

# PHYSIQUE CHIMIE



## Livre du professeur

Sous la direction de :

**Stanislas ANTCZAK**

*Lycée Parc Chabrières, Oullins (69)*  
et

**Olivier FIAT**

*Lycée Gay-Lussac, Limoges (87)*

**Romain BERTHELARD**

*Université Lyon 1, Villeurbanne (69)*

**Soraya HOSSNI-BOKHALDI**

*Lycée Parc Chabrières, Oullins (69)*

**Fabien BRUNO**

*Lycée La Martinière-Monplaisir, Lyon (69)*

**Jean-Christophe JOUVY**

*Lycée Gay-Lussac, Limoges (87)*

**Astrid CHATARD**

*Lycée Stanislas, Paris (75)*

**Nathalie LACORRE-CHUETTE**

*Lycée Gay-Lussac, Limoges (87)*

**Didier COINCE**

*Lycée Claude Lebois, Saint-Chamond (42)*

**Pierre LAGNAUD**

*Lycée Gay-Lussac, Limoges (87)*

**Laure CUSSAC**

*Lycée Parc Chabrières, Oullins (69)*

**Franck MOUNIER**

*Lycée Albert Camus, Firminy (42)*

**Clarisse GUICHARDANT**

*Lycée Parc Chabrières, Oullins (69)*

**Claude ZAHRA**

*Lycée Frédéric Faÿs, Villeurbanne (69)*



# Errata

Malgré toute l'attention que nous portons à nos ouvrages, il peut subsister quelques erreurs.

Tous les éléments ci-dessous ont été corrigés pour les réimpressions de nos ouvrages et dans nos manuels numériques.

- Dans l'ensemble du manuel, par conformité avec les programmes, les expressions « concentration molaire » et « concentration massique » ont été remplacées respectivement par « **concentration** » et « **concentration en masse** ».

- Dans l'ensemble du manuel, nous harmonisons la valeur de la norme du champ de pesanteur terrestre :  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

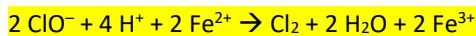
- Dans le **rabat V** et dans le **chapitre 6**, le mot « préfixe » a été remplacé par « **racine** ».

- p. 19**, la masse molaire de l'éthanol dans le tableau a été remplacée par **46,0** (au lieu de 44,0).

- p. 21**, dans l'exemple juste avant le titre « d », il faut lire :  $V' = \frac{m'}{\rho}$  (ajout des apostrophes).

- p. 44**, dans l'exemple en bas de page :

- il faut lire « **+ 2 e<sup>-</sup>** » au lieu de « **+ 4 e<sup>-</sup>** » dans la première demi-équation ;
- il faut lire « **(x 2)** » au lieu de « **(x 4)** » à la fin de la deuxième équation ;
- on obtient donc :



- p. 48** :

- dans le tableau d'avancement du schéma bilan, il faut lire «  **$n_2 - bx$**  » et «  **$n_2 - bx_f$**  » ;
- dans l'encadré violet, il faut lire «  **$x_f = x_{\max}$**  ».

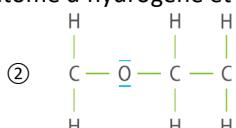
- p. 66**, dans le doc. 1, «  **$c_0$**  » a été remplacé par «  **$c$**  » (car il y a déjà un  **$c_0$**  dans « Matériel et produits »).

- p. 86**, le titre du deuxième bloc (après « Des clés pour réussir ») a été remplacé par « **Molécules** ».

- p. 97**, réponse à la question **c** : nous reprenons la notation du cours «  **$\chi_C - \chi_H$**  » et «  **$\chi_O - \chi_C$**  », plutôt que «  **$\Delta\chi$**  ».

- p. 98**, légende de la photo : nous précisons « nuages (par condensation du gaz) ».

- p. 100**, exercice 43 : nous supprimons le premier atome d'hydrogène et sa liaison covalente :



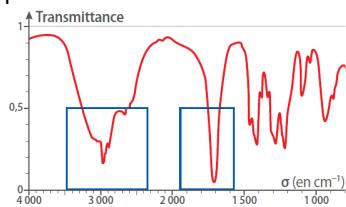
- p. 103**, exercice 67, 1<sup>re</sup> ligne de l'énoncé : nous précisons « réaction particulière (**non totale**) ».

- p. 108** :

- 2<sup>e</sup> point de « Des clés pour réussir » : nous ajoutons l'état « **liquide (l)** » ;
- encadré « Concentration d'une solution » :
  - o colonne Cation du tableau : nous remplaçons Hydronium par **Oxonium** ;
  - o colonne de droite de l'encadré, 2<sup>e</sup> point : nous précisons « **avec n la quantité de matière de soluté** ».

- p. 131**, dans l'exercice 9, l'origine des abscisses a été remplacée par « **400** » au lieu de « **0** ».

- p. 141**, réponse à la question **b** : nous repartons bien du schéma de l'énoncé pour indiquer les deux pics caractéristiques des liaisons C–O et O–H :



- p. 143**, exercice 29 : nous corrigeons le nom de la molécule → **5-éthyl-3-méthyoctane**

- p. 148, doc.** : nous corrigeons « Le groupe caractéristique du méthanoate de méthyle (**famille des esters**) ».

- p. 163**, réponse à la question **c**, dernière ligne : nous remplaçons **p** par **n**.

- p. 164**, équation de réaction dans l'énoncé : dans les produits, nous supprimons le coefficient 2 devant  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3\text{(aq)}$ .

- p. 166** :

- données : nous précisons « **> 211** » pour la température d'ébullition de l'acide salicylique ;
- exercice 35 :
  - o 3<sup>e</sup> ligne de l'énoncé : nous ajoutons 1 chiffre significatif à  $V_{\text{Exp}}$  → «  **$V_{\text{Exp}} = 5.0 \text{ mL}$**  » ;
  - o nous reformulons la fin de l'énoncé : « ... with an unknown mass of salicylic acid. The synthesis also produces water and has a yield of 90% ».

- p. 168** :

- exercice 41, données du menthol : nous corrigeons :
  - o la température d'ébullition → « **212** » ;
  - o la température de fusion → « **41** ».
- exercice 42, équation de réaction dans l'énoncé : nous corrigeons les formules brutes de l'acide

éthanoïque et du méthanoate d'éthyle → resp.  
 $\text{CH}_2\text{O}_2$  et  $\text{CH}_6\text{O}_2$ .

- p. 175, exercice 12 : nous corigeons la formule brute du premier produit de la réaction →  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$

- p. 185, réponse à la question c :

- nous précisons  $M_{\text{C}_7\text{H}_{16}}$  à la place de «  $M$  » ;
- nous corigeons l'expression littérale du calcul de la masse molaire de l'heptane →  $7M_{\text{C}} + 16M_{\text{H}}$

- p. 186, légende du doc. : nous corigeons le nom de la molécule b → **3-éthyl-2-méthylpentane**

- p. 199, dans le doc. 1, lire « Sens : force attractive si les particules ont des charges électriques de **signes opposés**, répulsive si leurs signes sont **identiques**. »

- p. 202, paragraphe 1 d, dernière ligne de l'exemple : nous supprimons un chiffre significatif dans le résultat final →  $3,6 \times 10^{-47} \text{ N}$

- p. 202, exercice 44, nous avons supprimé le picto « Calculatrice barrée » car la calculatrice est nécessaire à la question c.

- p. 223, encadré bleu du paragraphe 1 b : nous corigeons « rapport » en « **quotient** ».

- p. 226, encadré « PRESSION » du schéma bilan : nous reformulons « **P faible** » et « **P forte** », à droite des deux petits schémas.

- p. 237, exercice 54, doc. 1, 9<sup>e</sup> ligne : il manque l'expression de la hauteur du liquide dans le réservoir →  $\frac{2H}{3}$

- p. 257, exercice 48, question 1 : nous corigeons les coordonnées du vecteur vitesse initiale →  $\vec{v}_0 = (v_0 \cos(\alpha), v_0 \sin(\alpha))$

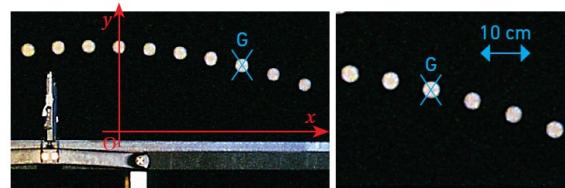
- p. 271, exercice 14 : nous corigeons la formulation de l'énoncé → « Si un courant électrique circule : »

- p. 290 :

- paragraphe 2 c, 3<sup>e</sup> ligne de l'exemple : nous corigeons la valeur de  $x_B - x_A = 3,00 \text{ m}$  ;
- Point Maths dans la marge : nous corigeons le résultat du produit scalaire →  $a_y \times b_y$
- paragraphe 2 d : nous corigeons la valeur de  $x_B - x_A$  dans l'application numérique de AB  
 $\rightarrow \sqrt{1,00^2 + (-3,00)^2}$

- p. 299, exercice 50, question 3 : nous corigeons la vitesse du système à l'arrivée →  $v_B = 120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

- p. 307, exercice 3 : les positions du repère et des points G sur les photos ont été corrigées.



- p. 308, question 1b : nous corigeons « la norme  $v$  de la vitesse du ballon à ces **quatre** positions. »

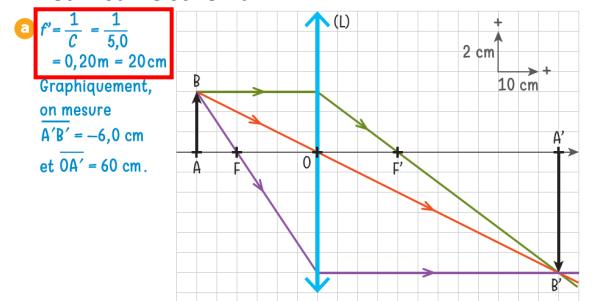
- p. 328, encadré Signal périodique, dernière ligne : nous précisons « puis diviser **par le nombre de périodes**. »

- p. 342, « Astuce » en bas de page : nous corigeons « puis on divise par le nombre de **motifs**. »

- p. 343, exercice 32, question c : nous corigeons la distance entre les deux points → 0,92 m

- p. 367 :

- réponse à la question a : on commence par calculer la distance focale de la lentille pour pouvoir placer F et F' sur le schéma.



- réponse à la question b : nous supprimons un chiffre significatif à la vergence, dans l'application numérique → 5,0 (et non 5,00)

- p. 380, encadré « Des clés pour réussir » : nous corigeons la notation de la célérité → v (et non c)

- p. 381, donnée : nous ajoutons un chiffre significatif à la valeur de la vitesse de la lumière →  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

- p. 387, nous remplaçons « l'électron » par « l'atome » :
  - 2<sup>e</sup> encadré bleu du paragraphe 3 b :
    - Si  $hv < \Delta E_{21}$ , l'atome... / • Si  $hv = \Delta E_{21}$ , l'atome...
  - docs 6 et 7 : « L'atome passe du niveau d'énergie... »

- p. 389, exercice 16, réponse B : nous ajoutons un chiffre significatif à la valeur de l'énergie → -6,0 eV

- p. 392, données : nous ajoutons un chiffre significatif à l'équivalent en joules de l'électron-volt.

$$\rightarrow 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

- p. 396 :

- exercice 48, question 6 : la question porte sur la série de **Paschen** (et non Balmer) ;

- exercice 49 :

- question 1 : « Les longueurs d'onde des principales raies visibles du spectre du mercure valent 405, 439, 546 et 577 nm... »

- question 2a : « Quelle est la transition énergétique que subit cet atome lorsqu'il émet un photon correspondant au pic bleu du spectre ? »
- p. 397, exercice 51, dans le diagramme d'énergie, le niveau  $E_2$  est égal à 12,66 eV (au lieu de 20,66).
- p. 421, question 1a : nous corrigons l'expression de  $g_L$ .  
 $\rightarrow g_L = -\frac{\Delta\nu_y}{\Delta t}$

#### Corrigés des exercices en fin de manuel

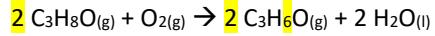
- p. 445, chapitre 1, exercice 3 : nous corrigons le nombre de chiffres significatifs dans le résultat final  
 $\rightarrow 4,0 \times 10^3$  g (et non  $3,95 \times 10^3$  g)

- p. 447, chapitre 3, exercice 3 :

- question 1 : nous remplaceons « d'une pipette jaugée de 20 mL » par « une pipette jaugée de 20 mL utilisée deux fois » et « fiole jaugée de 50 mL » par « fiole jaugée de 100 mL » ;
- question 2b : il faut lire « La solution  $S_3$  a une concentration comprise entre 12 mmol·L<sup>-1</sup> et

16 mmol·L<sup>-1</sup>, donc  $c_0$  est compris entre  $1,2 \times 10^{-1}$  mol·L<sup>-1</sup> et  $1,6 \times 10^{-1}$  mol·L<sup>-1</sup>.

- p. 450, chapitre 6, exercice 6 : il manque la réponse à la question c → « c. La masse de produit formé est  $m = x_{\max} M_{\text{Cu}(\text{HO})_2} = 49$  g. »
- p. 451, chapitre 8, exercice 12 : nous corrigons l'équation de la réaction.



- p. 456 :

- chapitre 13, exercice 49, question 3a : nous corrigons l'expression du travail du poids.  
 $\rightarrow W_{h_m-h'}(\vec{P}) = -mg(h_m - h')$
- chapitre 14, exercice 2, question 2a : nous ajoutons la conversion de  $\Delta t$  en secondes.  
 $\rightarrow \Delta t = 7 \text{ h } 41 \text{ min } = 27\,660 \text{ s}$

- p. 458, chapitre 16, exercice 37 : nous ajoutons un chiffre significatif dans la valeur de  $\overline{OA}$  dans l'application numérique → 8,0 (et non 8)

# 1. Outils de description d'un système chimique

## Activités

p. 16 à 19

### ① La mole dans les analyses sanguines

1. a. et b. On obtient la dernière ligne en divisant la masse par la quantité de matière.

Espèce	Calcium	Acide urique
Masse dans un litre de sang (en g)	$9,920 \times 10^{-2}$	$4,20 \times 10^{-2}$
Quantité de matière dans un litre de sang (en mol)	$2,48 \times 10^{-3}$	$2,50 \times 10^{-4}$
Masse molaire (en g·mol <sup>-1</sup> )	40,0	168

2. Un ion Ca<sup>2+</sup> contient 20 – 2 = 18 électrons car l'atome de calcium a perdu deux électrons pour former cet ion.

Cet ion a donc pour masse :

$$m_{\text{Ca}^{2+}} = 40m_n + 18m_e = 6,68 \times 10^{-23} \text{ g}$$

Sa masse molaire est donc :

$$\begin{aligned} M_{\text{Ca}^{2+}} &= N_A \times m_{\text{Ca}^{2+}} = 6,02 \times 10^{23} \times 6,68 \times 10^{-23} \\ &= 40,2 \text{ g·mol}^{-1} \end{aligned}$$

Au chiffre de virgule près, c'est bien la même valeur que celle du tableau ci-dessus.

3. a. Dans une molécule d'acide urique, on trouve 5 atomes de carbone, 4 atomes d'hydrogène, 4 atomes d'azote et 3 atomes d'oxygène.

b. Dans une mole d'acide urique, on trouve donc 5 moles d'élément carbone, 4 moles d'élément hydrogène, 4 moles d'élément azote et 3 moles d'élément hydrogène.

On déduit la relation :

$$\begin{aligned} M_{\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3} &= 5M_c + 4M_h + 4M_n + 3M_o \\ &= 168,0 \text{ g·mol}^{-1} \end{aligned}$$

4. La masse molaire du cholestérol est :

$$M_{\text{C}_{27}\text{H}_{46}\text{O}} = 27M_c + 46M_h + M_o = 386,0 \text{ g·mol}^{-1}$$

Dans un litre de sang, on a  $m = 2,02 \text{ g}$  de cholestérol donc la quantité de matière de cholestérol par litre de sang est :  $n = \frac{m}{M_{\text{C}_{27}\text{H}_{46}\text{O}}} = \frac{2,02}{386,0} = 5,23 \times 10^{-3} \text{ mol}$

ce qui est en dessous de la limite des valeurs recommandées.

### Bilan

La masse molaire d'un ion est égale à la somme des masses molaires des atomes ou de l'atome qui le constituent.

Pour calculer la masse molaire d'une molécule, on additionne les masses molaires atomiques.

Dans le tableau, les grandeurs en mol·L<sup>-1</sup> sont des concentrations en quantité de matière, les grandeurs en g·L<sup>-1</sup> sont des concentrations en masse.

La concentration en masse et la concentration en quantité de matière sont liées par la masse molaire :  $C_m = cM$ .

### ② Quantité de matière dans un solide et un liquide

#### Remarque

Cette activité peut être utilisée comme activité expérimentale (la question 2c comporte une manipulation).

#### Liste de matériel

- Balance, coupelle de pesée, spatule
- Béchers de 100 mL et 250 mL
- Pipette jaugée de 10 mL et 20 mL + poire à pipeter
- Éprouvettes graduées de 10 mL et 100 mL
- Éthanol, quantité suffisante pour 20 mL par binôme
- Poudre de fer
- Saccharose solide

### 1. Quantité de matière et nombre d'entités dans un échantillon donné

a. La masse volumique de l'éthanol est  $\rho = 0,79 \text{ g·mL}^{-1}$ .

La masse de  $V = 10 \text{ mL}$  d'éthanol est :

$$m = \rho V = 0,79 \times 10 = 7,9 \text{ g}$$

b. Le nombre d'entités s'obtient en divisant la masse par la masse d'une molécule.

Fer	Éthanol	Saccharose
$9,27 \times 10^{-26} \text{ kg}$ $= 9,27 \times 10^{-23} \text{ g}$	$7,64 \times 10^{-26} \text{ kg}$ $= 7,64 \times 10^{-23} \text{ g}$	$5,68 \times 10^{-25} \text{ kg}$ $= 5,68 \times 10^{-22} \text{ g}$
$\frac{15}{9,27 \times 10^{-23}}$ $= 1,6 \times 10^{23} \text{ atomes}$	$\frac{7,9}{7,64 \times 10^{-23}}$ $= 1,0 \times 10^{23} \text{ molécules}$	$\frac{34,2}{5,68 \times 10^{-22}}$ $= 6,02 \times 10^{22} \text{ molécules}$

c. La quantité de matière est égale au nombre d'entités divisé par la constante d'Avogadro.

Fer	Éthanol	Saccharose
$\frac{1,6 \times 10^{23}}{6,02 \times 10^{23}}$ $= 2,7 \times 10^{-1} \text{ mol}$	$\frac{1,0 \times 10^{23}}{6,02 \times 10^{23}}$ $= 1,7 \times 10^{-1} \text{ mol}$	$\frac{6,02 \times 10^{22}}{6,02 \times 10^{23}}$ $= 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol}$

### 2. Calculs des quantités de matière

a. La masse molaire d'une molécule est égale à la masse des masses molaires des atomes qui la constituent.

La masse molaire de l'éthanol est donc :

$$M_{\text{C}_2\text{H}_6\text{O}} = 2M_c + 6M_h + M_o = 46,0 \text{ g·mol}^{-1}$$

La masse molaire du saccharose est donc :

$$M_{\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}} = 12M_c + 22M_h + 11M_o = 342,0 \text{ g·mol}^{-1}$$

La masse molaire du fer est :  $M_{\text{Fe}} = 55,8 \text{ g·mol}^{-1}$

b. La masse de fer à prélever est :

$$m_1 = nM_{\text{Fe}} = 0,10 \times 55,8 = 5,58 \text{ g}$$

La masse de saccharose à prélever est :

$$m_3 = nM_{\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}} = 0,10 \times 342,0 = 34,2 \text{ g}$$

La masse d'éthanol à prélever est :

$$m_2 = nM_{\text{C}_2\text{H}_6\text{O}} = 0,10 \times 46,0 = 4,60 \text{ g}$$

soit un volume  $V_2 = \frac{m_2}{\rho} = \frac{4,60}{0,79} = 5,82 \text{ mL}$ .

c. Pour les solides (fer, saccharose), on utilise une balance, une coupelle de pesée, une spatule. Pour le prélèvement de l'éthanol, on utilise une éprouvette graduée de 10 mL.

#### Remarque

En pratique, on mesure habituellement un volume de 5,8 mL d'éthanol avec une éprouvette graduée.

### Bilan

Pour préparer un échantillon solide, les données à recueillir sont la masse molaire  $M$  du solide, la quantité de matière  $n$  à prélever.

On doit calculer la masse à prélever  $m = nM$ . Puis, on utilise une balance, une spatule et coupelle de pesée. Pour préparer un échantillon liquide, on doit réaliser les mêmes opérations que pour un solide mais on calcule le volume de liquide en utilisant la masse volumique, qui est une information supplémentaire à recueillir. On utilise ensuite une éprouvette graduée pour mesurer le volume.

### ③ Préparation d'une solution

#### Liste de matériel

- Balance, coupelle de pesée, spatule
- Bécher de 100 mL
- Fioles jaugées de 50 mL et 100 mL
- Pipettes jaugées de 5 mL et 10 mL + poire à pipeter
- Pissette d'eau distillée
- Éprouvette graduée 100 mL
- Boîte de bouillie bordelaise ou sulfate de cuivre solide

#### 1. Traitement d'un pêcher

a. Cette technique est une dissolution car on dissout un soluté dans un solvant.

b. La concentration de la solution à préparer est :

$$c_1 = 7,5 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

La quantité de matière de solide à dissoudre est :

$$n_1 = c_1 V = 7,5 \times 10^{-2} \times 100 \times 10^{-3} = 7,5 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

La masse de solide à dissoudre est donc :

$$m_1 = n_1 M = 7,5 \times 10^{-3} \times 249,6 = 1,9 \text{ g}$$

Manipulation : > [Fiche 13 p. 439](#)

#### 2. Traitement d'un pied de melon

a. Cette technique est une dilution car on utilise une solution plus concentrée (solution mère).

b. On réalise une dilution par 5, on prélève donc 10 mL de solution mère avec une pipette jaugée.

Manipulation : > [Fiche 13 p. 439](#)

d. Pour préparer  $V_2 = 50,0$  mL de solution de concentration  $c_2 = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  par dissolution, la quantité de matière de solide à prélever est :

$$n' = c_2 V_2 = 1,5 \times 10^{-2} \times 50,0 \times 10^{-3} = 7,5 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

La masse de solide à prélever est donc :

$$m' = n' M = 1,5 \times 10^{-3} \times 249,6 = 0,19 \text{ g}$$

On ne peut pas réaliser cette manipulation car la balance manque de précision.

#### Bilan

Pour préparer un volume  $V$  d'une solution de concentration en quantité de matière  $c$ , on peut réaliser :

- une dissolution :

On utilise un soluté de masse molaire  $M$  que l'on dissout dans un solvant (ici, l'eau) dans une fiole jaugée de volume  $V$ . On doit calculer la quantité de matière de soluté à prélever  $n = cV$ , puis sa masse  $m = nM$ . La manipulation est décrite par la [fiche méthode 13 p. 439](#).

- une dilution :

On utilise une solution plus concentrée (solution mère de concentration  $c_0$ ).

On doit calculer la quantité de matière de soluté à introduire dans la solution fille :  $n = cV$ . Le volume de

solution mère qui contient cette quantité de matière de soluté est  $V_0 = \frac{n}{c_0}$ , à prélever à la pipette jaugée. La solution est faite dans une fiole jaugée de volume  $V$ . La manipulation est décrite par la [fiche méthode 13 p. 439](#).

### ④ Volume molaire

#### Liste de matériel

- Éprouvettes de 10 et 50 mL (ou 100 mL)
- Pipette jaugée 1 mL
- Poire à pipeter
- Cristallisoir
- Erlenmeyer et tube de dégagement adapté
- Spatule
- Règle graduée
- Ruban de magnésium (de masse linéique  $1,36 \text{ g}\cdot\text{m}^{-1}$ , ou adapter les valeurs)
- Hydrogénocarbonate de sodium solide
- Solution d'acide chlorhydrique de concentration  $1,0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  dans flacon étiqueté « Acide chlorhydrique  $1,0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  », quantité suffisante pour 20 mL par binôme

#### 1. Volume d'une mole de gaz

a. Le volume mesuré est compris entre 23 et 25 mL.

b. Le volume mesuré est compris entre 23 et 25 mL.

#### 2. Volumes d'une mole de solides ou de liquides

On calcule d'abord la masse d'une mole de chaque espèce. Le volume se calcule en divisant cette masse par la masse volumique de l'espèce chimique considérée.

Nom	Eau	Éthanol	Diamant
Massé molaire (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	18,0	44,0	12,0
$\rho$ (en $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )	1,0	0,79	3,5
Volume	18 mL	$\frac{44,0}{0,79} = 55,7 \text{ mL}$	$\frac{12,0}{3,5} = 3,4 \text{ mL}$

#### 3. Loi d'Avogadro-Ampère

a. Cette loi énonce que le volume molaire des gaz est indépendant de la nature du gaz, pour une pression et une température données. Les deux volumes des gaz mesurés aux questions 1a et 1b sont très proches. Comme les deux quantités de matières sont égales, leurs volumes molaires sont proches.

L'estimation du volume molaire s'obtient en divisant le volume mesuré par la quantité de matière  $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ . On obtient un volume molaire des gaz voisin de  $V_m = 25 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

b. Les valeurs des volumes molaires de l'éthanol, de l'eau et du diamant sont très différentes (voir tableau). Il ne semble pas exister de loi sur le volume molaire pour les liquides et solides.

#### Bilan

Les incertitudes de mesures et les imprécisions expliquent que la loi d'Avogadro-Ampère n'est qu'approximativement vérifiée par l'expérience. Pour améliorer la qualité des mesures effectuées, on doit réaliser plusieurs mesures de volume (pour la même expérience) et faire une moyenne du volume.

**Exercices****p. 26 à 35****31** a. La masse molaire du glycérol est :

$$M_{C_3H_8O} = 3M_C + 3M_H + M_O = 3 \times 12,0 + 3 \times 1,0 + 16,0 = 92,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Par conséquent, la quantité de matière de glycérol dans  $m = 100 \text{ kg}$  de glycérol est :

$$n = \frac{m}{M_{C_3H_8O}} = \frac{100 \times 10^3}{92,0} = 1,09 \times 10^3 \text{ mol}$$

b. Le volume de glycérol correspondant est :

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{100 \times 10^3}{1,26} = 7,94 \times 10^4 \text{ L}$$

**33** a. Dans  $V = 50 \text{ mL}$  de solution, la quantité de matière de dioxyde de carbone dissous est :

$$n = cV = 3,59 \times 10^{-2} \times 50 \times 10^{-3} = 1,8 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

b. Le volume de dioxyde de carbone dissous est donc :

$$V = nV_m = 1,8 \times 10^{-3} \times 24,5 = 4,4 \times 10^{-2} \text{ L} = 44 \text{ mL}$$

c. Le volume de solution fille réalisé est  $\frac{100}{5,00} = 20,0$  fois plus grand que le volume du prélèvement de solution mère. On a donc divisé la concentration par 20,0 donc la concentration de la solution fille est :

$$c' = \frac{c}{20,0} = \frac{3,59 \times 10^{-2}}{20,0} = 1,80 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

**35** a. La masse molaire de l'acide ascorbique est :

$$M_{C_6H_8O_6} = 6M_C + 8M_H + 6M_O = 176,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

b. La masse molaire des ions ascorbate est :

$$M_{C_6H_7O_6^-} = 6M_C + 7M_H + 6M_O = 175,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

La masse molaire de  $\text{Na}^+$  est égale à celle de l'atome :

$$M_{\text{Na}^+} = 23,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

**37** a. La masse molaire du nitrate d'ammonium vaut

$$M_{\text{NH}_4\text{NO}_3} = 2M_N + 4M_H + 3M_O = 80,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Pour préparer  $n = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  de nitrate d'ammonium, on doit en peser une masse :

$$m = nM_{\text{NH}_4\text{NO}_3} = 5,0 \times 10^{-2} \times 80,0 = 4,0 \text{ g}$$

On utilise une balance, une coupelle de pesée et une spatule.

b. Le volume de la solution étant  $V = 100 \text{ mL}$ , la concentration en quantité de matière de la solution est :

$$c = \frac{n}{V} = \frac{5,0 \times 10^{-2}}{100 \times 10^{-3}} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

**38** a. La masse molaire de l'acide arachidique est égale à  $M_{C_{20}H_{40}O_2} = 20M_C + 40M_H + 2M_O = 312,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .La masse de  $n = 2,50 \times 10^{-3} \text{ mol}$  de cet acide est :

$$m = nM_{C_{20}H_{40}O_2} = 2,50 \times 10^{-3} \times 312,0 = 0,78 \text{ g}$$

b. Le volume de cet échantillon est  $V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,78}{0,92} = 0,95 \text{ mL}$ .**40** La masse de plomb dans la statue vaut :

$$m = 0,06 \times 80 = 5 \text{ kg}$$

La quantité de matière de plomb dans la statue est :

$$n = \frac{m}{M_{\text{Pb}}} = \frac{5 \times 10^3}{207,2} = 2 \times 101 \text{ mol}$$

**42** a. Le volume de  $n = 1,5 \times 10^{-1} \text{ mol}$  de propane est :

$$V = nV_m = 1,5 \times 10^{-1} \times 24,5 = 3,7 \text{ L}$$

b. La masse de cet échantillon est :

$$m = nM_{C_3H_8O} = 1,5 \times 10^{-1} \times 44,0 = 6,6 \text{ g}$$

**44** a. La quantité de matière de dichlore dans  $V = 200 \text{ mL}$  de dichlore est  $n = \frac{V}{V_m} = \frac{200 \times 10^{-3}}{24,5} = 8,16 \times 10^{-3} \text{ mol}$ .b. La solution, de volume  $V_{\text{sol}} = 100 \text{ mL}$ , a donc une concentration en quantité de matière :

$$c = \frac{n}{V_{\text{sol}}} = \frac{8,16 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}} = 8,16 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

**45** a. La quantité de matière d'acide citrique à dissoudre pour préparer  $V = 100 \text{ mL}$  de solution est :

$$n = cV = 2,50 \times 10^{-2} \times 100 \times 10^{-3} = 2,50 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

b. La masse molaire de l'acide citrique est :

$$M_{C_6H_8O_7} = 6M_C + 8M_H + 7M_O = 192,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

La masse d'acide citrique à dissoudre est donc :

$$m = nM_{C_6H_8O_7} = 2,50 \times 10^{-3} \times 192,0 = 0,48 \text{ g}$$

**47** 1. La quantité de matière de soluté à prélever est :

$$n_1 = c_1 V_1 = 1,50 \times 10^{-2} \times 250 \times 10^{-3} = 3,75 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

La masse molaire du nitrate de potassium est :

$$M_{\text{KNO}_3} = M_K + M_O \times 3 + M_N = 101,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

La masse de nitrate de potassium à peser est donc :

$$m_1 = n_1 M_{\text{KNO}_3} = 3,75 \times 10^{-3} \times 101,1 = 0,379 \text{ g}$$

Protocole : &gt; Fiche 13 p. 439

2. a. La quantité de matière de soluté à introduire dans la solution fille est :

$$n_2 = c_2 V_2 = 1,50 \times 10^{-2} \times 200 \times 10^{-3} = 3,00 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Le volume de solution mère contenant cette quantité de matière de soluté est  $V = \frac{n_2}{c_1} = \frac{3,00 \times 10^{-4}}{1,50 \times 10^{-2}} = 2,00 \times 10^{-2} \text{ L}$ , soit 20,0 mL.

b. Protocole de dilution : &gt; Fiche 13 p. 439

**49** a. La masse molaire de la mauvéine est :

$$M_{C_{26}H_{23}\text{ClN}_4} = 26M_C + 23M_H + M_{\text{Cl}} + 4M_N = 426,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

b. La quantité de matière de mauvéine dans  $m = 250 \text{ mg}$  de mauvéine est :

$$n = \frac{m}{M_{C_{26}H_{23}\text{ClN}_4}} = \frac{250 \times 10^{-3}}{426,5} = 5,86 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

**50** La quantité de matière de platine dans  $m = 5,0 \text{ g}$  de platine est  $n = \frac{m}{M_{\text{Pt}}} = \frac{5,0}{195,1} = 2,6 \times 10^{-2} \text{ mol}$ .**52**

Nom	Fer	Ion ammonium	Chlorure de calcium
Formule	Fe	$\text{NH}_4^+$	$\text{CaCl}_2$
Masse molaire	$55,8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$M_N + 4M_H = 18,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$M_{\text{Ca}} + 2M_{\text{Cl}} = 111,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Masse	1,7 g	2,5 g	3,0 g
Quantité de matière	$3,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$	$1,4 \times 10^{-1} \text{ mol}$	27 mol

**53** a. La masse molaire du glycérol est :

$$M_{C_3H_8O} = 3M_C + 8M_H + 3M_O = 92,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

b. La masse de  $n = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$  de glycérol est :

$$m = nM_{C_3H_8O} = 5,00 \times 10^{-2} \times 92,0 = 4,60 \text{ g}$$

**54** a. La masse de  $V = 1,00 \text{ L}$  de glace est :

$$m = \rho V = 0,92 \times 1,00 \times 10^3 = 9,2 \times 10^2 \text{ g}$$

b. Comme la masse molaire de l'eau est

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}, \text{ la quantité de matière dans un litre de glace est } n = \frac{m}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{9,2 \times 10^2}{18,0} = 51 \text{ mol.}$$

c. Un litre d'eau liquide a une masse  $m' = 1000 \text{ g}$  donc la quantité de matière d'eau liquide qu'il contient est :

$$n' = \frac{m'}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1000}{18,0} = 55,6 \text{ mol}$$

La quantité de matière d'eau est plus faible dans la glace que dans le liquide, pour un même volume.

**55** a. La masse de  $V = 100 \text{ mL}$  de cyclohexane est :

$$m = \rho V = 0,78 \times 100 = 78 \text{ g}$$

b. La masse molaire du cyclohexane est :

$$M_{\text{C}_6\text{H}_{12}} = 6M_{\text{C}} + 12M_{\text{H}} = 84,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

c. La quantité de matière de cyclohexane dans  $V = 100 \text{ mL}$  de cyclohexane est  $n = \frac{m}{M_{\text{C}_6\text{H}_{12}}} = \frac{78}{84,0} = 0,93 \text{ mol.}$

**57** a. La masse de carbone dans la poutre est :

$$mc = \frac{1,2}{100} \times 1,00 \times 10^6 = 1,2 \times 10^4 \text{ g}$$

b. La quantité de matière de carbone correspondante est :

$$nc = \frac{mc}{M_{\text{C}}} = \frac{1,2 \times 10^4}{12,0} = 1,0 \times 10^3 \text{ mol}$$

c. La masse de fer dans la poutre est :

$$m_{\text{Fe}} = 0,988 \times 1,00 \times 10^6 = 9,88 \times 10^5 \text{ g}$$

La quantité de matière de fer correspondante est :

$$n_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{9,88 \times 10^4}{55,8} = 1,77 \times 10^5 \text{ mol}$$

**59**

Nom	Argon	Dioxygène	Propane
Formule chimique	Ar	O <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Volume	15 m <sup>3</sup>	1,5 L	245 L
Quantité de matière	612 mol	6,3 × 10 <sup>-2</sup> mol	10 mol

**60** 1. La masse molaire du butane est :

$$M_{\text{C}_4\text{H}_{10}} = 4M_{\text{C}} + 10M_{\text{H}} = 58,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

2. La quantité de matière de butane dans  $m = 13 \text{ kg}$

$$\text{de butane est } n = \frac{m}{M_{\text{C}_4\text{H}_{10}}} = \frac{13 \times 10^3}{58,0} = 2,2 \times 10^2 \text{ mol.}$$

3. a. Le volume de butane obtenu est :

$$V = nV_m = 2,2 \times 10^2 \times 24,5 = 5,5 \times 10^3 \text{ L}$$

b. Le volume serait différent : puisque la masse molaire des deux espèces chimiques n'est pas la même, pour une même masse il y a une quantité de matière différente de gaz, donc un volume différent.

