteur à avoir une portée maximale ?

Construction graphique de l'image d'un objet

■ On considère un objet AB dont le point A est situé sur l'axe optique d'une lentille convergente de centre optique O . Afin de déterminer graphiquement la position de l'image $A'B'$ de l'objet AB par la lentille convergente, on trace deux (ou trois) rayons particuliers :

- le rayon incident issu de B et passant par O n'est pas dévié ;
- le rayon incident issu de B et parallèle à l'axe optique émerge de la lentille en passant par F' ;
- le rayon incident issu de B et passant par F émerge de la lentille parallèlement à l'axe optique.



■ Si A est sur l'axe optique, alors A' est aussi sur l'axe optique. Tout rayon issu de B passe par B' . L'image est, comme l'objet, perpendiculaire à l'axe optique.

Relation de conjugaison

a. Grandeurs algébriques

■ En optique, on travaille avec des **grandeurs algébriques**. Ce sont des grandeurs qui ont un **signe**. Pour repérer une grandeur algébrique, on met une barre horizontale au-dessus de son symbole. Par exemple, si on parle de la distance OA , il n'y a pas de signe, OA est positif. Mais, si on met une barre au-dessus, on parle de la grandeur algébrique \overline{OA} et elle peut

être **positive** ou **négative**. Pour savoir si des grandeurs sont positives ou négatives, on définit un **sens conventionnel positif horizontal** et un **sens conventionnel positif vertical**.

■ Le sens conventionnel positif horizontal est choisi comme le sens de propagation de la lumière, c'est-à-dire de gauche à droite. On met en général un « + » avec une flèche à côté du schéma. Sur l'axe vertical, le sens conventionnel positif est de bas en haut.

■ Prenons le schéma de la page précédente. Quand on va de O vers A', on va dans le sens positif, donc la grandeur $\overline{OA'}$ est comptée positivement. Inversement, $A'O$ est comptée négativement.

b. Relation de conjugaison

Les positions du point objet A situé sur l'axe optique et de son image A' par la lentille convergente sont liées par la **relation de conjugaison** :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

avec :

\overline{OA} : distance algébrique lentille-objet

$\overline{OA'}$: distance algébrique lentille-image

f' : distance focale de la lentille

ATTENTION

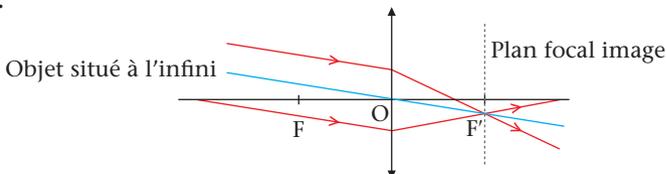
Dans cette relation, les distances algébriques et la distance focale doivent être exprimées dans la même unité (m, mm, cm...).

c. Cas particulier d'un objet à l'infini

■ Dans le cas d'un objet éloigné de la lentille, lorsque la distance objet-lentille est considérée comme grande devant la distance focale de la lentille, $\frac{1}{\overline{OA}}$ tend vers 0. La relation de conjugaison $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$ devient

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'}, \text{ soit } \overline{OA'} = f'.$$

■ La position de l'image A'B' d'un objet AB à l'infini est située dans le plan orthogonal à l'axe optique contenant le foyer image F', appelé **plan focal image**.



Relation de grandissement

- Le **grandissement** γ est le rapport de la taille de l'image à la taille de l'objet :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

Si $\overline{A'B'}$ et \overline{AB} ont le même signe, l'image est **droite** et $\gamma > 0$.

Si $\overline{A'B'}$ et \overline{AB} sont de signe contraire, l'image est **renversée** et $\gamma < 0$.

Si $|\gamma| > 1$, l'image est plus grande que l'objet.

$\overline{A'B'}$ et \overline{AB} doivent être exprimés dans la même unité.

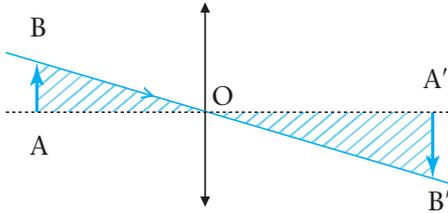
Le grandissement n'a pas d'unité.

Par exemple, si $\gamma = -3$, $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -3$, donc $\overline{A'B'} = -3 \times \overline{AB}$.

L'image est renversée et trois fois plus grande que l'objet.

- En appliquant le théorème de Thalès, on trouve immédiatement que :

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$



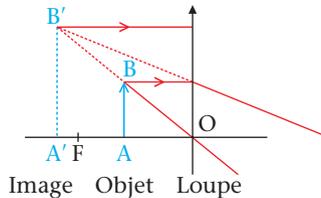
Caractéristiques d'une image

- Sur le schéma précédent, l'image se forme après la lentille ($\overline{OA'} > 0$). L'image est **réelle**, elle peut être recueillie sur un écran.

- Lorsqu'un objet est placé entre la lentille et son foyer objet, alors $\overline{OA'} < 0$, l'image est devant la lentille : elle est **virtuelle**. Elle ne peut pas être recueillie sur un écran, mais elle peut être observée en plaçant l'œil derrière la lentille. C'est le principe de la loupe.

À NOTER

Il faut placer l'écran à l'endroit où se forme l'image pour que le résultat soit net.



Déterminer analytiquement la position d'une image

Énoncé

Un objet AB de hauteur 1,1 cm est situé à 30,0 cm d'une lentille convergente de distance focale $f' = 100$ mm.

Déterminer la position de l'image A'B'.

Savoir-faire

- S'approprier l'énoncé pour savoir quelle est la grandeur recherchée.
- Écrire la relation de conjugaison.
- Rechercher les grandeurs utiles dans l'énoncé et les exprimer sous forme de valeurs algébriques, dans la même unité.
- Effectuer l'application numérique.

Corrigé détaillé

- La position de l'image par rapport à la lentille sera donnée par la distance $\overline{OA'}$, c'est donc elle que l'on recherche.
- La relation de conjugaison s'écrit :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

Soit :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}$$

- \overline{OA} est la distance algébrique entre la lentille et l'objet : $\overline{OA} = -30,0$ cm.

La distance focale doit être exprimée avec la même unité que \overline{OA} :

$$f' = 100 \text{ mm} = 10,0 \text{ cm.}$$

- *Application numérique :*

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{-30,0} + \frac{1}{10,0} = 0,0667, \text{ d'où } \overline{OA'} = 15,0 \text{ cm.}$$

L'image se forme à 15,0 cm de la lentille.

Déterminer la grandeur d'une image, son sens et sa nature

Énoncé

Déterminer la taille et les caractéristiques de l'image dans le cas de l'exercice précédent.

Savoir-faire

- Écrire la relation de grandissement.
- Donner les valeurs algébriques de \overline{AB} , \overline{OA} et $\overline{OA'}$.
- Effectuer l'application numérique.
- En déduire les caractéristiques de l'image.

Corrigé détaillé

- La formule du grandissement :

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

permet d'écrire :

$$\overline{A'B'} = \frac{\overline{AB} \times \overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

\overline{AB} (hauteur de l'objet) = 1,1 cm, $\overline{OA'} = 15,0$ cm et $\overline{OA} = -30,0$ cm.

- *Application numérique :*

$$\overline{A'B'} = \frac{1,1 \times 15,0}{-30,0} = -0,55 \text{ cm.}$$

- Le signe de $\overline{A'B'}$ et de $\overline{OA'}$ permet de conclure sur le sens et la nature de l'image.

Comme $\overline{A'B'} < 0$, l'image est renversée.

Comme $\overline{A'B'} < \overline{AB}$, l'image est plus petite que l'objet.

Comme $\overline{OA'} > 0$, l'image est réelle.

Pour réussir le jour J !



Les erreurs à ne pas commettre

● Ne pas oublier que les relations dans ce chapitre sont valables pour des grandeurs algébriques. En choisissant d'orienter l'axe optique dans le sens de propagation de la lumière, la valeur algébrique de OA est négative.

► Exercice 1

● Cette année, le grandissement γ est également une grandeur algébrique, ce qui n'était pas le cas en seconde. Un grandissement de -2 signifie deux choses : l'image et l'objet sont de sens opposés, mais l'image est deux fois plus grande que l'objet.

► Exercice 2



Un point en + sur la copie

● Une construction graphique doit être réalisée avec soin, sur papier millimétré, avec un crayon bien taillé. Préciser le sens de propagation de la lumière et l'échelle utilisée.

► Exercice 4

● Une épreuve scientifique doit être rédigée. Il ne faut pas écrire des formules et des calculs sans expliquer sa démarche.

► Exercice 1

● Vérifiez l'ordre de grandeur des résultats obtenus, demandez-vous si le résultat est cohérent. La taille d'une image qui se forme sur le capteur d'un appareil photo par exemple ne peut pas dépasser quelques centimètres.

► Exercice 6

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 318

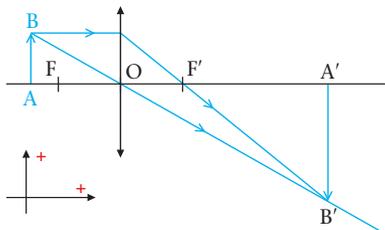
1 La distance focale f' est telle que :

- a. $f' = \overline{OF}$.
- b. $f' = \overline{OF}'$.
- c. $f' = \overline{FF}'$.