**61** a. La masse molaire de l'aspartame est :

$$M_{\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_5\text{N}_2} = 14M_{\text{C}} + 18M_{\text{H}} + 5M_{\text{O}} + 2M_{\text{N}} = 294,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Donc la concentration en quantité de matière d'une solution d'aspartame dont la concentration en masse est  $C_m = 600 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  est :

$$c = \frac{C_m}{M_{\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_5\text{N}_2}} = \frac{600 \times 10^{-3}}{294,0} = 2,04 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

b. Le volume de cette boisson contenant  $n = 1,10 \times 10^{-2} \text{ mol}$  d'aspartame est :

$$V = \frac{n}{c} = \frac{1,10 \times 10^{-2}}{2,04 \times 10^{-3}} = 5,39 \text{ L.}$$

**62** a. La masse molaire de l'hydroxyde de sodium est :

$$M_{\text{NaOH}} = M_{\text{Na}} + M_{\text{O}} + M_{\text{H}} = 40,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

La quantité de matière d'hydroxyde de sodium dans  $m = 2,5 \text{ g}$  d'hydroxyde de sodium est :

$$n = \frac{m}{M_{\text{NaOH}}} = \frac{2,5}{40,0} = 6,3 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

b. Le volume de la solution étant  $V = 50 \text{ mL}$ , sa concentration est :

$$c = \frac{n}{V} = \frac{6,3 \times 10^{-2}}{50 \times 10^{-3}} = 1,3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

**63** a. La concentration en masse du lactose est :

$$C_m = \frac{12}{0,250} = 48 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

b. La masse molaire du lactose est :

$$M_{\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}} = 12M_{\text{C}} + 11M_{\text{O}} + 22M_{\text{H}} = 342,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

La concentration de la solution est donc :

$$c = \frac{C_m}{M_{\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}}} = \frac{48}{342,0} = 1,4 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

**64** a. Le solvant est l'eau et le soluté est le chlorure de sodium.

b. La masse molaire du chlorure de sodium est :

$$M_{\text{NaCl}} = M_{\text{Na}} + M_{\text{Cl}} = 58,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

La concentration de la solution est donc :

$$c = \frac{C_m}{M_{\text{NaCl}}} = \frac{9,0}{58,5} = 1,5 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

c. La quantité de matière de soluté dans une ampoule est :

$$n = cV = 1,5 \times 10^{-1} \times 5,0 \times 10^{-3} = 7,7 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

d. Le volume passe de 5,0 mL à 25 mL donc la concentration est divisée par 5,0 et vaut :

$$\frac{c}{5,0} = \frac{1,5 \times 10^{-1}}{5} = 3,1 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

**66** a. La quantité de matière de dioxyde de carbone dans  $V = 88 \text{ mL}$  de dioxyde de carbone est :

$$n = \frac{V}{V_m} = \frac{88 \times 10^{-3}}{24,5} = 3,6 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

b. Puisque cette quantité de matière est la quantité de matière maximale que l'on peut dissoudre dans

$V_0 = 100 \text{ mL}$  d'eau, la plus grande concentration possible de dioxyde de carbone dans l'eau est donc :

$$c = \frac{n}{V_0} = \frac{3,6 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}} = 3,6 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

**67** a. La quantité de matière de soluté à prélever pour produire  $V_1 = 50 \text{ mL}$  de solution fille est  $n = c_1 V_1$ . Le volume de solution mère qui contient cette quantité de matière de soluté est  $V_0 = \frac{n}{c_0} = \frac{c_1 V_1}{c_0} = 5,0 \text{ mL}$ . Il faut donc prélever 5,0 mL de solution mère.

b. La masse molaire du sulfate de cuivre est :

$$M_{\text{CuSO}_4} = M_{\text{Cu}} + M_{\text{S}} + 4M_{\text{O}} = 159,6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

La concentration massique de la solution diluée est donc :

$$C_m = c_1 M_{\text{CuSO}_4} = 1,0 \times 10^{-2} \times 159,6 = 1,60 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

c. On utilise une pipette jaugée de 5 mL et une fiole jaugée de 50 mL. > Fiche 13 p. 439

**68** 1. a. La masse molaire de l'ion bicarbonate est :

$$M = M_H + M_C + 3M_O = 61,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

b. La concentration en masse des ions bicarbonate dans l'eau gazeuse est  $C_m = 1\ 000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  d'après l'étiquette. La concentration en quantité de matière correspondante est donc :  $c = \frac{C_m}{M} = \frac{1\ 000 \times 10^{-3}}{61,0} = 1,64 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

c. La quantité de matière d'ions dans ce volume d'eau gazeuse est  $n = cV = 1,64 \times 10^{-2} \times 1,15 = 1,89 \times 10^{-2} \text{ mol}$ .

2. a. La quantité de matière de dioxyde de carbone rejetée est égale à celle du bicarbonate présent dans la bouteille, donc  $n_{\text{gaz}} = 1,89 \times 10^{-2} \text{ mol}$ .

b. Le volume de dioxyde de carbone rejeté est donc :  $V_{\text{gaz}} = n_{\text{gaz}} V_m = 1,89 \times 10^{-2} \times 24,5 = 0,46 \text{ L}$

**69** 1. a. et b.

Nom du solide	Formule	Masse dans une tonne de verre	Quantité de matière
Silice (sable)	SiO <sub>2</sub>	700 kg	1,17 × 10 <sup>4</sup> mol
Oxyde de sodium	Na <sub>2</sub> O	10 kg	161 mol
Monoxyde de calcium	CaO	100 kg	1,78 × 10 <sup>3</sup> mol

2. La masse volumique du verre étant  $\rho = 2\ 350 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , le volume de  $m = 1\ 000 \text{ kg}$  de verre est :

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1\ 000}{2\ 350} = 3,953 \times 10^{-1} \text{ m}^{-3} = 395,3 \text{ L}$$

**70** La quantité de matière d'acétone à introduire dans la solution est :

$$n = cV = 5,0 \times 10^{-2} \times 200 \times 10^{-3} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

La masse molaire de l'acétone est :

$$M_{\text{C}_3\text{H}_6\text{O}} = 3M_C + 6M_H + M_O = 58,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

La masse d'acétone à prélever est donc :

$$m = nM_{\text{C}_3\text{H}_6\text{O}} = 1,0 \times 10^{-2} \times 58,0 = 0,58 \text{ g}$$

Le volume correspondant est donc :

$$V_a = \frac{m}{\rho} = \frac{0,58}{0,78} = 7,4 \times 10^{-1} \text{ L}$$

**71** 1. a. Par définition le volume que peut libérer un litre d'eau oxygénée à cent volumes est  $V_{O_2} = 100 \text{ L}$ .

b. La quantité de matière de dioxygène correspondante est :  $n_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_m} = \frac{100}{22,4} = 4,46 \text{ mol}$

2. La quantité de matière de peroxyde d'hydrogène dans un litre de solution est  $n_{H_2O_2} = 2n_{O_2} = 2 \times 4,46 = 8,92 \text{ mol}$ .

Donc la concentration de la solution est  $c = 8,92 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

3. a. On réalise une dilution par dix, donc il faut prélever un volume de solution mère dix fois inférieur au volume de solution à fabriquer, soit  $V_0 = 10 \text{ mL}$ .

b. Liste de matériel :

- bêcher de 100 mL pour prélèvement ;
- fiole jaugée de 100 mL ;
- pipette jaugée 10 mL ;
- poire à pipeter (ou propipette).

**72** a. Le volume maximal est  $V = 0,02 \times 10 = 0,20 \text{ mL}$ .

b. La masse de nicotine correspondante est :

$$m = \rho V = 1,009\ 7 \times 0,20 = 0,20 \text{ g}$$

La masse molaire de la nicotine vaut :

$M_{\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2} = 10M_C + 14M_H + 2M_N = 162,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  donc la quantité de matière de nicotine correspondante est :

$$n = \frac{m}{M_{\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2}} = \frac{0,20}{162,0} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

c. Ainsi la concentration de la solution est :

$$c = \frac{n}{V} = \frac{1,2 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}} = 1,2 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

d. Cette concentration est très supérieure à  $c_{\text{max}}$ .

**73** 1. La masse d'un litre d'eau de Javel est :

$$m = 1,31 \times 1\ 000 = 1,31 \times 10^3 \text{ g}$$

2. a. 100 g d'eau de Javel produisent 2,6 g de dichlore donc par proportionnalité la masse de dichlore produite par un litre de solution est :

$$m = \frac{1,31 \times 10^3 \times 2,6}{100} = 34 \text{ g.}$$

b. La masse molaire du dichlore est :

$$M_{\text{Cl}_2} = 2M_{\text{Cl}} = 71,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

donc la quantité de matière de dichlore produite par un litre d'eau de Javel est :  $n = \frac{m}{M_{\text{Cl}_2}} = \frac{34}{71,0} = 0,48 \text{ mol}$

c. Le volume de gaz correspondant est :

$$V = nV_m = 0,48 \times 24,5 = 12 \text{ L}$$

3. Comme la quantité de matière d'hypochlorite de sodium dans un litre de solution est également

$n = 0,48 \text{ mol}$ , la concentration de l'hypochlorite de sodium dans l'eau de Javel est  $c = 4,8 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**74** Un litre de vinaigre a une masse :

$$m = 1,03 \times 1\,000 = 1\,030 \text{ g}$$

donc la masse d'acide éthanoïque dans un litre de vinaigre à 8° est  $\frac{8 \times 1\,030}{100} = 82,4 \text{ g}$ .

La masse molaire de l'acide éthanoïque est :

$$M_{\text{C}_2\text{H}_4\text{O}} = 2M_C + 4M_H + M_O = 60,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

donc la quantité de matière d'acide éthanoïque dans un litre de vinaigre est :  $n = \frac{m}{M_{\text{C}_2\text{H}_4\text{O}}} = \frac{82,4}{60,0} = 1,38 \text{ mol}$

Comme la solution a un volume d'un litre, sa concentration est  $1,38 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**75** 1. La quantité de matière d'acide éthanoïque

nécessaire pour préparer  $V = 500 \text{ mL}$  de solution est :

$$n = cV = 2,00 \times 10^{-1} \times 500 \times 10^{-3} = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol}$$

2. a. Le volume acide éthanoïque au minimum contenu dans un litre du mélange à 90 % est :

$$V_{\text{acide}} = \frac{90 \times 1\,000}{100} = 9,0 \times 10^2 \text{ mL}$$

La masse est donc :

$$m = \rho V_{\text{acide}} = 1,05 \times 9,0 \times 10^2 = 9,5 \times 10^2 \text{ g}$$

Comme la masse molaire de l'acide éthanoïque est

$M_{\text{C}_2\text{H}_4\text{O}} = 2M_C + 4M_H + M_O = 60,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , la quantité de matière d'acide éthanoïque dans un litre du mélange est :

$$n_0 = \frac{m}{M_{\text{C}_2\text{H}_4\text{O}}} = \frac{945}{60,0} = 16 \text{ mol}$$

b. Dans un litre de mélange à 90 %, on a 16 mol d'acide éthanoïque donc pour prélever  $1,0 \times 10^{-1} \text{ mol}$ , on doit utiliser  $\frac{1,0 \times 10^{-1}}{16} = 6,3 \text{ mL}$ .

3. On prélève 6,3 mL du mélange avec une pipette graduée de 10 mL ; on les verse dans une fiole jaugée de 500 mL.

D'après les pictogrammes, l'acide éthanoïque est nocif et inflammable donc on utilise des gants, une hotte aspirante, des lunettes et on reste éloigné d'une flamme ou d'une source de chaleur.

**76** a. et b. Le volume s'obtient par proportion du mètre cube. La quantité de matière correspondante s'obtient en divisant le volume de gaz par le volume molaire des gaz. La masse s'obtient en multipliant la quantité de matière ainsi obtenue par la masse molaire de l'espèce chimique.

Gaz	Formule	Volume dans 1,00 m <sup>3</sup> d'air	Quantité de matière dans 1,00 m <sup>3</sup> d'air	Masse dans 1,00 m <sup>3</sup> d'air
Diazote	N <sub>2</sub>	781 L	31,9 mol	893 g
Dioxygène	O <sub>2</sub>	210 L	8,57 mol	274 g
Argon	Ar	9,30 L	0,38 mol	15,2 g

c. La masse d'un mètre cube est la somme des masses  $m = 1\ 182$  g, la quantité de matière totale est la somme des quantités de matière  $n = 40,9$  mol.

d. La masse molaire moyenne de l'air est donc :

$$\frac{m}{n} = 28,9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

**77** a. Soit un échantillon de gaz de masse  $m$  et de volume  $V$ , contenant une quantité de matière  $n$  de gaz de masse molaire  $M$ . La masse volumique de ce gaz s'écrit :

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

Comme la quantité de matière d'un gaz dans un volume donné ne dépend pas du gaz, seule la masse molaire est différente selon le gaz considéré.

Si la masse molaire du gaz est inférieure à celle de l'air, sa masse volumique est plus faible donc il s'élève dans l'air.

b.  $M_{\text{CO}_2} = M_{\text{C}} + 2M_{\text{O}} = 44,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Cette valeur est supérieure à  $M_{\text{air}}$ , donc le dioxyde de carbone ne s'élève pas.

$M_{\text{He}} = 4,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Cette valeur est inférieure à  $M_{\text{air}}$ , donc l'hélium s'élève.

$M_{\text{H}_2} = 2M_{\text{H}} = 2,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Cette valeur est inférieure à  $M_{\text{air}}$ , donc le dihydrogène s'élève.

$M_{\text{NO}_2} = M_{\text{N}} + 2M_{\text{O}} = 46,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Cette valeur est supérieure à  $M_{\text{air}}$ , donc le dioxyde d'azote ne s'élève pas.

**78** a. Le 4-aminophénol est un solide de masse molaire :

$$M_{\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_2} = 6M_{\text{C}} + 7M_{\text{H}} + 2M_{\text{O}} + M_{\text{N}} = 109,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Pour en avoir  $n_1 = 25$  mmol, on doit en prélever :

$$m_1 = n_1 M_{\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_2} = 25 \times 10^{-3} \times 109,0 = 2,7 \text{ g}$$

L'anhydride éthanoïque a une masse molaire :

$$M_{\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3} = 4M_{\text{C}} + 6M_{\text{H}} + 3M_{\text{O}} = 102,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Pour en avoir  $n_2 = 37$  mmol il faut en prélever une masse

$$m_2 = n_2 M_{\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3} = 37 \times 10^{-3} \times 102,0 = 3,7 \text{ g}$$

$$\text{soit un volume } V_2 = \frac{m_2}{\rho} = \frac{3,7}{1,08} = 3,5 \text{ mL.}$$

b. On pèse 2,7 g de 4-aminophénol à l'aide d'une balance, d'une spatule, d'une coupelle de pesée.

On prélève 3,5 mL d'anhydride éthanoïque à l'aide d'une pipette graduée.

**79** La masse de taurine dans une canette de  $V = 250$  mL est  $m_1 = 1,000$  g, donc la canette contient une quantité de matière de taurine :

$$n_1 = \frac{m_1}{M_{\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_3\text{S}}} = \frac{1,000}{125,1} = 7,993 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

On peut en boire chaque jour  $\frac{2,4 \times 10^{-2}}{7,993 \times 10^{-3}} = 3$  canettes.

La quantité de matière de caféine dans  $m_2 = 80 \times 10^{-3}$  g de caféine (une canette) est :

$$n_2 = \frac{m_2}{M_{\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_4\text{O}_2}} = \frac{80 \times 10^{-3}}{194,0} = 4,1 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

On peut en boire chaque jour  $\frac{2,1 \times 10^{-3}}{4,1 \times 10^{-4}} = 5$  canettes.

C'est la taurine qui limite, on peut boire au maximum trois canettes par jour.

**80** L'accroissement de la teneur en dioxyde de carbone de l'atmosphère entre 1984 et 2015 est :

$$403,3 - 344,3 = 59 \text{ ppm}$$

Tous les gaz ayant le même volume molaire, cet accroissement de proportion en nombre de particules est égal à un accroissement de proportion volumique. Le volume de dioxyde de carbone supplémentaire est donc  $59 \times 10^{-6}$  fois le volume de la troposphère, soit :

$$V = 59 \times 10^{-6} \times 4,05 \times 10^{21} = 2,4 \times 10^{17} \text{ L}$$

La quantité de matière de dioxyde de carbone

$$\text{correspondante est } n_{\text{acc}} = \frac{V}{V_m} = \frac{2,4 \times 10^{17}}{25} = 9,6 \times 10^{15} \text{ mol.}$$

Une usine unique peut capter  $m = 900$  t de dioxyde de carbone, soit une quantité de matière :

$$n_{\text{usine}} = \frac{m}{M_{\text{CO}_2}} = \frac{900 \times 10^6}{44,0} = 2,05 \times 10^7 \text{ mol}$$

Le quotient de ces deux quantités de matière est :

$$\frac{n_{\text{acc}}}{n_{\text{usine}}} = \frac{9,6 \times 10^{15}}{2,05 \times 10^7} = 4,7 \times 10^8$$

Pour capter le dioxyde de carbone supplémentaire de l'atmosphère, il faudrait donc près d'un demi-milliard d'usines du même genre, ce qui n'est pas réaliste.

Cette solution n'en est donc pas une.

**81** Un degré de dureté représente une augmentation de  $10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  de la concentration en ions calcium.

Le volume de la solution est 300 L (volume de l'aquarium). Avant l'ajout du solide, le degré de dureté vaut 6 donc la concentration molaire en ions calcium (et magnésium) est  $6 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Après l'ajout du solide, le degré de dureté vaut au moins 8 donc cette concentration molaire vaut  $8 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Cette concentration doit au moins augmenter de  $2 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , on doit donc ajouter :

$$n = 2 \times 10^{-4} \times 300 = 6 \times 10^{-2} \text{ mol d'élément calcium.}$$

La masse molaire du carbonate de calcium est :

$$M_{\text{CaCO}_3} = M_{\text{Ca}} + M_{\text{C}} + 3M_{\text{O}} = 100,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

La masse de carbonate de calcium à ajouter est donc :

$$m = n M_{\text{CaCO}_3} = 6 \times 10^{-2} \times 100,1 = 6 \text{ g}$$

**82** La concentration en élément cuivre de la bouillie est  $c = 8,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . À chaque pulvérisation, on introduit des ions cuivre dans le sol.

La quantité de matière de cuivre dans un traitement correspond à la préparation de  $V = 100$  L de solution donc on introduit sur un hectare une quantité de matière de cuivre  $n = cV = 100 \times 8,0 \times 10^{-2} = 8$  mol, soit une masse :

$$m = nM_{\text{Cu}} = 8 \times 63,5 = 508 \text{ g}$$

Le nombre de traitements possibles est donc :  
 $\frac{6 \times 10^3}{508} = 11$  traitements

## 2. Évolution d'un système chimique

### Activités

p. 40 à 43

#### ① Réactions d'oxydo-réduction

##### Remarque

Cette activité a pour but d'amener les élèves, à partir d'observations expérimentales, à modéliser certaines transformations par des transferts d'électrons.

À l'issue de cette activité, les élèves doivent donc être capables de définir ce que sont une oxydation et une réduction.

##### Liste de matériel

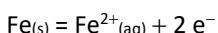
- Tubes à essais et portoir
- Pipettes simples
- Dispositif de filtration
- Solutions :
  - de sulfate de cuivre ( $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + \text{SO}_4^{2-}_{(aq)}$ ) à  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  qsp 50 mL par TP, étiquetée « Solution de sulfate de cuivre à  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  » ;
  - d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^{+}_{(aq)} + \text{HO}^{-}_{(aq)}$ ) à  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  qsp 50 mL par TP, étiquetée « Solution d'hydroxyde de sodium à  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  » ;
  - de nitrate d'argent ( $\text{Ag}^{+}_{(aq)} + \text{NO}_3^{-}_{(aq)}$ ) à  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  qsp 50 mL par TP, étiquetée « Solution de nitrate d'argent à  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  » ;
  - de chlorure de sodium ( $\text{Na}^{+}_{(aq)} + \text{Cl}^{-}_{(aq)}$ ) à  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  qsp 50 mL par TP, étiquetée « Solution de chlorure de sodium à  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  » ;
  - de diiode  $\text{I}_2_{(aq)}$  à  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  qsp 50 mL par TP, étiquetée « Solution de diiode à  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ».
- Paille de fer
- Tournure de cuivre

1. La solution se décolore et un dépôt de métal rougeâtre se forme.

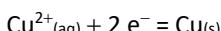
a. Le résidu est rougeâtre, le filtrat incolore. On peut supposer que le résidu est constitué de cuivre solide et que le filtrat ne contient plus d'ions cuivre mais des ions fer, ce que l'on peut vérifier en rajoutant une solution d'hydroxyde de sodium. Après cet ajout, il n'y a pas formation d'un précipité bleu mais d'un précipité vert, ce qui confirme notre hypothèse.

Les réactifs sont donc  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$  et  $\text{Fe}_{(s)}$  tandis que les produits de la transformation sont  $\text{Cu}_{(s)}$  et  $\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$ .

b. Le métal fer se transforme donc en ions fer :

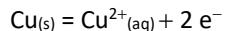
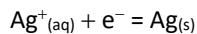


c. L'ion cuivre II se transforme en cuivre métallique :



d.  $\text{Fe}_{(s)} + \text{Cu}^{2+}_{(aq)} \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{(aq)} + \text{Cu}_{(s)}$

2. Le résidu est gris tandis que la solution se colore en bleu. On peut supposer que le résidu est de l'argent métallique et que la solution contient des ions cuivre, ce que l'on peut vérifier en ajoutant une solution d'hydroxyde de sodium : la formation d'un précipité bleu confirme notre hypothèse.

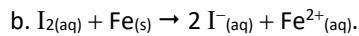


Les réactifs sont donc  $\text{Ag}^{+}_{(aq)}$  et  $\text{Cu}_{(s)}$  tandis que les produits de la transformation sont  $\text{Ag}_{(s)}$  et  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$ .

Par analogie avec ce qui précède, c'est  $\text{Cu}_{(s)}$  qui subit une oxydation.

3. a. Protocole : on verse 2 mL d'une solution de diiode dans un tube à essais puis on ajoute une pointe de spatule de poudre de fer. On agite puis au bout de quelques instants, on filtre.

Ensuite, on ajoute quelques gouttes de solution d'hydroxyde de sodium pour tester la présence d'ions fer puis quelques gouttes de solution de nitrate d'argent pour tester la présence d'ions iodure.



Le fer donne des ions fer et perd des électrons : il est donc oxydé.

##### Bilan

• Une oxydation est une perte d'électrons tandis qu'une réduction est un gain d'électrons.

• Lors de chacune des réactions étudiées, les réactifs ont échangé des électrons.

Une réaction d'oxydo-réduction est une réaction impliquant un transfert d'électrons.

#### ② Évolution d'un système chimique

##### Remarque

Cette activité expérimentale introduit le tableau d'avancement comme un outil permettant de décrire l'évolution d'un système chimique. Les élèves déduisent de leurs observations expérimentales la nature du réactif limitant pour une situation donnée puis calculent la valeur de l'avancement maximal dans ce cas. Ils sont ensuite amenés à travailler sur la notion de proportions stœchiométriques.

##### Liste de matériel

- Béchers
- Pipettes jaugées de 10 et 25 mL
- Pipette graduée de 2 mL
- Pipette simple
- Matériel pour filtration
- Agitateur en verre
- Solution de sulfate de cuivre ( $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + \text{SO}_4^{2-}_{(aq)}$ ) à  $0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  qsp 100 mL par binôme, étiquetée « Solution de sulfate de cuivre à  $0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  »
- Solution d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^{+}_{(aq)} + \text{HO}^{-}_{(aq)}$ ) à  $0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  qsp 50 mL par binôme, étiquetée « Solution d'hydroxyde de sodium à  $0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  »

1. Pour vérifier s'il reste des ions  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$  et des ions  $\text{HO}^{-}_{(aq)}$  dans le filtrat, on sépare le filtrat en deux parties. Dans l'une d'elles, on ajoute quelques gouttes de solution d'hydroxyde de sodium : si un précipité bleu se forme, c'est qu'il restait

des ions cuivre. Dans l'autre, on ajoute quelques gouttes de solution de sulfate de cuivre : si un précipité bleu se forme, c'est qu'il restait des ions hydroxyde. Ici, il se forme un précipité bleu lors de l'ajout d'hydroxyde de sodium, il restait donc des ions cuivre.

2. La quantité de matière d'ions cuivre apportés est  
 $n_1 = c_1 V_1 = 2,5 \times 10^{-3}$  mol.

La quantité de matière d'ions hydroxyde apportés est  
 $n_2 = c_2 V_2 = 1,0 \times 10^{-3}$  mol.

3. a. D'après l'équation de la réaction, si 1 mol de  $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$  a été consommée, la quantité de matière de  $\text{HO}^{-}_{(\text{aq})}$  consommée est de 2 mol et celle de  $\text{Cu(OH)}_{2(\text{s})}$  est de 1 mol.  
 b. Si  $x$  mol de  $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$  ont été consommées, la quantité de matière de  $\text{HO}^{-}_{(\text{aq})}$  consommée est de  $2x$  mol et celle de  $\text{Cu(OH)}_{2(\text{s})}$  est de  $x$  mol. Les quantités de matière des réactifs décroissent à partir de leur valeur initiale et celle des produits en cours de réaction augmente :

- pour  $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ , on a à un instant quelconque une quantité de matière égale à  $n_1 - x$  et à l'état final  $n_1 - x_{\max}$  ;
- pour  $\text{HO}^{-}_{(\text{aq})}$ , on a  $n_2 - 2x$  et à l'état final  $n_2 - x_{\max}$  ;
- pour  $\text{Cu(OH)}_{2(\text{s})}$ , on a  $x$  et à l'état final  $x_{\max}$ .

		$1 \text{ Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 2 \text{ HO}^{-}_{(\text{aq})} \rightarrow 1 \text{ Cu(OH)}_{2(\text{s})}$		
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$	$\text{HO}^{-}_{(\text{aq})}$	$\text{Cu(OH)}_{2(\text{s})}$
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 2,5 \times 10^{-3}$ mol	$n_2$	0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - x$	$n_2 - 2x$	$x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - x_{\max}$	$n_2 - 2x_{\max}$	$x_f$

4. La quantité de matière finale du réactif limitant est nulle.

Si  $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$  est le réactif limitant,  $n_1 - x_{\max} = 0$  soit

$$x_{\max} = n_1 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

Si  $\text{HO}^{-}_{(\text{aq})}$  est le réactif limitant,  $n_2 - 2x_{\max} = 0$  soit

$$x_{\max} = \frac{n_2}{2} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol.}$$

La plus petite de ces valeurs en peut être dépassée donc  $x_{\max} = 5,0 \times 10^{-4}$  mol et  $\text{HO}^{-}_{(\text{aq})}$  est le réactif limitant.

5. Si  $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$  est le réactif limitant,  $n_1 - x_{\max} = 0$  soit

$$x_{\max} = n_1 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

D'après ce qui précède, puisque  $\text{HO}^{-}_{(\text{aq})}$  est entièrement consommé, on a également  $x_{\max} = \frac{c_2 V'_2}{2}$ .

$$\text{D'où } V'_2 = \frac{2x_{\max}}{c_2} = 10 \text{ mL}$$

Pour le vérifier, introduire dans un bêcher  $V_1 = 25$  mL de solution de sulfate de cuivre de concentration

$c_1 = 0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  puis  $V'_2 = 10$  mL solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $c_2 = 0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Agiter.

Filtrer le contenu du bêcher puis partager le filtrat dans deux bêchers. Dans le premier, on ajoute quelques gouttes de solution d'hydroxyde de sodium et dans le deuxième, quelques gouttes de solution de sulfate de cuivre. Les deux tests devraient être négatifs.

### Bilan

Les quantités de matière initiales des réactifs pour que ceux-ci soient entièrement consommés à l'état final doivent être telles que  $n_2 = 2n_1$ .

On parle alors de *proportions stœchiométriques* car ce sont les proportions données par les nombres stœchiométriques de l'équation.

### ③ Transformation totale ou non ?

#### Remarque

Au cours de cette activité expérimentale, les élèves sont amenés à utiliser certaines informations quantitatives (des volumes de gaz dégagés) recueillies dans l'état final du système étudié pour déterminer des valeurs de l'avancement final. Ces valeurs sont ensuite comparées à celles de l'avancement maximal correspondant.

Nous avons ici pris le parti de travailler sur une réaction pour laquelle les observations expérimentales suffisent pour conclure que cette réaction est totale. Les élèves doivent donc comprendre que les valeurs différentes des avancements final et maximal proviennent ici des erreurs de mesure sur les volumes de gaz dégagés.

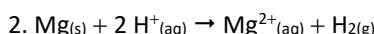
#### Liste de matériel

- Cristallisoir
- Éprouvette graduée de 50 mL
- Tube à dégagement
- Erlenmeyer
- Potence, pince et support boy
- Pipette jaugée de 2,0 mL
- Allumettes
- Ruban de magnésium
- Solution d'acide chlorhydrique à  $1,0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  qsp 50 mL par binôme, étiquetée « Solution d'acide chlorhydrique à  $1,0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  »

#### Remarque

La masse linéique  $\mu$  du ruban de magnésium utilisé pour obtenir les résultats ci-dessous valait  $1,36 \text{ g}\cdot\text{m}^{-1}$ .

1. En approchant l'allumette enflammée, on entend une détonation : le gaz dégagé est donc du dihydrogène  $\text{H}_2$ . Le volume de gaz dégagé  $V$  vaut 22 mL tandis que  $V'$  vaut 12 mL.



3. a. Pour la première expérience, on ne peut rien dire. Lorsque l'effervescence cesse, il reste du magnésium solide. Pour la deuxième, tout le magnésium est consommé : on peut donc affirmer que la réaction est totale.

b. On dresse un tableau d'avancement pour la réaction étudiée (voir tableau à la fin du corrigé des activités). Pour les deux expériences, la quantité de matière apportée en  $\text{H}^{+}_{(\text{aq})}$  est  $n_0 = c_0 V_0 = 2,0 \times 10^{-3}$  mol.

Pour la première expérience, la quantité de matière apportée en  $\text{Mg}_{(\text{s})}$  est  $n_1 = \frac{\mu L}{M_{\text{Mg}}} = 2,8 \times 10^{-3}$  mol.

Si  $\text{Mg}_{(\text{s})}$  est le réactif limitant,  $n_1 - x_{\max} = 0$  soit

$$x_{\max} = n_1 = 2,8 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

Si  $\text{H}^{+}_{(\text{aq})}$  est le réactif limitant,  $n_2 - 2x_{\max} = 0$  soit

$$x_{\max} = \frac{n_2}{2} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

La plus petite valeur de ne peut être dépassée donc  $x_{\max} = 1,0 \times 10^{-3}$  mol et  $\text{H}^{+}_{(\text{aq})}$  est le réactif limitant.

Pour la deuxième expérience, la quantité de matière apportée en  $Mg_{(s)}$  est :  $n'_1 = \frac{\mu L'}{M_{Mg}} = 5,6 \times 10^{-4}$  mol.

Si  $Mg_{(s)}$  est le réactif limitant,  $n'_1 - x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = n'_1 = 5,6 \times 10^{-4}$  mol.

Si  $H^{+}_{(aq)}$  est le réactif limitant,  $n_2 - 2x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = \frac{n_2}{2} = 1,0 \times 10^{-3}$  mol.

La plus petite valeur de ne peut être dépassée donc  $x_{\max} = 5,6 \times 10^{-4}$  mol et  $Mg_{(s)}$  est le réactif limitant.

c. D'après le tableau d'avancement, la quantité de matière de gaz dégagé est égale à  $x_f$ .

Pour la première expérience, la quantité de matière de gaz dégagée est  $n = \frac{V}{V_m} = 9,2 \times 10^{-4}$  mol.

Pour la deuxième expérience, elle est  $n' = \frac{V'}{V_m}$   
 $= 5,0 \times 10^{-4}$  mol

### Bilan

- Pour les deux expériences, l'avancement final est inférieur à l'avancement maximal attendu.
- La réaction étant totale, les différences observées sont certainement liées à des incertitudes de mesure sur les volumes de gaz dégagé.

## ④ État final d'un système chimique

### 1. a. Exécution du programme en l'état.

```
*****  
*   Étude quantitative      *  
* d'une transformation chimique *  
*****
```

Équation de la réaction :  
 $1 MnO_4^- + 5 Fe^{2+} + 8 H^+ \rightarrow 1 Mn^{2+} + 5 Fe^{3+} + 4 H_2O$

Quantités de matière à l'état initial

Réactifs :  
 $MnO_4^- : 0.1$  mol  
 $Fe^{2+} : 0.1$  mol  
 $H^+$  est en excès  
Produits :  
 $Mn^{2+} : 0$  mol  
 $Fe^{3+} : 0$  mol

Quantités de matière pour l'avancement  $x_f = 0.01$  mol

Réactifs :  
 $MnO_4^- : 0.09$  mol  
 $Fe^{2+} : 0.05$  mol  
 $H^+$  est en excès  
Produits :  
 $Mn^{2+} : 0.01$  mol  
 $Fe^{3+} : 0.05$  mol

Exécution du programme pour  $x_f = 0.020$  mol.

```
*****  
*   Étude quantitative      *  
* d'une transformation chimique *  
*****
```

Équation de la réaction :  
 $1 MnO_4^- + 5 Fe^{2+} + 8 H^+ \rightarrow 1 Mn^{2+} + 5 Fe^{3+} + 4 H_2O$

Quantités de matière à l'état initial

Réactifs :  
 $MnO_4^- : 0.1$  mol  
 $Fe^{2+} : 0.1$  mol  
 $H^+$  est en excès  
Produits :  
 $Mn^{2+} : 0$  mol  
 $Fe^{3+} : 0$  mol

Quantités de matière pour l'avancement  $x_f = 0.02$  mol

Réactifs :

$MnO_4^- : 0.08$  mol  
 $Fe^{2+} : 0.0$  mol  
 $H^+$  est en excès  
Produits :

$Mn^{2+} : 0.02$  mol  
 $Fe^{3+} : 0.1$  mol

L'état final est alors l'état maximal puisque les ions fer II sont consommés.

### b. Résultat pour $x_f = 0,030$ mol.

```
*****  
*   Étude quantitative      *  
* d'une transformation chimique *  
*****
```

Équation de la réaction :



Quantités de matière à l'état initial

Réactifs :  
 $MnO_4^- : 0.1$  mol  
 $Fe^{2+} : 0$  mol  
 $H^+ : 1$  mol  
Produits :  
 $Mn^{2+} : 0$  mol  
 $Fe^{3+} : 0$  mol

Quantités de matière pour l'avancement  $x_f = 0.03$  mol

Réactifs :  
 $MnO_4^- : 0.07$  mol  
 $Fe^{2+} : -0.15$  mol  
 $H^+ : 0.76$  mol  
Produits :  
 $Mn^{2+} : 0.03$  mol  
 $Fe^{3+} : 0.15$  mol

Le programme calcule une quantité de matière finale d'ions fer II négative : c'est impossible, l'état maximal ne peut être dépassé.

2. On trouve  $x_f = 0,10$  mol. Le réactif limitant est l'ion permanganate.

### 3. Modifications à apporter.

```
# ##### À modifier : question 3 #####
# Fonction qui calcule l'avancement maximal #
#####
rapport=[]
for i in range(len(nom_reac)):
    if n_reac[i]!="nc":
        rapport.append(n_reac[i]/coef_reac[i])
xmax=min(rapport)

#####
# ##### À modifier : question 1 puis 3 #####
### Valeur de l'avancement final en moles ###
#####
xf=xmax
```

### Résultat

```
*****  
*   Étude quantitative      *  
* d'une transformation chimique *  
*****
```

Équation de la réaction :



Quantités de matière à l'état initial

Réactifs :  
 $MnO_4^- : 0.1$  mol  
 $Fe^{2+} : 1$  mol  
 $H^+$  est en excès  
Produits :

```
Mn2+ : 0 mol
Fe3+ : 0 mol
```

Quantités de matière pour l'avancement maximal xmax = 0.1 mol

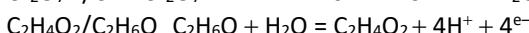
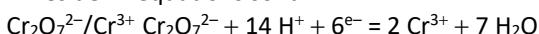
Réactifs :

- MnO4- : 0.0 mol
- Fe2+ : 0.5 mol
- H+ est en excès

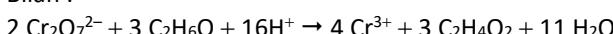
Produits :

- Mn2+ : 0.1 mol
- Fe3+ : 0.5 mol

4. Les demi-équations sont :



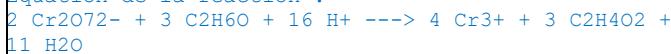
Bilan :



Voici le résultat obtenu.

```
*****
*   Étude quantitative   *
* d'une transformation chimique *
*****
```

Équation de la réaction :



Quantités de matière à l'état initial

Réactifs :

- Cr2O72- : 0.5 mol
- C2H6O : 0.5 mol
- H+ est en excès

Produits :

- Cr3+ : 0 mol
- C2H4O2 : 0 mol

Quantités de matière pour l'avancement maximal xmax = 0.1666666666666666 mol

Réactifs :

- Cr2O72- : 0.167 mol
- C2H6O : 0.0 mol
- H+ est en excès

Produits

- Cr3+ : 0.667 mol
- C2H4O2 : 0.5 mol

## 5. Modifications à apporter.

```
#####
##### À modifier : question 5 #####
### Test du mélange stœchiométrique ###
stoechio=True
for i in range(0,len(nom_reac)):
    if n_reac[i]!="nc" and n_reac[i]!=0:
        stoechio=False
if stoechio:
    print("")
    print("Le mélange initial est stœchiométrique")
print("")
```

Résultat avec 1,0 mol d'ions dichromate et 1,5 mol d'éthanol.

```
*****
*   Étude quantitative   *
* d'une transformation chimique *
*****
```

Equation de la réaction :

$$2 \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 3 \text{C}_2\text{H}_6\text{O} + 16 \text{H}^+ \rightarrow 4 \text{Cr}^{3+} + 3 \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + 11 \text{H}_2\text{O}$$

Quantités de matière à l'état initial

Réactifs :

- Cr2O72- : 1 mol
- C2H6O : 1.5 mol
- H+ est en excès

Produits :

- Cr3+ : 0 mol
- C2H4O2 : 0 mol

Quantités de matière pour l'avancement maximal xmax = 0.5 mol

Réactifs :

- Cr2O72- : 0.0 mol
- C2H6O : 0.0 mol
- H+ est en excès

Produits :

- Cr3+ : 2.0 mol
- C2H4O2 : 1.5 mol

Le mélange initial est stœchiométrique

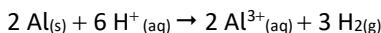
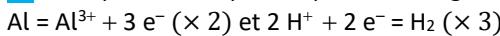
Tableau d'avancement pour la réaction étudiée (activité 3, question 3b).

		$\text{Mg}_{(s)}$	$+ 2 \text{H}^{+}_{(aq)}$	$\rightarrow \text{Mg}^{2+}_{(aq)}$	$+ \text{H}_2_{(g)}$
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{Mg}_{(s)}$	$\text{H}^{+}_{(aq)}$	$\text{Mg}^{2+}_{(aq)}$	$\text{H}_2_{(g)}$
0	...apportée à l'état initial	$n_1$	$n_2$	0	0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - x$	$n_2 - 2x$	$x$	$x$
$x_f$	...présente à l'état final	$n_1 - x_f$	$n_2 - 2x_f$	$x_f$	$x_f$

## Exercices

p. 50 à 61

**25** a. D'après les couples en présence, le gaz qui se dégage est le dihydrogène.



b.