2 La distance focale f' d'une lentille convergente :

- a. est négative.
- b. est positive.
- c. peut être positive ou négative.

3 Sur le schéma suivant :



- a. $\overline{OA} < 0$.
- b. $\overline{OA}' < 0$.
- c. $\overline{OF}' < 0$.

4 Sur le schéma précédent :

- a. $\overline{AB} < 0$.
- b. $\overline{A'B}' < 0$.
- c. $\overline{OF} < 0$.

5 Sur le schéma précédent, l'image est trois fois plus grande que l'objet. Le grandissement γ vaut :

- a. 3.
- b. -3.
- c. 1/3.

6 Sur le schéma précédent, on peut écrire :

- a. $\frac{\overline{A'B}'}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA}'}{\overline{OA}}$ b. $\frac{\overline{A'B}'}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA}}{\overline{OA}'}$.
- c. $\frac{\overline{A'B}'}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA}'}{\overline{AO}}$.

7 Sur le schéma précédent, l'image est :

- a. réelle. c. virtuelle.
- b. droite.

8 À travers une lentille convergente, l'image d'un objet situé à l'infini se trouve toujours :

- a. avant le plan focal objet de la lentille.
- b. dans le plan focal image de la lentille.
- c. après le plan focal image de la lentille.

9 Une loupe grossissante est une lentille convergente qui donne une image virtuelle et agrandie d'un objet. Celui-ci doit être placé :

- a. avant le foyer objet de la lentille.
- b. entre la lentille et son foyer objet.
- c. entre la lentille et son foyer image.

10 Quand on connaît la position de l'objet et la distance focale de la lentille, la relation de conjugaison permet de déterminer :

- a. la taille de l'image.
- b. la position de l'image.
- c. la taille de l'objet.

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

CORRIGÉS

Exercices

niveau 1 10 min

Corrigés p. 318

Soit une lentille convergente de distance focale 20 cm et un objet placé 35 cm avant la lentille.

1. Déterminer la position de l'écran pour laquelle l'image apparaît nette.
2. Déterminer le grandissement.
3. Que se passe-t-il si l'objet est situé à 10 m avant la lentille ?

niveau 2 10 min

Corrigés p. 319

Une lentille convergente donne d'un objet AB une image A'B' renversée et deux fois plus grande que l'objet.

1. Quelle est la valeur du grandissement γ ?
2. L'objet AB est placé à 12 cm de la lentille. Déduire du grandissement la distance $\overline{OA'}$ séparant l'image de la lentille, puis la distance objet-image $\overline{AA'}$.
3. En appliquant la formule de conjugaison, déterminer la distance focale f' de la lentille.

COUP DE POUCE

On peut s'aider d'un schéma.
La réponse ne nécessite pas de calcul.

niveau 2 10 min

Corrigés p. 320

Un professeur demande à huit groupes d'élèves de déterminer la distance focale d'une lentille convergente. Pour cela, les élèves utilisent tous la même méthode : ils forment sur une feuille de papier l'image du Soleil visible depuis les fenêtres de la salle de classe. Les résultats obtenus sont les suivants :

Groupe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
f' (cm)	12	11	10	13	12	14	13	11	10	14	12	13

Données : On donne quelques formules intervenant dans la détermination de l'incertitude sur le résultat d'un ensemble de n mesures (x_1, x_2, \dots, x_n) .

$$\text{Écart type} : \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\text{Incertainde type sur la moyenne} : u(\bar{x}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$$

1. Justifier la méthode utilisée par les élèves pour déterminer la distance focale de la lentille.
2. À l'aide d'un tableau ou d'une calculatrice, déterminer la valeur moyenne de la distance focale et l'écart type.
3. Déterminer l'incertitude type.
4. En déduire l'intervalle dans lequel doit se trouver le résultat.

niveau 2 20 min

Corrigés p. 320

Pour examiner un timbre, un philatéliste utilise une loupe qui n'est en fait qu'une lentille convergente de distance focale $f' = 5,0$ cm. Il observe une lettre de hauteur 5,0 mm placée à 3,0 cm de la loupe.

1. Une lentille peut être caractérisée par sa vergence notée C . La vergence est l'inverse de la distance focale : $C = \frac{1}{f'}$, avec C en dioptries (δ) et f' en mètres.

Calculer la vergence de la lentille faisant office de loupe.

2. Faire un schéma en taille réelle en représentant la lettre par un segment AB, A étant sur l'axe optique. Construire l'image A'B' du segment AB. En déduire la taille et la position de l'image.

3. En utilisant la relation de conjugaison et la relation de grandissement, retrouver ces résultats.

4. Quelle est la nature de l'image ? Réelle ou virtuelle ? Droite ou renversée ?

niveau 2 10 min

Corrigés p. 321

Un objet AB est situé devant une lentille convergente de centre optique O. L'image A'B' est formée sur un écran. On donne \overline{OA} et $\overline{OA'}$ dans le tableau ci-dessous.

\overline{OA} (cm)	-10	-15	-20	-30	-40
$\overline{OA'}$ (cm)	40	17	13	11	10

1. À l'aide d'un tableur ou d'une calculatrice, représenter $\frac{1}{OA'}$ en fonction de $\frac{1}{OA}$.
2. À l'aide de l'outil de modélisation, déterminer l'équation de la courbe modélisant les points obtenus expérimentalement.
3. En déduire la distance focale de la lentille.

Les appareils photos numériques sont équipés d'une lentille appelée objectif et d'un capteur sur lequel se forme l'image. Afin que l'image se forme toujours sur le capteur, quelle que soit la position de l'objet, l'appareil photographique réalise une mise au point en modifiant la distance entre la lentille et le capteur.

1. On photographie un enfant de taille $h = 1,1$ m situé à 2,5 m de l'objectif. On assimile l'objectif à une lentille convergente de distance focale $f' = 50$ mm.

Calculer la distance entre l'objectif et le capteur pour que l'image de l'enfant soit nette.

2. Calculer la taille de l'image.

3. On prend cette fois en photo la tour Eiffel, sa hauteur étant $\overline{AB} = 324$ m.

Sachant que le capteur utilisé est rectangulaire, de format 24×36 mm, à quelle distance minimale doit-on se placer pour prendre la tour Eiffel en entier ?

On dispose d'une lentille convergente de distance focale f' inconnue. Afin de déterminer celle-ci, on place sur un banc d'optique un objet AB, A étant sur l'axe optique de la lentille, et un écran à 88 cm de l'objet.

On place ensuite la lentille à tester sur le banc entre l'objet AB et l'écran. Pour une position particulière de la lentille, on observe sur l'écran une image nette, renversée, de même taille que l'objet. On note $\overline{AA'}$ la distance entre l'objet et l'écran.

1. Faire un schéma sans souci d'échelle.

2. Établir à l'aide de la relation de grandissement la relation entre \overline{OA} et $\overline{OA'}$.

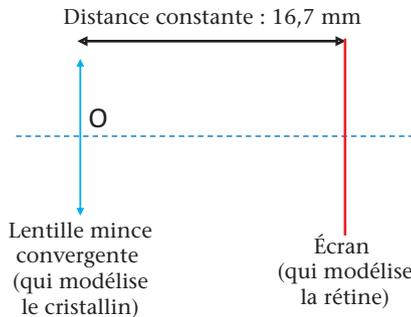
3. Montrer que, dans ce cas, $\overline{AA'} = 4 \times f'$.

4. Déterminer la distance focale de la lentille.

L'INFO EN PLUS

Cette méthode est appelée méthode de Silbermann.

L'œil est un système optique permettant d'obtenir l'image d'un objet. Le cristallin est équivalent à une lentille convergente de centre optique O et de distance focale f' variable. La rétine joue le rôle d'un écran situé à 16,7 mm derrière la lentille. L'image d'un objet est vue nettement si elle se forme sur la rétine, et ceci quelle que soit la position de l'objet. Cela est possible grâce à des muscles qui déforment le cristallin, augmentent sa courbure et modifie donc sa distance focale. Cette mise au point effectuée par l'œil est très rapide, on dit que l'œil accomode. Un œil normal peut voir nettement les objets de 25 cm à l'infini.



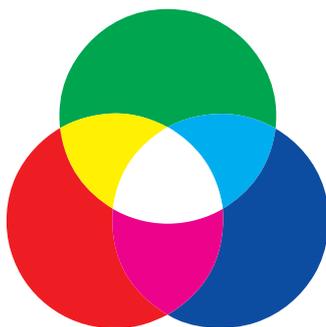
Un œil normal observe la Lune située au loin dans la direction de l'axe optique, l'image est nette.

1. Où se forme l'image de la Lune ? En déduire la distance focale f'_1 de la lentille de l'œil modélisé.
2. L'œil regarde maintenant un objet situé à 50,0 cm. Calculer la distance focale f'_2 de la lentille de l'œil modélisé.
3. Le *punctum proximum* est le point le plus proche visible nettement ; il est situé à 25,0 cm de l'œil ; l'accommodation est alors maximale. Calculer la distance focale f'_3 de la lentille de l'œil modélisé.
4. Avec l'âge (à partir de 45 ans environ), le cristallin perd de sa souplesse et se bombe de plus en plus difficilement : l'observateur devient presbyte. Ainsi, la distance focale minimale de l'œil d'une personne de 60 ans est $f'_3 = 15,9$ cm.
À quelle distance minimale cette personne peut-elle voir un objet sans lunettes de correction ?

Synthèse additive

a. Principe

■ En utilisant seulement trois faisceaux colorés rouge, bleu et vert, il est possible de reconstituer la lumière blanche. **Rouge**, **bleu** et **vert** sont les **couleurs primaires** de la lumière. Leur mélange en différentes proportions donne toutes les autres couleurs. Cette méthode de création de nouvelles couleurs est appelée **synthèse additive**.



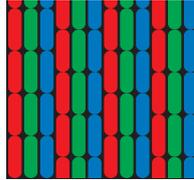
Synthèse additive : superposition de faisceaux de lumière

- Lorsque deux lumières de couleur primaire de même intensité se superposent, on obtient une lumière d'une couleur secondaire : **cyan**, **magenta** ou **jaune**.
- Deux couleurs sont dites **complémentaires** si par synthèse additive elles donnent du blanc. Les couples de couleurs complémentaires sont rouge et cyan, vert et magenta, bleu et jaune.

b. Restitution d'une couleur sur un écran

■ La synthèse additive est le principe de composition des couleurs utilisé notamment dans les **écrans LCD**. Chaque pixel de l'image est constitué de trois sous-pixels : rouge, vert et bleu.

■ Notre œil ne distingue pas les sous-pixels, mais il mélange les lumières colorées provenant de chacun d'eux. Ainsi, lorsque les trois sous-pixels voisins (rouge, vert et bleu) sont allumés, l'œil a une impression de blanc. Des millions de couleurs sont ainsi accessibles puisque la luminosité de chacun des pixels est réglable.



Juxtaposition des sous-pixels rouge, vert et bleu dans un écran

■ Le principe de restitution des couleurs rouge, vert, bleu est aussi appelé « procédé RVB ».

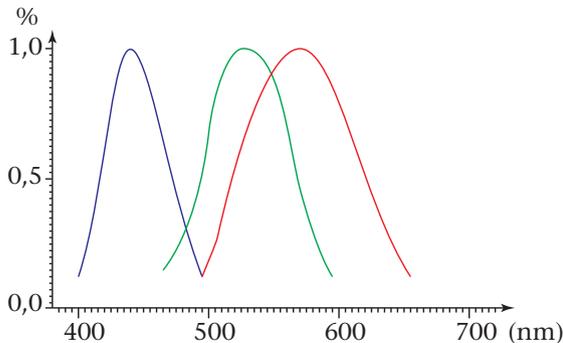
c. Vision des couleurs

■ La vision des couleurs résulte de l'existence, sur la rétine, de trois types de cônes ayant chacun un spectre d'absorption différent : certains cônes sont plus sensibles au vert, d'autres au bleu, d'autres au rouge. Notre sensibilité visuelle est dite **trichromatique**.

■ Lorsqu'un type de cône est défectueux, la perception des couleurs est imparfaite ; on parle alors de **daltonisme**.

À NOTER

Deux lumières de spectres différents peuvent sembler de même couleur si elles engendrent les mêmes réponses de la part des trois types de cônes.



Sensibilité des trois types de cônes en fonction de la longueur d'onde

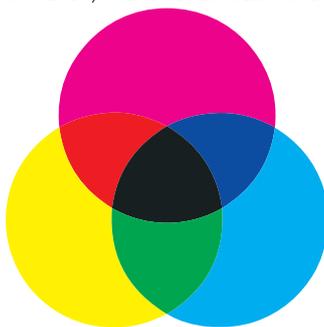
Synthèse soustractive

a. Cas des filtres

■ Lorsque la lumière blanche traverse un filtre coloré, celui-ci **absorbe** certaines radiations et **transmet** (laisse passer) les autres. Les filtres réalisent une **synthèse soustractive**.

■ En synthèse soustractive, les trois couleurs primaires sont le **cyan**, le **magenta** et le **jaune**. Ces trois couleurs, mélangées dans des proportions convenables, suffisent pour recréer toutes les autres couleurs.

■ Deux couleurs sont dites **complémentaires** si par synthèse soustractive leur superposition donne du noir.



Synthèse soustractive

b. Couleur d'un objet opaque

■ Notre œil perçoit des objets colorés car leur surface **absorbe** certaines radiations de la lumière incidente et **diffuse** les autres.

■ Éclairé en lumière blanche, un objet qui diffuse toutes les couleurs et en absorbe aucune apparaît blanc. S'il les absorbe toutes et n'en diffuse aucune, il apparaît noir.

Exemple : Éclairé en lumière blanche, un objet qui absorbe uniquement la lumière verte diffuse les lumières rouge et bleu qui, par synthèse additive, donnent une lumière magenta. L'objet sera perçu magenta par l'observateur.

■ La couleur d'un objet opaque dépend donc de la façon dont il est éclairé, des lumières qu'il absorbe et qu'il diffuse.

c. Impression des couleurs

■ Les substances colorées dans les encres ou les peintures agissent comme des filtres. C'est donc le principe de la synthèse soustractive qui est utilisé en peinture ou dans l'impression.

VOCABULAIRE

La *diffusion* est le phénomène par lequel un objet éclairé renvoie une partie de la lumière qu'il reçoit dans toutes les directions.

L'*absorption* est le phénomène par lequel un objet éclairé absorbe une partie de la lumière qu'il reçoit.

Prévoir l'effet de plusieurs filtres colorés sur une lumière incidente

Énoncé

Un éclairagiste dispose d'un unique projecteur de lumière blanche. Pour éclairer une scène avec différentes couleurs, il possède trois filtres colorés : cyan, magenta et jaune.

Quels filtres colorés utilisera-t-il pour éclairer la scène d'une lumière rouge ? Comment placera-t-il ces filtres ?

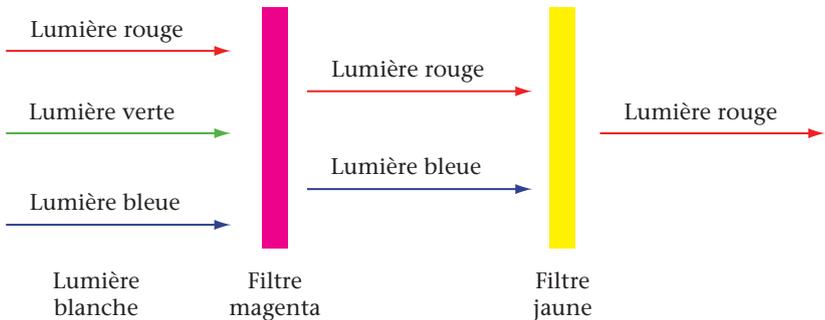
Savoir-faire

- Déterminer s'il est question de synthèse additive ou soustractive.
- Parmi le rouge, le vert et le bleu, déterminer quelle couleur doit être transmise et quelles couleurs doivent être absorbées.
- En déduire quel filtre coloré choisir sachant qu'un filtre transmet les radiations lumineuses correspondant à sa propre couleur et absorbe celles qui correspondent à sa couleur complémentaire.

Corrigé détaillé

L'éclairagiste doit superposer deux filtres devant le projecteur de lumière blanche : un qui absorbe la lumière verte et un autre qui absorbe la lumière bleue, afin que seule la lumière rouge soit transmise.

Il va donc choisir un filtre magenta (le magenta est la couleur complémentaire du vert) et un filtre jaune (le jaune est la couleur complémentaire du bleu).



Interpréter la couleur observée d'un objet éclairé

Énoncé

Éclairé en lumière blanche, un citron paraît jaune.

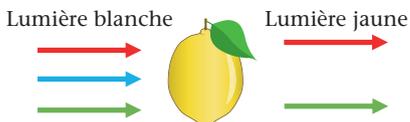
Comment ce citron paraîtra-t-il éclairé par une lumière verte ? bleue ? rouge ?

Savoir-faire

- Rechercher, parmi les couleurs rouge, bleue et verte, quelles lumières colorées sont absorbées et quelles lumières colorées sont diffusées par le citron.
- Se rappeler que la couleur perçue d'un objet opaque résulte de la synthèse additive des lumières diffusées par l'objet.

Corrigé détaillé

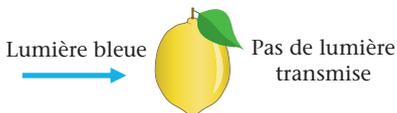
■ Un citron jaune, éclairé en lumière blanche, diffuse la lumière jaune, c'est-à-dire les lumières verte et rouge. La couleur qu'il absorbe est la couleur complémentaire du jaune, c'est-à-dire la lumière bleue.



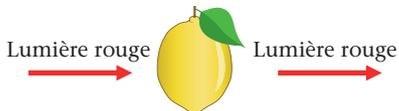
■ Éclairé en lumière verte, ce citron apparaîtra vert : il diffuse la lumière verte.



■ Éclairé en lumière bleue, ce citron apparaîtra noir, car il absorbe la lumière bleue et ne diffuse aucune lumière.