		2 Al <sub>(s)</sub>	+	6 H <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>	→	2 Al <sup>3+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	3 H <sub>2(g)</sub>
Avancement	Quantité de matière de...	Al <sub>(s)</sub>		H <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>		Al <sup>3+</sup> <sub>(aq)</sub>		H <sub>2(g)</sub>
0	...apportée à l'état initial	$n = 4,0 \times 10^{-3}$ mol		$n' = 6,0 \times 10^{-3}$ mol		0		0
$x$	...en cours de réaction	$n - 2x$		$n' - 6x$		$2x$		$3x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n - 2x_{\max} = 2,0 \times 10^{-3}$ mol		$n' - 6x_{\max} = 0$		$2x_{\max} = 4,0 \times 10^{-3}$ mol		$3x_{\max} = 6,0 \times 10^{-3}$ mol

Si Al<sub>(s)</sub> est le réactif limitant,  $n - 2x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = \frac{n}{2} = 2,0 \times 10^{-3}$  mol.

Si H<sup>+</sup><sub>(aq)</sub> est le réactif limitant,  $n' - 6x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = \frac{n'}{6} = 1,0 \times 10^{-3}$  mol.

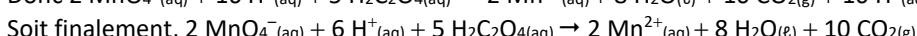
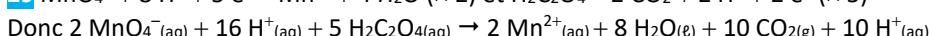
La plus petite valeur de  $x_{\max}$  ne peut être dépassée donc  $x_{\max} = 1,0 \times 10^{-3}$  mol et H<sup>+</sup><sub>(aq)</sub> est le réactif limitant.

D'après le tableau d'avancement, le système est composé dans son état final de  $n - 2x_{\max}$

=  $2,0 \times 10^{-3}$  mol de Al<sub>(s)</sub>, de  $2x_{\max} = 4,0 \times 10^{-3}$  mol de Al<sup>3+</sup><sub>(aq)</sub> et de  $3x_{\max} = 6,0 \times 10^{-3}$  mol de H<sub>2(g)</sub>.

c.  $V = 3x_{\max} \times V_m = 6,0 \times 10^{-3} \times 24,0 = 0,14$  L.

**29** MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> + 8 H<sup>+</sup> + 5 e<sup>-</sup> = Mn<sup>2+</sup> + 4 H<sub>2</sub>O ( $\times 2$ ) et H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> = 2 CO<sub>2</sub> + 2 H<sup>+</sup> + 2 e<sup>-</sup> ( $\times 5$ )

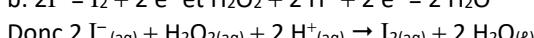
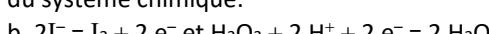


**30** a. Le système est composé initialement de  $n_1 = 0,20$  mol de Al et de  $n_2 = 0,15$  mol de I<sub>2</sub>.

b. Le réactif limitant est entièrement consommé dans l'état final : il s'agit donc de I<sub>2</sub> et l'avancement maximal  $x_{\max}$  de cette réaction est donc tel que  $n_2 - 3x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = \frac{n_2}{3} = 5,0 \times 10^{-2}$  mol.

c. Le système est composé finalement de  $n_1 - 2x_{\max} = 0,10$  mol de Al et de  $2x_{\max} = 0,10$  mol de AlI<sub>3</sub>.

**31** a. On peut affirmer qu'une transformation chimique se produit du fait de modifications apparentes du système chimique.



c. Les réactifs sont I<sup>-</sup><sub>(aq)</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2(aq)</sub> et H<sup>+</sup><sub>(aq)</sub>, les produits sont I<sub>2(aq)</sub> et H<sub>2</sub>O et l'espèce spectatrice est K<sup>+</sup><sub>(aq)</sub>.

La quantité de matière des réactifs diminue, celle des produits augmente tandis que celle de l'espèce spectatrice ne varie pas.

**32**

		2 I <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>	+	H <sub>2</sub> O <sub>2(aq)</sub>	+	2 H <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>	→	I <sub>2(aq)</sub>	+	2 H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>
Avancement	Quantité de matière de...	I <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>		H <sub>2</sub> O <sub>2(aq)</sub>		H <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>		I <sub>2(aq)</sub>		H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>
0	...apportée à l'état initial	$n = 1,0$ mmol		$n' = 2,0$ mmol		Excès		0		Solvant
$x$	...en cours de réaction	$n - 2x$		$n' - x$		Excès		$x$		Solvant
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n - 2x_{\max} = 0$		$n' - x_{\max} = 1,5$ mmol		Excès		$x_{\max} = 0,50$ mmol		Solvant

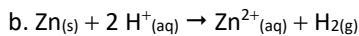
Si I<sup>-</sup><sub>(aq)</sub> est le réactif limitant,  $n - 2x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = \frac{n}{2} = 0,50$  mmol.

Si H<sub>2</sub>O<sub>2(aq)</sub> est le réactif limitant,  $n' - x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = n' = 2,0$  mmol.

La plus petite valeur de  $x_{\max}$  ne peut être dépassée donc  $x_{\max} = 0,50$  mmol et I<sup>-</sup><sub>(aq)</sub> est le réactif limitant.

**33** 1. a. Une oxydation est une perte d'électrons, donc c'est Zn<sub>(s)</sub> : Zn = Zn<sup>2+</sup> + 2 e<sup>-</sup>

Un oxydant gagne des électrons, donc c'est H<sup>+</sup><sub>(aq)</sub> : 2 H<sup>+</sup> + 2 e<sup>-</sup> = H<sub>2</sub>



2. La quantité de matière des réactifs diminue, et celle de  $\text{H}^{+}$  diminue plus vite que celle de  $\text{Zn}_{(s)}$  d'après les nombres stœchiométriques de l'équation précédente, donc la droite bleue correspond à  $\text{H}^{+}_{(aq)}$  et la droite orange décroissante à  $\text{Zn}_{(s)}$ .

La quantité de matière des produits augmente : ici, la droite orange correspond aux deux produits,  $\text{Zn}^{2+}_{(aq)}$  et  $\text{H}_2_{(g)}$ , qui sont formés en quantités égales. La quantité de matière de l'espèce spectatrice ne varie pas, donc la droite verte correspond à  $\text{Cl}^{-}_{(aq)}$ .

**34** a. Le réactif limitant voit sa quantité de matière finale s'annuler donc il s'agit ici de  $\text{H}^{+}_{(aq)}$ .

L'avancement maximal  $x_{\max}$  alors atteint est égal à  $5,0 \times 10^{-5}$  mol.

b. Le système est composé finalement de  $1,0 \times 10^{-4}$  mol de  $\text{Cl}^{-}_{(aq)}$ , de  $5,0 \times 10^{-5}$  mol de  $\text{Zn}_{(s)}$  et de  $5,0 \times 10^{-5}$  mol de  $\text{Zn}^{2+}_{(aq)}$  et  $\text{H}_2_{(g)}$ .

**36** a. D'après le tableau d'avancement précédent,  $n = 1,5 \times 10^{-3}$  mol =  $3x_{\max}$ .

$$\text{Donc } x_{\max} = \frac{n}{3} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol.}$$

b. Les quantités de matière minimales de réactifs qu'il a fallu apporter correspondent aux proportions stœchiométriques donc  $n_1 - x_{\max} = 0$  et  $n_2 - 2x_{\max} = 0$  soit  $n_1 = x_{\max} = 5,0 \times 10^{-4}$  mol et  $n_2 = 2x_{\max} = 1,0 \times 10^{-3}$  mol.

**37** L'équation de la réaction est :  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + \text{C}_2\text{H}_6\text{O} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

D'après les nombres stœchiométriques,  $x_{\max} = 1,0$  mol et les quantités de matière finales de  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$  sont égales à  $x_f$ .

Les deux valeurs sont différentes donc la réaction n'est pas totale.

**39** a. Un couple oxydant-réducteur est formé d'un oxydant et d'un réducteur conjugués.

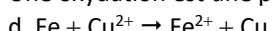
b.  $\text{Cl}_2 / \text{Cl}^-$ :  $\text{Cl}_2 + 2 \text{e}^- = 2 \text{Cl}^-$  ;  $\text{Pb}^{2+} / \text{Pb}$  :  $\text{Pb}^{2+} + 2 \text{e}^- = \text{Pb}$  ;  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} / \text{SO}_4^{2-}$  :  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2 \text{e}^- = 2 \text{SO}_4^{2-}$ .

**41** a. Les deux réactifs sont les ions cuivre  $\text{Cu}^{2+}$  et le fer  $\text{Fe}$ .

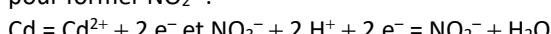
b. Le fer perd deux électrons pour former les ions fer II et les ions cuivre les captent pour former le cuivre métallique :  $\text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^-$  et  $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- = \text{Cu}$ .

c. Un oxydant est réduit, c'est-à-dire qu'il gagne des électrons : il s'agit donc des ions cuivre.

Une oxydation est une perte d'électrons : c'est donc le fer qui est oxydé.



**42** a. Le cadmium Cd perd des électrons pour former les ions  $\text{Cd}^{2+}$  donc les ions  $\text{NO}_3^-$  vont les capter pour former  $\text{NO}_2^-$  :



b. Un réducteur est oxydé, c'est-à-dire qu'il perd des électrons : il s'agit donc du cadmium Cd.

Une réduction est un gain d'électrons : c'est donc  $\text{NO}_3^-$  qui est réduit.

c. Un couple s'écrit toujours avec l'oxydant en premier :  $\text{Cd}^{2+} / \text{Cd}$  et  $\text{NO}_3^- / \text{NO}_2^-$ .

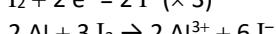
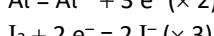
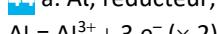
**43** a. Un oxydant est réduit, c'est-à-dire qu'il gagne des électrons, et un réducteur est oxydé, c'est-à-dire qu'il perd des électrons.

b. Réduction de  $\text{H}_2\text{O}_2$  :  $\text{H}_2\text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- = 2 \text{H}_2\text{O}$

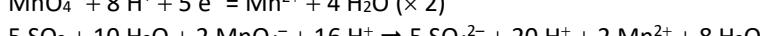
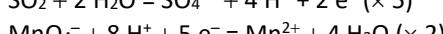
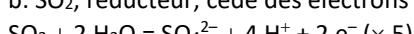
Oxydation de  $\text{H}_2\text{O}_2$  :  $\text{H}_2\text{O}_2 = \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$

c. En additionnant membre à membre les demi-équations précédentes, on obtient bien une équation mettant en jeu un transfert d'électrons avec pour unique réactif  $\text{H}_2\text{O}_2$  :  $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ .

**44** a. Al, réducteur, cède des électrons à l'oxydant  $\text{I}_2$  qui les capte :

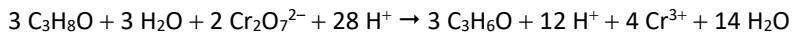


b.  $\text{SO}_4^{2-}$ , réducteur, cède des électrons à l'oxydant  $\text{MnO}_4^-$  qui les capte :



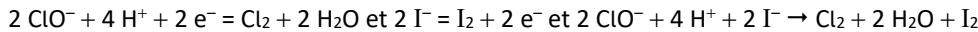
Soit, après simplification,  $5 \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{MnO}_4^- \rightarrow 5 \text{SO}_4^{2-} + 4 \text{H}^+ + 2 \text{Mn}^{2+}$

c.  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ , réducteur, cède des électrons à l'oxydant  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  qui les capte :



Soit, après simplification,  $3 \text{C}_3\text{H}_8\text{O} + 2 \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 16 \text{H}^+ \rightarrow 3 \text{C}_3\text{H}_6\text{O} + 4 \text{Cr}^{3+} + 11 \text{H}_2\text{O}$

d.  $\text{I}^-$ , réducteur, cède des électrons à l'oxydant  $\text{ClO}_4^-$  qui les capte :



46

		$\text{P}_4$	+	$6 \text{Br}_2$	$\rightarrow$	$4 \text{PBr}_3$
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{P}_4$		$\text{Br}_2$		$\text{PBr}_3$
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 0,10 \text{ mol}$		$n_2 = 0,30 \text{ mol}$		0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - x$		$n_2 - 6x$		$4x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - x_{\max} = 0,05 \text{ mol}$		$n_2 - 6x_{\max} = 0$		$4x_{\max} = 0,20 \text{ mol}$

48 a.  $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$ 

b.

		$\text{N}_2$	+	$3 \text{H}_2$	$\rightarrow$	$2 \text{NH}_3$
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{N}_2$		$\text{H}_2$		$\text{NH}_3$
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 2,0 \text{ mol}$		$n_2 = 3,0 \text{ mol}$		0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - x$		$n_2 - 3x$		$2x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - x_{\max} = 1,0 \text{ mol}$		$n_2 - 3x_{\max} = 0$		$2x_{\max} = 2,0 \text{ mol}$

c. Si  $\text{N}_2$  est le réactif limitant,  $n_1 - x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = n_1 = 2,0 \text{ mol}$ .

Si  $\text{H}_2$  est le réactif limitant,  $n_2 - 3x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = \frac{n_2}{3} = 1,0 \text{ mol}$ .

La plus petite valeur de  $x_{\max}$  ne peut être dépassée donc  $x_{\max} = 1,0 \text{ mol}$  et  $\text{H}_2$  est le réactif limitant.

d. On remplace  $x_{\max}$  par sa valeur et on complète la dernière ligne du tableau.

49 a. Les réactifs de cette combustion sont l'acétylène  $\text{C}_2\text{H}_2$  et le dioxygène  $\text{O}_2$ .b.  $2 \text{C}_2\text{H}_2 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{CO}_2$ .

c.

		$2 \text{C}_2\text{H}_2$	+	$5 \text{O}_2$	$\rightarrow$	$4 \text{CO}_2$	+	$2 \text{H}_2\text{O}$
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{C}_2\text{H}_2$		$\text{O}_2$		$\text{CO}_2$		$\text{H}_2\text{O}$
0	...apportée à l'état initial	$n = 1,0 \text{ mol}$		Excès		0		0
$x$	...en cours de réaction	$n - x$		Excès		$4x$		$2x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n - x_{\max} = 0$		Excès		$4x_{\max} = 4,0 \text{ mol}$		$2x_{\max} = 2,0 \text{ mol}$

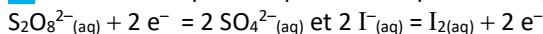
Soit  $n$  la quantité de matière de  $\text{C}_2\text{H}_2$  apportée et  $M$  la masse molaire de  $\text{C}_2\text{H}_2$  :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{26}{26,0} = 1,0 \text{ mol}$$

Le système à l'état final comporte donc un excès de dioxygène,  $4x_{\max} = 4,0 \text{ mol}$  de dioxyde de carbone et  $2x_{\max} = 2,0 \text{ mol}$  d'eau.

d.  $V' = 4x_{\max}V_m = 4,0 \times 24,0 = 96 \text{ L}$

50 a. Les demi-équations pour les couples mis en jeu sont :



Donc l'équation de la réaction qui se produit est :  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} \text{(aq)} + 2 \text{I}^- \text{(aq)} \rightarrow 2 \text{SO}_4^{2-} \text{(aq)} + \text{I}_2 \text{(aq)}$

Le diiode est donc formé au cours de la transformation donc sa quantité de matière va augmenter, si bien que la solution va brunir.

b. On dresse un tableau d'avancement :

		$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq})$	+	$2 \text{I}^-(\text{aq})$	$\rightarrow$	$2 \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$	+	$\text{I}_2(\text{aq})$
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq})$		$\text{I}^-(\text{aq})$		$\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$		$\text{I}_2(\text{aq})$
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 1,0 \text{ mol}$		$n_2 = 1,0 \text{ mol}$		0		0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - x$		$n_2 - 2x$		$x$		$x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - x_{\max} = 0,50 \text{ mol}$		$n_2 - 2x_{\max} = 0$		$x_{\max} = 0,50 \text{ mol}$		$x_{\max} = 0,50 \text{ mol}$

Si  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq})$  est le réactif limitant,  $n_1 - x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = n_1 = 1,0 \text{ mol}$ .

Si  $\text{I}^-(\text{aq})$  est le réactif limitant,  $n_2 - 2x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = \frac{n_2}{2} = 0,50 \text{ mol}$ .

La plus petite valeur de  $x_{\max}$  ne peut être dépassée donc  $x_{\max} = 0,50 \text{ mol}$  et  $\text{I}^-(\text{aq})$  est le réactif limitant.

D'après la dernière ligne du tableau d'avancement, la quantité de matière  $n$  de diiode produite est égale à  $x_{\max}$ , soit 0,50 mol.

c. Par définition,  $c = \frac{n}{V} = \frac{0,50}{500 \times 10^{-3}} = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

d. Pour un mélange stœchiométrique, on a simultanément  $n_1 - x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = n_1 = 1,0 \text{ mol}$  et  $n'_2 - 2x_{\max} = 0$  soit  $n'_2 = 2x_{\max} = 2,0 \text{ mol}$ .

51 a.  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2 \text{Al} \rightarrow 2 \text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$ .

b. Soit  $M$  la masse molaire de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et soit  $M'$  celle d'Al.

$$n = \frac{m}{M} = \frac{32}{159,6} = 0,20 \text{ mol}$$

$$n' = \frac{m'}{M'} = \frac{5,4}{27,0} = 0,20 \text{ mol}$$

c. Dressons un tableau d'avancement pour cette réaction :

		$\text{Fe}_2\text{O}_3$	+	$2 \text{Al}$	$\rightarrow$	$2 \text{Fe}$	+	$\text{Al}_2\text{O}_3$
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{Fe}_2\text{O}_3$		Al		Fe		$\text{Al}_2\text{O}_3$
0	...apportée à l'état initial	$n = 0,20 \text{ mol}$		$n' = 0,20 \text{ mol}$		0		0
$x$	...en cours de réaction	$n - x$		$n' - 2x$		$2x$		$x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n - x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$		$n' - 2x_{\max} = 0$		$2x_{\max} = 0,20 \text{ mol}$		$x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$

Si  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  est le réactif limitant,  $n - x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = n = 0,20 \text{ mol}$ .

Si Al est le réactif limitant,  $n' - 2x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = \frac{n'}{2} = 0,10 \text{ mol}$ .

La plus petite valeur de  $x_{\max}$  ne peut être dépassée donc  $x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$  et Al est le réactif limitant.

d. D'après la dernière ligne du tableau d'avancement, dans l'état final, le système comporte  $n - x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$  de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $2x_{\max} = 0,20 \text{ mol}$  de Fe et  $x_{\max} = 0,10 \text{ mol}$  de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

e.  $m_1 = 2x_{\max} M_{\text{Fe}} = 0,20 \times 55,8 = 11 \text{ g}$ .

Soit  $M_2$  la masse molaire de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

$$M_2 = x_{\max} M_2 = 0,10 \times 102,0 = 10 \text{ g}.$$

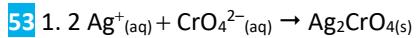
52 a.  $2 \text{Fe}^{3+} + 3 \text{Zn} \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{Zn}^{2+}$

b.

		$2 \text{Fe}^{3+}$	+	$3 \text{Zn}$	$\rightarrow$	$2 \text{Fe}$	+	$3 \text{Zn}^{2+}$
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{Fe}^{3+}$		Zn		Fe		$\text{Zn}^{2+}$
0	...apportée à l'état initial	$n_1$		$n_2 = 3,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$		0		0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - 2x$		$n_2 - 3x$		$2x$		$3x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - 2x_{\max} = 0$		$n_2 - 3x_{\max} = 0$		$2x_{\max} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$		$3x_{\max} = 3,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$

c. Pour un mélange stœchiométrique, les deux réactifs sont entièrement consommés, soit  $n_2 - 3x_{\max} = 0$  et  $n_1 - 2x_{\max} = 0$  donc  $x_{\max} = \frac{n_2}{3} = 1,0 \times 10^{-2}$  mol et  $n_1 = 2x_{\max} = 2,0 \times 10^{-2}$  mol.  
 $n_1 = c_1 V_1$  donc  $V_1 = \frac{n_1}{c_1} = 0,20$  L.

d. D'après la dernière ligne du tableau d'avancement, dans l'état final, le système comporte  $2x_{\max} = 2,0 \times 10^{-2}$  mol de fer et  $3x_{\max} = 3,0 \times 10^{-2}$  mol d'ions zinc.  
 $c = \frac{3x_{\max}}{V_1} = 0,15 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

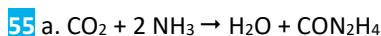


2. a. Les droites décroissantes représentent les quantités de matière des réactifs  $\text{Ag}^{+}_{(\text{aq})}$  et  $\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$  en fonction de l'avancement car la quantité de matière d'un réactif diminue au cours de la réaction. Par conséquent, on lit qu'elles sont initialement égales à  $1,0 \times 10^{-2}$  mol. La droite croissante représente la quantité de matière de produit  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4_{(\text{s})}$  en fonction de l'avancement car la quantité de matière de produit augmente au cours de la réaction. Par conséquent, on lit qu'elle est initialement nulle.  
b.

		$2 \text{Ag}^{+}_{(\text{aq})}$	+	$\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$	$\rightarrow$	$\text{Ag}_2\text{CrO}_4_{(\text{s})}$
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{Ag}^{+}_{(\text{aq})}$		$\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$		$\text{Ag}_2\text{CrO}_4_{(\text{s})}$
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 1,0 \times 10^{-2}$ mol		$n_2 = 1,0 \times 10^{-2}$ mol		0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - 2x$		$n_2 - x$		$x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - 2x_{\max} = 0$		$n_2 - x_{\max} = 5,0 \times 10^{-3}$ mol		$x_{\max} = 5,0 \times 10^{-3}$ mol

D'après le tableau d'avancement, la quantité de matière de  $\text{Ag}^{+}_{(\text{aq})}$  décroît plus vite que celle de  $\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$ . Par conséquent, la droite représentant la quantité de matière de  $\text{Ag}^{+}_{(\text{aq})}$  est celle qui croise l'axe des abscisses en premier. L'autre droite décroissante représente la quantité de matière de  $\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$  et la droite croissante celle de  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4_{(\text{s})}$ .

c. Le réactif limitant est  $\text{Ag}^{+}_{(\text{aq})}$  car sa quantité de matière s'annule alors qu'il reste des ions  $\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$ . On lit la valeur de l'abscisse pour laquelle la quantité de matière de s'annule :  $x_{\max} = 5,0 \times 10^{-3}$  mol.  
d. Le système est composé dans son état final de  $n_2 - x_{\max} = 5,0 \times 10^{-3}$  mol d' ions  $\text{CrO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$  et de  $x_{\max} = 5,0 \times 10^{-3}$  mol de  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4_{(\text{s})}$ .



b.

		$\text{CO}_2$	+	$2 \text{NH}_3$	$\rightarrow$	$\text{H}_2\text{O}$	+	$\text{CON}_2\text{H}_4$
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{CO}_2$		$\text{NH}_3$		$\text{H}_2\text{O}$		$\text{CON}_2\text{H}_4$
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 1,0$ mol		$n_2 = 2,0$ mol		0		0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - x$		$n_2 - 2x$		$x$		$2x$
$x_f$	...présente à l'état final	$n_1 - x_f = 0,61$ mol		$n_2 - 2x_f = 1,2$ mol		$n_3 = 0,39$ mol = $x_f$		$n_4 = 0,39$ mol = $x_f$
$x_{\max}$	...présente à l'état d'avancement maximal	$n_1 - x_{\max} = 0$		$n_2 - 2x_{\max} = 0$		$x_{\max} = 1,0$ mol		$x_{\max} = 1,0$ mol

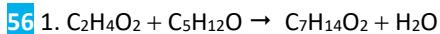
c. Si  $\text{CO}_2$  est le réactif limitant,  $n_1 - x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = n_1 = 1,0$  mol.

Si  $\text{NH}_3$  est le réactif limitant,  $n_2 - 2x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = \frac{n_2}{2} = 1,0$  mol.

Donc  $x_{\max} = 1,0$  mol : le mélange initial est un mélange stœchiométrique.

d. D'après le tableau d'avancement, les quantités de matière finale de  $\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{CON}_2\text{H}_4$  sont égales à l'avancement final  $x_f$  de la réaction donc  $x_f = 0,39$  mol et est donc inférieur à  $x_{\max}$ . La transformation n'est pas totale.

e. Soit  $M_2$  la masse molaire de  $\text{NH}_3$ ,  $m'_2 = (n_2 - 2x_f) \times M_2 = 21$  g.



2. Soit  $M_1$  la masse molaire de l'acide éthanoïque et  $M_2$  celle de l'alcool isoamylique :

$$n_1 = \frac{\rho_1 \times V_1}{M_1} = \frac{1,05 \times 30}{60,0} = 0,51 \text{ mol}$$

$$n_2 = \frac{\rho_2 \times V_2}{M_2} = \frac{0,81 \times 33}{88,0} = 0,30 \text{ mol}$$

3. a.

		$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	+	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	$\rightarrow$	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	+	$\text{H}_2\text{O}$
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$		$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$		$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$		$\text{H}_2\text{O}$
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 0,51 \text{ mol}$		$n_2 = 0,30 \text{ mol}$		0		0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - x$		$n_2 - x$		$x$		$2x$
$x_f$	...présente à l'état final	$n_1 - x_f = 0,31 \text{ mol}$		$n_2 - x_f = 0,10 \text{ mol}$		$n = 0,20 \text{ mol} = x_f$		$n' = 0,20 \text{ mol} = x_f$
$x_{\max}$	...présente à l'état d'avancement maximal	$n_1 - x_{\max} = 0,21 \text{ mol}$		$n_2 - x_{\max} = 0$		$x_{\max} = 0,30 \text{ mol}$		$x_{\max} = 0,30 \text{ mol}$

Si  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$  est le réactif limitant,  $n_1 - x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = n_1 = 0,51 \text{ mol}$ .

Si  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$  est le réactif limitant,  $n_2 - x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = n_2 = 0,30 \text{ mol}$ .

La plus petite valeur de  $x_{\max}$  ne peut être dépassée donc  $x_{\max} = 0,30 \text{ mol}$  et  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$  est le réactif limitant.

b. D'après le tableau d'avancement, l'avancement final  $x_f$  est égal à  $n$  ou  $n'$  donc  $x_f = 0,20 \text{ mol}$ .

Le système dans son état final est composé de  $n_1 - x_f = 0,31 \text{ mol}$  de  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ , de  $n_2 - x_f = 0,10 \text{ mol}$  de  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$ , de  $n = 0,20 \text{ mol}$ , de  $\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$  et de  $n' = 0,20 \text{ mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}$ .

4. L'avancement final étant différent de l'avancement maximal, la réaction n'est pas totale.

#### Question d'oral

Une transformation est totale si son avancement final est égal à son avancement maximal.

On peut savoir expérimentalement qu'une réaction est totale si on voit qu'un des réactifs a entièrement disparu (disparition d'un solide, décoloration d'une solution).

**57** a.

		$\text{Fe}^{3+}$	+	$\text{SCN}^-$	$\rightarrow$	$\text{FeSCN}^{2+}$
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{Fe}^{3+}$		$\text{SCN}^-$		$\text{FeSCN}^{2+}$
0	...apportée à l'état initial	$n = 2,0 \text{ mol}$		$n' = 5,0 \text{ mol}$		0
$x$	...en cours de réaction	$n - x$		$n' - x$		$x$
$x_f$	...présente à l'état final	$n - x_f = 0,6 \text{ mol}$		$n' - x_f = 3,6 \text{ mol}$		$x_f = 1,4 \text{ mol} = n''$
$x_{\max}$	...présente à l'état d'avancement maximal	$n - x_{\max} = 0$		$n' - x_{\max} = 3,0 \text{ mol}$		$x_{\max} = 2,0 \text{ mol}$

b. Si  $\text{Fe}^{3+}$  est le réactif limitant,  $n - x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = n = 2,0 \text{ mol}$ .

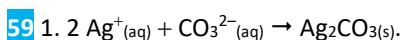
Si  $\text{SCN}^-$  est le réactif limitant,  $n' - x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = n' = 5,0 \text{ mol}$ .

La plus petite valeur de  $x_{\max}$  ne peut être dépassée donc  $x_{\max} = 2,0 \text{ mol}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  est le réactif limitant.

D'après le tableau d'avancement, la quantité de matière finale est égale à l'avancement final  $x_f$  donc  $x_f = 1,4 \text{ mol}$ .

Le système dans son état final contient  $n - x_f = 0,6 \text{ mol}$  de  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $n' - x_f = 3,6 \text{ mol}$  de  $\text{SCN}^-$  et  $n'' = 1,4 \text{ mol}$  d'ions  $\text{FeSCN}^{2+}$ .

c. L'avancement final étant différent de l'avancement maximal, la réaction n'est pas totale.



$$2. n_0 = c_0 V_0 = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n_1 = c_1 V_1 = 4,0 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

		2 Ag <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> <sub>(aq)</sub>	→	Ag <sub>2</sub> CO <sub>3(s)</sub>
Avancement	Quantité de matière de...	Ag <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>		CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> <sub>(aq)</sub>		Ag <sub>2</sub> CO <sub>3(s)</sub>
0	...apportée à l'état initial	$n_0 = 5,0 \times 10^{-4}$ mol		$n_1 = 4,0 \times 10^{-5}$ mol		0
$x$	...en cours de réaction	$n_0 - 2x$		$n_1 - x$		$x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_0 - 2x_{\max} = 4,2 \times 10^{-4}$ mol		$n_1 - x_{\max} = 0$		$x_{\max} = 4,0 \times 10^{-5}$ mol

Si Ag<sup>+</sup> est le réactif limitant,  $n_0 - 2x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = \frac{n_0}{2} = 2,5 \times 10^{-4}$  mol.

Si CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> est le réactif limitant,  $n_1 - x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = n_1 = 4,0 \times 10^{-5}$  mol.

La plus petite valeur de  $x_{\max}$  ne peut être dépassée donc  $x_{\max} = 4,0 \times 10^{-5}$  mol et CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> est le réactif limitant.

3. Pour que le mélange initial soit stœchiométrique, il faut d'une part que  $n_0 - 2x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = \frac{n_0}{2} = 2,5 \times 10^{-4}$  mol et d'autre part que  $n_1 - x_{\max} = 0$  soit  $n_1 = x_{\max}$  d'où  $V_1 = \frac{x_{\max}}{c_1} = \frac{2,5 \times 10^{-4}}{2,0 \times 10^{-2}} = 13$  mL.

4. a.  $m = x_{\max}M$  où  $M$  est la masse molaire de Ag<sub>2</sub>CO<sub>3(s)</sub>.

$$\text{Donc } x_{\max} = \frac{m}{M} = \frac{28 \times 10^{-3}}{275,8} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ mol.}$$

$$\text{Or, d'après ce qui précède, } V_1 = \frac{x_{\max}}{c_1} = \frac{1,0 \times 10^{-4}}{2,0 \times 10^{-2}} = 5,0 \text{ mL.}$$

b. Le réactif en excès est donc Ag<sup>+</sup><sub>(aq)</sub>.

$$c = \frac{n_0 - 2x_{\max}}{V_0 + V_1} = \frac{3,0 \times 10^{-4}}{10,0 \times 10^{-3} + 5,0 \times 10^{-3}} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}.$$

60 a. ClO<sup>-</sup><sub>(aq)</sub> + Cl<sup>-</sup><sub>(aq)</sub> + 2 H<sup>+</sup><sub>(aq)</sub> → Cl<sub>2(g)</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>(l)</sub>.

b.

		ClO <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>	+	Cl <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2 H <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>	→	Cl <sub>2(g)</sub>	+	H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>
Avancement	Quantité de matière de...	ClO <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>		Cl <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>		H <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>		Cl <sub>2(g)</sub>		H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 7,7 \times 10^{-2}$ mol		Excès		Excès		0		0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - x$		Excès		Excès		$x$		$x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - x_{\max} = 0$		Excès		Excès		$x_{\max} = 7,7 \times 10^{-2}$ mol		$x_{\max} = 7,7 \times 10^{-2}$ mol

c. Soit  $M$  la masse molaire du dichlore et soit  $m$  la masse de dichlore dégagé :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{5,5}{71,0} = 7,7 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

d. D'après le tableau d'avancement,  $x_{\max} = n = 7,7 \times 10^{-2}$  mol.

ClO<sup>-</sup> étant par hypothèse le réactif limitant,  $n_1 - x_{\max} = 0$  soit  $n_1 = x_{\max} = 7,7 \times 10^{-2}$  mol.

e. D'après le tableau d'avancement, l'avancement maximal est alors égal à  $n'_1 = 7,5 \times 10^{-2}$  mol. On forme donc  $n'_1 = 7,5 \times 10^{-2}$  mol de dichlore soit une masse  $m' = n'_1 M = 5,3$  g. L'eau de Javel n'a donc que 5,3 % de chlore actif, ce qui n'est pas conforme aux indications du fabricant.

61 a. 4 Fe<sup>3+</sup> + 3 Fe(CN)<sub>6</sub><sup>4-</sup> → Fe<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sub>3</sub>.

b.

		4 Fe <sup>3+</sup>	+	3 Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>4-</sup>	→	Fe <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sub>3</sub>
Avancement	Quantité de matière de...	Fe <sup>3+</sup>		Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>4-</sup>		Fe <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sub>3</sub>
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 2,0 \times 10^{-3}$ mol		$n_2 = 1,5 \times 10^{-3}$ mol		0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - 4x$		$n_2 - 3x$		$x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - 4x_{\max} = 0$		$n_2 - 3x_{\max} = 0$		$x_{\max} = 5,0 \times 10^{-4}$ mol

c. D'après le tableau d'avancement,  $m = x_{\max} \times M$ .

$$\text{Donc } x_{\max} = \frac{m}{M} = \frac{0,43}{859,2} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Or, le mélange initial est stœchiométrique donc on a d'une part  $n_1 - 4x_{\max} = 0$ , soit  $n_1 = 4x_{\max}$  =  $2,0 \times 10^{-3}$  mol, et d'autre part,  $n_2 - 3x_{\max} = 0$  soit  $n_2 = 3x_{\max} = 1,5 \times 10^{-3}$  mol.

$$d. V_1 = \frac{n_1}{c_1} = \frac{2,0 \times 10^{-3}}{0,10} = 20 \text{ mL.}$$

$$V_2 = \frac{n_2}{c_2} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{3,0 \times 10^{-2}} = 5,0 \text{ mL.}$$

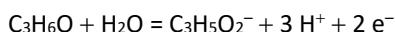
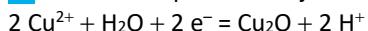
e.

		4 Fe <sup>3+</sup>	+	3 Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>4-</sup>	→	Fe <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sub>3</sub>
Avancement	Quantité de matière de...	Fe <sup>3+</sup>		Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>4-</sup>		Fe <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sub>3</sub>
0	...apportée à l'état initial	$n'_1 = c_1 V' = 5,0 \times 10^{-4}$ mol		$n'_2 = c_1 V' = 1,5 \times 10^{-3}$ mol		0
$x$	...en cours de réaction	$n'_1 - 4x$		$n'_2 - 3x$		$x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n'_1 - 4x'_{\max} = 0$		$n'_2 - 3x'_{\max}$		$x'_{\max} = 1,3 \times 10^{-5}$ mol

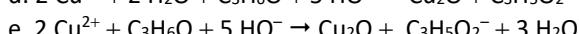
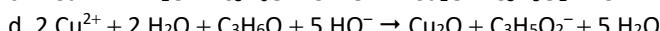
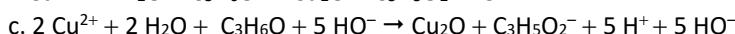
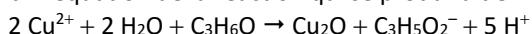
$V' < V_1$  : Fe<sup>3+</sup> est le réactif limitant :  $n'_1 - 4x'_{\max} = 0$  donc  $x'_{\max} = \frac{n'_1}{4} = 1,3 \times 10^{-5}$  mol.

Par conséquent,  $m = x'_{\max} M = 0,11$  g.

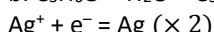
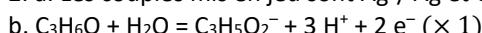
62 1. a. Les couples mis en jeu sont Cu<sup>2+</sup>/Cu<sub>2</sub>O et C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub><sup>-</sup>/C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O.



b. L'équation de la réaction qui se produirait en milieu acide est donc :



2. a. Les couples mis en jeu sont Ag<sup>+</sup>/Ag et C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub><sup>-</sup>/C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O.



Donc en milieu acide, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O + H<sub>2</sub>O + 2 Ag<sup>+</sup> → C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub><sup>-</sup> + 3 H<sup>+</sup> + 2 Ag.

D'où en milieu basique : C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O + H<sub>2</sub>O + 2 Ag<sup>+</sup> + 3 HO<sup>-</sup> → C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub><sup>-</sup> + 3 H<sup>+</sup> + 3 HO<sup>-</sup> + 2 Ag

et C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O + H<sub>2</sub>O + 2 Ag<sup>+</sup> + 3 HO<sup>-</sup> → C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub><sup>-</sup> + 3 H<sub>2</sub>O + 2 Ag

soit finalement : C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O + 2 Ag<sup>+</sup> + 3 HO<sup>-</sup> → C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub><sup>-</sup> + 2 H<sub>2</sub>O + 2 Ag

63 1. Le pont salin permet de fermer le circuit en assurant la conduction du courant.

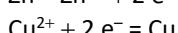
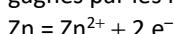
2. a. D'après l'indication de l'ampèremètre, le courant sort de l'électrode de cuivre et circule vers l'électrode de zinc. Or, le courant va de la borne + vers la borne -, d'où le schéma ci-contre.

b. Les électrons circulent dans les parties métalliques dans le sens inverse du courant.