■ Éclairé en lumière rouge, ce citron apparaîtra rouge : il diffuse la lumière rouge.



Pour réussir le jour J !



Les erreurs à ne pas commettre

● Ne pas confondre synthèse additive et synthèse soustractive. La synthèse additive est utilisée dans les écrans de télévision. La synthèse soustractive est utilisée pour les imprimantes à jet d'encre ou la peinture en général.

► Exercice 6

● Un objet vert ou un filtre vert n'absorbe pas le vert, mais la couleur complémentaire du vert, c'est-à-dire le magenta.

► Exercice 2



Un point en + sur la copie

● Ce que vous écrivez doit être précis, éviter les explications de type : « bleu + vert = noir » ou « bleu + vert = cyan ». Rédiger correctement, ne pas utiliser d'abréviations : « Un objet bleu éclairé en lumière verte apparaît noir » ou « En superposant de la lumière bleue et de la lumière verte, on obtient une lumière cyan ».

► Exercice 2

● On peut utiliser indifféremment les termes de « lumières » ou de « radiations lumineuses ».

► Exercice 4

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 337

1 Une lumière blanche traverse un filtre absorbant les radiations vertes, puis parvient à un œil humain. Celui-ci perçoit une lumière de couleur :

- a. cyan.
- b. magenta.
- c. verte.

2 La couleur d'un objet opaque correspond à la couleur qu'il :

- a. diffuse.
- b. reçoit.
- c. transmet.

3 Une lumière blanche traverse successivement un filtre jaune et un filtre rouge. Sur un écran blanc :

- a. on n'observe aucune lumière.
- b. on observe une lumière jaune.
- c. on observe une lumière rouge.

4 En synthèse additive, la superposition de deux faisceaux de lumière bleue et verte, de même intensité, donne :

- a. du blanc.
- b. du noir.
- c. du cyan.

5 Le rendu des couleurs sur un écran d'ordinateur est fondé sur le principe de :

- a. la synthèse additive.
- b. la synthèse multiplicative.
- c. la synthèse soustractive.

6 Un éclairagiste place un filtre coloré devant une source de lumière blanche. Il obtient une lumière colorée par :

- a. synthèse additive.
- b. synthèse multiplicative.
- c. synthèse soustractive.

7 Éclairée en lumière blanche, une cerise est perçue rouge. Éclairée en lumière jaune, cette cerise est perçue :

- a. jaune.
- b. noire.
- c. rouge.

8 En aquarelle, pour obtenir du rouge, un peintre doit utiliser des pigments :

- a. magenta et cyan.
- b. magenta et jaune.
- c. cyan et jaune.

9 Les cellules responsables de la vision des couleurs sont :

- a. les bâtonnets.
- b. les cônes.
- c. les pixels.

10 Pour que le cerveau réalise la synthèse additive de deux lumières colorées, il faut que les deux sources de lumière colorées soient :

- a. de même intensité lumineuse.
- b. à la même distance de l'œil.
- c. suffisamment proches pour que l'œil ne puisse pas les distinguer.

Exercices

niveau 1 5 min

[▶ Corrigés p. 338](#)

1. Pourquoi ne peint-on jamais les murs d'une pièce en noir ?
2. Pourquoi les murs des maisons méditerranéennes sont-ils peints en blanc ?

niveau 1 5 min

[▶ Corrigés p. 338](#)

Éclairée en lumière blanche, une tomate paraît rouge parce qu'elle absorbe les lumières bleue et verte et qu'elle diffuse le rouge. Mais si on l'éclaire en lumière bleue, la tomate paraît noire !

1. Indiquer la couleur complémentaire du rouge.
2. Indiquer la couleur de la tomate éclairée en lumière rouge.
3. Expliquer pourquoi la tomate paraît noire quand elle est éclairée en lumière bleue.

niveau 1 5 min

[▶ Corrigés p. 338](#)

Pour chaque élément de l'image ci-dessous observée sur un écran d'ordinateur, entourer dans le tableau les sous-pixels éclairés.



Sapin vert			Boule bleue			Boule blanche		
R	V	B	R	V	B	R	V	B
Boule rouge			Étoile jaune			Tronc noir		
R	V	B	R	V	B	R	V	B

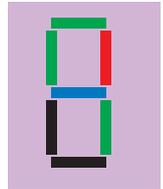
niveau 2 10 min

[▶ Corrigés p. 338](#)

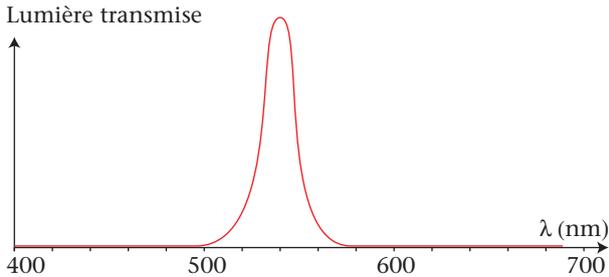
On observe la figure ci-contre avec un filtre rouge, puis avec un filtre bleu.

Quel chiffre peut-on lire dans chacun des cas ?

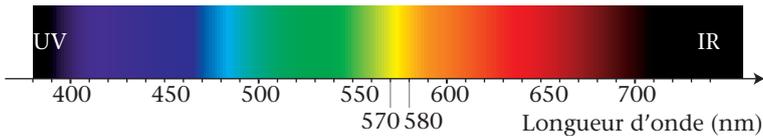
Justifier les réponses.



La courbe ci-dessous correspond à la lumière transmise par un filtre en fonction de la longueur d'onde de la radiation qui le traverse.



Données :



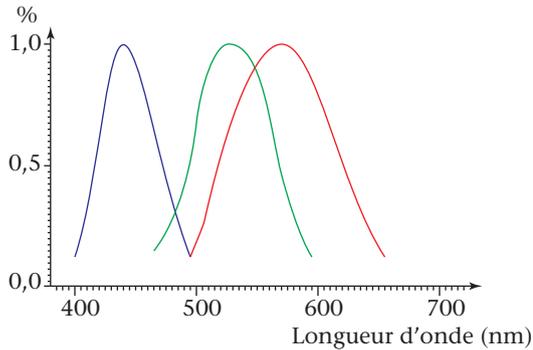
1. Quel est le domaine de longueurs d'onde des radiations transmises ?
2. Quelle est la couleur du filtre ?
3. Un ensemble de deux filtres différents est maintenant placé sur le trajet de la lumière blanche et permet d'obtenir la même courbe que précédemment.

Donner une couleur possible pour chacun de ces deux filtres.

La quadrichromie est un procédé d'impression basé sur l'utilisation de quatre couleurs : le cyan, le jaune, le magenta et le noir.

1. Quel type de synthèse des couleurs est utilisé dans une imprimante ?
2. Peut-on obtenir du noir avec les trois couleurs cyan, magenta et jaune ?
3. À votre avis, quel est l'intérêt d'utiliser également de l'encre noire ?
4. Pourquoi une imprimante utilise-t-elle des encres cyan, magenta et jaune plutôt que des encres rouge, verte et bleue ?

Le graphe suivant traduit l'absorption relative des différents types de cônes en fonction de la longueur d'onde.



1. Déterminer avec précision la longueur d'onde pour laquelle chaque type de cône présente une absorption maximale.
2. Un cône bleu recevant une radiation de longueur d'onde 600 nm transmet-il au cerveau un signal fort, moyen ou ne transmet-il pas de signal du tout ?

Même question pour les cônes vert et rouge.

3. Quels cônes sont sollicités lorsque l'œil perçoit la couleur cyan ?
4. Éclairé en lumière blanche, un objet apparaît cyan. Quelles radiations absorbe-t-il ?
5. De quelle couleur apparaît ce même objet éclairé en lumière verte ? Dans ce cas, quels cônes ne sont plus sollicités ?
6. Quels cônes sont sollicités lorsqu'on regarde de la neige ?
7. Expliquer la phrase : « L'œil humain a une sensibilité visuelle trichromique. »

Le drapeau français et le drapeau irlandais sont éclairés avec diverses lumières.

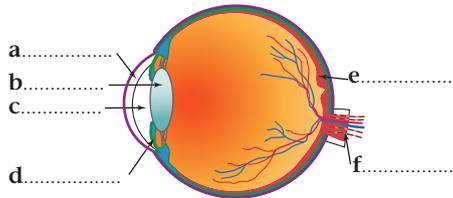
1. Compléter le tableau ci-dessous.

Lumière qui éclaire	Drapeau français			Drapeau irlandais		
Lumière blanche	bleu	blanc	rouge			
Lumière bleue				noir	bleu	noir
Lumière verte				vert	vert	vert
Lumière jaune				vert	jaune	jaune

2. Avec quelle lumière colorée faut-il éclairer les deux drapeaux pour qu'ils paraissent identiques ?

Claude est daltonien. Il possède bien les trois types de cônes, mais certains d'entre eux, ceux sensibles à la lumière verte, sont défectueux.

1. Compléter le schéma de l'œil ci-dessous avec les mots suivants : *cristallin, cornée, iris, nerf optique, pupille, rétine*.