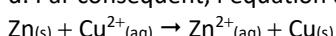
3. a. Le système chimique est le siège d'une réaction d'oxydo-réduction car il subit une transformation impliquant un transfert d'électrons.

b. Les couples mis en jeu dans cette pile sont Cu<sup>2+(aq)}/Cu<sub>(s)</sub> et Zn<sup>2+(aq)}/Zn<sub>(s)</sub>.</sup></sup>

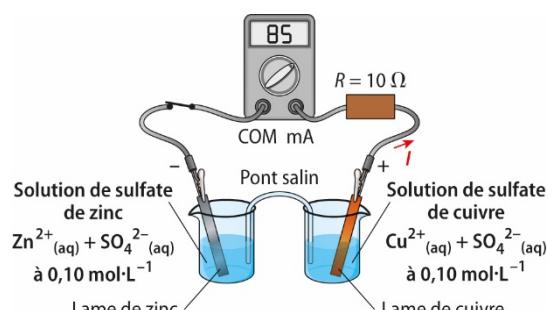
c. Les électrons partent de l'électrode de zinc donc le zinc est oxydé en ions zinc. Les électrons sont gagnés par les ions cuivre qui sont donc réduits en cuivre :



d. Par conséquent, l'équation de la réaction qui se produit lorsque la pile débite un courant est :

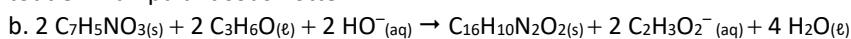


La quantité de matière des réactifs Zn<sub>(s)</sub> et Cu<sup>2+(aq)</sup> diminue donc, tandis que celle des produits Zn<sup>2+(aq)</sup> et Cu<sub>(s)</sub> augmente.



4. La pile ne peut pas fonctionner indéfiniment car un au moins des réactifs sera intégralement consommé si la réaction est totale.

**64** a. Le nitrobenzaldéhyde étant nocif et irritant, il faut porter une blouse, des gants et des lunettes, tout en manipulant sous hotte.



$$\text{c. La quantité de matière apportée de 2-nitrobenzaldéhyde est : } n_1 = \frac{m_1}{M_1} = 6,6 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

$$\text{La quantité de matière apportée d'acétone est : } n_2 = \frac{\rho V_2}{M_2} = 0,14 \text{ mol.}$$

$$\text{La quantité de matière apportée d'ions hydroxyde est : } n_3 = c_3 V_3 = 8,0 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

d. On dresse un tableau d'avancement pour la transformation étudiée.

		2 C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>3(s)</sub>	+ 2 C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>(l)</sub>	+ 2 HO <sub>(aq)</sub> <sup>-</sup>	→	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2(s)</sub>	+ 2 C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2(aq)</sub> <sup>-</sup>	+ 4 H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>
Avancement	Quantité de matière de...	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>3(s)</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>(l)</sub>	HO <sub>(aq)</sub> <sup>-</sup>		C <sub>16</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2(s)</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2(aq)</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 6,6 \times 10^{-3} \text{ mol}$	$n_2 = 0,14 \text{ mol}$	$n_3 = 8,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$		0	0	Solvant
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - 2x$	$n_2 - 2x$	$n_3 - 2x$		$x$	$2x$	Solvant
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - 2x_{\max} = 0$	$n_2 - 2x_{\max} = 0,13 \text{ mol}$	$n_3 - 2x_{\max} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ mol}$		$x_{\max} = 3,3 \times 10^{-3} \text{ mol}$	$2x_{\max} = 6,6 \times 10^{-3} \text{ mol}$	Solvant

Si le 2-nitrobenzaldéhyde est le réactif limitant,  $n_1 - 2x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = \frac{n_1}{2} = 3,3 \times 10^{-3} \text{ mol.}$

Si l'acétone est le réactif limitant,  $n_2 - 2x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = \frac{n_2}{2} = 6,8 \times 10^{-2} \text{ mol.}$

Si l'ion hydroxyde est le réactif limitant,  $n_3 - 2x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = \frac{n_3}{2} = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol.}$

La plus petite valeur de ces valeurs de  $x_{\max}$  ne peut être dépassée, donc  $x_{\max} = 3,3 \times 10^{-3} \text{ mol}$  : c'est le 2-nitrobenzaldéhyde qui est en défaut.

e. On complète la dernière ligne du tableau d'avancement avec la valeur de  $x_{\max}$  calculée précédemment.

D'après ce tableau, la masse d'indigo que l'on aurait pu récupérer est donc :  $m_{\text{théo}} = x_{\max} M = 0,87 \text{ g.}$

f. Cette masse est largement supérieure à la masse effectivement obtenue : on peut penser qu'il y a des pertes de matière liées aux manipulations au cours des différentes étapes de la synthèse.

g. Soit  $m$  la masse d'indigo produite annuellement. D'après le travail précédent, l'avancement maximal est donc  $x_{\max} = \frac{m}{M} = 1,9 \times 10^8 \text{ mol.}$

La quantité de matière de nitrobenzaldéhyde nécessaire est égale à  $2x_{\max}$  donc la masse correspondante est  $m'_1 = 2x_{\max} M = 5,8 \times 10^{10} \text{ g} = 58 \text{ kt.}$

La quantité de matière d'acétone nécessaire est aussi égale à  $2x_{\max}$  donc le volume correspondant est  $V'_2 = \frac{2x_{\max} M_2}{\rho_2} = 2,8 \times 10^{10} \text{ mL} = 2,8 \times 10^4 \text{ m}^3.$

**65** 1. a.  $2 \text{NO}_2 + 4 \text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$

b. Soit  $m_1$  la masse de dioxyde d'azote dégagée par kilomètre et soit  $M_1$  la masse molaire de ce gaz :

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{460 \times 10^{-3}}{46,0} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

c.

		2 NO <sub>2</sub>	+ 4 NH <sub>3</sub>	+ O <sub>2</sub>	→	3 N <sub>2</sub>	+ 6 H <sub>2</sub> O
Avancement	Quantité de matière de...	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>		N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$	$n_2 = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$	Excès		0	0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - 2x$	$n_2 - 4x$	Excès		$3x$	$6x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - 2x_{\max} = 0$	$n_2 - 4x_{\max} = 0$	Excès		$3x_{\max} = 1,50 \times 10^{-2} \text{ mol}$	$6x_{\max} = 3,00 \times 10^{-2} \text{ mol}$

d. La quantité de matière minimale  $n_2$  d'ammoniac qu'il faut engager pour traiter la quantité de matière  $n_1$  de polluant si la réaction est totale est telle que  $n_1 - 2x_{\max} = 0$  et  $n_2 - 4x_{\max} = 0$ .

Par conséquent,  $x_{\max} = \frac{n_1}{2} = 5,00 \times 10^{-3} \text{ mol}$  et  $n_2 = 4x_{\max} = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol.}$

Le mélange constitué alors est un mélange stœchiométrique.

2. a.

		CON <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	+	H <sub>2</sub> O	→	CO <sub>2</sub>	+	2 NH <sub>3</sub>
Avancement	Quantité de matière de...	CON <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		H <sub>2</sub> O		CO <sub>2</sub>		NH <sub>3</sub>
0	...apportée à l'état initial	$n = 1,00 \times 10^{-2}$ mol		Excès		0		0
$x$	...en cours de réaction	$n - x$		Excès		$x$		$2x$
$x'_f = x'_{\max}$	...présente à l'état final	$n - x'_{\max} = 0$		Excès	$x'_{\max} = 1,00 \times 10^{-2}$ mol	$2x'_{\max} = n_2 = 2,00 \times 10^{-2}$ mol		

D'après le tableau d'avancement,  $n_2 = 2x'_{\max}$  donc  $x'_{\max} = \frac{n_2}{2} = 1,00 \times 10^{-2}$  mol.

Or,  $n - x'_{\max} = 0$  donc  $n = x'_{\max} = 1,00 \times 10^{-2}$  mol.

b. Soit  $M$  la masse molaire de l'urée :

$$m = nM = 1,00 \times 10^{-2} \times 60,0 = 0,600 \text{ g}$$

$$\text{D'après l'étiquette, } m = \frac{32,5}{100} \times m' \text{ soit } m' = \frac{100}{32,5} \times m = \frac{100}{32,5} \times 0,600 = 1,85 \text{ g.}$$

$$\text{c. } \rho' = 1,09 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} = 1,09 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$V' = \frac{m'}{\rho'} = \frac{1,85}{1,09 \times 10^3} = 1,70 \times 10^{-3} \text{ L consommé par km.}$$

Un bidon d'AdBlue® a un volume  $V = 10 \text{ L}$

$$d = \frac{V}{V'} = \frac{10}{1,70 \times 10^{-3}} = 5,9 \times 10^3 \text{ km.}$$

66 La quantité de matière de chlorure de radium dissous est  $n_1 = \frac{m_1}{M_{\text{Ra}} + 2M_{\text{Cl}}}$ .

L'équation de la réaction de dissolution du chlorure de radium est  $\text{RaCl}_{2(\text{s})} \rightarrow \text{Ra}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{Cl}^{-}_{(\text{aq})}$

La quantité de matière d'ions chlorure introduits en solution est donc :

$$n_2 = 2n_1 = \frac{2m_1}{M_{\text{Ra}} + 2M_{\text{Cl}}}$$

La réaction entre les ions chlorure et les ions argent est  $\text{Ag}^{+}_{(\text{aq})} + \text{Cl}^{-}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{AgCl}_{(\text{s})}$

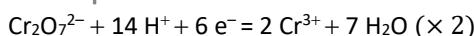
Cette réaction de précipitation consomme tous les ions chlorure initialement présents car les ions argent sont apportés en excès. Elle produit donc autant de chlorure d'argent qu'il y avait d'ions chlorure initialement, soit une quantité  $n_2$ . La masse de chlorure d'argent produit est donc :

$$m_2 = n_2(M_{\text{Ag}} + M_{\text{Cl}}) \text{ soit } m_2 = 2m_1 \frac{M_{\text{Ag}} + M_{\text{Cl}}}{M_{\text{Ra}} + 2M_{\text{Cl}}} \text{ d'où l'on extrait } M_{\text{Ra}} = \frac{2m_1}{m_2} (M_{\text{Ag}} + M_{\text{Cl}}) - 2M_{\text{Cl}}$$

soit  $M_{\text{Ra}} = 226,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

67

#### Question préliminaire



#### Problème

À l'aide de la photo, on estime que la moitié environ de la masse totale de cristaux a été transformée.

Soit  $m_1$  cette masse,  $M_1$  la masse molaire du dichromate de potassium. La quantité de matière de dichromate ayant réagi est  $n_1 = \frac{m_1}{M_1} = 4,3 \times 10^{-6}$  mol.

Dressons un tableau d'avancement pour la réaction étudiée, supposée totale.

		2 Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	+	3 C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	+	16 H <sup>+</sup>	→	4 Cr <sup>3+</sup>	+	3 C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	+	11 H <sub>2</sub> O
Avancement	Quantité de matière de...	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O		H <sup>+</sup>		Cr <sup>3+</sup>		C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>		H <sub>2</sub> O
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 4,3 \times 10^{-6}$ mol		$n_2 = 6,4 \times 10^{-6}$ mol		Excès		0		0		Solvant
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - 2x$		$n_2 - 3x$		Excès		$4x$		$3x$		Solvant
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - 2x_{\max} = 0$		$n_2 - 3x_{\max} = 0$		Excès		$4x_{\max} = 8,5 \times 10^{-6}$ mol		$3x_{\max} = 6,4 \times 10^{-6}$ mol		Solvant

D'après ce tableau, les quantités de matière des réactifs consommées sont telles que  $n_1 - 2x_{\max} = 0$  et

$$n_2 - 3x_{\max} = 0, \text{ soit } x_{\max} = \frac{n_1}{2} \text{ et } n_2 = 3x_{\max} = \frac{3n_1}{2} = 6,4 \times 10^{-6} \text{ mol.}$$

Soit  $m_2$  la masse d'éthanol expiré et  $M_2$  la masse molaire de l'éthanol :  $m_2 = n_2 M_2 = 2,9 \times 10^{-4}$  g.

Cette masse d'éthanol est celle qui est présente dans 1,0 L d'air expiré donc la teneur en éthanol de l'air expiré est  $2,9 \times 10^{-4}$  g·L<sup>-1</sup>.

Or, d'après le document 2, le taux d'alcool sanguin est 2 000 fois supérieur à la teneur dans l'air, donc il vaut ici 0,59 g·L<sup>-1</sup>.

Par conséquent, ce taux étant supérieur au taux limite de 0,50 g·L<sup>-1</sup>, le conducteur ne peut pas conduire.

## 68

### Question préliminaire

Le volume total  $V$  de tartre déposé sur le tambour est approximativement égal au produit de l'aire de la surface extérieure  $S$  du tambour par l'épaisseur  $\ell$  de la couche.

$$V = (2\pi R^2 + 2\pi Rh)\ell = 2,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3.$$

### Problème

La masse de tartre déposé est  $m = \rho V = 53$  g.

La quantité de matière de tartre correspondante est  $n = \frac{m}{M} = 0,53$  mol.

Soit  $c'$  la concentration en ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup><sub>(aq)</sub> et  $V'$  le volume du flacon.

La quantité de matière d'ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup><sub>(aq)</sub> dans le détartrant est  $n' = c' V' = 1,8$  mol.

Dressons un tableau d'avancement pour la réaction, supposée totale, qui se produit entre les ions H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> et le tartre.

		2 H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	CaCO <sub>3(s)</sub>	→	Ca <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	CO <sub>2(g)</sub>	+	3 H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>
Avancement	Quantité de matière de...	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>		CaCO <sub>3(s)</sub>		Ca <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>		CO <sub>2(g)</sub>		H <sub>2</sub> O
0	...apportée à l'état initial	$n' = 1,8$ mol		$n = 0,53$ mol		0		0		Solvant
$x$	...en cours de réaction	$n' - 2x$		$n - x$		$x$		$x$		Solvant
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n' - 2x_{\max} = 0,74$ mol		$n - x_{\max} = 0$		$x_{\max} = 0,53$ mol		$x_{\max} = 0,53$ mol		Solvant

Si H<sub>3</sub>O<sup>+</sup><sub>(aq)</sub> est le réactif limitant,  $n' - 2x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = \frac{n'}{2} = 0,90$  mol.

Si CaCO<sub>3(s)</sub> est le réactif limitant,  $n - x_{\max} = 0$  soit  $x_{\max} = n = 0,53$  mol.

La plus petite valeur de ces valeurs de  $x_{\max}$  ne peut être dépassée, donc  $x_{\max} = 0,53$  mol : c'est le tartre qui est en défaut.

Par conséquent, le flacon de détartrant suffit pour détartrer tout le tambour.

69 Soit  $V_2$  le volume,  $m_2$  la masse et  $n_2$  la quantité de matière de bioéthanol nécessaire pour faire fonctionner tout le parc automobile français :  $n_2 = \frac{\rho V_2}{M_2} = 4 \times 10^{10}$  mol.

Dressons un tableau d'avancement pour la réaction permettant de produire le bioéthanol.

		C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	+	H <sub>2</sub> O	→	4 C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	+	4 CO <sub>2</sub>
Avancement	Quantité de matière de...	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>		H <sub>2</sub> O		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O		CO <sub>2</sub>
0	...apportée à l'état initial	$n_1 = 1 \times 10^{10}$ mol		Solvant		0		0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - x$		Solvant		$4x$		$4x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - x_{\max} = 0$		Solvant		$4x_{\max} = n_2 = 4 \times 10^{10}$ mol		$4x_{\max} = n_2 = 4 \times 10^{10}$ mol

D'après ce tableau,  $n_2 = 4x_{\max}$  et  $n_1 - x_{\max} = 0$  donc  $x_{\max} = n_1 = \frac{n_2}{4} = 1 \times 10^{10}$  mol.

La masse de saccharose nécessaire est  $m_1 = n_1 M_1 = 4 \times 10^{12}$  g = 1 × 10<sup>6</sup> t.

Or, si  $m$  est la masse de betteraves nécessaire,  $m_1 = 0,195m$ , donc  $m = \frac{m_1}{0,195} = 2 \times 10^7$  t.

### 3. Dosages colorimétriques

#### Activités

p. 66 à 68

##### ① Dosage par étalonnage colorimétrique

###### Remarque

Cette activité expérimentale de dosage par étalonnage reprend largement les compétences acquises en seconde sur la question. Le principe même du dosage par étalonnage est supposé connu. L'accent sera mis ici sur la mesure d'absorbance et la vérification de la loi de Beer-Lambert.

###### Liste de matériel

###### Par binôme

- Spectrophotomètre ou colorimètre avec mode d'emploi (avec filtre adapté si besoin : voir remarques ci-après ; avec alimentation et accessoires de mesure si besoin)
- Pissette d'eau distillée
- Poire à pipeter
- Fiole jaugée de 50 mL et son bouchon
- Au moins deux cuves à spectrophotométrie
- Papier millimétré ou ordinateur avec tableur-grapheur et imprimante
- Flacon de solution de diode à  $10,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  étiqueté «  $S_0$  : diode  $10,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  », quantité suffisante pour 50 mL par binôme
- Flacon de solution de diode de concentration voisine de  $4,2 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  étiqueté «  $S_B$  Bétadine diluée dix fois », quantité suffisante pour 10 mL par binôme
- Éventuellement des pipettes compte-gouttes pour placer les solutions dans les cuves
- Feutre pour marquer la verrerie, chiffon

###### Pour la classe

- Jeu de pipettes jaugées de divers volumes permettant la réalisation de l'échelle de teintes par la classe ; par exemple, pour douze binômes, on peut faire faire chaque solution fille en double exemplaire, auquel cas il faut 10 pipettes de 20 mL, 2 de 10 mL, 4 de 5 mL (prévoir large)
- Cuves à spectrophotométrie supplémentaires
- Bidon de récupération de solutions halogénées
- Lunettes de protection et blouse pour chaque élève

###### Remarques

Avec certains modèles de colorimètres, la loi de Beer-Lambert est mal vérifiée dès que l'absorbance devient un peu trop grande. Ici, il faudrait mesurer une absorbance dans le bleu, mais si des essais préalables ont montré que le colorimètre sature, alors deux options sont possibles : – changer la longueur d'onde de travail (ce n'est pas conforme à la règle donnée du maximum d'absorption, mais c'est compréhensible par un élève et la discussion à ce sujet est intéressante ; on peut même faire faire un binôme témoin dans le bleu pour montrer la saturation) ;

– laisser faire la mesure avec saturation à tous et montrer que la loi de Beer-Lambert est vérifiée pour les concentrations les plus basses, mais pas les plus élevées. Il peut arriver aussi, selon les modèles de colorimètres, que les erreurs aléatoires soient très visibles pour les faibles concentrations. Le graphique d'étalonnage sera alors très bruité et peu exploitable. Il faut dans ce cas augmenter les concentrations, par exemple tout multiplier par deux (et donc ne diluer que cinq fois la Bétadine®).

Enfin, il arrive que les points placés sur le graphique d'étalonnage puissent bien être modélisés par une droite, mais ne passant pas par l'origine. Il est probable que ce soit le réglage du zéro du colorimètre qui soit en cause. Qu'il y ait saturation ou non, que l'ordonnée à l'origine soit nulle ou pas, la courbe d'étalonnage peut être utilisable pour le dosage de la solution de Bétadine® dermatique diluée. Si le graphique est en revanche très bruité, il ne sera pas exploitable.

1. Échelle de teintes : le nombre de solutions effectivement réalisées pourra dépendre de la taille de la classe.

Nom de la solution	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$
Concentration $c$ (en $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	10,0	8,0	6,0	5,0	4,0	2,0	1,0
Volume (en mL) de $S_0$ à prélever pour 50 mL de solution fille		40	30	25	20	10	5,0
Pipettes jaugées à utiliser (en mL)		20 + 20	20 + 10	25 ou 20 + 5	20	10	5

2. Il faut travailler vers 450 nm, car c'est à cette longueur d'onde que l'absorbance est la plus élevée. On peut aussi choisir une autre longueur d'onde si l'on constate la saturation de l'appareil au maximum d'absorption.

3. Tracé du graphique d'étalonnage.

4. La loi est vérifiée si l'appareil ne sature pas.

5. On peut soit utiliser seulement le graphique (seule solution possible si la loi de Beer-Lambert n'est pas vérifiée convenablement), soit utiliser l'équation de la droite. Ne pas oublier de multiplier par 10 pour obtenir la concentration de la Bétadine® commerciale.

###### Bilan

- Trois grandes étapes du dosage :
- réalisation de la gamme d'étalonnage à partir d'une solution de concentration connue ;
- mesures et construction du graphe d'étalonnage (et modélisation par une droite si la loi de Beer-Lambert est vérifiée) ;
- détermination de la concentration de la solution testée à l'aide du graphe ou de son équation.

- La conséquence sur le protocole est que cela impose la dilution de la solution dosée. Si l'on n'avait pas dilué la Bétadine® commerciale, d'une part son absorbance ne serait pas rentrée dans le graphe et, d'autre part, on n'aurait peut-être pas pu extrapoler le graphe ou utiliser l'équation de la droite, étant donné que la loi de Beer-Lambert n'est pas valable aux concentrations élevées.

## ② Dosage par titrage d'une solution colorée

### Remarque

Cette activité est une introduction à la notion de titrage, utilisant, comme le préconise le programme, des réactions d'oxydo-réduction où le repérage de l'équivalence se fait à l'œil par observation d'un changement de couleur. Comme il s'agit d'une activité de découverte, les questions s'attardent sur le vocabulaire et laissent peu d'initiatives à l'élève.

Cette activité expérimentale est suivie d'une autre, moins guidée, sur le même principe. Les deux activités peuvent être faites dans la même séance de TP de deux heures.

### Liste de matériel

#### Par binôme

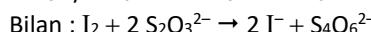
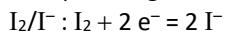
- Burette graduée de 25 mL
  - Agitateur magnétique + barreau aimanté (si besoin du papier blanc à mettre sur l'agitateur pour repérer la couleur)
  - Erlenmeyer de 125 mL environ
  - Pipette jaugée de 10 mL
  - Poire à pipeter
  - Bécher de prélèvement
  - Verre à pied en guise de poubelle
  - Flacon de solution de thiosulfate de sodium à  $5,00 \times 10^{-2}$  mol·L<sup>-1</sup>, étiqueté « Solution de thiosulfate de sodium 5,00 × 10<sup>-2</sup> mol·L<sup>-1</sup> », quantité suffisante pour 50 mL par binôme
  - Flacon de Lugol® (solution de diiode à 10 g·L<sup>-1</sup>) étiqueté « Lugol », quantité suffisante pour 25 mL par binôme
  - Pissette d'eau distillée
  - Flacon compte-gouttes d'embois d'amidon
  - Chiffon
- Pour la classe
- Cannes magnétiques pour récupérer les barreaux aimantés
  - Bidon de récupération de solutions halogénées
  - Lunettes de protection et blouse pour chaque élève

### Remarques

On veillera à insister sur la rédaction des réponses (questions 3a, b, c) qui peuvent également servir de modèle à apprendre par cœur.

L'utilisation d'embois d'amidon, certes standard pour ce titrage, n'est pas indispensable pour une première approche des titrages (avec du soin on peut repérer l'équivalence avec une bonne précision sans embois d'amidon).

- a. Le réactif titré est le diiode I<sub>2</sub>, le réactif titrant est l'ion permanganate MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>.



- b. Montage du titrage avec légende adaptée.

- Le volume équivalent doit être proche de  $V_{\text{éq}} = 15,8$  mL, valeur attendue.

- a. La quantité de matière de réactif titrant apporté à l'équivalence est  $n = cV_{\text{éq}}$ .

- b. D'après la stoechiométrie de la réaction de titrage, la quantité de matière de diiode initialement présent était deux fois inférieure :  $n_1 = \frac{n}{2}$ .

- c. La concentration molaire du Lugol® est donc  $c_1 = \frac{n_1}{V_1}$ , donc sa concentration en masse  $C_m = c_1 M_{\text{I}_2}$ .

### Bilan

On peut aussi repérer l'équivalence à l'œil lorsque seul le réactif titrant est coloré : au début du titrage, le mélange réactionnel est incolore. Lorsque la couleur du réactif titrant persiste dans le mélange réactionnel, c'est qu'on a dépassé l'équivalence.

## ③ Manganimétrie

### Remarque

Cette activité peut être traitée juste après la précédente, dans la même séance de TP de deux heures, ou en réinvestissement dans une autre séance. Elle suppose les notions relatives aux titrages déjà étudiées.

### Liste de matériel

#### Par binôme

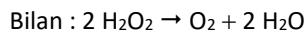
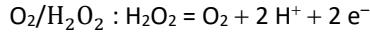
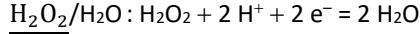
- Burette graduée de 25 mL
  - Agitateur magnétique et barreau aimanté (si besoin du papier blanc à mettre sur l'agitateur pour repérer la couleur)
  - Erlenmeyer de 125 mL environ
  - Pipettes jaugées de 5 mL et 10 mL
  - Fiole jaugée de 50 mL + Poire à pipeter
  - Deux bêchers de prélèvement
  - Verre à pied en guise de poubelle
  - Flacon de solution de permanganate de potassium à  $2,00 \times 10^{-2}$  mol·L<sup>-1</sup> très acidifié, étiqueté « Solution de permanganate de potassium 2,00 × 10<sup>-2</sup> mol·L<sup>-1</sup> », quantité suffisante pour 50 mL par binôme
  - Flacon d'eau oxygénée à 10 volumes (solution de peroxyde d'hydrogène à 0,83 mol·L<sup>-1</sup>) étiqueté « Eau oxygénée 10 volumes », quantité suffisante pour 25 mL par binôme
  - Pissette d'eau distillée
  - Chiffon
- Pour la classe
- Cannes magnétiques pour récupérer les barreaux aimantés
  - Bidon de récupération de solution de permanganate de potassium (à réduire ensuite par ions fer (II))
  - Lunettes de protection et blouse pour chaque élève

**Remarques**

Ce TP se veut un réinvestissement des notions vues en cours ou lors du TP précédent. Le questionnement de l'élève est cependant guidé pour amener à la nécessité de diluer la solution titrée pour en faire le titrage.

En revanche, le compte-rendu est laissé libre. On veillera, dans sa correction, à insister sur la rédaction des raisonnements relatifs aux titrages.

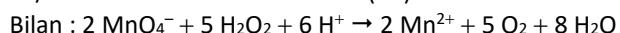
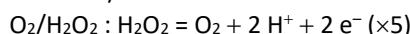
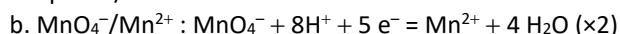
Le calcul de la concentration  $c_0$  peut être fait en préliminaire guidé par l'enseignant. La réaction de dismutation du peroxyde d'hydrogène est la suivante :



Un volume de dioxygène  $V_{\text{gaz}} = 10 \text{ L}$  contient une quantité de matière de dioxygène  $n_{\text{gaz}} = \frac{V_{\text{gaz}}}{V_m} = 0,42 \text{ mol}$ .

D'après la stœchiométrie de la réaction de dismutation du peroxyde d'hydrogène, il y avait deux fois plus de  $\text{H}_2\text{O}_2$  au départ dans un litre de solution, ce qui fait bien une concentration  $c_0 = 0,83 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

1. a. Puisque l'ion permanganate, oxydant, est réactif titrant,  $\text{H}_2\text{O}_2$  est titré comme réducteur, donc dans le couple  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ .



c. La réaction implique les ions  $\text{H}^+$ , qui ne sont présents que si on les apporte grâce à l'acide sulfurique.

d. La seule espèce colorée est l'ion permanganate. Non présent dans le milieu réactionnel au début du titrage, il n'apparaît que lorsque la réaction de titrage est terminée, donc après l'équivalence. L'équivalence est donc repérée à la persistance de la coloration violette, à la goutte près.

e. Si l'on titre  $V_0 = 10 \text{ mL}$  d'eau oxygénée de concentration  $c_0 = 0,83 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , on titre une quantité de matière de peroxyde d'hydrogène  $n_0 = c_0 V_0$

$= 8,3 \times 10^{-3} \text{ mol}$ . D'après la stœchiométrie de la réaction de titrage, la quantité de matière d'ions permanganate nécessaires est  $n = \frac{2}{5} n_0 = 3,3 \times 10^{-3} \text{ mol}$ . Le volume de solution titrante qui contient cette quantité de matière d'ions permanganate est  $V = \frac{n}{c} = 0,17 \text{ L}$ . La burette faisant 25 mL, il faudrait passer six burettes entières avant d'atteindre le volume équivalent. Voilà pourquoi on titre plutôt une solution diluée.

2. Le volume équivalent attendu du titrage de cette solution diluée est  $V_{\text{éq}} = 16,7 \text{ mL}$ .

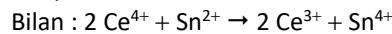
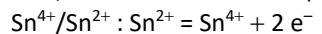
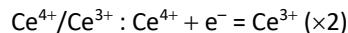
**Bilan**

Les attendus du compte-rendu sont donnés.

**Exercices**

p. 75 à 83

26 a. Le réactif titrant est l'ion étain  $\text{Sn}^{2+}$ , le réactif titré l'ion cérium IV  $\text{Ce}^{4+}$ .



b. L'équivalence est repérée à la disparition de la couleur orange du réactif titré.

c. La quantité de matière de réactif titrant  $\text{Sn}^{2+}$  apportée à l'équivalence est  $n = cV_{\text{éq}}$ .

D'après la stœchiométrie de la réaction de titrage, la quantité de matière de réactif titré  $\text{Ce}^{4+}$  initialement présent était double. La concentration d'ions  $\text{Ce}^{4+}$  de la solution titrée est donc  $c_1 = \frac{2cV_{\text{éq}}}{V_1} = 4,18 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

28 a. Cette solution absorbe dans le bleu et le vert, laisse passer le rouge, donc apparaît rouge.

b. Il faut utiliser la longueur d'onde du maximum d'absorption, 450 nm.

29 a. L'absorbance de la solution à 450 nm est  $A_{450} = 1,8$ .

La concentration de la solution est donc  $c = \frac{A_{450}}{\epsilon_{450} l} = 6,2 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

b. L'absorbance à 500 nm de cette solution est  $A_{500} = 1,0$ .

Le coefficient d'absorption molaire de cette solution à 500 nm est donc  $\epsilon_{500} = \frac{A_{500}}{\ell c} = 1,6 \times 10^2$ .

31 a. D'après le graphe, la concentration de la solution est  $2,4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

b. D'après la loi de Beer-Lambert, la concentration de la solution inconnue est  $c = \frac{0,68}{290 \times 1,0} = 2,3 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

32 a. Au début du titrage, l'rlenmeyer contient B, mais pas les autres.

b. Avant l'équivalence, l'rlenmeyer contient B, C, D, mais pas A.

c. À l'équivalence, l'rlenmeyer contient C et D, mais ni A ni B.

d. Après l'équivalence, l'rlenmeyer contient A, C, D, mais pas B.

33 L'équivalence d'un titrage est l'état du titrage où le réactif titrant et le réactif titré ont été apportés dans les proportions stœchiométriques de la réaction de titrage. L'équivalence d'un titrage est l'état du titrage où le réactif limitant de la réaction de titrage change. L'équivalence d'un titrage est l'état du titrage où l'on a apporté juste assez de réactif titrant pour consommer tout le réactif titré initialement présent.

On peut la repérer à l'œil, lorsque seul le réactif titrant est coloré (alors l'équivalence est atteinte à la persistance de la couleur du réactif titrant dans le mélange réactionnel) ou lorsque seul le réactif titré est coloré (alors l'équivalence est atteinte à la disparition de la couleur du réactif titré dans le mélange réactionnel).

**34** Avant l'équivalence, le mélange réactionnel est incolore. Après l'équivalence, il est rouge.

- 35** a. a représente la quantité de matière de A (non présent avant l'équivalence), b la quantité de matière de D (produit de la réaction, coefficient stœchiométrique 1), c la quantité de matière de C (produit, coefficient 2) et d la quantité de matière de B (réactif titré, consommé à l'équivalence).  
 b. Le volume équivalent est celui où le réactif titré est consommé sans que le réactif titrant soit apporté en excès, donc ici  $V_{\text{éq}} = 10 \text{ mL}$ .

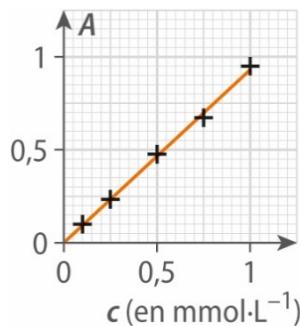
**36** a. À l'équivalence, la quantité de matière de réactif titrant apporté est juste suffisante pour consommer tout le réactif titré initialement présent. Vu la stœchiométrie de la réaction de titrage, on en déduit que  $n_{\text{Bi}} = 2 n_{\text{Aéq}}$ .  
 b. Pour avoir la concentration en quantité de matière de la solution titrée, il faudrait avoir la valeur du volume de solution titrée prélevée. Pour avoir sa concentration en masse, il faudrait avoir la masse molaire du soluté titré.

- 37** a. Faux : une solution jaune laisse passer le jaune.  
 b. Faux : cela dépend des autres couleurs qu'elle laisse passer.  
 c. Vrai : on ne peut pas obtenir du jaune en superposant du bleu à une autre couleur.

- 38** a.  $A_1 = \varepsilon \ell_1 c_1 = 0,25$   
 b.  $A_1 = \varepsilon \ell_2 c_1 = 1,0$   
 c.  $A_3 = \varepsilon \ell_1 c_3 = 0,50$   
 d.  $c_4 = \frac{A_4}{\varepsilon \ell_1} = 4,0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

- 40** a. Les deux solutions laissent passer le vert et absorbent le rouge et le bleu, donc on les voit vertes.  
 b. L'absorbance de la solution de chlorophylle a à 420 nm est  $A_a = 1,3$ . Sa concentration est donc  $c_0 = \frac{A_a}{\varepsilon_a \ell} = 1,2 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . L'autre solution a la même concentration.  
 c. L'absorbance de la solution de chlorophylle b à 460 nm est  $A_b = 1,7$ . Son coefficient d'absorption molaire à 460 nm est donc  $\varepsilon_b = \frac{A_b}{c_0 \ell} = 1,4 \times 10^5 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

- 41** a. Voici le graphe.  
 Son coefficient directeur est  $k = 9,3 \times 10^2 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ .  
 Le coefficient d'absorption molaire de l'espèce absorbante est donc  $\varepsilon = \frac{k}{\ell} = 9,3 \times 10^2 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$   
 b. À l'aide du graphe on détermine la concentration de l'eau :  $c = 0,90 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ .



c. La concentration en masse correspondante est  $C_m = c M_{\text{NO}_3^-} = 59 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  : l'eau est impropre à la consommation.

- 43** a. Faux : B n'est pas présent avant l'équivalence alors que D est formée.  
 b. Vrai : chaque B apporté produit un C.  
 c. Faux : à l'équivalence il n'y a pas de B alors que D a été formée.  
 d. et e. Faux car la stœchiométrie n'est pas de 1 pour 1.

- 44** a. On peut repérer l'équivalence à l'apparition de la couleur du réactif titrant.  
 b. On peut repérer l'équivalence à la disparition de la couleur du réactif titré.  
 c. On peut repérer l'équivalence, lorsque la couleur du réactif titré disparaît et celle du réactif titrant apparaît.  
 d. On ne peut pas repérer l'équivalence à la couleur, car la couleur du produit est présente au début.

- 45** a. On ne peut pas repérer l'équivalence car la seule espèce colorée est un produit.  
 b. On peut repérer l'équivalence à la persistance de la coloration brune du dibrome.  
 c. On peut repérer l'équivalence à la persistance de la coloration jaune du diiode.  
 d. On peut repérer l'équivalence à la disparition de la couleur jaune du diiode.

- 46** a. On ne peut pas repérer l'équivalence car la couleur de l'in Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> qui croît au début du titrage empêche de repérer un changement de couleur.  
 b. On peut repérer l'équivalence à l'apparition de la couleur violette de l'ion permanganate.  
 c. On ne peut pas repérer l'équivalence car la couleur verte de l'ion Cr<sup>3+</sup> qui apparaît du début empêche de voir un changement de couleur.  
 d. On peut repérer l'équivalence à la disparition de la couleur violette.

- 47** a. La concentration de la solution titrante est  $c$ , la quantité de matière d'éthanol introduit est  $n_0$ , le volume équivalent est  $V_{\text{éq}}$ .  
 b. À l'équivalence, le réactif titrant et le réactif titré sont entièrement consommés. On note  $x_{\text{max}}$  l'avancement maximal de la réaction support du titrage à l'équivalence.

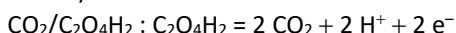
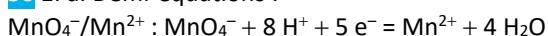
Réaction	2 Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> (aq) + 3 C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O(aq) + 16 H <sup>+</sup> (aq) → ...		
Quantités de matière de...	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	H <sup>+</sup>
...apportées à l'équivalence	$cV_{\text{éq}}$	$n_0$	Excès
...présentes à l'équivalence	$cV_{\text{éq}} - 2x_{\text{max}} = 0$	$n_0 - 3x_{\text{max}} = 0$	

- c. On en déduit que  $x_{\text{max}} = \frac{cV_{\text{éq}}}{2}$   
 puis que  $n_0 = 3x_{\text{max}} = \frac{3cV_{\text{éq}}}{2}$

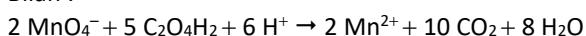
**48** a. La courbe 1 représente la quantité de matière de  $\text{Cr}^{3+}$ , la courbe 2 celle de  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ , qui sont des produits (donc leur courbe croît du début), et qu'on départage à l'aide des coefficients stœchiométriques de la réaction. La courbe 3 est la quantité de matière de réactif  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ , qui décroît du début. La courbe 4 est celle de  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , qui apparaît après l'équivalence.

b. Le volume équivalent, d'après la lecture de l'abscisse de la rupture de pente des courbes, est  $V_{\text{éq}} = 12,5 \text{ mL}$ . La quantité de matière d'éthanol initialement présente est l'ordonnée à l'origine de la courbe 3, donc  $n_0 = 0,030 \text{ mol}$ . La concentration de la solution titrante se déduit de la relation obtenue à l'exercice précédent,  $c = \frac{2n_0}{3V_{\text{éq}}} = 1,6 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

**50** 1. a. Demi-équations :



Bilan :



b. Le réactif titré est l'acide oxalique, le réactif titrant l'ion permanganate, on repère l'équivalence à l'apparition de la couleur violette.

2. a. La solution titrée a une concentration en masse attendue  $C_m = 50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Sa concentration molaire attendue est donc  $c_0 = \frac{t_0}{M_{\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_2}} = 0,56 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

b. Si l'on titre un volume  $V_0 = 20 \text{ mL}$  de cette solution, on apporte une quantité de matière :

$$n_0 = c_0 V_0 = 1,1 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

D'après la stœchiométrie de la réaction de titrage, il faut apporter une quantité de matière de réactif titré  $n = \frac{2}{5} n_0$  pour atteindre l'équivalence. Cette quantité de matière est contenue dans un volume de solution titrante

$$V = \frac{n}{c} = \frac{2c_0 V_0}{5c} = 89 \text{ mL}$$

c. Ceci ne tient pas dans une burette de 25 mL. On dilue donc la solution à tester.

3. Schéma du montage de titrage.

4. La quantité de matière de réactif titrant apportée à l'équivalence est  $n = cV_{\text{éq}}$ . D'après la stœchiométrie de la réaction de titrage, la quantité de matière de réactif titré initialement présent était  $n_1 = \frac{5}{2} n_0$ , donc la concentration de la solution titrée est :

$$c_1 = \frac{5cV_{\text{éq}}}{2V_1} = 4,9 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

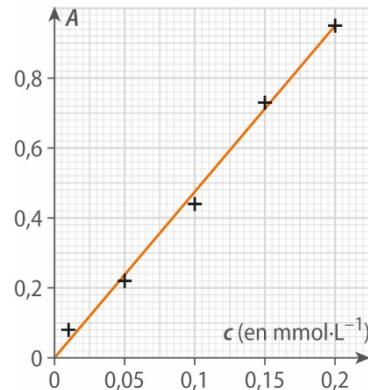
Celle de la solution-mère est donc  $c_0 = 10c_1 = 0,49 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , ce qui fait une concentration en masse de  $44 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , assez nettement en dessous de la valeur annoncée.

5. Voir le simulateur.

**51** a. À 500 nm, la solution absorbe puisqu'elle est rouge. Donc on peut mesurer son absorbance.

b. Voir le graphe d'étalonnage (page suivante).

Le coefficient directeur est  $k = 4,8 \times 10^3 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ .



c. Pour  $A = 0,69$ , on lit une concentration  $c = 0,14 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ . La concentration en masse est donc  $C_m = cM_{\text{Fe}} = 7,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Celle de la solution issue du médicament était donc dix fois plus concentrée, soit  $78 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Comme elle contenait tout le comprimé, cela fait 78 mg d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  pour un comprimé.

**52** a. La moyenne est  $V_{\text{éq}} = 13,18666 \dots \text{ mL}$ .

b. À l'aide de la relation de la fiche-méthode, on calcule  $U_A = 0,064 \text{ mL}$ .

c. L'incertitude sur une mesure unique est

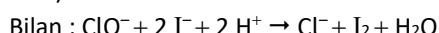
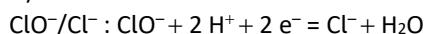
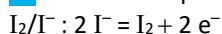
$$U_B = \frac{0,1 \text{ mL}}{\sqrt{3}} = 0,058 \text{ mL}$$

d. L'incertitude-type associée à la mesure du volume équivalent est donc  $U = 0,2 \text{ mL}$ .

e. On écrit finalement  $V_{\text{éq}} = 13,2 \text{ mL} \pm 0,2 \text{ mL}$ .

f. L'intervalle de confiance est [13,0 mL ; 13,4 mL].

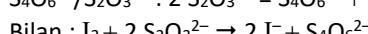
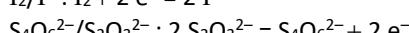
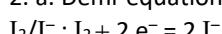
**53** 1. a. Demi-équations :



b. La quantité de matière formée par cette réaction est égale à la quantité de matière d'ions hypochlorite initialement présents.

c. Les ions iodure ont juste à être en excès, la quantité de matière précise apportée n'a pas d'importance, donc on peut utiliser une éprouvette graduée.

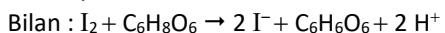
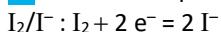
2. a. Demi-équations :



b. L'équivalence est repérée à la disparition de la couleur jaune du diiode.

3. La quantité de matière d'ions thiosulfate apportée à l'équivalence est  $n = cV_{\text{éq}}$ . D'après la stœchiométrie de la réaction de titrage, on en déduit la quantité de matière de diiode initialement présent, deux fois inférieure. C'est aussi la quantité de matière d'ions hypochlorite dans le prélèvement d'eau de Javel diluée. La concentration de cette solution était donc  $c_1 = \frac{cV_{\text{éq}}}{2V_1}$ . La solution-mère a donc pour concentration  $c_0 = 10c_1 = \frac{5cV_{\text{éq}}}{V_1}$ .

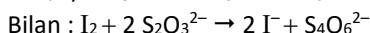
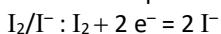
On calcule  $c_0 = 0,41 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

**54** 1. a. Demi-équations :

b. La quantité de matière de diiode apporté est

$$n_2 = c_2 V_2 = 5,00 \times 10^{-5} \text{ mol.}$$

## 2. a. Demi-équations :



b. Le réactif titré est le diiode, le réactif titrant est l'ion thiosulfate.

c. L'équivalence est repérée à la disparition de la coloration jaune du diiode.

3. a. La quantité de matière d'ions thiosulfate apportée à l'équivalence est  $n = cV_{\text{éq}}$ . D'après la stœchiométrie de la réaction de titrage, on en déduit que la quantité de matière de diiode initialement présent était deux fois plus petite, donc  $n_t = \frac{cV_{\text{éq}}}{2} = 2,2 \times 10^{-5} \text{ mol}$ .

b. D'après la réaction de consommation de l'acide ascorbique, la quantité de matière de diiode consommée par cette réaction est  $n_2 - n_t$ . C'est aussi la quantité de matière d'acide ascorbique ayant réagi.

c. La quantité de matière d'acide ascorbique dans un comprimé est cent fois supérieure puisqu'on n'a pris que 10 mL sur le litre de solution contenant la totalité du comprimé. On en déduit donc la quantité de matière d'acide ascorbique dans un comprimé :

$$n_0 = 100(n_2 - n_t) = 2,8 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

La masse correspondante est  $m_{\text{exp}} = n_0 M_{C_6H_8O_6} = 0,49 \text{ g}$ .

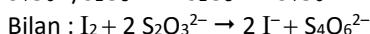
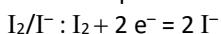
d. L'écart relatif est 2 %, ce qui est tout à fait acceptable.

4. Si on trouve plus que la valeur attendue suite à une erreur, c'est soit que  $n_2$  a été surévaluée, donc que  $c_2$  a été surestimée, soit que  $n_t$  a été sous-estimée, donc que  $c$  a été sous-estimée.

**55**

## Questions préliminaires

## a. Demi-équations :



b. Le diiode est le réactif titré, l'ion thiosulfate le réactif titrant. L'équivalence est repérée à la disparition de la couleur jaune du diiode.

## Problème

La quantité de matière de réactif titrant  $S_2O_3^{2-}$  apportée à l'équivalence est  $n = cV_{\text{éq}}$ .

La stœchiométrie de la réaction de titrage permet d'affirmer que la quantité de matière de diiode initialement présent est deux fois inférieure. D'après la réaction écrite dans le document 2, la quantité de matière de dioxygène qui a été consommé est encore deux fois inférieure.

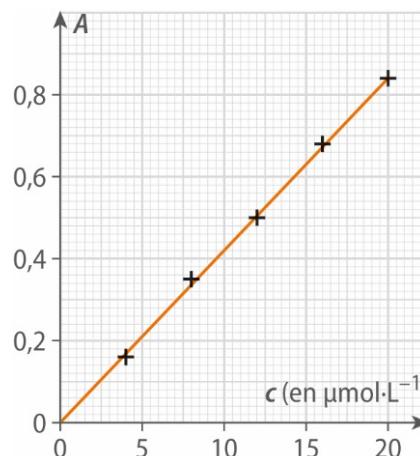
Le volume d'eau testé étant  $V_1 = 150 \text{ mL}$ , on en déduit la concentration molaire en dioxygène dissous :

$$c_1 = \frac{n}{4V_1} = \frac{cV_{\text{éq}}}{4V_1} = 2,20 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

La concentration en masse en dioxygène dissous est donc  $C_m = c_1 M_{O_2} = 7,04 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Ceci étant compris entre 5  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  et 10  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , l'eau est donc saine.

**56** Prenons une masse corporelle 70 kg. La masse de bonbons que l'on peut ingurgiter quotidiennement est  $m_b = 70 \times 2,5 = 1,8 \times 10^2 \text{ mg}$ , soit  $m_b = 0,18 \text{ g}$ . On trace le graphe d'étalonnage.

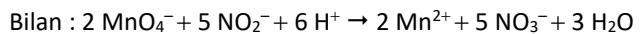
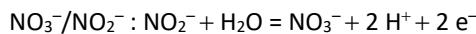
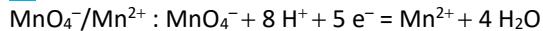


L'absorbance du bonbon étant 0,44, on en déduit la concentration en bleu patenté  $V$  dans la solution :  $c = 10,5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

La solution issue d'un bonbon ayant un volume  $V = 100 \text{ mL}$ , la quantité de matière de bleu patenté  $V$  dans un bonbon est  $n = cV = 1,05 \times 10^{-6} \text{ mol}$ .

La masse de bleu patenté  $V$  dans un bonbon est donc  $m_1 = nM = 6,11 \times 10^{-4} \text{ g}$ .

Le nombre de bonbons qu'on peut manger chaque jour sans dépasser la DJA de bleu patenté  $V$  est donc  $\frac{m_b}{m_1} = 2,9 \times 10^2$ .

**57** Demi-équations :

La quantité de matière d'ions permanganate apportés à l'équivalence est  $cV_{\text{éq}}$ . D'après la stœchiométrie de la réaction de titrage, la quantité de matière d'ions nitrite initialement présents était  $\frac{5}{2} cV_{\text{éq}}$ .

La quantité de matière d'ions nitrite dans tout le pot de rillettes est vingt fois supérieure, donc  $50cV_{\text{éq}}$ .

La masse de nitrite de sodium dans le pot de 500 g est donc  $50cV_{\text{éq}} M_{NaNO_2}$  soit, pour un kilogramme de rillettes, deux fois plus :  $100cV_{\text{éq}} M_{NaNO_2} = 77,3 \text{ mg}$ .

Les rillettes sont donc conformes à la législation.

## 4. Structure des espèces chimiques

### Activités

p. 88 à 90

#### ① Géométrie des molécules

1. a. Le schéma de Lewis fait apparaître les doublets non liants et les doubles liaisons qui n'apparaissent pas sur le modèle moléculaire.
- b. Le schéma de Lewis apparaît plus riche en informations.
2. Le modèle moléculaire permet de voir que la molécule d'éthanol n'est pas plane et que les atomes sont répartis dans l'espace.
3. a. Les atomes de la molécule d'éthène sont tous dans le même plan.
- b. Les quatre atomes (trois d'hydrogène et un de carbone) forment une pyramide à base triangulaire, c'est-à-dire un tétraèdre.
- c. Les trois atomes forment un triangle.
4. Les 3 atomes formant  $\text{CO}_2$  sont alignés, ils forment une droite. Les trois atomes formant  $\text{H}_2\text{O}$  ne sont pas alignés, ils forment un triangle.

#### Bilan

- Carbone tétragonal : éthanol et éthane.
- Carbone trigonal : éthène.
- Carbone digonal : dioxyde de carbone.
- Pour les molécules d'éthanol et d'eau, la géométrie est coudée et le schéma de Lewis est le suivant dans les deux cas :



- Dans le dioxyde de carbone, l'atome d'oxygène forme une double liaison et il n'est pas question de géométrie autour de lui.

#### ② Tableau périodique et électronégativité

1. L'atome le plus électronégatif est le fluor, l'atome le moins électronégatif est francium.
2. Ces atomes ne forment pas de liaison covalente.
3. Suivant une ligne, l'électronégativité augmente, alors qu'elle diminue sur une colonne.
4. a. **Liaisons de la première famille**

Liaison C–N :  $\Delta\chi = 3,04 - 2,55 = 0,49$

Liaison O–H :  $\Delta\chi = 3,44 - 2,20 = 1,24$

Liaison H–Cl :  $\Delta\chi = 3,16 - 2,20 = 0,96$

#### b. **Liaisons de la deuxième famille**

Liaison C–H :  $\Delta\chi = 2,55 - 2,20 = 0,35$

Liaison H–N :  $\Delta\chi = 0$

Liaison Si–P :  $\Delta\chi = 0,29$

- b. La flèche est toujours tracée de l'atome le moins électronégatif vers l'atome le plus électronégatif.

- c. On peut en déduire que la liaison n'est pas polarisée ; cela était prévisible car les atomes d'hydrogène étant identiques, il n'y a pas un atome qui va attirer le doublet à lui plus que l'autre.

#### Bilan

- La liaison polarisée est représentée par une flèche dirigée de l'atome le moins vers l'atome le plus électronégatif.
- Pour la valeur 0,35, la liaison n'est pas polarisée et à 0,49 elle l'est. On peut donc considérer que la valeur est environ de 0,4.

#### ③ Solides de Platon et molécules

- a. Un cube possède huit sommets, le tétraèdre en possède quatre et l'octaèdre six.
- b. Méthane : tétraèdre ; ammoniac : tétraèdre ; eau : tétraèdre et hexafluorure de soufre : octaèdre.
- c.

Méthane	Ammoniac
Eau	Hexafluorure de soufre

- d. Les doublets non liants se repoussent.
- e. D'après le doc. 3, l'angle varie selon le nombre de doublets non liants entourant l'atome central.

La présence des doublets non liants fait diminuer la valeur de l'angle entre les liaisons.

- f. Les angles sont, d'après le doc. 3 :

- Méthane :  $109^\circ$
- Ammoniac :  $< 109^\circ$
- Eau :  $< 109^\circ$
- Hexafluorure de soufre :  $90^\circ$

#### Bilan

- Les molécules peuvent former un tétraèdre, une pyramide à base triangulaire, un coude ou une bipyramide à base carrée.
- Le nombre de doublets entourant un atome et, à nombre égal, le nombre de doublets non liants.

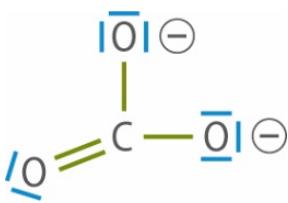
**Exercices**

p. 96 à 105

- 26** a. Pour le carbone, il manque 4 électrons sur la couche externe et pour l'oxygène il manque 2 électrons.

b. Schéma de Lewis : voir ci-contre.

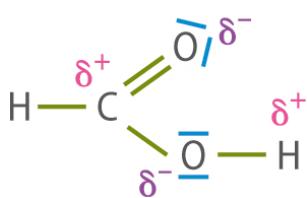
c. L'atome central est entouré de deux liaisons simples et une liaison double, donc l'équivalent de trois doublets : l'ion est triangulaire plan.



- 28** a. L'atome de carbone est entouré de l'équivalent de trois doublets (deux liaisons simples et une liaison double).

b. Voir ci-contre.

c. La molécule possède des liaisons polarisées et les centres de charges partielles ne sont pas confondus : la molécule est donc polaire.



- 31** Seul le troisième schéma est juste, un atome d'hydrogène possède deux liaisons dans le premier, et il manque les doublets non liants de l'atome d'oxygène sur le deuxième schéma.

- 33** a. Cl ( $Z = 17$ ) a pour configuration électronique :

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

b. Il doit établir une seule liaison.

c. Schéma de Lewis :



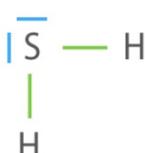
d. La molécule est linéaire.

- 36** a. Schéma de Lewis : voir ci-contre.

b. L'atome central est entouré de quatre doublets : deux liants et deux non liants.

c. L'environnement géométrique est un tétraèdre.

d. La molécule est coudée.



- 38** a. La liaison n'est pas polarisée car la différence d'électronégativité entre les deux atomes est trop faible.
- b. La molécule n'est pas polaire car elle ne possède pas de liaison polarisée.

- 40** a. K ( $Z = 19$ ) a pour configuration électronique :

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

b. L'atome n'est pas stable car il ne possède pas la configuration électronique d'un gaz noble.

c. Schéma de Lewis : voir ci-contre.

d. La sous-couche 4s est vide, donc il possède une lacune.



- 41** a. Schéma de Lewis ci-contre.

b. Il possède quatre doublets non liants.



- 42** a. Schéma de Lewis :



b. Chaque atome d'azote porte un doublet non liant.

- 43** L'atome de carbone doit former quatre liaisons, l'hydrogène une seule et l'oxygène deux.

Le bon schéma est donc le ①.

- 44** a. B ( $Z = 5$ ) a pour configuration électronique :

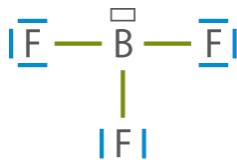
$$1s^2 2s^2 2p^1$$

- b. F ( $Z = 9$ ) a pour configuration électronique :  $1s^2 2s^2 2p^5$

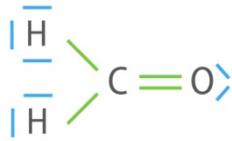
c. Schéma de Lewis ci-contre.

d. Il n'est pas stable car il n'y a que six électrons sur sa couche externe.

e. Il manque donc deux électrons, il faut placer une lacune sur l'atome.



- 46** a. Schéma de Lewis :

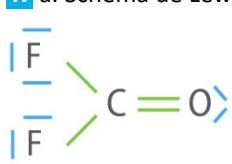


b. La molécule est entourée de l'équivalent de trois doublets (deux liaisons simples et une liaison double).

c. La molécule est triangulaire.

d. Elle est plane.

- 47** a. Schéma de Lewis :



b. La molécule est entourée de l'équivalent de trois doublets (deux liaisons simples et une liaison double).

c. La molécule est triangulaire.

d. Elle est plane.

- 48** a. Les atomes sont entourés de l'équivalent de trois doublets.

b. La géométrie est triangulaire.

c. La molécule est plane car les deux triangles sont dans un même plan.

- 49** a. Les atomes sont entourés de l'équivalent de deux doublets.

b. La géométrie est linéaire et plane.

- 51** a. L'atomes ont les configurations électroniques : H :  $1s^1$ ; N :  $1s^2 2s^2$ ; O :  $1s^2 2s^2 2p^4$ .

b. L'atome central est celui à qui il manque le plus de d'électrons de valence : ici c'est donc l'azote (N).  
c. Schéma de Lewis :



d. La molécule est coudée autour de l'atome d'azote.  
e. La molécule est plane.

**52** a. L'atome central est entouré de deux doublets.  
b. Configurations électroniques : H :  $1s^1$ ; N :  $1s^2 2s^2 2p^3$ ; C :  $1s^2 2s^2 2p^2$ .

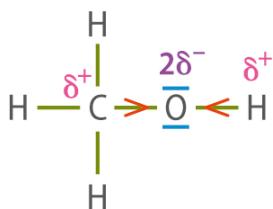
L'atome central est donc l'atome de carbone, à qui il manque le plus d'électrons.

c. Schéma de Lewis :

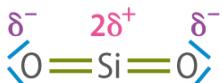


**53** Les liaisons sont polarisées si la différence d'électronégativité est supérieure à 0,4 : c'est le cas des liaisons C–O et O–H.

Schéma :



**55** a.



b.



c. G<sup>+</sup> et G<sup>-</sup> étant confondus, la molécule est apolaire.

**56** 1. a.



b.



c.

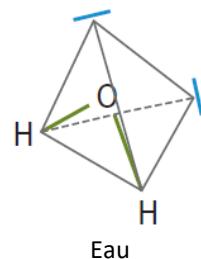
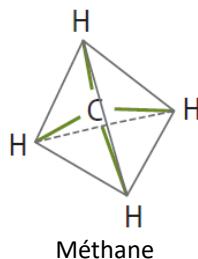


d.



2. Le chlorure d'hydrogène et le cyanure d'hydrogène sont des molécules polaires, les deux autres sont apolaires.

**57** a.

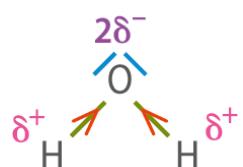


b. La molécule de méthane est tétraédrique alors que la molécule d'eau est plane et coudée.

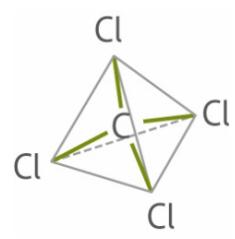
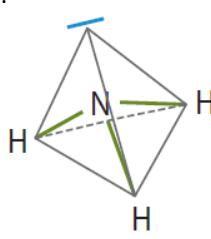
c. Voir ci-contre.

d. La molécule de méthane ne possède pas de liaison polarisée, elle n'est pas polaire.

La molécule d'eau possède des liaisons polarisées et les centres des charges partielles ne sont pas superposés, donc elle est polaire.



**58** a.



b. La molécule d'ammoniac est pyramidale à base triangulaire et celle de tétrachlorométhane est tétraédrique.

c. La molécule d'ammoniac possède des liaisons polarisées entre les N et les H.

La molécule de tétrachlorométhane possède des liaisons polarisées entre les C et Cl.

d. La molécule d'ammoniac est polaire car les centres des charges partielles ne sont pas superposés.

La molécule de tétrachlorométhane n'est pas polaire car les centres des charges partielles sont superposés.

**59** 1. a. Pour se gêner le moins possible, ils se répartissent dans les appartements A<sub>3</sub>, B<sub>2</sub> et B<sub>4</sub>.

b. La figure géométrique formée par les lettres E, G, L et J est un tétraèdre. O est le centre du tétraèdre.

2. Dans une molécule de méthane CH<sub>4</sub>, C se place au centre du tétraèdre (équivalent ici au point O) et les quatre atomes H se répartissent de manière à se gêner le moins possible, le plus loin possible les uns des autres, donc aux sommets d'un tétraèdre (points équivalents aux points E, G, L et J).

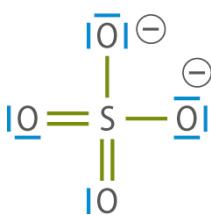
**60** Elle peut changer en fonction de la valeur de l'électronégativité, soit plus importante, soit moins importante de l'atome voisin.

**61** a. Le francium étant l'un des atomes les moins électronégatifs, donc étant un des atomes les plus électropositifs, il a toujours une charge partielle  $\delta^+$ .  
b. Le fluor étant l'atome le plus électronégatif, il a toujours une charge partielle  $\delta^-$ .

**62** a. Configurations électroniques : O :  $1s^2 2s^2 2p^4$ ; C :  $1s^2 2s^2 2p^2$ ; H :  $1s^1$ .  
b. C'est l'atome de carbone qui est central car il a besoin du plus grand nombre d'électrons pour saturer sa couche externe.  
c. Schéma de Lewis :



**63** a. Configurations électroniques : O ( $Z = 8$ ) :  $1s^2 2s^2 2p^4$ ; S ( $Z = 16$ ) :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ .  
b. Les deux atomes ont besoin d'autant d'électrons sur leur couche externe, donc on ne peut pas déduire quel est l'ion central.  
c. Schéma de Lewis :

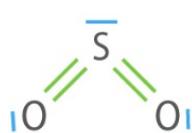


b.  $BF_3$  n'est pas polaire car les centres des charges partielles se superposent alors que ce n'est pas le cas pour  $NF_3$  qui, elle, est polaire.

**65** a. Il s'agit des molécules de dioxyde de carbone et de dioxyde de soufre.  
b. Schéma de Lewis :



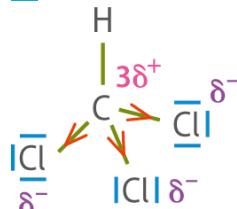
c. Cette molécule est linéaire car elle comporte deux liaisons doubles qui, pour la géométrie, comptent comme deux doublets qui se répartissent suivant un segment de droite. La molécule est donc linéaire.  
d. Schéma de Lewis :



e. Les liaisons des deux molécules sont polarisées.

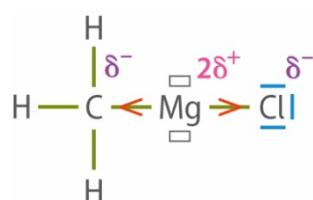
f. La molécule de dioxyde de carbone est apolaire car les centres des charges partielles + et - sont confondus. La molécule de dioxyde de soufre est polaire car les centres des charges partielles + et - ne sont pas confondus.

**66** 1. a. Schéma de Lewis :



b. Elle possède trois liaisons polarisées entre les C et les Cl.

2. a. Schéma de Lewis :



L'atome de magnésium porte 2 lacunes électroniques.  
b. Voir le schéma.

3. La charge partielle du carbone C n'est pas de même signe dans chaque molécule car elle dépend de la nature et de la valeur de l'électronégativité de l'atome voisin.

**67** 1. a. Schéma de Lewis :



b. La molécule est polaire.

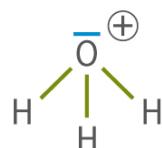
2. a. La molécule d'eau capte un ion  $H^+$ .

b. schéma de Lewis :



Un doublet non liant de la molécule d'eau va venir occuper la lacune de l'ion  $H^+$ .

c. Schéma de Lewis :



3. C'est l'ion  $H^+$  qui est libéré pour passer de  $H_2O$  à  $HO^-$ .



**68** 1. a.



b. La molécule est plane et linéaire.

2. a. Les atomes ont des charges opposées car la molécule est électriquement neutre.

b. Dans ce modèle, chaque atome est entouré de quatre doublets et a donc la même structure qu'un gaz noble.

- 69** a. CH<sub>4</sub> peut donner les composés chlorés : CH<sub>3</sub>Cl, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, CHCl<sub>3</sub>, CCl<sub>4</sub>.  
 b. Elles sont toutes tétraédriques.  
 c. Les molécules apolaires sont CH<sub>4</sub> et CCl<sub>4</sub> car les centres des charges partielles sont confondus.

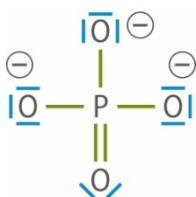
**70****Question préliminaire**

On n'a que des atomes de phosphore et d'oxygène. Les atomes d'oxygène étant les plus électronégatifs, ils porteront à priori les charges négatives.

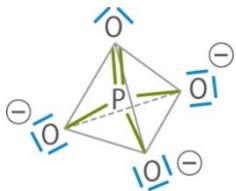
**Problème**

L'atome de phosphore étant unique, il va se trouver au centre de l'édifice, lié à quatre atomes d'oxygène. Trois des quatre atomes d'oxygène porteront à priori une charge négative. Cela veut dire qu'ils seront entourés de sept électrons au lieu des six habituels, soit trois doublets non liants et un électron impliqué dans un doublet liant. Ces trois oxygènes chargés négativement seront bien au final entourés de quatre doublets, trois non liants et un liant lié à l'atome de phosphore P.

Le dernier oxygène ne portant pas de charge, il sera entouré de six électrons et, étant terminal, il portera deux doublets non liants et les deux électrons restants seront mis en jeu dans deux doublets liants entre O et P. Le dernier oxygène non chargé se trouve lié par une liaison double au phosphore central. On peut proposer ce schéma de Lewis, où les oxygène sont entourés de quatre doublets (règle de l'octet) comme habituellement.



P est entouré de trois liaisons simples et une double, ce qui, pour la géométrie, compte comme  $3 + 1 = 4$  doublets. L'édifice est donc tétraédrique :

**71****Question préliminaire**

- a. D'après le doc. 2, O ( $Z = 8$ ) a pour configuration électronique  $1s^2 2s^2 2p^4$ . Chacun des atomes d'oxygène va amener six électrons de valence car on a six électrons sur la couche externe.  
 b. La molécule étant composée de trois atomes d'oxygène, on devrait avoir :  $6 \times 3 = 18$  électrons dans la molécule. 18 électrons correspondent à 9 doublets.

**Problème**

Les trois atomes seront forcément mis sous la forme O-O-O, la molécule ne pouvant être cyclique (doc. 2).

Il faut ensuite répartir les sept doublets restants.

Chaque atome sera entouré de quatre doublets.

Un atome entouré de six électrons sera neutre.

Un atome entouré de sept électrons sera chargé négativement.

Un atome entouré de cinq électrons sera chargé positivement.

On peut proposer cette structure vérifiant toutes ces propriétés et qui possède une liaison simple, une liaison double et un doublet non liant autour de l'oxygène central soit, pour la géométrie, l'équivalent de deux doublets et un doublet non liant.

La molécule est donc plane coudée (on peut également envisager cette forme en faisant basculer les doublets) :



**72** F ( $Z = 9$ ) a pour configuration électronique  $1s^2 2s^2 2p^5$  et il a sept électrons sur sa couche externe, donc se lie une fois car il lui manque un électron pour avoir une structure de gaz rare. Les six électrons restants forment trois doublets non liants.

Au final, chaque F sera entouré de quatre doublets (un liant, trois non liants).

**a. Construction de HF**

H ( $Z = 1$ ) a pour configuration électronique  $1s^1$ , donc un électron sur sa couche externe. Il gagne un électron pour acquérir une structure de gaz rare en  $1s^2$ , donc il se lie une fois. H se lie avec F.

Schéma de Lewis :

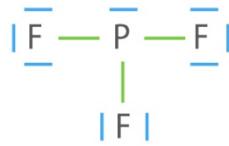
**b. Construction de PF<sub>3</sub>**

P ( $Z = 15$ ) a pour configuration électronique  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$  et il a cinq électrons sur sa couche externe, donc se lie trois fois pour avoir une structure de gaz rare.

Il lui reste deux électrons sur sa couche externe qui ne se lient pas et forment un doublet non liant.

Au final, P sera entouré de quatre doublets (trois liants, un non liant).

On peut proposer comme formule de Lewis :



P étant entouré de quatre doublets, on a un édifice pyramidal à base triangulaire (voir page suivante).

Le centre des charges partielles positives n'étant pas confondu avec celui des charges négatives, la molécule est polaire.

c. Construction de  $\text{AlF}_3$

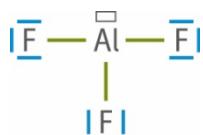
$\text{Al}$  ( $Z = 13$ ) a pour configuration électronique  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$  et il a trois électrons sur sa couche externe.

$\text{Al}$  utilise les trois électrons de sa couche externe pour se lier avec les trois atomes de fluor.

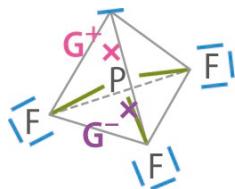
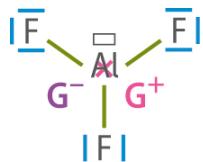
$\text{Al}$  étant lié trois fois, il est entouré de trois doublets liants. Il manque le quatrième, la règle de l'octet n'étant pas vérifiée.

$\text{Al}$  possède donc une lacune.

On peut proposer comme formule de Lewis :



$\text{Al}$  étant entouré de trois liaisons, la molécule est plane :



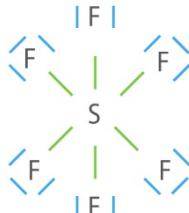
Le centre des charges partielles positives étant confondu avec celui des charges négatives, la molécule est apolaire.

d. Construction de l'hexafluorure de soufre  $\text{SF}_6$

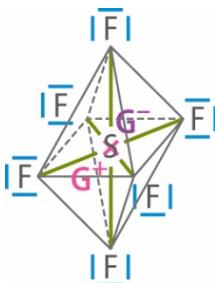
$\text{S}$  ( $Z = 16$ ) a pour configuration électronique  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$  et il a six électrons sur sa couche externe.

$\text{Al}$  utilise les six électrons de sa couche externe pour se lier avec les six atomes de fluor.

On peut proposer comme formule de Lewis :



L'atome de soufre étant entouré de six atomes de fluor, la molécule est octaédrique :



## 5. Structure et propriétés de la matière

### Activités

p. 110 à 112

#### ① Dissolutions de solides dans les solvants

- Le protocole ne nécessite aucun savoir-faire particulier.
- 

	Eau	Éthanol	Cyclohexane
NaCl <sub>(s)</sub>	Dissous	Partiellement dissous	Pas dissous
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11(s)</sub>	Dissous	Partiellement dissous	Pas dissous

- Le chlorure de sodium, formé d'ions, est fortement soluble dans un solvant polaire comme l'eau.

- Le saccharose, molécule polaire, est soluble dans les solvants polaires (eau et éthanol), mais pas dans le solvant apolaire (cyclohexane).

#### Question d'oral

On doit travailler avec un volume plus important que celui d'un tube à essais pour pouvoir mesurer une masse significative. On cherche à dissoudre, peu à peu, dans une fiole jaugée contenant 100,0 mL d'éthanol, du chlorure de sodium, jusqu'à ce que la solution sature. La valeur de masse limite qu'on pourra dissoudre permettra de calculer la solubilité.

#### Bilan

- Le soluté est l'espèce à dissoudre, le solvant le liquide dans lequel elle est dissoute et la solution le résultat de la dissolution.
- Pour prévoir la solubilité d'un solide moléculaire dans un solvant, il faut comparer la polarité du solide moléculaire à celle du solvant. Un solide moléculaire polaire sera soluble dans un solvant polaire. Un solide moléculaire apolaire sera soluble dans un solvant apolaire.

#### ② Extraction du limonène contenu dans le zeste d'une orange

- Réaliser le protocole.

- a. Mixer le zeste permet de casser les membranes des cellules qui renferment le limonène et favorise le contact entre le solvant et le zeste.

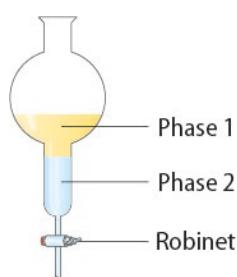
- b. Presser le zeste permet d'extraire le maximum de solvant et donc de récupérer un maximum de limonène.

- Le cyclohexane est nocif, dangereux pour l'environnement et pour la santé. Ce sont les raisons pour lesquelles il faut manipuler sous la hotte.

- Le dichlorométhane est un solvant très volatil vu sa basse température d'ébullition, donc dangereux du fait de cette volatilité.

- Voir le schéma ci-contre.

Phase 1 : phase organique car sa densité est plus faible (cyclohexane et limonène).



Phase 2 : phase aqueuse (eau et ions).

- La phase organique n'est pas directement utilisable car elle contient du cyclohexane en plus du limonène.

#### Bilan

- Pour choisir un solvant d'extraction, il faut que la solubilité du limonène y soit meilleure (limonène insoluble dans l'eau et soluble dans le cyclohexane), que les deux solvants ne soient pas miscibles (cyclohexane non miscible avec l'eau) et qu'il soit le moins toxique possible (cyclohexane moins toxique que le dichlorométhane).
- La phase aqueuse, à base d'eau, ne peut dissoudre que des espèces polaires, comme les ions. En considérant sa formule brute C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>, le limonène ne peut contenir que des liaisons C–C, C=C et C–H, non polaires. Les électronégativités de C et de H sont voisines donc la liaison est non polarisée. Le limonène est apolaire, donc soluble dans le cyclohexane, lui aussi apolaire.

#### ③ Action des savons

- L'huile surnage sur l'eau distillée. L'huile ne se mélange pas dans l'eau.

L'huile se mélange dans l'eau savonneuse.

L'huile est une molécule organique apolaire alors que l'eau distillée est polaire, ce qui les rend incompatibles. Mais, l'huile peut se mélanger dans l'eau savonneuse, qui contient des ions actifs amphiphiles, à la fois compatibles avec l'eau et les graisses.

- Dans les deux cas, avec l'ion Ca<sup>2+</sup> ou l'ion Mg<sup>2+</sup>, il y a formation d'un précipité blanc dans l'eau savonneuse par réaction entre Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, et les ions actifs du savon. On a donc une perte d'ions actifs utilisables, donc une perte d'efficacité globale de l'eau savonneuse.

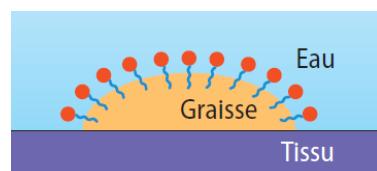
- L'ajout d'eau distillée dans l'eau savonneuse ne produit pas de précipité dans l'eau.

L'ajout d'eau d'Hépar® dans l'eau savonneuse produit un précipité blanc. L'eau d'Hépar® contient effectivement beaucoup d'ions Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup>, car la dureté est proportionnelle à la concentration de ces ions.

L'eau d'Hépar® est donc dure. Les ions actifs, savons, dans une eau dure, forment des précipités. Les ions actifs disparaissent. Essayer de se laver les mains avec une eau dure serait difficile.

#### Bilan

- Les tensio-actifs piègent les graisses car les chaînes carbonées apolaires se fichent dans la graisse, elle-même apolaire : ils entourent les graisses et donc les piègent.