2. Comment Claude perçoit-il la lumière blanche ?

3. Si de la lumière jaune pénètre dans les yeux de Claude, quelle couleur perçoit-il ?

Les textiles blancs ont tendance à jaunir en vieillissant. Comment rendre un tissu ou un vêtement bien blanc ?

Une solution efficace consiste à l'imprégner avec une molécule fluorescente, appelée azurant optique, qui absorbe les UV (ultraviolet) et réémet dans le bleu. Les azurants optiques, dont le premier brevet

date de 1935, entrent désormais dans la composition de la plupart des lessives. Pour un tissu non jauni, la fluorescence ajoute de la luminosité à la blancheur.

1. Rechercher la définition du terme *fluorescence*.
2. Quelle est la couleur absorbée par du linge jauni ?
3. Expliquer pourquoi les azurants optiques redonnent un aspect blanc au linge jauni.
4. De quel type de synthèse s'agit-il ?
5. De quelle couleur apparaît un tissu blanc imprégné d'azurant optique et éclairé à la lumière du jour ?
6. Dans une chambre noire et sous un rayonnement UV, de quelle couleur apparaît un tissu blanc imprégné d'azurant optique ?

La lumière

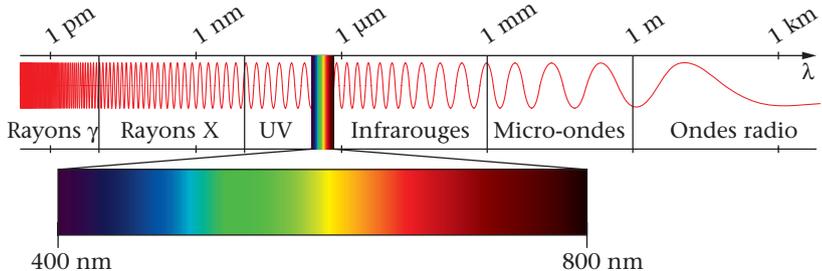
a. Les ondes lumineuses

- Les ondes lumineuses peuvent être décrites comme des **vibrations de nature électromagnétique**. La lumière est une **onde périodique** caractérisée par sa **longueur d'onde** dans le vide notée λ ou par sa **fréquence** ν .
- La longueur d'onde et la fréquence sont liées par la relation :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

avec λ en mètres, ν en hertz (Hz) et c la célérité de la lumière dans le vide $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

- Dans l'air ou dans le vide, le domaine du visible est constitué par des rayonnements de longueurs d'onde comprises entre 400 et 800 nm. Il est bordé par le domaine des rayonnements ultraviolets (UV) de longueurs d'onde inférieures à 400 nm et par le domaine des rayonnements infrarouges (IR) de longueurs d'onde supérieures à 800 nm.



Longueurs d'onde des rayonnements électromagnétiques

b. Le photon

- Certains phénomènes restant inexplicables dans le cadre de la théorie ondulatoire de la lumière, Max Planck, en 1900, postula la quantification de l'énergie transportée par les ondes électromagnétiques : l'énergie élec-

tromagnétique ne peut s'échanger que par « paquets » appelés **quanta d'énergie**.

■ En 1905, Albert Einstein émit l'idée que ces quanta d'énergie étaient transportés par des **photons**.

■ Les photons sont des particules (ou corpuscules) de masse et de charge nulles se déplaçant à la vitesse de la lumière.

■ Un photon transporte une énergie E qui dépend de la fréquence (donc de la longueur d'onde) de l'onde électromagnétique à laquelle il est associé :

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

avec E l'énergie en joules (J), h la constante de Planck en joules seconde (J · s) : $6,63 \times 10^{-34}$ J · s, λ la longueur d'onde en mètres, c la vitesse de la lumière dans le vide, ν la fréquence en hertz (Hz).

■ Plus la longueur d'onde est petite (donc plus la fréquence est grande) et plus l'énergie transportée par le photon est grande. Ce qui explique la dangerosité des éléments radioactifs libérant des rayons gamma.

À NOTER

Le terme de photon a été proposé par le chimiste américain Gilbert Newton Lewis (1875-1946).

À NOTER

La valeur E de l'énergie que transporte le photon est toujours positive.

Lumière et matière

a. Quantification de l'énergie d'un atome

■ Dans un atome, les électrons tournent autour du noyau sur des trajectoires appelées orbites. Toutes les orbites ne sont pas possibles pour les électrons d'un atome donné.

■ Sur une orbite donnée, un électron possède une énergie d'autant plus faible que cette orbite se trouve proche du noyau.

■ L'énergie d'un atome est la somme des énergies de chacun de ses électrons. Un atome ne peut exister que dans certains états d'énergie bien définis : on dit **que l'énergie d'un atome est quantifiée**.

■ Le **diagramme de niveaux d'énergie** d'un atome représente les niveaux d'énergie possibles de cet atome. Ceux-ci sont notés E_n , n étant un entier supérieur ou égal à 1.

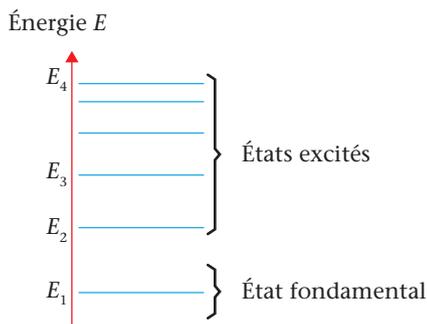


Diagramme de niveaux d'énergie d'un atome

- L'état fondamental ($n = 1$) est l'état de plus basse énergie. C'est celui pour lequel les électrons sont les plus proches du noyau. C'est un état stable.
- Dans certaines conditions, un atome peut gagner de l'énergie et se retrouver dans un état excité ($n > 1$). Les états excités sont des états instables.
- Lorsque n tend vers l'infini, l'énergie est maximale. L'atome est alors ionisé : il a perdu un ou plusieurs électrons.

Dans le système international d'unités (SI), l'unité d'énergie est le joule (J). Nous utiliserons ici souvent l'électronvolt (eV), car les énergies au niveau atomique sont de cet ordre. On a : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$.

À NOTER

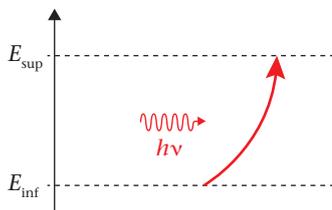
Par convention, l'énergie maximale E_∞ est choisie nulle. Ainsi, les énergies E_n sont négatives.

b. Les transitions d'énergie dans l'atome

- Un photon ne peut être absorbé par un atome que s'il possède l'énergie E nécessaire à la transition énergétique ΔE de l'atome d'un niveau initial E_i à un niveau final E_f de plus haute énergie :

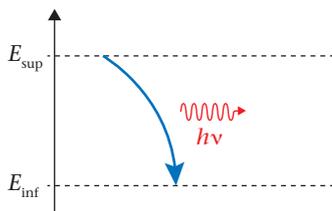
$$E = |\Delta E| = |E_f - E_i|$$

- Comme le photon absorbe de l'énergie à une longueur d'onde précise, on observe, dans le domaine du visible, des raies noires dans le spectre d'absorption d'un élément.
- Dans ce cas, l'atome gagne de l'énergie : la transition énergétique, ΔE , est positive.



■ Un atome excité va très rapidement perdre de l'énergie pour revenir à son état fondamental. Ce faisant, il émet un photon. L'énergie du photon émis correspond exactement à l'énergie perdue par l'atome. Dans ce cas, $\Delta E < 0$.

■ Comme le photon émet de l'énergie à une longueur d'onde précise, on observe, dans le domaine du visible, des raies de couleurs dans le spectre d'émission d'un élément.



■ Les spectres d'émission et d'absorption impliquent les mêmes états atomiques, ils sont donc complémentaires : les raies d'absorption et d'émission d'une même espèce chimique ont la même longueur d'onde.

Exploiter la relation entre fréquence et longueur d'onde

Énoncé

Dans un cabinet d'imagerie médicale se trouve un appareil de radiologie émettant des rayons X ayant une énergie de 41,4 keV. Calculer la fréquence et la longueur d'onde des rayons X émis par l'appareil.

Données : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$; $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Savoir-faire

- Convertir la valeur de l'énergie du photon en joules.
- Utiliser l'expression donnant l'énergie d'un photon pour déterminer la fréquence.
- Exploiter la relation entre célérité de la lumière et fréquence pour déterminer la longueur d'onde.

Corrigé détaillé

- Convertie en joules, l'énergie du photon vaut :

$$E = 41,4 \times 10^3 \times 1,60 \times 10^{-19} = 6,62 \times 10^{-15} \text{ J.}$$

- Comme $E = h \times \nu$, la fréquence des rayons X est :

$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{6,62 \times 10^{-15}}{6,63 \times 10^{-34}} = 1,00 \times 10^{19} \text{ Hz.}$$

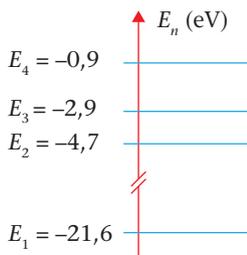
- Comme $\lambda = \frac{c}{\nu}$, leur longueur d'onde est :

$$\lambda = \frac{3,00 \times 10^8}{1,00 \times 10^{19}} = 3 \times 10^{-11} \text{ m.}$$

Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie

Énoncé

Les tubes au néon produisent une lumière rouge. Le diagramme d'énergie de l'atome de néon est le suivant :



Calculer la longueur d'onde dans le vide du rayonnement correspondant à une transition du niveau 4 au niveau 3.