**Exercices**

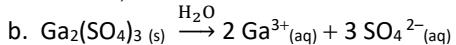
p. 118 à 127

**26** a.  $M = 2 M_{(\text{Ga})} + 3 M_{(\text{S})} + 12 M_{(\text{O})}$

$$= 2 \times 69,7 + 3 \times 32,1 + 12 \times 16,0 = 427,7 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1,00}{427,7} = 2,34 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$c = \frac{n}{V} = \frac{2,34 \times 10^{-3}}{100,0 \times 10^{-3}} = 2,34 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$



c. Tableau d'avancement fourni en fin de corrigé des exercices.

On a  $2,34 \times 10^{-3} - x_{\max} = 0$  donc  $x_{\max} = 2,34 \times 10^{-3} \text{ mol}$ .

On en déduit  $n(\text{Ga}^{3+}) = 4,68 \times 10^{-3} \text{ mol}$

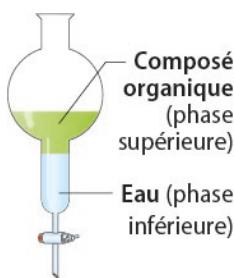
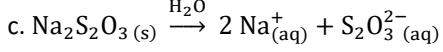
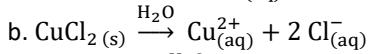
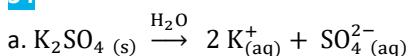
et  $n(\text{SO}_4^{2-}) = 7,02 \times 10^{-3} \text{ mol}$ .

$$[\text{Ga}^{3+}] = \frac{n(\text{Ga}^{3+})}{V} = \frac{4,68 \times 10^{-3}}{0,100} = 4,68 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = \frac{n(\text{SO}_4^{2-})}{V} = \frac{7,02 \times 10^{-3}}{0,100} = 7,02 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

**28** a. La solubilité du diiode est très grande dans le cyclohexane et les deux solvants ne sont pas miscibles. C'est donc le solvant à choisir.

b. Dans la phase supérieure, on trouve le cyclohexane et le diiode, dans la phase inférieure l'eau qui est plus dense.

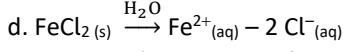
**34**

**36** a.  $M = M_{(\text{Fe})} + 2 M_{(\text{Cl})} = 55,8 + 2 \times 35,5$

$$= 126,8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

b.  $n = \frac{m}{M} = \frac{2,0}{126,8} = 1,58 \times 10^{-2} \text{ mol}$

c.  $c = \frac{n}{V} = \frac{1,58 \times 10^{-2}}{0,250} = 0,063 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$



e. Tableau d'avancement fourni en fin de corrigé des exercices.

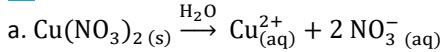
On a  $1,58 \times 10^{-2} - x_{\max} = 0$  donc  $x_{\max} = 1,58 \times 10^{-2} \text{ mol}$ .

On déduit  $n(\text{Fe}^{2+}) = 1,58 \times 10^{-2} \text{ mol}$

et  $n(\text{Cl}^-) = 3,16 \times 10^{-2} \text{ mol}$ .

f.  $[\text{Fe}^{2+}] = \frac{n(\text{Fe}^{2+})}{V} = \frac{1,58 \times 10^{-2}}{0,250} = 0,063 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

et  $[\text{Cl}^-] = \frac{n(\text{Cl}^-)}{V} = \frac{3,16 \times 10^{-2}}{0,250} = 0,13 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

**38**

b. D'après l'équation de la dissolution, la concentration des ions cuivre est deux fois plus petite que celle en ions nitrate :  $[\text{Cu}^{2+}] = 0,17 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

c. D'après l'équation de la dissolution, la concentration des ions cuivre est la même que celle en soluté :  $c = 0,17 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

**39** Le diiode est un composé moléculaire apolaire car il est constitué de deux atomes identiques.

L'eau est un solvant polaire.

Le cyclohexane, composé d'atomes C et H, ne peut pas être polaire car ces atomes n'ont pas une différence d'électronégativité assez grande. Le cyclohexane est apolaire.

Le diiode (apolaire) est beaucoup plus soluble dans un solvant apolaire (cyclohexane) que dans un solvant polaire (eau).

**42** a. Vrai, la chaîne carbonée.

b. Faux, anhydre signifie « qui ne contient pas d'eau », ce qui est sans lien avec la molécule.

c. Vrai, la partie ionique de la molécule.

**44** a. Le solide est constitué des ions calcium et fluorure : c'est un solide ionique.

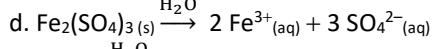
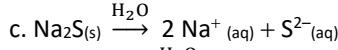
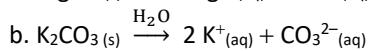
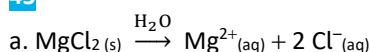
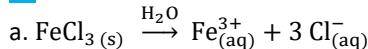
b. Le solide est électriquement neutre, les charges électriques des cations  $\text{Ca}^{2+}$  doivent compenser celles des anions  $\text{F}^-$  donc la formule est  $\text{CaF}_2$ .

c. La force de Coulomb vaut :

$$F = k \times \frac{|q_{\text{F}^-}| \times |q_{\text{Ca}^{2+}}|}{d^2}$$

$$F = 9,0 \times 10^9 \frac{1,6 \times 10^{-19} \times (2 \times 1,6 \times 10^{-19})}{(237 \times 10^{-12})^2}$$

$$F = 8,20 \times 10^{-9} \text{ N}$$

**45****47**

b.  $c = \frac{m}{M \times V}$  avec  $V = 250,0 \text{ mL} = 0,250 \text{ L}$

et  $M = 55,8 + 3 \times 35,5 = 162,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

$$\text{donc } c = \frac{3,75}{162,3 \times 0,250} = 9,24 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

c. D'après l'équation de dissolution :

$$[\text{Fe}^{3+}] = c = 9,24 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$\text{et } [\text{Cl}^-] = 3 \times c = 3 \times 9,24 \times 10^{-2} = 2,77 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

**48**

a.  $n = \frac{m}{M} = \frac{2,22}{331,2} = 6,70 \times 10^{-3} \text{ mol}$

b.  $c = \frac{n}{V} = \frac{6,70 \times 10^{-3}}{200,0 \times 10^{-3}} = 3,35 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

c.  $[\text{Pb}^{2+}] = c = 3,35 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

$$\text{et } [\text{NO}_3^-] = 2c = 6,70 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

49

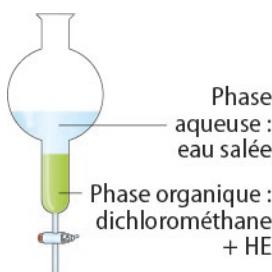
- a.  $\text{CuSO}_4 + 5 \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})} + 5 \text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$
- b.  $M = M_{(\text{Cu})} + M_{(\text{S})} + 9 M_{(\text{O})} + 10 M_{(\text{H})}$   
 $= 63,5 + 32,1 + 9 \times 16,0 + 10 \times 1,0 = 249,6 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- c.  $n = \frac{m}{M} = \frac{1,248}{249,6} = 5,00 \times 10^{-3} \text{ mol}$   
 Donc  $c = \frac{n}{V} = \frac{5,00 \times 10^{-3}}{250,0 \times 10^{-3}} = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- d. En considérant les coefficients stœchiométriques, on a :  
 $[\text{Cu}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}] = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

50

- a.  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{s})} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} 2 \text{NH}_4^+_{(\text{aq})} + \text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})} + 2 \text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})} + 6 \text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$
- b.  $[\text{NH}_4^+] = 2c = 2 [\text{Fe}^{2+}] = 0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- c.  $[\text{SO}_4^{2-}] = 2c = 2 [\text{Fe}^{2+}] = 0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- d. Dans un litre, on a :
- 0,50 mol d'ions  $\text{NH}_4^+$  soit 0,50 mol de charges (+)
- 0,25 mol d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  soit  $0,25 \times 2 = 0,50$  mol de charges (+)
- 0,50 mol d'ions  $\text{SO}_4^{2-}$  soit  $0,50 \times 2 = 1,0$  mol de charges (-)
- Au total, on a 1,0 mol de charges (+) et 1,0 mol de charges (-) donc il y a neutralité.

- 51 a. La caféine étant plus soluble dans l'eau chaude, on effectue la préparation avec de l'eau chaude.
- b. L'espèce chimique doit être soluble dans le solvant et ce solvant ne doit pas être miscible avec le solvant d'origine.
- c. La solubilité est importante dans le dichlorométhane à froid.

- 52 a. L'huile essentielle et l'eau se séparent mal car elles ont des densités voisines.
- b. Le chlorure de sodium ajouté se dissout dans l'eau pour former de l'eau salée de densité supérieure à l'eau, ce qui permet une meilleure séparation.
- c. On choisit le dichlorométhane car il n'est pas miscible avec l'eau et car l'huile essentielle y a une grande solubilité.
- d.



- 53 1. L'eau est un solvant polaire car il existe une différence d'électronégativité entre les atomes qui la composent et les barycentres ne sont pas superposés.
2. Le cyclohexane est une molécule apolaire car il n'y a pas de différence d'électronégativité entre les atomes qui la constituent.
3. Pour dissoudre un composé ionique, il est nécessaire d'avoir un solvant polaire : l'eau.

- a. et c. Pour dissoudre le chlorure de sodium et le nitrate de cuivre il faut donc utiliser l'eau.
- b. Le diiode est composé moléculaire apolaire donc le meilleur solvant est le cyclohexane apolaire.

- 54 a. L'éther est le solvant le plus approprié car la solubilité du benzaldéhyde y est très grande.
- b. C'est une extraction liquide-liquide par solvant dans une ampoule à décanter.
- c. Il y a deux phases donc les deux liquides ne sont pas miscibles.
- d. Il faut conserver la phase organique (éther contenant le benzaldéhyde).

- 55 a. Il peut se former des liaisons hydrogène dans l'éthanol.
- b. L'éthanol et l'acétone peuvent former des liaisons hydrogène avec l'eau car ils possèdent des sites  $\delta^+$  et  $\delta^-$ .
- c. Le nitrate de potassium est insoluble dans le cyclohexane qui est un solvant apolaire.

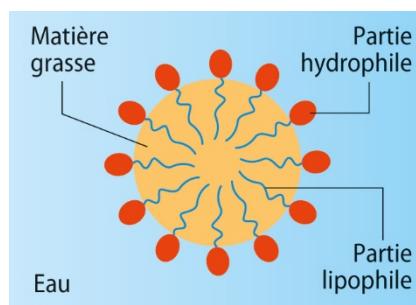
56

- a.  $s = \frac{17,85}{50,0 \times 10^{-3}} = 357 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ . La solubilité est très grande. Le chlorure de sodium est un solide ionique. L'eau, solvant polaire, dissout bien un solide ionique.
- b. L'hexane contient uniquement des atomes C et H qui n'ont pas une différence d'électronégativité assez grande, donc c'est un solvant apolaire qui ne peut pas dissoudre un solide ionique.

- 57 a. La partie 1 correspond à la partie lipophile (apolaire), la partie 2 à la partie hydrophile (polaire).
- b. La partie 1 se dissout dans la graisse car elle est lipophile : c'est donc le premier schéma qui traduit le mode d'action du savon.

- 58 a. Quand l'eau est dure, les ions amphiphiles du savon forment un précipité avec les ions calcium et magnésium, ce qui réduit la quantité d'ions amphiphiles donc l'efficacité du savon.
- b.  $[\text{Ca}^{2+}] = \frac{58 \times 10^{-3}}{40,1} = 1,45 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$   
 et  $[\text{Mg}^{2+}] = \frac{67 \times 10^{-3}}{24,3} = 2,76 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$   
 On en déduit  ${}^{\circ}\text{TH} = (1,45 \times 10^{-3} + 2,76 \times 10^{-3}) \times 10\ 000 = 42\ {}^{\circ}\text{f}$ . L'eau est trop dure donc le savon serait peu efficace.

59 a.



b. Les deux gouttelettes se repoussent car les parties hydrophiles situées à l'extérieur sont chargées négativement.

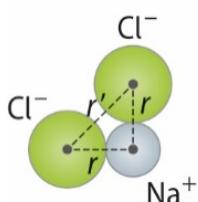
**60** a. Dans le triangle rectangle,  $r^2 + r^2 = r'^2$  donc  $2r^2 = r'^2$  donc

$$r' = \sqrt{2}r$$

$$\text{soit } \frac{r'}{r} = \sqrt{2}.$$

b. Entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , de charges respectives  $e$  et  $-e$ , la valeur de la force d'attraction est :

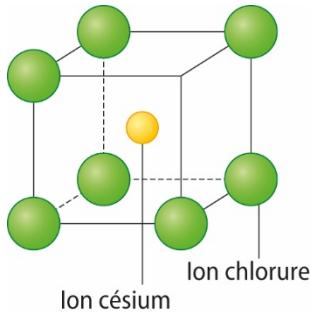
$$F_1 = 9,0 \times 10^9 \frac{|e||e|}{r'^2} = 9,0 \times 10^9 \frac{(1,60 \times 10^{-19})^2}{(0,282 \times 10^{-9})^2} = 2,89 \times 10^{-9} \text{ N}$$



c. Entre deux ions  $\text{Na}^+$  de charges  $e$  ou deux ions  $\text{Cl}^-$  de charges  $-e$ , la valeur de la force d'attraction est :

$$F_2 = 9,0 \times 10^9 \frac{|e||e|}{r'^2} = 9,0 \times 10^9 \frac{(1,60 \times 10^{-19})^2}{(0,397 \times 10^{-9})^2} = 1,46 \times 10^{-9} \text{ N}$$

**61** a.



b. Un ion chlorure possède 8 atomes de césium voisins.  $1/8$  des atomes de césium sont dans la maille, ce qui équivaut à 1 atome. La formule statistique est  $\text{CsCl}$  et la formule de l'ion césium est  $\text{Cs}^+$ .

c. D'après le schéma de la maille :

- sur la grande diagonale du cube :  $d = 2(r_{\text{Cl}} + r_{\text{Cs}})$
- $d = a \times \sqrt{3}$

On en déduit que  $(r_{\text{Cl}} + r_{\text{Cs}}) = \frac{a \times \sqrt{3}}{2} = \frac{205 \times \sqrt{3}}{2} = 178 \text{ pm}$

d. Calcul de la force de Coulomb :

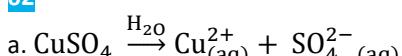
$$F_1 = k \times \frac{|q_{\text{Cl}^-}| \times |q_{\text{Cs}^+}|}{(r_+ + r_-)^2} = 9,0 \times 10^9 \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 1,6 \times 10^{-19}}{(178 \times 10^{-12})^2} = 7,27 \times 10^{-9} \text{ N}$$

e. Calcul de la force de Coulomb :

$$F_2 = k \times \frac{|q_{\text{Cl}^-}| \times |q_{\text{Cl}^-}|}{(a)^2} = 9,0 \times 10^9 \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 1,6 \times 10^{-19}}{(205 \times 10^{-12})^2} = 5,48 \times 10^{-9} \text{ N}$$

La force d'un cation sur un cation a la même valeur.

**62**



b.  $m = c \times V \times M$  avec  $V = 200 \text{ L}$  et  $M = 159,6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Donc  $m = 6,0 \times 10^{-2} \times 200 \times 159,6 = 1,92 \times 10^3 \text{ g}$

c. D'après l'équation de dissolution, la concentration en ions cuivre est la même que celle en soluté.

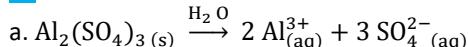
$[\text{Cu}^{2+}] = c = 6,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et  $C_m = [\text{Cu}^{2+}] \times M$

avec  $M = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

donc  $C_m = 6,0 \times 10^{-2} \times 63,5 = 3,8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

d.  $m = C_m \times V = 3,8 \times 200 = 7,6 \times 10^2 \text{ g}$

**63**



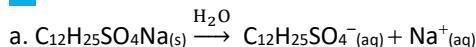
b. On a  $[\text{SO}_4^{2-}] = \frac{c_m}{M}$  avec  $M = 96,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

donc  $[\text{SO}_4^{2-}] = \frac{8,65}{96,1} = 9,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

c. D'après l'équation de dissolution :

$$[\text{Al}^{3+}] = \frac{2}{3} [\text{SO}_4^{2-}] = \frac{2}{3} \times 9,00 \times 10^{-2} = 6,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

**64**



b.  $c = \frac{m}{M \times V}$  avec  $V = 100 \text{ mL} = 0,100 \text{ L}$

et  $M = 288,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

donc  $c = \frac{0,4}{288,2 \times 0,1} = 1,4 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 14 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

c. La concentration est supérieure à la solubilité, la solution est donc saturée.

**65** a. Oui si la concentration de  $\text{S}_2$  est très faible ou  $V_2$  important.

b. Si le solide passe d'une phase à l'autre il est possible que la phase concernée soit saturée.

**66** a.  $S_1$  apporte  $n_1 = c_1 \times V_1$  de  $\text{NaCl}$

avec  $n_1 = 5,00 \times 10^{-2} \times 20,0 \times 10^{-3} = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol}$

b.  $S_2$  apporte  $n_2 = c_2 \times V_2$  de  $\text{FeCl}_3$

avec  $n_2 = 3,00 \times 10^{-2} \times 20,0 \times 10^{-3} = 6,00 \times 10^{-4} \text{ mol}$ .

c. Comme  $\text{NaCl}_{(\text{s})} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Na}_{(\text{aq})}^+ + \text{Cl}_{(\text{aq})}^-$ ,  $S_1$  apporte  $n(\text{Na}^+) = n(\text{Cl}^-) = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol}$ .

Comme  $\text{FeCl}_3(s) \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+} + 3\text{Cl}_{(\text{aq})}^-$ ,  $S_2$  apporte  $n(\text{Fe}^{3+}) = 6,00 \times 10^{-4} \text{ mol}$  et  $n(\text{Cl}^-) = 3 \times 6,00 \times 10^{-4} = 1,80 \times 10^{-3} \text{ mol}$ .

On a donc :

$$n(\text{Na}^+) = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{Cl}^-) = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol} + 1,80 \times 10^{-3} = 2,80 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{Fe}^{3+}) = 6,00 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\text{d. } V = V_1 + V_2 = 20,0 \text{ mL} + 20,0 \text{ mL} = 40,0 \text{ mL}$$

$$[\text{Na}^+] = \frac{1,00 \times 10^{-3}}{40,0 \times 10^{-3}} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1},$$

$$[\text{Cl}^-] = \frac{2,80 \times 10^{-3}}{40,0 \times 10^{-3}} = 7,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$[\text{Fe}^{3+}] = \frac{6,00 \times 10^{-4}}{40,0 \times 10^{-3}} = 1,5 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

**67** D'après l'équation de dissolution, la concentration

en ions ammonium vaut  $[\text{NH}_4^+] = 2 \times c_1$

$= 4,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  dans la solution  $S_1$ .

D'après l'équation de dissolution, la concentration en ions ammonium vaut  $[NH_4^+] = c_2 = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$  dans la solution  $S_2$ .

$$\begin{aligned} \text{La quantité de matière apportée par la solution } S_1 \text{ vaut} \\ n_1 &= [NH_4^+] \times V_1 = 4,00 \times 10^{-2} \times 25,0 \times 10^{-3} \\ &= 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{La quantité de matière apportée par la solution } S_2 \text{ vaut} \\ n_2 &= [NH_4^+] \times V_2 = 5,00 \times 10^{-2} \times 50,0 \times 10^{-3} \\ &= 2,50 \times 10^{-3} \text{ mol} \end{aligned}$$

La quantité de matière totale d'ions ammonium vaut  $n = n_1 + n_2 = 3,50 \times 10^{-3} \text{ mol}$  dans un volume total

$$V = V_1 + V_2 = 75,0 \text{ mL.}$$

$$\text{donc } [NH_4^+] = \frac{3,50 \times 10^{-3}}{75,0 \times 10^{-3}} = 4,67 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

**68 a.** Le chlorure de sodium est soluble dans l'eau.

L'hexane est soluble dans le cyclohexane.

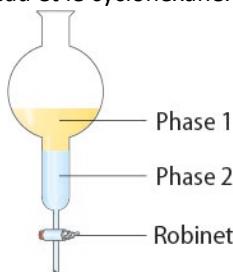
L'éthanol est à la fois soluble dans l'eau et le cyclohexane.

b. Pour les solvants, comme

$d_{\text{cyclohexane}} > d_{\text{eau}}$ , la phase du cyclohexane est en eau et la phase de l'eau en bas.

Phase 1 : cyclohexane contenant l'éthanol.

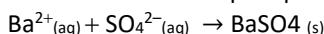
Phase 2 : eau contenant l'éthanol et le chlorure de sodium dissous.



**69**

### Question préliminaire

La seule réaction de précipitation pouvant avoir lieu est :

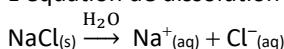


Il se forme un précipité de sulfate de baryum.

### Problème

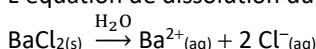
1. Bilan des ions à l'état initial

L'équation de dissolution du chlorure de sodium s'écrit :



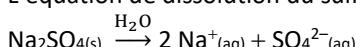
Donc la solution de chlorure de sodium apporte 2,0 mmol d'ions  $Na^+$  et 2,0 mmol d'ions  $Cl^-$ .

L'équation de dissolution du chlorure de baryum s'écrit :



Donc la solution de chlorure de baryum apporte 5,0 mmol d'ions  $Ba^{2+}$  et 10,0 mmol d'ions  $Cl^-$ .

L'équation de dissolution du sulfate de sodium s'écrit :



Donc la solution de sulfate de sodium apporte 8,0 mmol d'ions  $Na^+$  et 4,0 mmol d'ions  $SO_4^{2-}$ .

On apporte donc initialement, avant précipitation :

$$10,0 \text{ mmol d'ions } Na^{+}_{(\text{aq})}$$

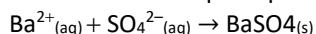
$$12,0 \text{ mmol d'ions } Cl^{-}_{(\text{aq})}$$

5,0 mmol d'ions  $Ba^{2+}_{(\text{aq})}$

4,0 mmol d'ions  $SO_4^{2-}_{(\text{aq})}$

### 2. Réaction de précipitation

La seule réaction qui se produit est :



Et les quantités de  $Na^+$  et  $Cl^-$  initialement introduites seront donc conservées après précipitation.

Il faut dresser un tableau d'avancement (fourni en fin de corrigé des exercices).

On a  $5,0 - x_f = 0$  ou  $4,0 - x_f = 0$  soit  $x_f = 4,0 \text{ mmol}$  ou  $x_f = 5,0 \text{ mmol}$ .

On retient le plus petit résultat soit  $x_f = 4,0 \text{ mmol}$ .

On a donc, à la fin de la précipitation :

1,0 mmol de  $Ba^{2+}_{(\text{aq})}$

4,0 mmol de  $BaSO_4_{(\text{s})}$

10,0 mmol d'ions  $Na^{+}_{(\text{aq})}$

12,0 mmol d'ions  $Cl^{-}_{(\text{aq})}$

**70**

### Question préliminaire

Par projection sur la courbe  $A = f(c)$ , pour  $A = 0,45$ , on lit  $c = 0,090 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ .

### Problème

#### Calcul de la concentration en masse

$$\begin{aligned} \text{D'après le sujet, on sait que } C_m &= \frac{m}{V} = \frac{10,71}{500,0 \times 10^{-3}} \\ &= 21,42 \text{ g} \cdot L^{-1} \end{aligned}$$

#### Détermination de la masse molaire du chlorure de nickel hydraté

De la relation  $C_m = c \times M$ , on déduit pour le chlorure de nickel hydraté que  $M = \frac{C_m}{c} = \frac{21,42}{0,090} = 238 \text{ g} \cdot mol^{-1}$ .

Détermination du nombre de molécules d'eau hydratant le cristal.

$$\text{On a } M = M_{(NiCl_2)} + x M_{H_2O} \text{ donc } x = \frac{M - M_{(NiCl_2)}}{M_{(H_2O)}}$$

L'application numérique, en arrondissant à la valeur entière donne  $x = \frac{238 - (58,7 + 2 \times 35,5)}{2 \times 1,0 + 16,0} = 6$  molécules d'eau.

La formule est donc  $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ , il est hexa-hydraté.

**71** La cohésion entre les molécules d'eau à l'état solide est beaucoup plus importante que celle entre les molécules de sulfure d'hydrogène car il s'établit des liaisons hydrogène entre les molécules d'eau en raison de la différence d'électronégativité entre les atomes d'hydrogène et d'oxygène, liaisons qui n'existent pas entre les atomes de soufre et d'hydrogène.

Le sulfure d'hydrogène a donc une température de fusion inférieure à celle de l'eau.

**Exercice 26, question c Tableau d'avancement**

Réaction	Avancement	$\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3(\text{s}) \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} 2 \text{Ga}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$		
État initial	0	$2,34 \times 10^{-3}$	0	0
État intermédiaire	$x$	$2,34 \times 10^{-3} - x$	$2x$	$3x$
État final	$x_{\max}$	$2,34 \times 10^{-3} - x_{\max}$	$2x_{\max}$	$3x_{\max}$

**Exercice 36, question e Tableau d'avancement**

Réaction	Avancement	$\text{FeCl}_{(\text{s})} \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^{-}(\text{aq})$		
État initial	0	$1,58 \times 10^{-2}$	0	0
État intermédiaire	$x$	$1,58 \times 10^{-2} - x$	$x$	$2x$
État final	$x_{\max}$	$1,58 \times 10^{-2} - x_{\max}$	$x_{\max}$	$2x_{\max}$

**Exercice 69, point 2 Tableau d'avancement**

Réaction	Avancement	$\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{BaSO}_4(\text{s})$		
État initial	0	5,0	4,0	0
État intermédiaire	$x$	$5,0 - x$	$4,0 - x$	$x$
État final	$x_f$	$5,0 - x_f$	$4,0 - x_f$	$x_f$

## 6. Molécules organiques

### Activités

p. 132 à 133

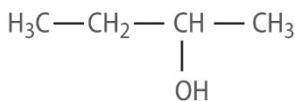
#### ① Composés de formule brute C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O

1. a. C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O,  $M = 4 \times 12 + 10 \times 1 + 16 = 74 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

b. Butan-1-ol :

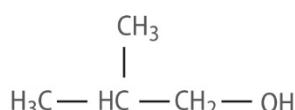


Butan-2-ol :

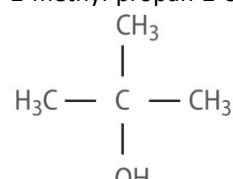


c. Après construction, il y a une chance sur deux de trouver le R ou le S.

2. 2-méthylpropan-1-ol :



2-méthyl-propan-2-ol :



3. L'éthoxyéthane n'a pas de groupement carboxyle, ce n'est donc pas un alcool. Son squelette n'est pas seulement carboné.

#### Bilan

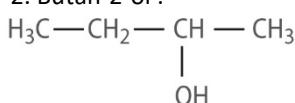
- On peut construire deux squelettes carbonés.
- On a à chaque fois deux alcools.

Un alcool, avec un carbone (méthanol), un alcool avec deux carbones (éthanol), deux alcools avec trois carbones (propan-1-ol et propan-2-ol).

#### ② Qui suis-je ?

1. Tableau.

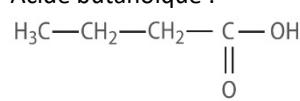
2. Butan-2-ol :



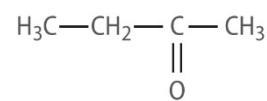
Butan-1-ol :



Acide butanoïque :



Butan-2-one :



3. Butanols : groupe hydroxyle ; acide butanoïque : groupe carboxyle ; butanone : groupe carbonyle.

4. La liaison hydrogène se développe en phase condensée, liquide et solide.

En phase condensée, il y a élargissement du pic de l'hydroxyle (spectre 1).

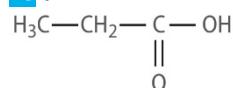
#### Bilan

- (spectre 1 : butan-1-ol), (spectre 2 : butan-2-one), (spectre 3 : butan-2-ol), (spectre 4 : acide butanoïque).
- Le propanal et la propanone sont difficiles à distinguer.

### Exercices

p. 140 à 149

23 a.



b. On observe les deux pics du groupe hydroxyle et du groupe carbonyle, on peut donc penser que la molécule porte un groupe carboxyle, et est donc l'acide propanoïque.

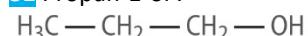
27 a. C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>



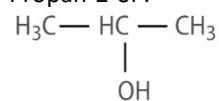
b.  $M = 100 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

28 a : 2-méthylpropane ; b : 2-méthyl, 3-éthyl pentane.

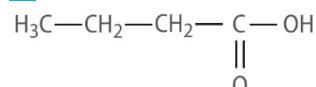
31 Propan-1-ol :



Propan-2-ol :



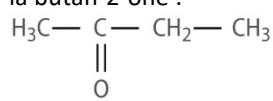
33 Acide butanoïque :



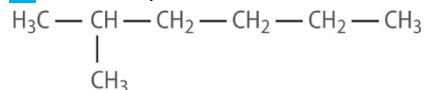
34 Acide 2-méthyl-propanoïque.

36 a. Groupe carboxyle.

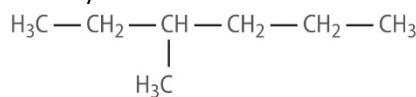
b.  $1715 \text{ cm}^{-1}$  correspondent à une cétone, c'est donc la butan-2-one :



37 a. 2-méthylhexane :



3-méthylhexane :



b. Le carbone central du 3-méthylhexane est lié à H, CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> et C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>.

39 1. c.

2. Formule brute : C<sub>9</sub>H<sub>18</sub> donc M = 126 g·mol<sup>-1</sup>.

41 a.



b.



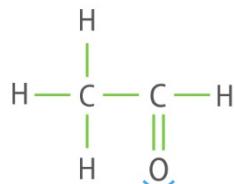
c. Les quatre doublets autour de O tendent à se repousser, ils se répartissent selon un tétraèdre et C—O—H est coudée.

d. L'oxygène est plus électronégatif que l'hydrogène, il porte une charge δ⁻ et l'hydrogène δ⁺. Il y a liaison hydrogène entre l'hydrogène d'une molécule et l'oxygène d'une autre.

42 a.



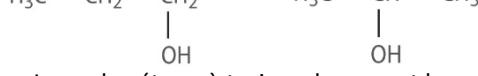
b.



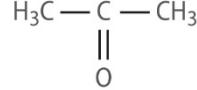
c. Le doublet compte pour un seul doublet, il y a donc trois doublets autour de C, ils se repoussent et les trois atomes forment un triangle.

43 a. On a  $12n + (2n + 2) + 16 = 60$  soit  $14n = 42$  donc n = 3. La formule brute de l'alcool est donc C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O.

b. A est le propan-1-ol ou le propan-2-ol :



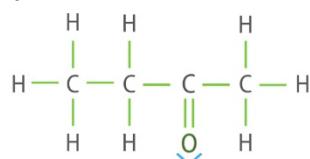
c. La seule cétone à trois carbones est la propanone.



d. L'alcool A est donc celui qui porte l'oxygène sur le deuxième carbone, c'est donc le propan-2-ol.

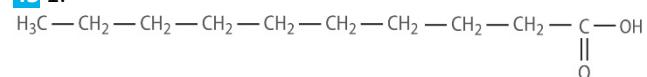
44 a. C'est la butan-2-one.

b.



c. Le doublet compte pour un seul doublet, il y a donc trois doublets autour de C, ils se repoussent et les trois atomes forment un triangle.

45 1.

2. a.  $m_{ag} = 0,08 \times 500 = 40 \text{ g.}$ b.  $m = 0,08 \times 40 = 3,2 \text{ g.}$ c.  $n = \frac{m}{M} = \frac{3,2}{(10 \times 12 + 2 \times 16 + 20)} = 19 \text{ mmol.}$ 

47 a. C'est le méthanal.

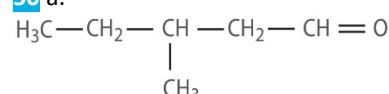
b. Le spectre 2 ne possède pas de pic à 2 850-3 000 cm<sup>-1</sup> mais un pic à 2 750 cm<sup>-1</sup> environ, c'est celui du méthanal, le spectre 1 est celui de l'éthanal.

49 On observe le pic caractéristique du groupe carbonyle, mais pas celui du groupe hydroxyle.

C'est donc un aldéhyde ou une cétone.

On peut proposer le pentanal ou une pentanone.

50 a.

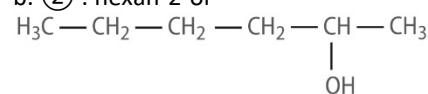


b. On observe le pic caractéristique du groupe carbonyle.

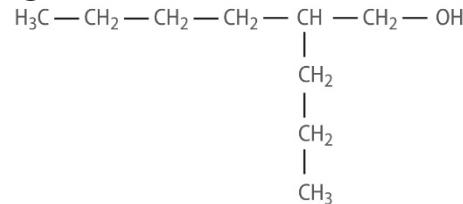
51 a.

- ① est impossible car le carbone 2 aurait 5 liaisons (I) ;  
 ② est mal nommé (N) ; ③ est correct (R) ; ④ est mal nommé (N) ; ⑤ est impossible car le carbone 1 aurait 5 liaisons (I) ; ⑥ est impossible car le carbone 1 aurait 5 liaisons (I).

b. ② : hexan-2-ol



④ : 2-propyl-hexan-1-ol



52 a.  $\lambda^* = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{(1700 + 273,15)} = 1,47 \times 10^{-6} \text{ m, donc l'intervalle est [734 nm ; 11,7 } \mu\text{m]. La partie visible du spectre, entre 734 nm et 800 nm, correspond au rouge.}$

b. On doit avoir simultanément  $\frac{\lambda^*}{2} = \frac{1}{(4 \times 10^5)}$   
 et  $8\lambda^* = \frac{1}{(0,25 \times 10^5)}$

donc  $\lambda^* = 5 \times 10^{-6} \text{ m.}$ On en déduit  $T = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{(5 \times 10^{-6})} = 580 \text{ K, soit } 307^\circ\text{C.}$

53 a.

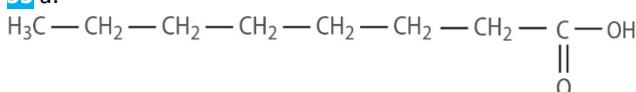
1. Méthane	2. Méthanol	3. Méthanal
$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}—\text{C}—\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}—\text{C}—\text{O}—\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}—\text{C}—\text{H} \\    \\ \text{O} \end{array}$
4. Acide méthanoïque	5. Dioxyde de carbone	
$\begin{array}{c} \text{H}—\text{C}—\text{O}—\text{H} \\    \\ \text{O} \end{array}$	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$	

- b. L'ordre est celui du tableau, de zéro à quatre liaisons.  
 c. Tétraédrique : méthane et méthanol ; triangulaire : méthanal et acide méthanoïque ; linéaire : dioxyde de carbone.  
 d. On observe le pic du groupe carbonyle mais pas celui du groupe hydroxyle, c'est donc le méthanal. La réaction s'écrit :  $2 \text{CH}_3\text{O} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ .

54 a.  $\text{C}_2\text{H}_6$  ou  $\text{COH}_2$  donc éthane ou méthanal.

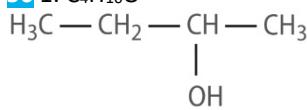
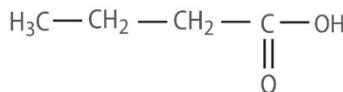
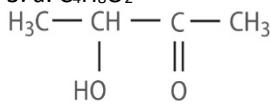
- b. Le groupe carbonyle est seulement présent dans l'aldéhyde, c'est donc le méthanal.

55 a.



- b. On remplace OH par  $\text{O}^-$  en bout de chaîne.

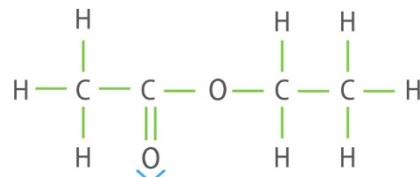
- c. L'ion octanoate possède une tête hydrophile ( $\text{O}^-$ ) et une chaîne carbonée lipophile, il est donc amphiphile et forme un tensioactif.

56 1.  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ 2.  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ 3. a.  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ 

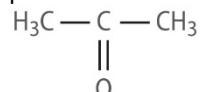
- b. Le groupe carbonyle sur le deuxième carbone indique que c'est une cétone, le groupe hydroxyle sur le troisième carbone indique que c'est un alcool.

4. Le spectre 1 n'a pas le pic du carbonyle donc c'est le butan-2-ol. L'acide est en phase condensée, c'est donc le spectre 3 avec le pic très large du groupe hydroxyle. Le spectre 2 est donc celui de la 3-hydroxybutanone, le pic fin vers  $3600 \text{ cm}^{-1}$  correspond au groupe hydroxyle.

5. Ce composé (c'est un ester) a la même formule brute  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$  que l'acide butanoïque et le composé de la question 3.



57 a. La propan-2-one a pour formule brute  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  et pour formule semi-développée :



- b. Les deux carbones sont doublement liés, l'oxygène a deux doublets non liants.

- c. Le spectre 1 possède le pic à  $1645 \text{ cm}^{-1}$  caractéristique de  $\text{C}=\text{C}$ , et le pic du groupe hydroxyle, c'est donc le spectre de l'alcool allylique.

Le spectre 2 possède le pic de la fonction carbonyle, c'est donc le spectre de la propanone.

58 En phase condensée (pluie), le pic du groupe hydroxyle est large, alors qu'en phase gazeuse, le pic est étroit.

59

#### Question préliminaire

Le spectre 1 ne présente pas le pic du groupe carbonyle, c'est donc l'éthanol.

Le spectre 2 possède un pic large caractéristique du groupe hydroxyle en phase condensée, c'est donc l'acide éthanoïque.