Est-ce une radiation absorbée ou émise ? À quel domaine appartient-elle ?

Données : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$; $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Savoir-faire

- Calculer la différence d'énergie pour une transition en électronvolts, puis la convertir en joules.
- Exploiter l'expression de l'énergie du photon en fonction de la longueur d'onde dans le vide.
- Identifier le domaine spectral auquel appartient cette radiation.

Corrigé détaillé

■ L'atome passe du niveau 4 au niveau 3, il perd donc de l'énergie en émettant un photon :

$$\Delta E = E_f - E_i = E_3 - E_4 = -2,9 - 0,9 = -2,0 \text{ eV}.$$

En joules, cette variation d'énergie vaut :

$$\Delta E = -2,0 \times 1,60 \times 10^{-19} = -3,20 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

■ La transition d'énergie correspond à l'émission d'un photon d'énergie E :

$$E = |\Delta E| = \frac{h \times c}{\lambda}, \text{ soit } \lambda = \frac{h \times c}{|\Delta E|}$$

$$\text{D'où : } \lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{|-3,20 \times 10^{-19}|} = 6,22 \times 10^{-7} \text{ m} = 622 \text{ nm}.$$

■ Cette longueur d'onde comprise entre 400 nm et 800 nm appartient au domaine du visible ; elle est de couleur rouge.

À NOTER

Le signe de la variation d'énergie renseigne sur le phénomène :

« - » indique que l'atome perd de l'énergie ;

« + » indique que l'atome gagne de l'énergie.

Pour réussir le jour J !



Les erreurs à ne pas commettre

● Il est indispensable de connaître les relations mathématiques du chapitre pour faire les exercices : entre énergie et fréquence et entre énergie et longueur d'onde, et entre fréquence et longueur d'onde.

▶ Exercice 2

● Il faut savoir utiliser les diagrammes de niveau d'énergie et repérer absorption ou émission de photon.

▶ Exercice 3

● Il faut savoir que l'énergie d'un photon émis ou absorbé correspond à la différence entre deux niveaux d'énergie.

▶ Exercice 4

● Il faut être vigilant avec les unités utilisées. En effet, dans les diagrammes, les niveaux d'énergie sont en électronvolts, tandis que l'énergie dans les relations mathématiques est en joules.

▶ Exercice 5

● Il faut penser à faire les conversions avant de réaliser les applications numériques.

▶ Exercice 1



Un point en + sur la copie

● Il faut être capable d'expliquer la quantification des niveaux d'énergie d'une entité.

▶ Exercice 5

● Il faut limiter les calculs intermédiaires : travailler le plus possible avec les relations littérales (ceci permet de se relire plus facilement).

▶ Exercice 8

● Il faut penser à donner les résultats avec le bon nombre de chiffres significatifs.

10 QCM pour réviser le cours

Corrigés, p. 354

Données :

$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

1 Les radiations infrarouges ont, dans le vide, des longueurs d'onde :

- a. inférieures à 400 nm.
- b. supérieures à celles des radiations rouges.
- c. supérieures à 800 nm.

2 Lorsqu'un atome subit une transition vers un état de plus haute énergie, l'énergie ΔE du photon absorbé de longueur d'onde λ a pour expression :

$$\text{a. } \Delta E = \frac{h \times c}{\lambda} \quad \text{b. } \Delta E = \frac{\lambda}{h \times c}.$$

$$\text{c. } \Delta E = h \times \lambda.$$

3 L'énergie d'un photon de longueur d'onde $\lambda = 480 \text{ nm}$ vaut :

- a. $4,14 \times 10^{-19} \text{ J}$.
- b. $4,14 \times 10^{-37} \text{ J}$.
- c. $4,14 \times 10^{-18} \text{ J}$.

4 Quelle est la longueur d'onde λ d'un photon d'énergie de $4,55 \text{ eV}$?

- a. $\lambda = 4,37 \times 10^{-26} \text{ m}$.
- b. $\lambda = 2,73 \times 10^{-7} \text{ m}$.
- c. $\lambda = 273 \text{ nm}$.

5 Un atome dont l'énergie augmente :

- a. émet un électron.
- b. absorbe un photon.
- c. émet un photon.

6 La fréquence d'une radiation de longueur d'onde $\lambda = 600 \text{ nm}$ a pour valeur :

- a. $\lambda = 5,00 \times 10^{14} \text{ Hz}$.
- b. $\lambda = 5,00 \times 10^5 \text{ Hz}$.
- c. $\lambda = 2,00 \times 10^{-15} \text{ Hz}$.

7 L'atome à l'état ionisé :

- a. a une énergie maximale.
- b. est stable.
- c. a perdu un électron.

8 L'énergie d'un atome :

- a. reste constante.
- b. peut prendre n'importe quelle valeur.
- c. ne peut prendre que certaines valeurs.

9 L'énergie d'un photon correspondant à un rayonnement de longueur d'onde de 800 nm a pour valeur :

- a. $1,55 \text{ eV}$.
- b. $2,49 \times 10^{-19} \text{ eV}$.
- c. $1,55 \times 10^{-9} \text{ eV}$.

10 Parmi les affirmations suivantes, déterminer celle(s) qui est (sont) exacte(s).

- a. La longueur d'onde du rayonnement impliqué dans une transition électronique est la même qu'il s'agisse d'absorption ou d'émission.
- b. Les niveaux d'énergie sont les mêmes dans tous les atomes.
- c. L'état fondamental d'un atome est celui de plus haute énergie.

COURS

MÉTHODE

ENTRAÎNEMENT

CORRIGÉS

Exercices

Données pour les exercices :

$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Rayonnement	Longueur d'onde
Rayons gamma	< 0,01 nm
Rayons X	De 0,01 à 10 nm
Ultraviolets	De 10 à 380 nm
Violet	380-446 nm
Bleu	446-520 nm
Vert	520-565 nm
Jaune	565-590 nm
Orange	590-625 nm
Rouge	625-740 nm
Infrarouges	De 740 nm à 1 mm
Ondes hertziennes	> 1 mm

niveau 1 8 min

► *Corrigés, p. 355*

Un photon est émis avec une énergie $E = 50 \text{ keV}$.

Déterminer la longueur d'onde de ce photon. Est-ce un photon X ?

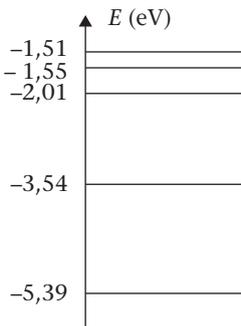
niveau 1 8 min

► *Corrigés, p. 355*

On considère une radiation de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 533 \text{ nm}$.

Calculer l'énergie du photon correspondant en joules, puis l'exprimer en électronvolts.

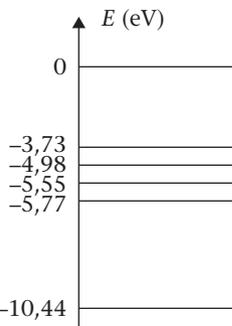
Lors d'une transition depuis son premier niveau excité jusqu'à l'état fondamental, une raie est émise par une lampe à vapeur de lithium. Le diagramme suivant représente certains niveaux d'énergie de l'atome de lithium.



1. Quelle est l'énergie du photon correspondant ?
2. En déduire la valeur de la longueur d'onde dans le vide de la radiation associée. Si elle appartient au visible, préciser sa couleur.

Le diagramme ci-contre représente certains niveaux d'énergie de l'atome de mercure.

1. Donner la valeur de l'énergie de l'état fondamental et des états excités.
2. Que représente l'état d'ionisation ? Quelle est la valeur de son énergie ?
3. Quelle énergie ΔE absorbe ou émet l'atome lorsqu'il passe du niveau d'énergie E_3 au niveau d'énergie E_1 ?
4. Quelle doit être la fréquence ν de la radiation qui permet cette transition ?
5. Un photon de longueur d'onde $\lambda = 610$ nm peut-il être absorbé lors d'une transition entre deux niveaux d'énergie ? Lesquels ?



Les niveaux d'énergie $E_1, E_2, E_3,$ etc. de l'atome d'hydrogène sont quantifiés et donnés par la formule :

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$

où E_n s'exprime en électronvolts.

Le niveau le plus élevé $E_\infty = 0$ eV correspond à l'ionisation de l'atome. La série de Lyman correspond aux transitions électroniques des états excités ($n \geq 2$) de l'atome d'hydrogène vers son état fondamental ($n = 1$).

1. Pourquoi parle-t-on d'états « quantifiés » ?
2. Quelle est la longueur d'onde maximale des photons émis associés à ces raies ? À quel domaine de longueurs d'onde ces raies appartiennent-elles ?
3. Quelle est la longueur d'onde minimale des photons émis associés à ces raies ? À quel domaine de longueur d'onde ces raies appartiennent-elles ?