Le spectre 3 ne possède pas le pic du groupe hydroxyle, et on distingue le double pic vers  $1250 \text{ cm}^{-1}$ , c'est donc le méthanoate de méthyle.

#### Problème

Le seul couple de liaisons dans le méthanoate de méthyle absent des deux autres molécules est  $\text{C}—\text{O}—\text{C}$ .

60

#### Question préliminaire

La formule est celle d'une cétone ou d'un aldéhyde à chaîne linéaire, ou d'un alcool à squelette cyclique.

#### Problème

L'absence du pic caractéristique exclut le groupe carbonyle, c'est donc un alcool à squelette cyclique, c'est donc le cyclohexanol.

61 Le spectre présente le pic du groupe carbonyle, mais pas celui du groupe hydroxyle.

C'est donc le méthanal, ce n'est pas un alcool, et le suffixe -ol est donc mal choisi.

## 7. Synthèses organiques

### Activités p. 154 à 156

#### ① Synthèse de l'acide benzoïque

##### Liste de matériel

###### Produits

- Alcool benzyle sous la hotte
- Permanganate de potassium solide
- Carbonate de sodium solide
- Solution aqueuse d'acide chlorhydrique à 2 mol·L<sup>-1</sup>
- Pierreponce

###### Par poste

- Montage à reflux (ballon monocol de 250 mL avec valet, support élévateur, chauffe-ballon, réfrigérant à boules, potence, pinces)

###### Remarque

On peut également utiliser un ballon bicol en mettant un thermomètre.

- Balance, coupelle de pesée
- Pipette graduée de 5,0 mL
- Éprouvette graduée de 100 mL
- Montage filtration simple (potence, entonnoir, papier filtre, erlenmeyer de 250 mL)

###### Remarque

On peut également utiliser un bêcher pour la filtration puis transférer le filtrat dans l'erlenmeyer.

- Montage filtration sur Büchner (fiole à vide, entonnoir Büchner, papier filtre, trompe à eau)
- Cristallisoir avec eau et glace
- Verre de montre, spatule, baguette de verre, Parafilm
- Gants, lunettes

###### Remarque

On pourra fournir les 4,5 g de permanganate de potassium déjà pesés.

1. On utilise les pictogrammes et les phrases de risques pour trouver les précautions opératoires :
  - alcool benzyle, nocif par inhalation des vapeurs et par absorption ;
  - permanganate de potassium, nocif en cas d'ingestion, très toxique pour les organismes aquatiques, corrosif. Favorise l'inflammation des matières combustibles ;
  - carbonate de sodium, irritant pour la peau et les yeux ;
  - solution d'acide chlorhydrique, corrosif pour la peau et les yeux ;
  - dioxyde de manganèse, nocif en cas d'ingestion et d'inhalation.

Ceci impose le prélèvement de l'alcool benzyle sous hotte aspirante, l'utilisation des gants et lunettes et la récupération du résidu contenant du manganèse.

2. a. Schéma montage à reflux (> doc. 2 p. 157 et fiche 16 p. 442 : insister sur le fait qu'un schéma de chimie organique est un schéma en coupe, qui doit faire

apparaître la structure interne du réfrigérant ici ; ne pas oublier le support élévateur et la potence).

En cas d'emballage du mélange réactionnel, on abaisse le support élévateur pour éloigner rapidement le chauffe-ballon du ballon.

b. On introduit  $m_1 = 4,5$  g de permanganate de potassium. La quantité de matière d'ion permanganate apportée est donc  $n_1 = \frac{m_1}{M_{\text{KMnO}_4}} = 2,8 \times 10^{-2}$  mol.

On introduit  $V_2 = 2,5$  mL d'alcool benzyle, soit une quantité de matière  $n_2 = \frac{\rho V_2}{M_{\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}}} = 2,4 \times 10^{-2}$  mol.

D'où le tableau d'avancement (voir à la fin des corrigés des activités).

• Supposons que l'alcool benzyle soit le réactif limitant : alors  $2,4 \times 10^{-2} - 3x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = 8,0 \times 10^{-3}$  mol.

• Supposons que l'ion permanganate soit le réactif limitant alors  $2,8 \times 10^{-2} - 4x_{\max} = 0$ , soit  $x_{\max} = 7,0 \times 10^{-3}$  mol. Le réactif limitant est le réactif donnant la valeur la plus petite de  $x_{\max}$ , on en déduit que l'ion permanganate est le réactif limitant et  $x_{\max} = 7,0 \times 10^{-3}$  mol.

Lorsqu'on acidifie le milieu, les ions benzoate sont transformés en acide benzoïque, on peut donc en déduire la masse d'acide benzoïque maximale théorique :

$$m_{\text{théo}} = 3x_{\max} M_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}} = 2,6 \text{ g.}$$

3. a. Lors de la première filtration, le résidu contient le dioxyde de manganèse formé (solide marron) et le filtrat contient l'ion benzoate et le reste du mélange réactionnel (eau, ions  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ).

b. On acidifie pour transformer les ions benzoate en acide benzoïque (voir doc. 1).

c. On place l'erlenmeyer dans l'eau glacée pour faire diminuer la solubilité de l'acide benzoïque dans l'eau et ainsi obtenir plus de cristaux (étape de cristallisation).

4. Soit  $m_{\text{exp}}$  la masse obtenue expérimentalement d'acide benzoïque. Le rendement de la synthèse est  $\eta = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{théo}}}$ .

###### Remarque

À ce niveau, on n'a pas encore vérifié la nature et la pureté de ce produit brut. C'est donc un rendement ne tenant pas compte de l'impureté du produit brut.

###### Bilan

- Le montage à reflux permet le chauffage sans perte de matière et en toute sécurité (protège des vapeurs nocives d'alcool benzyle).
- Pour isoler l'acide benzoïque, on utilise ses propriétés acido-basiques et sa faible solubilité dans l'eau à basses températures.

#### ② Purifier et analyser le produit d'une synthèse

##### Liste de matériel

###### Produits

- Éluant 66 % cyclohexane et 33 % acétone
- Éthanol

**Par poste**

- Montage à reflux à air (erlenmeyer de 100 mL, réfrigérant à air, agitateur magnétique chauffant ou bain-marie, barreau aimanté, potence, pinces)

**Remarque**

On peut également utiliser un montage à reflux à eau.

- Balance, spatule, baguette de verre
- Montage filtration sur Büchner (fiole à vide, entonnoir Büchner, papier filtre, trompe à eau)
- Cristallisoir avec eau et glace
- Verre de montre, Parafilm
- 4 petits flacons avec bouchons, pipette Pasteur
- Cuve à chromatographie avec fond d'éluant
- Plaque à CCM, capillaires
- Gants, lunettes, lampe UV

1. Les impuretés piégées peuvent être des réactifs qui n'ont pas réagi comme l'alcool benzylique.

**Remarque**

Le permanganate de potassium n'est pas une impureté, car il subsisterait une coloration violette.

2. a. Pour vérifier la nature du produit purifié, on réalise quatre dépôts :

- alcool benzylique commercial ;
- produit brut ;
- produit purifié ;
- acide benzoïque commercial.

L'acide benzoïque de référence est indispensable pour prouver que le produit contient cette espèce chimique, l'alcool benzylique commercial permet d'identifier les impuretés éventuellement constatées dans le produit. b. Sur le chromatogramme, on peut observer la présence d'alcool benzylique dans le produit brut qui contient aussi de l'acide benzoïque. Le produit purifié ne donne lieu qu'à une tache au même niveau que l'acide benzoïque de référence. On en conclut alors que la purification a été efficace et a permis d'obtenir un produit ne contenant que de l'acide benzoïque.

Si l'on n'observe pas d'alcool benzylique dans le produit brut, on conclut que la purification n'était pas nécessaire ou que la chromatographie ne permet pas de détecter de petites quantités d'impuretés.

3. La température de fusion théorique de l'acide benzoïque est 122 °C.

Si le produit brut est très impur, la température de fusion du produit brut est plus élevée que celle de l'acide benzoïque de référence : le produit est impur.

La température de fusion du produit purifié est la plus proche de la valeur de référence.

4.  $m'_1$  est plus petite que  $m_1$  : cela veut dire que l'étape de purification entraîne une diminution du rendement. On constate des cristaux brillants et bien formés dans le cas du produit purifié (le produit brut est plus pâteux).

**Bilan**

L'eau dissout à chaud l'acide benzoïque et les impuretés (alcool benzylique), mais à froid l'acide benzoïque cristallise car il a une faible solubilité dans l'eau froide

alors que les impuretés restent en solution (plus grande solubilité à froid).

La recristallisation est une méthode de purification efficace et simple à mettre en œuvre, mais uniquement pour les solides et avec un choix de solvant limité (les impuretés et le produit doivent y être solubles à chaud mais le produit doit y être insoluble à froid).

En réalité, le produit n'a jamais une solubilité nulle dans le solvant à froid, on perd donc du produit. On en perd encore plus si on a ajouté trop de solvant lors de la dissolution, ce qui entraîne une diminution du rendement.

**③ Isoler et purifier un produit****Liste de matériel****Produits**

- Acide méthanoïque sous la hotte
- Éthanol
- Acide éthanoïque
- Alcool isoamylque
- Solution aqueuse d'acide sulfurique à 2 mol·L<sup>-1</sup>
- Solution aqueuse saturée en hydrogénocarbonate de sodium
- Solution aqueuse saturée en sel
- Sulfate de magnésium anhydre
- Pierre ponce

**Par poste**

- Montage à reflux (ballon monocul de 250 mL avec valet, support élévateur, chauffe-ballon, réfrigérant à boules, potence, pinces)

**Remarque**

On peut également utiliser un bicol en mettant un thermomètre.

- Balance
- Pipette graduée de 10 mL
- Éprouvette graduée de 20 mL
- Gants, lunettes

**Ajouter à certains postes**

- Montage de filtration simple (potence, entonnoir, papier filtre, bêcher de 100 mL) + montage d'extraction liquide-liquide (potence, ampoule à décanter, entonnoir, bêcher de 100 mL)

Ou

- Montage de distillation fractionnée (ballon, chauffe-ballon, colonne de Vigreux, 2 supports élévateurs, réfrigérant droit, erlenmeyer de 100 mL, pinces, potence)

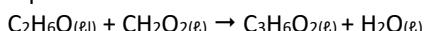
**Remarque**

on procède à une répartition des synthèses, chaque groupe ne réalise qu'une synthèse et qu'un type d'extraction. On peut aussi placer le matériel d'extraction sur des postes dédiés.

1. a. Consignes de sécurité : porter des gants, des lunettes, une blouse, travailler sous la hotte pour les produits nocifs.  
 b. Les quantités de matière apportées de chaque réactif sont identiques et valent  $n = 0,15 \text{ mol}$ .  
 Synthèse du méthanoate d'éthyle :

	Masse molaire (en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	Masse volumique (en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	Volume (en mL)
Acide méthanoïque	46	1,22	5,7 (pipette graduée de 10 mL)
Éthanol	46	0,79	8,7 (pipette graduée de 10 mL)

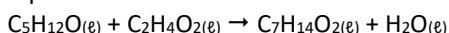
Équation de la réaction :



Synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle :

	Masse molaire ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	Masse volumique ( $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	Volume (mL)
Acide éthanoïque	60	1,04	8,7 (pipette graduée, 10 mL)
3-méthylbutan-1-ol (alcool isoamyllique)	88	0,80	16,5 (pipette graduée, 20 mL)

Équation de la réaction :



Dans les deux cas le mélange est équimolaire et les coefficients stœchiométriques sont égaux à 1, donc les réactifs sont apportés en proportions stœchiométriques.

2. Réalisation de la synthèse.

### 3. a. Synthèse du méthanoate d'éthyle

On procède à une extraction par distillation fractionnée car l'écart entre les températures d'ébullition du méthanoate d'éthyle et des réactifs est suffisant (plus de 20 °C).

L'extraction liquide-liquide n'est pas possible car le méthanoate d'éthyle est trop soluble dans l'eau.

### Synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle

On procède à une extraction liquide-liquide car il y a peu d'écart entre les températures d'ébullition, donc la distillation fractionnée serait peu efficace.

L'éthanoate de 3-méthylbutyle est très peu soluble dans l'eau et donc encore moins dans l'eau salée ; on peut donc procéder à un relargage. On peut ensuite sécher le produit avec du sulfate de magnésium anhydre, puis filtrer.

### c. Synthèse du méthanoate d'éthyle

Schéma légendé du montage de distillation fractionnée : > doc. 4 p. 158 ou fiche 16 p. 442.

Quand la température de la tête de colonne atteint 54 °C, il y extraction du méthanoate d'éthyle.

### Synthèse de l'éthanoate de 3-méthylbutyle

Schéma de l'ampoule à décanter : > fiche 16 p. 443.

L'éthanoate de 3-méthylbutyle a une densité plus faible que la phase aqueuse.

4. On peut identifier l'ester obtenu (méthanoate d'éthyle ou éthanoate de 3-méthylbutyle) en mesurant sa masse volumique, à comparer avec la valeur de référence (on mesure la masse et le volume d'ester obtenu).

La mesure de masse volumique est trop peu sensible pour détecter des impuretés.

On peut vérifier la pureté par spectroscopie IR ou CCM. La distillation fractionnée est également une technique d'identification (on mesure la température d'ébullition en tête de colonne).

### Remarque

On peut également faire calculer un rendement : on pèse l'érlemeyer vide et sec avant récupération du distillat ou de la phase organique, on peut ainsi en déduire la masse d'ester obtenu (méthanoate d'éthyle ou éthanoate de 3-méthylbutyle).

### Bilan

La distillation fractionnée présente l'avantage d'être aussi une technique de purification, on est sûr que l'espèce est pure au contraire de l'extraction liquide-liquide, mais elle n'est utilisable que dans certains cas (écart suffisant entre les températures d'ébullition) et implique un montage plus lourd.

### Activité 1, question 2b Tableau d'avancement

		4 MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>	+	3 C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> OH <sub>(l)</sub>	→ 3 C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COO <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>	+	4 MnO <sub>2(s)</sub>	+	HO <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>	+	H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>
Avancement	Quantité de matière de...	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> OH	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COO <sup>-</sup>	MnO <sub>2</sub>	HO <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O				
0	...apportée à l'état initial	$2,8 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$	0	0	Inconnue	Solvant				
$x$	...en cours de réaction	$2,8 \times 10^{-2} - 4x$	$2,4 \times 10^{-2} - 3x$	$3x$	$4x$	Inconnue	Solvant				
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$2,8 \times 10^{-2} - 4x_{\max}$	$2,4 \times 10^{-2} - 3x_{\max}$	$3x_{\max}$	$4x_{\max}$	Inconnue	Solvant				

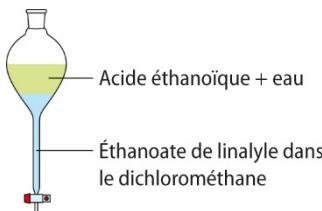
**Exercices**

p. 162 à 171

**23** a. À la fin de la transformation (étape 1), le milieu réactionnel contient de l'acide éthanoïque (très soluble dans l'eau), de l'eau et l'éthanoate de linalyle formé (peu soluble dans l'eau). Le dichlorométhane étant non miscible avec l'eau et dissolvant bien l'éthanoate de linalyle, il constitue un bon solvant pour extraire l'éthanoate de linalyle de la phase aqueuse.

b. Le principal inconvénient de cette extraction est la nocivité du dichlorométhane (pictogramme dangereux pour la santé) qui impose de travailler sous la hotte avec gants et lunettes.

c.



L'ordre des phases est donné par la valeur de la masse volumique des solvants. C'est la phase organique qui contient le dichlorométhane et l'acétate de linalyle qui se place en bas car le dichlorométhane a une masse volumique supérieure à celle de l'eau.

**27** a. À 20 °C le menthol est solide (cette température est plus faible que sa température de fusion), l'acide éthanoïque et l'éthanoate de menthyle sont liquides. À 60 °C, ils sont tous liquides car cette température est comprise entre leur température de fusion et leur température d'ébullition.

b. Le menthol est nocif (irritant pour la peau) d'où l'utilisation de gants et lunettes.

L'acide éthanoïque est corrosif d'où l'utilisation de gants et lunettes.

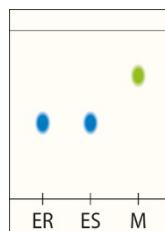
L'éthanoate de menthyle est dangereux pour les organismes aquatiques, il faut le récupérer et ne pas le jeter à l'évier.

**30** a. La filtration simple sert à éliminer le sulfate de magnésium solide qui a emprisonné les quelques molécules d'eau restantes en phase organique.  
b. La filtration sur Büchner est plus efficace et plus rapide que la filtration simple.

Légendes du schéma : ① Fiole à vide ; ② Joint de l'entonnoir ; ③ Entonnoir Büchner avec papier filtre ; ④ Trompe à eau

**31** a. Il faut réaliser les dépôts d'éthanoate de menthyle synthétisé ES, d'éthanoate de menthyle de référence ER et de menthol M.

b. Si le produit synthétisé est pur, on observe une seule tache au même niveau que l'éthanoate de menthyle de référence.

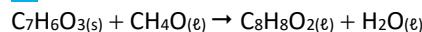


**32** a. À température ambiante, le menthol est un solide, on peut mesurer sa température de fusion (sur banc Köfler, par exemple).

b. L'éthanoate de menthyle étant liquide, on peut mesurer sa température d'ébullition en réalisant une distillation fractionnée.

On peut aussi utiliser un spectre IR.

**34** 1. Équation de la réaction :



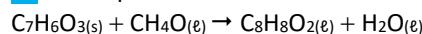
2. a. L'acide salicylique et le salicylate de méthyle sont nocifs. Le méthanol est dangereux et inflammable. Il faut porter des gants et des lunettes, travailler sous la hotte et loin de toute source de flamme.

b. Montage de chauffage à reflux : > doc. 2 p. 157 ou fiche 16 p. 442.

3. a. Le réactif limitant est le méthanol car il a la quantité de matière apportée la plus faible et la réaction se fait mole à mole. Donc  $x_{\max} = 0,20$  mol.

b. La quantité de matière d'ester obtenue expérimentalement est  $n_{\exp} = 0,12$  mol. La quantité de matière théorique d'ester formée est  $x_{\max}$ . Le rendement de la synthèse est donc  $\eta = \frac{n_{\exp}}{x_{\max}} = \frac{0,12}{0,20} = 0,60$ .

**35** 1. a. Équation de la réaction :



b. Un excès de méthanol signifie que le méthanol n'est pas le réactif limitant, il en reste à la fin de la transformation.

2. a. Le rendement de la synthèse est  $\eta = 90\%$  et l'on veut produire  $V_{\text{Exp}} = 5,0$  mL d'essence de Wintergreen. Le volume d'essence de Wintergreen que la réaction produirait avec un rendement de 100 % serait

$$V_{\text{th}} = \frac{V_{\text{Exp}}}{\eta} = 5,6 \text{ mL}$$

b. Soit  $n_1$  la quantité de matière apportée en acide salicylique. Le méthanol est en excès. On en déduit le tableau d'avancement fourni à la fin des corrigés des exercices.

L'avancement maximal est :

$x_{\max} = \frac{\rho_E V_{\text{théo}}}{M_{\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2}} = 4,4 \times 10^{-2} \text{ mol}$  (avec  $\rho_E$  la masse volumique du salicylate de méthyle). C'est donc aussi  $n_1$  puisque l'acide salicylique est le réactif limitant.

c. On en déduit la masse d'acide salicylique nécessaire  $m_1 = n_1 M_{\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3} = 6,1 \text{ g}$ .

**37** 1. a. La distillation fractionnée est le montage de droite.

b. À 65 °C, le méthanol est distillé, il ne reste dans le ballon que du salicylate de méthyle.

2. On peut vérifier que c'est bien du salicylate de méthyle pur par CCM ou spectroscopie IR.

**39** 1. a. Mélange homogène de deux liquides : on utilise la distillation fractionnée pour extraire l'espèce liquide souhaitée si la différence entre les températures d'ébullition est suffisante (au moins 20 °C).

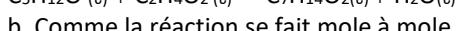
Sinon on peut réaliser une extraction liquide-liquide après ajout d'un solvant non miscible au mélange mais dans lequel le liquide à extraire est plus soluble (on rend le mélange hétérogène).

- b. Mélange hétérogène de deux liquides : on utilise l'ampoule à décanter ; on a aussi possibilité de procéder à un relargage pour diminuer la solubilité de l'un dans l'autre.
- 2. a. La filtration sur Büchner est souvent la plus efficace dans ce cas.
- b. Il faut faire cristalliser en diminuant la solubilité de l'espèce à extraire en modifiant les conditions expérimentales (température, pH, etc.) puis filtrer.

**40** 1. Étape 1 : transformation ; étape 2 : extraction de l'éthanoate de pentyle ; étape 3 : purification par lavage et séchage de la phase organique ; étape 4 : identification par spectroscopie IR.

- 2. a. ① Ballon ; ② Chauffe-ballon ; ③ Support élévateur ; ④ Mélange réactionnel ; ⑤ réfrigérant à boules.
- b. Ce montage permet de chauffer le mélange sans perte de matière et en toute sécurité. La pierre ponce permet de réguler l'ébullition.
- 3. a. Il se forme deux phases non miscibles donc l'éthanoate de pentyle ne se dissout pas dans l'eau.
- b. L'utilisation de sulfate de magnésium anhydre permet de capter les molécules d'eau restant en phase organique d'où le mot *sécher*.

4. a. Équation de réaction :



b. Comme la réaction se fait mole à mole, le réactif limitant est le pentan-1-ol, donc l'avancement maximal est 0,23 mol. La quantité de matière maximale théorique d'éthanoate de pentyle produit est donc  $n_{th} = 0,23$  mol. Connaissant la quantité de matière d'éthanoate de pentyle pur obtenu  $n_{exp} = 0,080$  mol, on en déduit le rendement de la synthèse  $\eta = \frac{n_{exp}}{n_{th}} = 0,35$  soit 35 %.

C'est un rendement faible qu'on pourrait améliorer en chauffant plus longtemps ou par l'ajout d'un catalyseur si la réaction n'est pas arrivée à son terme.

#### Remarque

Les facteurs cinétiques n'ont pas, en général, d'impact sur le rendement des transformations, pour peu que l'on attende assez longtemps.

**41** 1. a. Schéma du montage à reflux : > doc. 2 p. 157 ou fiche 16 p. 442.

b. On introduit  $m_1 = 23$  g de menthol, soit une quantité de matière  $n_1 = \frac{m_1}{M_{\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}}} = 1,5 \times 10^{-1}$  mol.

On introduit  $V = 100$  mL de solution aqueuse d'ions permanganate à la concentration  $c = 0,20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , soit une quantité de matière d'ions permanganate  $\text{MnO}_4^-$  apportée  $n_2 = cV = 2,0 \times 10^{-2}$  mol.

D'où le tableau d'avancement fourni en fin de corrigé.

Si l'ion permanganate est réactif limitant,  $n_2 - 2x_{max} = 0$ , d'où  $x_{max} = \frac{n_2}{2} = 1,0 \times 10^{-2}$  mol.

Si le menthol est le réactif limitant,  $n_1 - 5x_{max} = 0$ , d'où  $x_{max} = \frac{n_1}{5} = 2,9 \times 10^{-2}$  mol.

La plus petite de ces valeurs ne peut être dépassée, donc le réactif limitant est l'ion permanganate et  $x_{max} = 1,0 \times 10^{-2}$  mol et le menthol est le réactif en excès.

2. a. À 20 °C, sous pression atmosphérique, la menthone est un liquide car 20 °C est comprise entre la température de fusion et la température d'ébullition de la menthone.

b. On peut isoler la menthone par extraction par solvant. On choisit un solvant dans lequel le menthol n'est pas soluble et dans lequel la menthone est très soluble et qui est non miscible avec l'eau (les autres produits formés, l'eau et les ions  $\text{Mn}^{2+}$ , sont dissous dans l'eau).

3. a. Le produit est impur car il donne lieu à deux taches : il reste du menthol (une des taches est au même niveau que celle du menthol).

b. La masse maximale théorique de menthone, est  $m_{max} = 5x_{max} M_{\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}} = 7,7$  g.

c. La masse obtenue est supérieure à la masse maximale espérée, ce qui montre bien que le produit est impur.

d. Il n'est pas judicieux de calculer un rendement car le produit n'est pas pur, la masse pesée est supérieure à la masse maximale espérée, on obtiendrait un rendement supérieur à 100 %.

4. a. et b. Les suffixes des noms laissent penser que le menthol a une fonction alcool et la menthone une fonction cétone. En spectroscopie IR, si le produit est impur, on observe un large pic correspondant au groupe hydroxyle du menthol et un pic correspondant au groupe carbonyle de la menthone.

Si le produit est pur, il n'apparaît plus la large bande d'absorption du groupe hydroxyle.

5. En plaçant le mélange à une température inférieure à la température de fusion du menthol, celui-ci cristallise. Si cette température est supérieure à la température de fusion de la menthone (-6,5 °C), elle reste liquide. On pourra ainsi filtrer sur Büchner le mélange à froid (à 2 °C par exemple), le filtrat constituant la menthone.

**42** 1. Chacun des réactifs est introduit en quantité de matière  $n = 0,30$  mol.

La masse volumique de l'éthanol est  $\rho_1 = 0,79 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , on introduit donc un volume d'éthanol :

$$V_1 = \frac{nM_{\text{C}_2\text{H}_6\text{O}}}{\rho_1} = \frac{0,30 \times 46}{0,79} = 17 \text{ mL}$$

La masse volumique de l'acide méthanoïque est  $\rho_2 = 1,22 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , on introduit donc un volume d'acide méthanoïque :  $V_2 = \frac{nM_{\text{CH}_3\text{CO}_2}}{\rho_2} = \frac{0,30 \times 46}{1,22} = 11 \text{ mL}$

2. a. On peut procéder à une extraction liquide-liquide : il faut un solvant dans lequel le méthanoïte d'éthyle est soluble et qui soit non miscible à l'eau ; il faut donc connaître la solubilité du méthanoïte d'éthyle dans différents solvants ainsi que leur miscibilité avec l'eau.

b. On peut identifier le méthanoate d'éthyle par CCM ou spectroscopie IR.

c. La quantité de matière maximale théorique de méthanoate d'éthyle obtenue est  $n = 0,30$  mol (car la réaction se fait mole à mole et on apporte une quantité de matière  $n$  de chaque réactif).

La quantité de matière de méthanoate d'éthyle effectivement obtenue avec un rendement  $\eta_1 = 0,67$  est  $n_{\text{exp}1} = n\eta_1 = 0,67 \times 0,30 = 0,20$  mol.

La masse volumique du méthanoate d'éthyle est  $\rho_3 = 0,92 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ .

On en déduit le volume de méthanoate d'éthyle effectivement obtenu :

$$V_{\text{exp}1} = \frac{n_{\text{exp}1} M_{\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_2}}{\rho_3} = \frac{0,20 \times 74}{0,92} = 16 \text{ mL}$$

d. Le chauffage favorise les chocs entre réactifs et donc accélère la transformation. Le montage utilisé est le montage à reflux.

3. a. Montage de distillation fractionnée : > doc. 4 p. 158 ou fiche 16 p. 442.

b. À 55 °C, le méthanoate d'éthyle est extrait du mélange (distillat), car c'est la température d'ébullition du méthanoate d'éthyle.

c. La quantité de matière maximale théorique de méthanoate d'éthyle obtenue est toujours  $n = 0,30$  mol.

On recueille un volume de méthanoate d'éthyle

$V_{\text{exp}2} = 23,4 \text{ mL}$ , soit une quantité de matière

$$n_{\text{exp}2} = \frac{\rho_3 V_{\text{exp}2}}{M_{\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_2}} = \frac{0,92 \times 23,4}{74} = 0,29 \text{ mol}$$

On en déduit le rendement de cette synthèse :

$$\eta_2 = \frac{n_{\text{exp}2}}{n} = \frac{0,29}{0,30} = 97 \text{ %}.$$

4. Le protocole le plus efficace est le 2 car il donne un rendement bien plus élevé.

43 1. a. Étape 1 : transformation des réactifs en produits. Étape 2 : cristallisation de l'aspirine et extraction du solide par filtration.

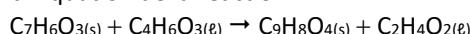
Étape 3 : purification du solide par recristallisation.

b. On utilise un montage à reflux (avec réfrigérant à air).

c. Il manque l'étape d'identification.

2. a. Espèces nocives, corrosives et inflammables : éloigner de toute source de chaleur, porter des gants et des lunettes, travailler sous la hotte.

b. Équation de la réaction :



3. a. On ne dépasse pas les 60 °C pour éviter la polymérisation de l'acide acétylsalicylique (voir les données).

b. On utilise un montage à reflux avec réfrigérant à air car les espèces sont peu volatiles et le chauffage se fait à faible température (60 °C).

4. a. On introduit  $m_1 = 3,0 \text{ g}$  d'acide salicylique.

La quantité de matière d'acide salicylique apportée

$$\text{est donc } n_1 = \frac{m_1}{M_{\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3}} = \frac{3,0}{180} = 0,022 \text{ mol.}$$

On introduit  $V_2 = 6,0 \text{ mL}$  d'anhydride éthanoïque (de masse volumique  $\rho = 1,08 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), soit une quantité de matière  $n_2 = \frac{\rho V_2}{M_{\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3}} = \frac{1,08 \times 6,0}{102} = 0,064 \text{ mol}$ .

Comme la réaction se fait mole à mole, on peut en déduire que l'acide salicylique est le réactif limitant (il a la quantité de matière la plus faible) et que l'anhydride éthanoïque est le réactif en excès.

b. On élimine l'anhydride éthanoïque restant en ajoutant de l'eau, il se transforme en acide éthanoïque.

c. On lave l'aspirine obtenue à l'eau froide, c'est donc que l'aspirine y est très peu soluble.

5. a. La quantité de matière maximale théorique d'aspirine est  $x_{\text{max}} = n_1 = 0,022 \text{ mol}$ .

Connaissant la masse obtenue d'aspirine pure  $m_{\text{exp}}$ , on en déduit la quantité de matière d'aspirine obtenue effectivement  $n_{\text{exp}} = \frac{m_{\text{exp}}}{M_{\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4}} = \frac{2,7}{180} = 0,015 \text{ mol}$ .

On en déduit donc le rendement  $\eta = \frac{n_{\text{exp}}}{x_{\text{max}}} = \frac{0,015}{0,022} = 0,68$ .

b. On peut utiliser une identification par CCM en dissolvant le produit obtenu (car on peut disposer de l'espèce chimique de référence) ou par spectroscopie IR (car le produit à identifier contient des liaisons facilement repérables sur un spectre IR).

#### 44 1. a.

Toluène			
Pyridine			
Chlorure d'éthanoyle			

b. Les espèces en question sont dangereuses pour la santé, inflammables, corrosives, nocives pour l'homme et l'environnement. Cette synthèse n'est pas réalisable au lycée car elle nécessite une agitation de 12 h sous atmosphère de diazote et le matériel du lycée ne permet pas de laisser une telle transformation sans surveillance en sécurité.

2. a. On a décrit l'étape de transformation.

b. C'est une transformation exothermique (dégagement d'énergie thermique) et très longue (12 h d'agitation).

3. La synthèse précédente a un rendement moindre mais est plus facile à mettre en œuvre, les réactifs et solvants sont moins nocifs et elle est moins longue.

Cette synthèse a un très bon rendement mais nécessite une agitation de 12 h et des espèces dangereuses complexes à utiliser. C'est peu intéressant pour de faibles quantités d'aspirine à produire.

45 La masse de polystyrène que l'on cherche à obtenir expérimentalement est  $m_{\text{exp}} = 1 \text{ tonne} = 1 \times 10^6 \text{ g}$ .

Le protocole ayant un rendement  $\eta = 0,55$ , on en déduit la masse maximale théorique de polystyrène obtenable :

$$m_{\text{théo}} = \frac{m_{\text{exp}}}{\eta} = \frac{1 \times 10^6}{0,55} = 1,8 \times 10^6 \text{ g.}$$

L'avancement maximal de la réaction de synthèse est donc  $x_{\max} = \frac{m_{\text{théo}}}{M_3}$ .

D'après la stœchiométrie de la réaction de synthèse, la quantité de matière de styrène à apporter à l'état initial est  $n_1 = px_{\max}$ , soit  $n_1 = p \frac{m_{\text{théo}}}{M_3}$ . Comme  $M_3 = pM_1$ , on en déduit que la quantité de matière de styrène à apporter est  $n_1 = p \frac{m_{\text{théo}}}{pM_1} = \frac{m_{\text{théo}}}{M_1} = \frac{1,8 \times 10^6}{104} = 1,7 \times 10^4 \text{ mol}$ .

La masse de styrène pur correspondante est

$$m_1 = n_1 M_1 = m_{\text{théo}} = 1,8 \times 10^6 \text{ g.}$$

Compte tenu du fait que le rendement de purification du styrène commercial est  $\eta_s = 0,80$ , la masse de styrène commercial (non pur) à utiliser pour obtenir une masse  $m_1$  de styrène pur est  $m'_1 = \frac{m_1}{\eta_s}$

$$= \frac{1,8 \times 10^6}{0,80} = 2,2 \times 10^6 \text{ g} = 2,2 \text{ tonnes}$$

D'après le doc. 1, il faut 100 fois moins d'AIBN que de styrène. La quantité de matière d'AIBN nécessaire est

$$n_2 = \frac{n_1}{100} = 1,7 \times 10^2 \text{ mol}$$

La masse d'AIBN nécessaire est donc  $m_2 = n_2 M_2$

$$= 1,7 \times 10^2 \times 164 = 2,8 \times 10^4 \text{ g} = 28 \text{ kg}$$

Le protocole du laboratoire ne peut pas être appliqué à l'industrie, le rendement est trop faible, il faut plus de deux tonnes de styrène pour obtenir une tonne de polystyrène : ce n'est pas rentable.

**46** À 20 °C et pression atmosphérique normale, l'alcool benzylique est liquide et l'acide benzoïque est solide.

Pour l'alcool benzylique, on procède donc à une extraction liquide-liquide pour faire passer l'alcool benzylique initialement en phase aqueuse en phase étherée où il est plus soluble.

On récupère la phase supérieure organique qui contient l'éther et l'alcool benzylique (elle surnage car l'éther a une masse volumique plus faible que celle de l'eau) et on conserve la phase aqueuse.

Après séchage avec le sulfate de magnésium anhydre et filtration, on récupère l'alcool benzylique dissous dans

l'éther. On peut éliminer l'éther par distillation en chauffant à 39,5 °C (température d'ébullition de l'éther).

#### Remarque

Dans la pratique on utilise un évaporateur rotatif.

Pour l'**acide benzoïque**, on récupère la phase aqueuse (eau, ions benzoate, sodium et hydroxyde), on fait précipiter l'acide benzoïque en abaissant le pH et la température du mélange (on place le mélange dans un bain eau-glace).

On filtre sur Büchner avec rinçage du solide à l'eau glacée. On vérifie la pureté et la nature des produits récupérés par CCM.

**47** On cherche la quantité de matière d'acide benzoïque extrait  $n_e$  pour l'extraction simple et triple.

Avant extraction, la solution aqueuse contient une quantité de matière d'acide benzoïque  $n_i$   $= 5,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$

Grâce au titrage, on peut calculer la quantité de matière  $n_r$  d'acide benzoïque restant en phase aqueuse après extraction.

La réaction de titrage est  $C_7H_6O_2 + HO^- \rightarrow C_7H_5O_2^- + H_2O$ . La quantité de matière de réactif titrant ( $HO^-$ ) apportée à l'équivalence est  $n = cV_E$ .

D'après la stœchiométrie de la réaction de titrage, la quantité de matière d'acide benzoïque titré est identique,  $n_r = n = cV_E$ .

Or, l'acide benzoïque initial a été extrait ou est resté en solution aqueuse, donc la quantité de matière d'acide benzoïque extrait est  $n_e = n_i - n_r = n_i - cV_E$ .

Sur l'extraction simple, on calcule  $n_e = 4,7 \times 10^{-4} \text{ mol}$ , puis le rendement de l'extraction  $R = 0,95$ .

Pour l'extraction triple, on calcule  $n_e = 4,8 \times 10^{-4} \text{ mol}$ , puis le rendement de l'extraction  $R = 0,96$ .

Conclusion, il est ici un tout petit peu plus efficace de procéder à plusieurs extractions successives qu'à une seule car le rendement d'extraction est légèrement plus grand lors d'une extraction triple.

#### Exercice 35, question 2b Tableau d'avancement

		$C_7H_6O_3(s)$	+	$CH_4O(l)$	$\rightarrow$	$C_8H_8O_2(l)$	+	$H_2O(l)$
Avancement	Quantité de matière de...	$C_7H_6O_3$		$CH_4O$		$C_8H_8O_2$		$H_2O$
0	...apportée à l'état initial	$n_1$		Excès		0		0
$x$	...en cours de réaction	$n_1 - x$		Excès		$x$		$x$
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_1 - x_{\max} = 0$		Excès		$x_{\max}$		$x_{\max}$

## Exercice 41, question 1b

## Tableau d'avancement

		$2 \text{MnO}_4^- + 5 \text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O} + 6 \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow 2 \text{Mn}^{2+} + 5 \text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O} + 14 \text{H}_2\text{O}_{(l)}$					
Avancement	Quantité de matière de...	$\text{MnO}_4^-$	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$	$\text{H}_3\text{O}^+$	$\text{Mn}^{2+}$	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}$
0	...apportée à l'état initial	$n_2$	$n_1$	Excès	0	0	Solvant
$x$	...en cours de réaction	$n_2 - 2x$	$n_1 - 5x$	Excès	$2x$	$5x$	Solvant
$x_f = x_{\max}$	...présente à l'état final	$n_2 - 2x_{\max}$	$n_1 - 5x_{\max}$	Excès	$2x_{\max}$	$5x_{\max}$	Solvant

## 8. Énergie et réactions chimiques

### Activités

p. 176 à 178

#### ① Les carburants usuels

- a. Le pétrole est un mélange de nombreuses molécules, la distillation permet de séparer les composés en fonction de l'usage que l'on souhaite.
- b. Les carburants usuels sont :
  - les essences utilisées dans les moteurs à essence ;
  - les gazoles utilisés dans les moteurs diesel ;
  - les composés sous forme de gaz utilisés dans les moteurs mixtes essence et gaz.
- c. Plus le nombre d'atomes de carbone est important, plus la température d'ébullition est élevée.
- d. La différence se situe au niveau du pourcentage de biocarburants présents dans le mélange. Cela indique le pourcentage de bioéthanol, de 5 % pour le E5 à 85 % pour le E 85. Cela indique le pourcentage de biodiesel, de 7 % maximum pour le B7 à 10 % pour le B10.
- e. Les biocarburants ne sont pas utilisés purs car cela nécessite des adaptations au niveau mécanique, et la quantité produite est limitée.