L'atome de mercure possède les niveaux d'énergie suivants :

$$E_4 = -2,72 \text{ eV} ; E_3 = -3,75 \text{ eV} ; E_2 = -4,99 \text{ eV} ; E_1 = -10,45 \text{ eV}.$$

Données :

$$M({}^{202}_{80}\text{Hg}) = 202 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

$$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}.$$

$$m(e^-) = 9,01 \times 10^{-31} \text{ kg}.$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2.$$

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

1. Déterminer le rapport entre les valeurs des interactions gravitationnelles et électriques qui existent entre le noyau d'un atome de mercure et son électron. Conclure.
2. Quelle est la longueur d'onde du photon émis lors de la transition énergétique d'un atome de mercure du niveau noté 4 vers le niveau 2 ?
3. Une radiation lumineuse ayant pour énergie $E = 5,46$ eV peut-elle interagir avec un atome de mercure dans son état fondamental ? Même question pour une radiation $E' = 6,0$ eV.

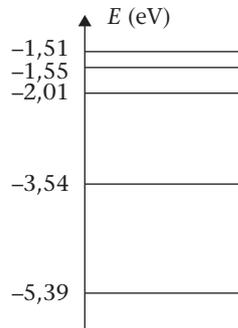
Le diagramme énergétique ci-contre est celui d'un atome de lithium.

1. L'atome de lithium peut-il avoir une énergie $E = -4,24$ eV ?

2. Que se passe-t-il en cas d'interaction entre un atome de lithium au niveau E_1 et des photons de longueur d'onde λ égale à 324 nm, 751 nm et 671 nm ?

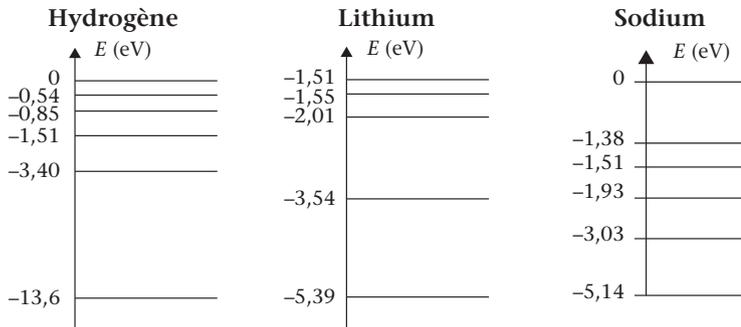
3. L'atome de lithium est initialement au niveau E_3 . Calculer les longueurs d'onde des photons qu'il peut émettre et donner leur domaine d'appartenance.

4. Si l'atome de lithium se trouve au niveau E_1 , peut-il émettre un photon ?



Chaque type d'atome possède des niveaux d'énergie qui lui sont propres. Le spectre d'un atome permet donc d'identifier celui-ci.

Voici les niveaux d'énergie de quelques éléments chimiques :



Par la méthode de votre choix, expliquer à quel élément appartient le spectre ci-dessous.



Sujet de type bac

Exercice 1

Notions traitées :

- Oxydoréduction
 ▶ Cours, chap. 3, p. 55
- Tableau d'avancement
 ▶ Cours, chap. 2, p. 31
- Composition d'un système
 ▶ Cours, chap. 1, p. 9
- Titration avec suivi colorimétrique
 ▶ Cours, chap. 3, p. 55

Exercice 2

Notions traitées :

- Photon et interaction lumière matière
 ▶ Cours, chap. 17, p. 342
- Énergie cinétique
 ▶ Cours, chap. 13, p. 264
- Couleur des objets
 ▶ Cours, chap. 16, p. 325

Exercice 3

Notions traitées :

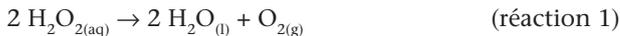
- Travail d'une force
- Énergie mécanique
 ▶ Cours, chap. 13, p. 264

Exercice 1

L'eau oxygénée commerciale est une solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène utilisée comme désinfectant pour des plaies, pour l'entretien des lentilles de contact ou comme agent de blanchiment.

Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) intervient dans deux couples oxydant/réducteur : $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}/\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$ et $\text{O}_{2(\text{g})}/\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$.

Il est capable dans certaines conditions de réagir sur lui-même, c'est-à-dire de se dismuter selon l'équation de réaction suivante :



Cette réaction est lente à température ordinaire.

Donnée :

Volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience : $V_m \approx 25 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

I. Étude de la réaction de dismutation

1. Écrire les deux demi-équations d'oxydoréduction des deux couples auxquels le peroxyde d'hydrogène appartient.

2. Compléter le tableau d'évolution du système (ci-dessous).

		$2 \text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + \text{O}_{2(\text{g})}$		
		Avancement (mol)	Quantité de matière (mol)	
État initial	0	$n_0(\text{H}_2\text{O}_2)$		0
En cours de transformation	x			
État final	x_{max}			

II. Détermination de la valeur attendue de la concentration en peroxyde d'hydrogène

L'eau oxygénée du commerce se présente en flacons opaques afin d'éviter que la lumière ne favorise la transformation chimique vue précédemment. Le flacon utilisé dans cette étude porte la mention suivante : « eau oxygénée à 10 volumes ». Cette indication est appelée le titre de l'eau oxygénée. Par définition, le titre est le volume de dioxygène (exprimé en litres) libéré par un litre de solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène suivant la réaction de dismutation dans les conditions normales de température et de pression (réaction 1).

On considérera, en première approximation, que les conditions de l'expérience sont assimilables aux conditions normales. On désire vérifier l'indication donnée sur le flacon concernant le titre de l'eau oxygénée de la solution commerciale utilisée.

1. Par définition du titre de l'eau oxygénée, quel volume de dioxygène $V(\text{O}_2)$ serait libéré par un volume $V = 1,00 \text{ L}$ de la solution commerciale au cours de la réaction de dismutation du peroxyde d'hydrogène ?

2. Calculer la quantité de dioxygène formé au cours de cette transformation.

3. La transformation précédente étant considérée comme totale, vérifier que la concentration en peroxyde d'hydrogène notée $C_{\text{th}}(\text{H}_2\text{O}_2)$ de cette solution commerciale (valeur théoriquement attendue) a pour valeur : $C_{\text{th}}(\text{H}_2\text{O}_2) = 8,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

CONSEIL

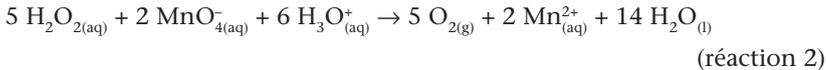
Utiliser le tableau d'avancement complété à la question 2 de la partie I.

III. Détermination par titrage de la concentration en peroxyde d'hydrogène

Pour vérifier la valeur de la concentration précédente, on réalise le titrage d'un volume $V_0 = 10,0 \text{ mL}$ de cette solution par une solution de permanganate

de potassium acidifiée de concentration en soluté $C_1 = 2,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Les couples oxydant/réducteur intervenant au cours du titrage sont $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$ et $\text{O}_{2(\text{g})} / \text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$. Le volume de permanganate de potassium versé pour obtenir l'équivalence est $V_{\text{eq}} = 14,6 \text{ mL}$.

L'équation de la réaction de titrage est la suivante :



1. L'ion permanganate MnO_4^- donne une coloration violette aux solutions aqueuses qui le contiennent. Comment l'équivalence est-elle repérée au cours du titrage ?

2. Quelle relation peut-on écrire entre la quantité initiale de peroxyde d'hydrogène se trouvant dans le bécher $n_i(\text{H}_2\text{O}_2)$ et la quantité d'ions permanganate introduits dans le bécher à l'équivalence $n_{\text{eq}}(\text{MnO}_4^-)$?

3. Donner l'expression de la concentration en peroxyde d'hydrogène de la solution commerciale $c_{\text{exp}}(\text{H}_2\text{O}_2)$ en fonction de C_1 , V_0 et V_{eq} .

4. Montrer que l'on a $c_{\text{exp}}(\text{H}_2\text{O}_2) = 7,3 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

5. Comparer à la valeur obtenue à la question II. 3. Les erreurs de manipulation mises à part, comment peut-on expliquer l'écart de concentration obtenu ?

Exercice 2

Le sodium est un métal mou, de couleur argentée. C'est un métal très réactif, que l'on ne trouve pas à l'état pur dans la nature, mais il peut être fabriqué industriellement et utilisé dans quelques applications, par exemple dans les lampes d'éclairage des boulevards périphériques ou des tunnels. La lumière émise par une lampe à vapeur de sodium basse pression est jaune orangée.

Données :

Atome de sodium : ${}_{11}^{23}\text{Na}$.

Atome de chlore : ${}_{17}^{35,5}\text{Cl}$.

Charge élémentaire $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$.

1 pm (picomètre) = 10^{-12} m .

Constante de la force de Coulomb : $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{C}^{-2} \cdot \text{m}^2$.

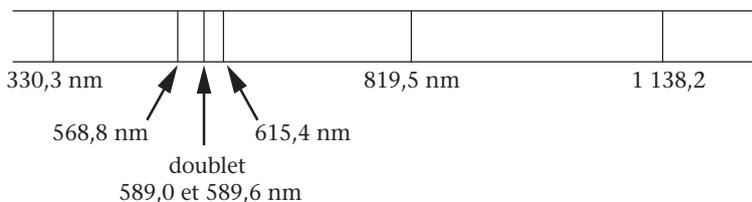
Constante de gravitation : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$.

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

Masse de l'électron : $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

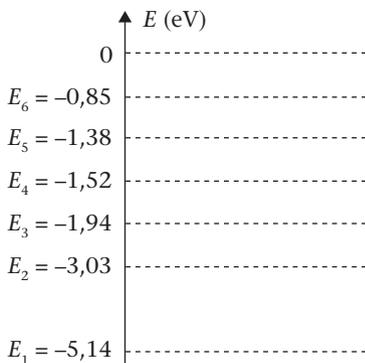
Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

1. Donner la composition d'un atome de sodium.
2. Écrire la configuration électronique de l'atome de sodium à l'état fondamental.
3. En déduire sa position dans le tableau périodique.
4. Le spectre d'émission d'une lampe à vapeur de sodium révèle la présence des raies suivantes :



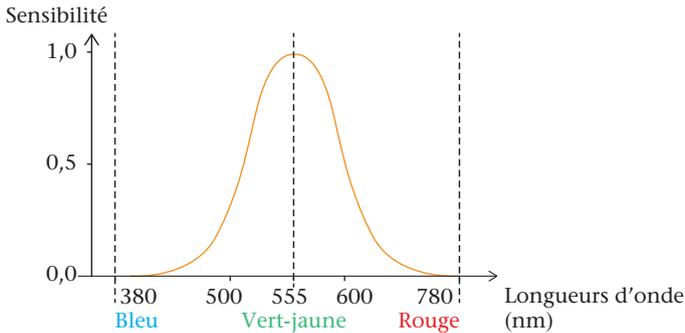
Spectre d'émission d'une lampe à vapeurs de sodium

- a. Pourquoi peut-on qualifier de polychromatique la lumière émise par ce type de lampe ?
 - b. Classer les longueurs d'onde des raies du spectre en fonction de leur domaine d'appartenance.
 - c. Quelle est la valeur de la fréquence de la raie de longueur d'onde égale à 1 138,2 nm ?
5. Les niveaux d'énergie de l'atome de sodium sont donnés par le diagramme suivant :



- a. Repérer sur le diagramme l'état fondamental et les états excités.
- b. Expliquer brièvement le lien entre diagramme de niveaux d'énergie et spectre de raies.

- c. Calculer l'énergie E qui correspond à l'émission de la radiation de longueur d'onde égale à 1 138,2 nm. Indiquer la transition correspondante par une flèche bleue sur le diagramme des niveaux d'énergie.
6. Un atome de sodium à l'état fondamental peut-il absorber un photon d'énergie égale à 3 eV ?
7. Un atome de sodium, dans son état fondamental, absorbe un photon d'énergie égale à 7,0 eV. Un électron est alors libéré par l'atome. Calculer, en eV, l'énergie cinétique de cet électron, puis sa vitesse.
8. Dans un tunnel éclairé par des lampes à vapeur de sodium, quelle sera la couleur perçue d'une voiture bleue ? d'une voiture blanche ? d'une voiture noire ? En déduire pourquoi ces lampes sont mal adaptées pour éclairer une place publique, par exemple.
9. À l'aide de la figure suivante, justifier leur utilisation pour l'éclairage routier.



Sensibilité spectrale de l'œil humain

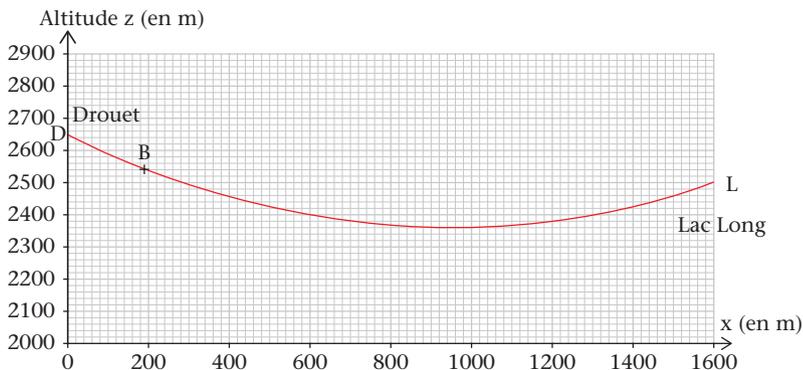
Exercice 3

La station d'Orcières dans les Alpes françaises possède la tyrolienne la plus longue d'Europe. Entre le sommet du Drouet (altitude : 2 655 m) et le lac Long (altitude : 2 500 m), elle permet aux amateurs de « voler », harnachés et suspendus à un baudrier, sur une distance l de 1 870 mètres, en approchant une vitesse de pointe de 130 km/h.

On s'intéresse au système S constitué par un vacancier et son équipement qui sera assimilé à un point matériel de masse $m = 85,0$ kg. Il quitte le sommet sans vitesse initiale et atteint le lac Long au bout de 1 minute 30.

Donnée :

Intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.



La tyrolienne entre le Drouet et le lac Long

1. En quel point A de la trajectoire l'altitude est-elle minimale ? Le représenter sur le schéma et déterminer graphiquement son altitude z_A .

On définit dès lors deux phases pour le mouvement : entre D et A puis entre A et L.

2. Quelles formes d'énergies le système S possède-t-il ?

3. Comment évoluent-elles au cours de chacune des phases du mouvement ?

4. L'énergie mécanique se conserve-t-elle au cours du mouvement ?

Le système S est soumis à trois actions modélisées par les forces suivantes :

– l'action \vec{R} du câble de direction toujours perpendiculaire au câble ;

– le poids \vec{P} ;

– les forces de frottement égales à une résultante \vec{f} , de sens opposé à celui du vecteur vitesse \vec{v} et d'intensité constante f .

5. Sur le graphique, représenter, sans souci d'échelle, les forces que subit le système lorsqu'il se trouve au point B.

6. Pour chacune des forces, préciser si leur travail est moteur ou résistant au cours de chacune des phases.

7. Les forces de frottement étant négligées, appliquer le principe de conservation de l'énergie mécanique entre les points D et A afin de déterminer la vitesse atteinte au point A. Que peut-on en conclure ?

8. En réalité, on doit tenir compte des forces de frottement. On considère que leur travail sur la distance parcourue ne dépend que de l'intensité de la force et de la longueur l du câble. Estimer leur valeur.

Formulaire

Constantes fondamentales

Grandeur	Symbole	Valeur approchée
Vitesse de la lumière dans le vide	c	$3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Charge élémentaire	e	$1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Constante d'Avogadro	N_A	$6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante universelle de gravitation	G	$6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
Constante de Planck	h	$6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Masse d'un proton	m_p	$1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Masse d'un neutron	m_n	$1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Masse d'un électron	m_e	$9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Constante de Coulomb	k	$9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

Formulaire

■ Quantité de matière et masse

$$n(A) = \frac{m(A)}{M(A)}$$

$n(A)$: quantité de matière de l'espèce chimique A en mol

$m(A)$: masse de l'espèce chimique A en g

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

■ Quantité de matière et volume molaire d'un gaz

$$n = \frac{V}{V_m}$$

V_m : volume molaire du gaz dans les conditions de l'expérience en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$

n : quantité de matière de gaz

V : volume du gaz en L

■ Concentration en quantité de matière

$$c(A) = \frac{n(A)}{V}$$

$c(A)$: concentration en quantité de matière de soluté A en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$n(A)$: quantité de matière de l'espèce chimique A dissoute en mol

V : volume de la solution en L

■ Concentration en masse

$$c_m(A) = \frac{m(A)}{V}$$

$c_m(A)$: concentration en masse de soluté A en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

$m(A)$: masse de l'espèce chimique A dissoute en g

V : volume de la solution en L

Mes années BAC

Pour réussir le jour J

1^{re}

Spécialité Physique-Chimie

Tout pour réussir ta spécialité Physique-Chimie

- ✓ Des **cours clairs et détaillés** pour revoir tout le programme
- ✓ Des **exercices résolus** pour acquérir les bonnes méthodes
- ✓ Des **QCM corrigés** pour vérifier tes connaissances
- ✓ Des **exercices corrigés** pour t'entraîner
- ✓ Des **exercices type bac** et des **sujets type corrigés** pour te préparer à l'épreuve
- ✓ Un **formulaire** complet

+ Ton livre sur mobile pour réviser où tu veux, quand tu veux

En complément, pour t'entraîner toute l'année

Dans la collection *Mes années BAC*

Cours & Exercices

Français ● 2^{de}
Français ● 1^{re}
Maths ● 2^{de}
Maths ● 1^{re}

Fiches



Français ● 1^{re}
Maths ● 1^{re}
Histoire-Géo ● 1^{re}
Enseignement scientifique ● 1^{re}
Enseignements communs ● 1^{re}

Les tout-en-un

Enseignements communs + spécialités



Spécialité Sciences ● 1^{re}
Spécialité Sciences Humaines ● 1^{re}

bordas

www.editions-bordas.fr

ISBN 978-2-04-735784-2



12,50 €

PRIX FRANCE