#### Bilan

Pour les carburants, il serait possible de se passer du pétrole en le remplaçant par des biocarburants, en adaptant les moteurs.

Il est plus difficile de se passer du pétrole dans le domaine des produits chimiques (utilisés directement ou pour les synthèses).

#### ② Pouvoir calorifique de la paraffine

1. a. La masse d'eau vaut  $m_{\text{eau}} = m_t - m_c$ .

b. Si  $V_{\text{eau}} = 200 \text{ mL}$  alors  $m_{\text{eau}} = 200 \text{ g}$ .

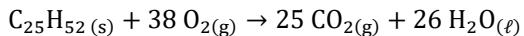
c. L'énergie thermique vaut  $Q = mc(\theta_f - \theta_i)$ .

On a  $\theta_f = 32,2^\circ\text{C}$  et  $\theta_i = 10,8^\circ\text{C}$  donc :

$$Q = 200 \times 4,18 \times (32,2 - 10,8) = 17,9 \times 10^3 \text{ J} = 17,9 \text{ kJ}$$

d. L'énergie reçue par l'eau vient de l'énergie libérée par la combustion de la paraffine.

2. a. Équation de la combustion :



b. L'énergie libérée par la combustion de la bougie est égale à  $Q$ , soit 17,9 kJ.

c. Calcul de la masse de paraffine consommée :

$$m = m_b' - m_b = 0,59 \text{ g}$$

$$\text{d. Calcul de } PC_{\text{exp}} : PC_{\text{exp}} = \frac{Q}{m} = \frac{17,9}{0,59} = 30,9 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$$

$$\text{3. Calcul de l'écart relatif : } e = \frac{|30,9 - 46,0|}{46,0} = 0,328 = 32,8 \%$$

#### Bilan

• La valeur obtenue est inférieure à la valeur attendue à cause des pertes d'énergie.

• Il est possible d'isoler la canette, de limiter les pertes autour de la bougie en mettant un cache autour de la bougie. Les causes d'incertitudes sont les pertes de chaleur au niveau de la canette, entre la bougie et la

canette. Des traces noires apparaissent sur la canette, la combustion n'est pas totalement complète. La chaleur de la canette n'a pas été prise en compte.

#### ③ L'avenir des biocarburants

a. Pour le calcul du pouvoir calorifique par litre, on divise le pouvoir calorifique par la masse volumique.

$$-\text{Gazole : } \frac{43}{0,75} = 57,3 \text{ MJ} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$-\text{Essence : } \frac{42,9}{0,84} = 51,1 \text{ MJ} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$-\text{Éthanol : } \frac{26,8}{0,79} = 33,9 \text{ MJ} \cdot \text{L}^{-1}$$

b. Le diesel est le carburant le plus énergétique, à volume donné.

c. Le pourcentage de carbone est le plus élevé pour le gazole, il est le carburant qui va libérer le plus de dioxyde de carbone.

d. Les carburants de seconde génération sont fabriqués à partir de déchets végétaux. Ils n'utilisent pas de surface agricole spécifique.

Les biocarburants de troisième génération sont synthétisés dans des bioréacteurs à partir de micro-organismes : leur croissance est rapide avec un fort pourcentage de lipides, et le rendement est de 15 tep par hectare.

e. Le bioéthanol libère le moins de dioxyde de carbone.

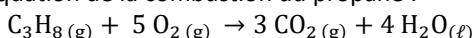
#### Bilan

Les biocarburants de première génération sont issus de cultures à vocation alimentaire, ils ne sont pas ceux qui libèrent le plus d'énergie par litre, le bioéthanol libère moins de dioxyde de carbone que l'essence mais le biodiesel libère plus de dioxyde de carbone que le diesel.

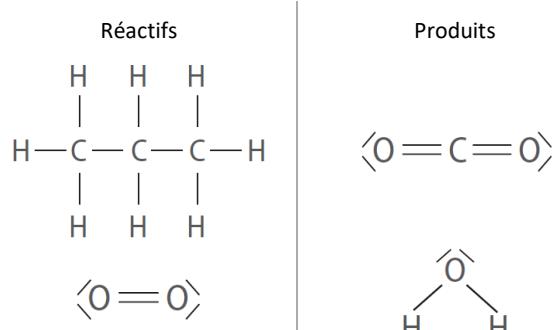
### Exercices

p. 184 à 193

26 a. Équation de la combustion du propane :



b. Schémas de Lewis :



c. Calcul de l'énergie molaire de combustion :

$$E_r = \sum E_l (\text{réactifs}) - \sum E_l (\text{produits})$$

$$E_r = [2 E_l(\text{C} = \text{C}) + 8 E_l(\text{C} - \text{H}) + 5 E_l(\text{O} = \text{O})] - [6 E_l(\text{C} = \text{O}) + 8 E_l(\text{H} - \text{O})]$$

$$E_r = [2 \times 348 + 8 \times 415 + 5 \times 498] - [6 \times 804 + 8 \times 463]$$

$$E_r = -2\ 022 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

- 28** a.  $2 \text{C}_8\text{H}_{18} + 25 \text{O}_2 \rightarrow 16 \text{CO}_2 + 18 \text{H}_2\text{O}$   
 b.  $E_r = -5\ 067 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  donc 1,0 mol d'octane libère une énergie égale à 5 067 kJ.  
 c.  $M = 8 M_C + 18 M_H = 8 \times 12,0 + 18 \times 1,0 = 114,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$   
 d. 1,0 mol d'octane, soit 114,0 g d'octane, libère une énergie égale à 5 067 kJ.

On en déduit le pouvoir calorifique :

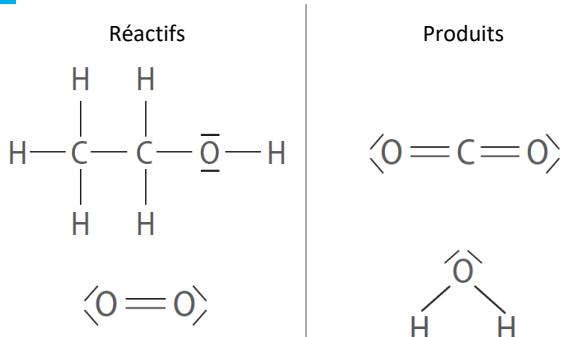
$$PC = \frac{5067}{114,0 \times 10^{-3}}$$

$$= 44,5 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$= 44,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

- 32** a.  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$   
 b.  $2 \text{C}_3\text{H}_8\text{O} + 9 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 8 \text{H}_2\text{O}$   
 c.  $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O} + 9 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 7 \text{H}_2\text{O}$

**34** Schémas de Lewis :



- b. Il y a rupture de 1 liaison C–C, 5 liaisons C–H, 1 liaison C–O, 1 liaison O–H et 3 liaisons O=O.  
 c. Il y a formation de 4 liaisons C=O et de 6 liaisons O–H.

- 35** a. La molécule comporte une liaison C–C et 6 liaisons C–H.

b. Calcul de  $E_l$  :

$$E_l = E_l(\text{C} - \text{C}) + 6 \times E_l(\text{C} - \text{H})$$

$$E_l = 348 + 6 \times 415 = 2\ 838 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

- 38** a. Calcul de la quantité de matière :

$$n = \frac{m}{M} \text{ donc } n = \frac{15,0}{7 \times 12,0 + 16 \times 1,0} = 0,15 \text{ mol}$$

b. Calcul de  $E$  :

$$E = n \times |E_r| = 0,15 \times (4,5) = 0,68 \text{ MJ}$$

- 41** a. Calcul de la masse molaire :

$$M = 3 \times 12,0 + 8 \times 1,0 = 44,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

b. Calcul de la quantité de matière :

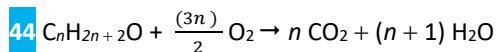
$$n = \frac{m}{M} \text{ donc } n = \frac{2,5}{44,0} = 5,7 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

c. D'après l'équation de la combustion, il se forme trois fois plus de dioxyde de carbone que de propane consommé soit 0,17 mol.

d. Calcul du volume de dioxyde de carbone :

$$V = n \times V_m \text{ soit } V = 0,17 \times 24 = 4,1 \text{ L}.$$

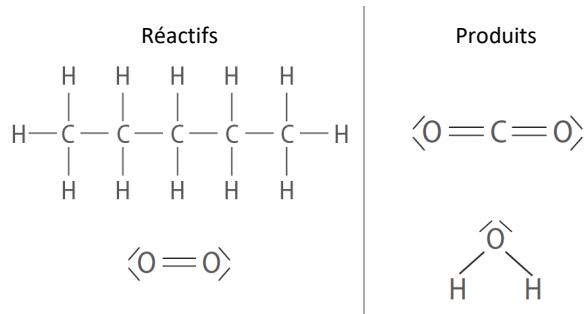
- 42** a.  $2 \text{C}_4\text{H}_{10} + 13 \text{O}_2 \rightarrow 8 \text{CO}_2 + 10 \text{H}_2\text{O}$   
 b.  $2 \text{C}_{12}\text{H}_{26} + 37 \text{O}_2 \rightarrow 24 \text{CO}_2 + 26 \text{H}_2\text{O}$   
 c.  $\text{C}_{25}\text{H}_{52} + 38 \text{O}_2 \rightarrow 25 \text{CO}_2 + 26 \text{H}_2\text{O}$   
 d.  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$   
 e.  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O} + 6 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{CO}_2 + 5 \text{H}_2\text{O}$   
 f.  $2 \text{C}_5\text{H}_{12}\text{O} + 15 \text{O}_2 \rightarrow 10 \text{CO}_2 + 12 \text{H}_2\text{O}$



- 45** a. La molécule de dioxygène contient une liaison O=O, son énergie de liaison vaut 498 kJ·mol<sup>-1</sup>.  
 b. La molécule d'eau contient 2 liaisons O–H :  
 $E_l = 2 \times 463 = 926 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$   
 c. La molécule de dioxyde de carbone contient 2 liaisons C=O :  
 $E_l = 2 \times 804 = 1608 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

- 46** a.  $\text{C}_5\text{H}_{12} + 8 \text{O}_2 \rightarrow 5 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$

b. Schémas de Lewis :



Il y a rupture de 4 liaisons C–C, de 12 liaisons C–H et de 8 liaisons O=O, et formation de 10 liaisons C=O et de 12 liaisons O–H.

c. Calcul de l'énergie de réaction pour 1 mol de pentane :

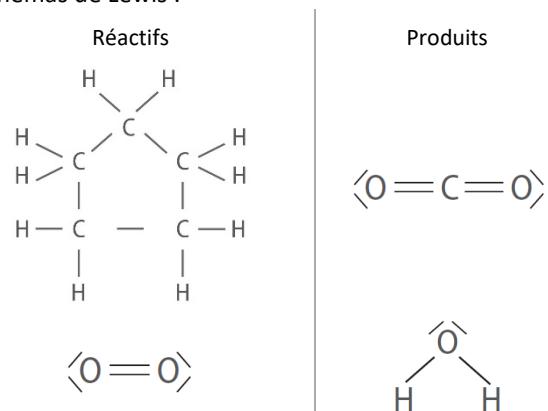
$$E_r = [12 E_l(\text{C} - \text{H}) + 4 E_l(\text{C} - \text{C}) + 8 E_l(\text{O} = \text{O})] - [10 E_l(\text{C} = \text{O}) + 12 E_l(\text{H} - \text{O})]$$

$$E_r = [12 \times 415 + 4 \times 348 + 8 \times 498] - [10 \times 804 + 12 \times 463]$$

$$E_r = -3,24 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

- 47** a.  $2 \text{C}_5\text{H}_{12} + 15 \text{O}_2 \rightarrow 10 \text{CO}_2 + 10 \text{H}_2\text{O}$

b. Schémas de Lewis :



Il y a rupture de 10 liaisons C–C, de 20 liaisons C–H et de 15 liaisons O=O, et formation de 20 liaisons C=O et de 20 liaisons O–H.

c. Calcul de l'énergie de réaction pour 2 mol de cyclopentane :

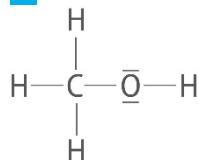
$$2E_r = [20 E_l(C - H) + 10 E_l(C - C) + 15 E_l(O = O)] \\ - [20 E_l(C = O) + 20 E_l(H - O)]$$

$$2E_r = [20 \times 415 + 10 \times 348 + 15 \times 498] \\ - [20 \times 804 + 20 \times 463]$$

$$2E_r = -6,09 \times 10^3 \text{ kJ}$$

$$\text{soit } E_r = -3,05 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

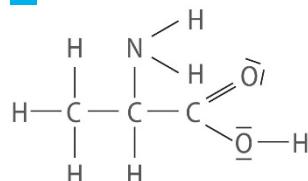
48 a. Schéma de Lewis :



b. Calcul de l'énergie de liaison molaire :

$$E_l = E_l(C - O) + 3 \times E_l(C - H) + E_l(O - H) \\ E_l = 350 + 3 \times 415 + 463 = 2\,058 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

50 a. Schéma de Lewis :

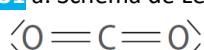


b. Calcul de l'énergie de liaison molaire :

$$E_l = 2 \times E_l(C - C) + 4 \times E_l(C - H) + E_l(C - N) \\ + 2 \times E_l(N - H) + E_l(C = O) + E_l(C - O) \\ + E_l(O - H)$$

$$E_l = 2 \times 348 + 4 \times 415 + 293 + 2 \times 390 + 724 \\ + 350 + 463 = 4\,696 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

51 a. Schéma de Lewis :



b. Calcul de l'énergie de liaison :

$$E_l = 2 \times E_l(C = O) = 2 \times 1,36 \times 10^{-21}$$

$$E_l = 2,72 \times 10^{-21} \text{ kJ}$$

c. Calcul de l'énergie de liaison pour une mole :

$$E_l = N_A \times E = 6,02 \times 10^{23} \times 2,72 \times 10^{-21}$$

$$E_l = 1,64 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

52 a.  $2 \text{C}_3\text{H}_8\text{O} + 9 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 8 \text{H}_2\text{O}$

b. Calcul de l'énergie de réaction pour 2 mol de propan-1-ol :

$$2 \times E_r = [14 E_l(C - H) + 4 E_l(C - C) + 2 E_l(C - O) \\ + 2 E_l(O - H) + 9 E_l(O = O)] \\ - [12 E_l(C = O) + 16 E_l(H - O)]$$

$$2 \times E_r = [14 \times 415 + 4 \times 348 + 2 \times 350 + 2 \times 463 \\ + 9 \times 498] - [12 \times 804 + 16 \times 463]$$

$$2 \times E_r = -3,75 \times 10^3 \text{ kJ}$$

$$\text{soit } E_r = -1,87 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

53 Calcul de la masse de combustible :

$$m = \frac{\text{Énergie}}{\text{Pouvoir calorifique}}$$

$$\text{a. } m = \frac{100}{44,5} = 2,25 \text{ kg}$$

$$\text{b. } m = \frac{100}{55,2} = 1,81 \text{ kg}$$

$$\text{c. } m = \frac{100}{17,5} = 5,71 \text{ kg}$$

#### Question d'oral

Du point de vue énergétique, il vaut mieux utiliser le gaz ; du point de vue environnemental, le bois, qui n'est pas un combustible fossile.

54 a. Calcul de l'énergie produite :

$$E = n \times |E_r| = 7,5 \times 1264 = 9,5 \times 10^3 \text{ kJ}$$

b. Calcul de l'énergie produite :

$$E = n \times |E_r| = \frac{m}{M} \times |E_r| = \frac{1,0 \times 10^3}{2 \times 12 + 6 + 16} \times 1\,264 \\ = 2,7 \cdot 10^4 \text{ kJ}$$

55 Calcul de l'énergie produite :

$$E = n \times |E_r| = \frac{m}{M} \times |E_r| \\ = \frac{1,0}{6 \times 12 + 12 + 6 \times 16} \times 2,79 \times 10^3 = 15,5 \text{ kJ}$$

56 Calcul de la masse d'éthanol :

$$m = \rho \times V = 20,0 \times 0,78 = 15,6 \text{ g}$$

Calcul de l'énergie libérée :

$$E = m \times PC = 15,6 \times 10^{-3} \times 29,7 = 0,46 \text{ MJ}$$

57 Calcul du pouvoir calorifique :

$$\frac{1,37}{45,0 \times 10^{-3}} = 30,4 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

58 Calcul du pouvoir calorifique :

$$\frac{598}{13,0} = 46,0 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$$

59 1. Calcul de l'énergie libérée :  $E = 3,5 \times 13,7 = 48,0 \text{ MJ}$ .

2. a. Calcul de la masse de cellulose :

$$m = 0,5 \times 3,5 = 1,75 \text{ kg}$$

b. Calcul de la masse molaire :

$$M = 1\,000 \times (6 \times 12,0 + 10 \times 1,0 + 5 \times 16,0) \\ = 1,62 \times 10^5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

c. Calcul de la quantité de matière :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1,75 \times 10^3}{1,62 \times 10^5} = 1,08 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

d. Calcul de l'énergie molaire de la combustion :

$$E_r = 0,5 \times \frac{E}{n} = 0,5 \times \frac{48}{1,08 \times 10^{-2}} = 2,2 \times 10^3 \text{ MJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

60 a. Calcul de l'énergie thermique :

$$E = 300 \times 4\,185 \times (45 - 20) = 3,14 \times 10^7 \text{ J} = 31,4 \text{ MJ}$$

b. Calcul de la masse de méthane :

$$m = \frac{E}{PC} = \frac{31,4}{55,2} = 0,57 \text{ kg}$$

61 a.  $2 \text{C}_{10}\text{H}_{22} + 31 \text{O}_2 \rightarrow 20 \text{CO}_2 + 22 \text{H}_2\text{O}$

b.  $E_r = -6\,295 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  donc 1,0 mol d'octane libère une énergie égale à 6 295 kJ.

$$\text{c. } M = 10 M_C + 22 M_H$$

$$= 10 \times 12,0 + 22 \times 1,0$$

$$= 142,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

**62** a. Pour un kilogramme, donc à masse égale, l'essence fournit 47,3 MJ et le gazole 44,8 MJ, donc l'essence fournit plus d'énergie.

b. Comme  $\rho = \frac{m}{V}$ , on a  $V = \frac{m}{\rho}$ .

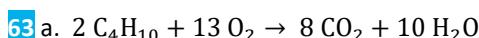
1,0 kg d'essence, soit  $\frac{1}{0,75} L = 1,33 L$ , d'essence fournit 47,3 MJ.

1,0 L d'essence fournit donc  $\frac{47,3}{1,33} = 35,6$  MJ.

De même, 1,0 kg de gazole soit  $\frac{1}{0,85} L = 1,18 L$  de gazole fournit 44,8 MJ.

1,0 L de gazole fournit donc  $\frac{44,8}{1,18} = 38,0$  MJ.

c. Pour 1,0 L, donc à volume égal, le gazole fournit 38,0 MJ et l'essence 35,6 MJ, donc le gazole fournit plus d'énergie.



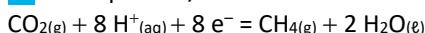
b. L'énergie qui doit être transférée est :

$$Q = m_{eau} \times c_{eau} \times \Delta T = 200 \times 4,18 \times (60 - 18) = 35 \text{ kJ}$$

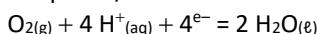
c. La masse de butane minimale nécessaire vaut donc :

$$\frac{35 \times 10^3}{47,6 \times 10^6} = 7,4 \times 10^{-4} \text{ kg} = 7,4 \times 10^{-1} \text{ g} = 0,74 \text{ g}$$

**64** a. Couple  $CO_2/CH_4$  :



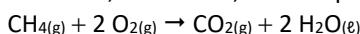
Couple  $O_2/H_2O$  :



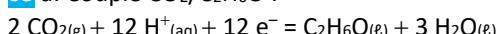
b. Le méthane  $CH_4$  réagit sur le dioxygène  $O_2$ .

L'oxygène est l'oxydant donc il est réduit.

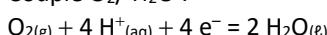
c. On inverse la première demi-équation, on multiplie par deux la seconde, on somme et on élimine les électrons, les ions  $H^+$ , d'où l'équation :



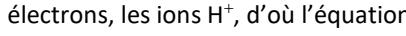
**65** a. Couple  $CO_2/C_2H_6O$  :



Couple  $O_2/H_2O$  :



b. On inverse la première demi-équation, on multiplie par trois la seconde, on somme et on élimine les électrons, les ions  $H^+$ , d'où l'équation :



b. On calcule :

$$n_{butanol} = \frac{m_{butanol}}{M_{butanol}} = \frac{4,0}{4 \times 12,0 + 10 \times 1,0 + 16,0} = 0,054 \text{ mol}$$

$$n_{dioxygène} = \frac{V_{dioxygène}}{V_m} = \frac{3,0}{24,0} = 0,125 \text{ mol}$$

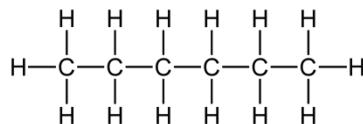
c. La combustion serait complète si le dioxygène était en excès, donc d'après les coefficients stoechiométriques, si  $n_{dioxygène} \geq 6n_{butanol}$ .

Or ici  $\frac{n_{dioxygène}}{n_{butanol}} = \frac{0,125}{0,054} = 2,3$  soit  $n_{dioxygène} = 2,3n_{butanol}$  donc la combustion n'est pas complète.

**67**  $E(C=C) > E(C-C)$ , ce qui paraît cohérent car une liaison C=C est plus solide qu'une liaison C-C, donc son énergie est plus élevée.

### 68 1. Cas de l'hexane

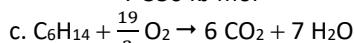
a. Le schéma de Lewis de l'hexane est :



La molécule comporte 5 liaisons C-C et 14 liaisons C-H.

b. On en déduit :

$$E_l(C_6H_{14}) = 5 E_l(C-C) + 14 E_l(C-H) = 5 \times 348 + 14 \times 415 = 7\ 550 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$



d. On calcule :

$$E_r = [E_l(C_6H_{14}) + 9,5 E_l(O_2)] - [6 E_l(CO_2) + 7 E_l(H_2O)]$$

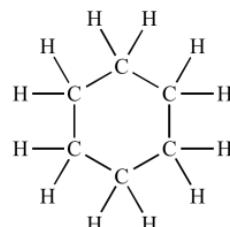
$$E_r = [E_l(C_6H_{14}) + 9,5 E_l(O=O)] - [2 \times 6 E_l(C=O) + 7 \times 2 E_l(O-H)]$$

$$E_r = E_l(C_6H_{14}) + 9,5 E_l(O=O) - 12 E_l(C=O) - 14 E_l(O-H)$$

$$E_r = 7\ 550 + 9,5 \times 498 - 12 \times 804 - 14 \times 463 = -3\ 849 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

### 2. Cas du cyclohexane

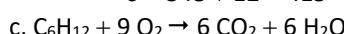
a. Schéma de Lewis du cyclohexane :



La molécule comporte 6 liaisons C-C et 12 liaisons C-H.

b. On en déduit :

$$E_l(C_6H_{12}) = 6 E_l(C-C) + 12 E_l(C-H) = 6 \times 348 + 12 \times 415 = 7\ 068 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$



d. On calcule :

$$E'_r = [E_l(C_6H_{14}) + 9 E_l(O_2)] - [6 E_l(CO_2) + 6 E_l(H_2O)]$$

$$E'_r = [E_l(C_6H_{14}) + 9 E_l(O=O)] - [2 \times 6 E_l(C=O) + 6 \times 2 E_l(O-H)]$$

$$E'_r = E_l(C_6H_{14}) + 9 E_l(O=O) - 12 E_l(C=O) - 12 E_l(O-H)$$

$$E'_r = 7\ 068 + 9 \times 498 - 12 \times 804 - 12 \times 463 = -3\ 654 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

3. L'énergie libérée est plus importante pour l'hexane que le cyclohexane.

**69** Dans une flûte de champagne de 125 mL, on a 12,5 % en volume d'éthanol, soit  $125 \text{ mL} \times \frac{12,5}{100} = 15,6 \text{ mL}$

d'éthanol pur. Comme  $\rho = \frac{m}{V}$ ,  $m = \rho V$ .

Avec  $\rho = 0,789 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1} = 0,789 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , on calcule :

$$m = 0,789 \times 15,6 = 12,3 \text{ g d'éthanol pur}$$

b. La masse molaire de l'éthanol est  $M = 2 M_C + 6 M_H + M_O = 2 \times 12,0 + 6 \times 1,0 + 16,0 = 46,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

Dans un verre, on a une quantité de matière  $n = \frac{m}{M} = \frac{12,3}{46,0} = 0,267 \text{ mol}$ .

1,0 mol d'éthanol libère une énergie égale à 1 296 kJ.

L'éthanol contenu dans un verre libère une énergie égale à  $1\ 296 \times 0,267 = 346 \text{ kJ}$  soit  $\frac{346}{4,18} = 82,8 \text{ kcal}$ .

c. Si Loïc boit deux flûtes de champagne, ces deux verres lui apportent une énergie de 165,6 kcal soit  $\frac{165,6}{1900} = 0,087$  = 8,7 % de ses apports quotidiens, ce qui n'est pas négligeable.

**70** a. Dans 6,3 L de E10, on a un volume  $\frac{90}{100} \times 6,3 = 5,67$  L d'octane et  $\frac{10}{100} \times 6,3 = 0,63$  L d'éthanol.

On calcule les masses molaires :

$$M_{\text{octane}} = 8 M_C + 18 M_H = 8 \times 12,0 + 18 \times 1,0 = 114,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{éthanol}} &= 2 M_C + 6 M_H + M_O = 2 \times 12,0 + 6 \times 1,0 + 16,0 \\ &= 46,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

La relation  $\rho_{\text{octane}} = \frac{m_{\text{octane}}}{V_{\text{octane}}}$  donne  $m_{\text{octane}} = \rho_{\text{octane}} \times V_{\text{octane}}$

$$\text{donc } n_{\text{octane}} = \frac{\rho_{\text{octane}} V_{\text{octane}}}{M_{\text{octane}}} = \frac{0,79 \times 5,67 \times 10^3}{114,0} = 34,8 \text{ mol}$$

d'octane qui sont consommés pour 100 km.

$$\text{De même, } n_{\text{éthanol}} = \frac{\rho_{\text{éthanol}} V_{\text{éthanol}}}{M_{\text{éthanol}}} = \frac{0,79 \times 0,63 \times 10^3}{46,0}$$

= 10,8 mol d'éthanol sont consommés pour 100 km parcourus.

On en déduit :

$$\begin{aligned} E_{\text{octane}} &= |E_r(\text{octane})| \times n_{\text{octane}} = 34,8 \times 5,2 \times 10^3 \\ &= 181 \times 10^3 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{éthanol}} &= |E_r(\text{éthanol})| \times n_{\text{éthanol}} = 10,8 \times 1,3 \times 10^3 \\ &= 14 \times 10^3 \text{ kJ} \end{aligned}$$

L'énergie libérée par la combustion de 6,3 L de E10 sur 100 km est  $E = 181 \times 10^3 + 14 \times 10^3 = 195 \times 10^3$  kJ.

b. Dans 6,3 L de E85, on a un volume de  $\frac{85}{100} \times 6,3 = 5,36$  L d'éthanol et  $\frac{15}{100} \times 6,3 = 0,95$  L d'octane.

On en déduit que :

$$n'_{\text{octane}} = \frac{\rho_{\text{octane}} V'_{\text{octane}}}{M_{\text{octane}}} = \frac{0,79 \times 0,95 \times 10^3}{114,0} = 5,83 \text{ mol d'octane}$$

qui sont consommés pour 100 km.

$$\text{De même, } n'_{\text{éthanol}} = \frac{\rho_{\text{éthanol}} V'_{\text{éthanol}}}{M_{\text{éthanol}}} = \frac{0,79 \times 5,36 \times 10^3}{46,0}$$

= 92,1 mol d'éthanol sont consommés pour 100 km.

On en déduit :

$$\begin{aligned} E'_{\text{octane}} &= |E_r(\text{octane})| \times n'_{\text{octane}} = 5,83 \times 5,2 \times 10^3 \\ &= 30 \times 10^3 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{éthanol}} &= |E_r(\text{éthanol})| \times n'_{\text{éthanol}} = 92,1 \times 1,3 \times 10^3 \\ &= 120 \times 10^3 \text{ kJ} \end{aligned}$$

L'énergie libérée par la combustion de 6,3 L de E85 sur 100 km vaut  $E' = 30 \times 10^3 + 120 \times 10^3 = 150 \times 10^3$  kJ.

c. Il faut  $E = 195 \times 10^3$  kJ pour parcourir 100 km. L'énergie  $E'$  étant inférieure à  $E$ , elle n'est pas suffisante.

Il faudrait  $6,3 \times \frac{195 \times 10^3}{150 \times 10^3} = 8,2$  L de E85 pour parcourir 100 km.

d.  $p_{\text{sc}} = \frac{8,2 - 6,2}{6,3} \times 100 = 32\%$ . L'utilisation de E85 génère une surconsommation de 30 % par rapport à l'essence.

**71** a.  $E = (200 \times 4,18 + 15 \times 0,90) \times (54 - 10)$

$$= 37,4 \times 10^3 \text{ J} = 37,4 \text{ kJ}$$

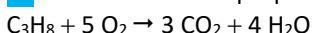
$$\text{b. } PC = \frac{E}{m} = \frac{37,4}{1,40} = 26,7 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} = 26,7 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

c. La valeur donnée est inférieure à la valeur tabulée.

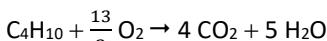
On a donc eu, lors de l'expérience, des pertes d'énergie.

Ces pertes peuvent s'expliquer par des pertes thermiques de la flamme dans l'air de la salle, de la canette vers l'air de la salle.

**72** a. Combustion du propane :



Combustion du butane :



b. On a un volume  $\frac{60}{100} \times 8,7 = 5,22$  L de butane et un volume  $\frac{40}{100} \times 8,7 = 3,48$  L de propane.

Sachant que  $\rho_{\text{butane}} = \frac{m_{\text{butane}}}{V_{\text{butane}}}$ , on a donc :

$$m_{\text{butane}} = \rho_{\text{butane}} \times V_{\text{butane}} = 5,22 \times 585 = 3,05 \text{ kg}$$

De même,  $m_{\text{propane}} = 3,48 \times 515 = 1,79 \text{ kg}$ .

La consommation de la voiture est de 8,7 L de GPL pour 100 km.

Pour 1,0 km parcouru, on consomme  $\frac{8,7}{100} = 0,087$  L de GPL.

Les masses molaires sont :

$$M_{\text{butane}} = 4 M_C + 10 M_H = 4 \times 12,0 + 10 \times 1,0 = 58,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M_{\text{propane}} = 3 M_C + 8 M_H = 3 \times 12,0 + 8 \times 1,0 = 44,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Or  $\rho_{\text{butane}} = \frac{m_{\text{butane}}}{V_{\text{butane}}}$ , on a donc  $m_{\text{butane}} = \rho_{\text{butane}} \times V_{\text{butane}}$  donc :

$$\begin{aligned} n_{\text{butane}} &= \frac{\rho_{\text{butane}} V_{\text{butane}}}{M_{\text{butane}}} \\ &= \frac{585 \times 0,0522}{58,0} = 0,527 \text{ mol de butane qui sont} \end{aligned}$$

consommés pour 1,0 km.

De même :

$$\begin{aligned} n_{\text{propane}} &= \frac{\rho_{\text{propane}} V_{\text{propane}}}{M_{\text{propane}}} \\ &= \frac{515 \times 0,0348}{44,0} = 0,407 \text{ mol de propane sont} \end{aligned}$$

consommés pour 1,0 km.

En considérant les coefficients stœchiométriques de l'équation de combustion du butane, pour 0,527 mol de butane,  $4 \times 0,527 = 2,11$  mol de  $\text{CO}_2$  sont rejetées.

De même, pour 0,407 mol de propane,  $3 \times 0,407 = 1,22$  mol de  $\text{CO}_2$  sont rejetées.

Au total,  $n = 1,22 + 2,11 = 3,33$  mol de  $\text{CO}_2$  sont rejetées.

Comme  $n = \frac{m}{M}$ , on rejette une masse  $m = n \times M$

$$= 3,33 \times (12,0 + 16,0 \times 2) = 147 \text{ g de } \text{CO}_2.$$

d. Un véhicule fonctionnant au GPL rejette moins de  $\text{CO}_2$  qu'un véhicule fonctionnant à l'essence.

### 73

#### Question préliminaire

La masse moyenne d'un morceau de sucre est :

$$\begin{aligned} m &= \frac{750}{244} \\ &= 3,07 \text{ g.} \end{aligned}$$

#### Problème

La masse molaire du sucre est :

$$\begin{aligned} M &= 12 M_C + 22 M_H + 11 M_O \\ &= 12 \times 12,0 + 22 \times 1,0 + 11 \times 16,0 \\ &= 342,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

Un sucre correspond à une quantité de matière  $n = \frac{m}{M} = \frac{3,07}{342,0} = 8,98 \times 10^{-3}$  mol.

L'énergie libérée par un morceau de sucre est :

$$E = n \times |E_r| = 8,98 \times 10^{-3} \times 5814$$

$$= 52,2 \text{ kJ}$$

$$= \frac{52,2}{4,18} \text{ cal}$$

= 12,5 kcal ce qui est cohérent avec la valeur donnée.

74

**Question préliminaire**

L'énergie reçue par le système est la somme des énergies reçues par le cuivre et par l'huile :

$$E = m_{\text{huile}} \times c_{\text{huile}} \times \Delta T + m_{\text{Cu}} \times c_{\text{Cu}} \times \Delta T$$

$$\text{Soit } E = \rho_{\text{huile}} \times V_{\text{huile}} \times c_{\text{huile}} \times \Delta T + m_{\text{Cu}} \times c_{\text{Cu}} \times \Delta T$$

$$E = 0,92 \times 1,2 \times 2,0 \cdot 10^3 \times (170 - 20) + 1,8 \times 385$$

$$\times (170 - 20)$$

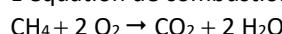
$$= 3,8 \times 10^5 \text{ J}$$

On brûle donc une masse de méthane

$$m = \frac{E}{\text{pouvoir calorifique}} = \frac{3,8 \times 10^5}{55,2 \cdot 10^6} = 6,9 \times 10^{-3} \text{ kg} = 6,9 \text{ g}$$

**Problème**

L'équation de combustion du méthane s'écrit :



$$\text{On utilise } 6,9 \text{ g de méthane soit } n_{\text{méthane}} = \frac{m_{\text{méthane}}}{M_{\text{méthane}}} = \frac{6,9}{12,0 + 4 \times 1,0} = 0,43 \text{ mol.}$$

En considérant les coefficients stœchiométriques, on obtiendra :

$$n_{\text{dioxyde de carbone}} = n_{\text{méthane}} = 0,43 \text{ mol}$$

$$\text{et } n_{\text{eau}} = 2 n_{\text{méthane}} = 0,86 \text{ mol}$$

Soit :

$$m_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} \times M_{\text{CO}_2} = 0,43 \times (12,0 + 16,0 \times 2) = 18,9 \text{ g}$$

et  $m_{\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{H}_2\text{O}} \times M_{\text{H}_2\text{O}} = 0,86 \times (1,0 \times 2 + 16,0) = 15,5 \text{ g}$

**75** La voiture à essence consomme 6,7 L pour 100 km.

Chaque kilomètre, elle consomme  $\frac{6,7}{100} = 0,067 \text{ L}$ .

Comme  $\rho = \frac{m}{V}$ , la masse d'heptane mise en jeu à chaque kilomètre est :

$$m = \rho \times V = 0,684 \times 0,067 = 0,0458 \text{ kg} = 45,8 \text{ g}$$

L'heptane comporte 7 atomes de carbone, sa formule brute est donc  $\text{C}_7\text{H}_{16}$ .

Sa masse molaire est :

$$M = 7 M_{\text{C}} + 16 M_{\text{H}} = 7 \times 12,0 + 16 \times 1,0 = 100,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

45,8 g d'heptane correspondent à une quantité de

$$\text{matière } n = \frac{m}{M} = \frac{45,8}{100} = 0,458 \text{ mol.}$$

L'équation de combustion complète de l'heptane est :



En considérant les coefficients stœchiométriques de l'équation de combustion complète, on forme une quantité de matière de dioxyde de carbone :

$$n(\text{CO}_2) = 7 n(\text{C}_7\text{H}_{16}) = 7 \times 0,458 = 3,21 \text{ mol}$$

$$\text{Or } n_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}}$$

$$\text{Donc } m_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} \times M_{\text{CO}_2} = 3,21 \times 44 = 141 \text{ g}$$

$m_{\text{CO}_2} > 117 \text{ g}$  donc le propriétaire devra payer un malus.

## 9. Interactions et champs

### Activités

p. 198 à 200

#### ① Électrisation et interactions entre les objets chargés

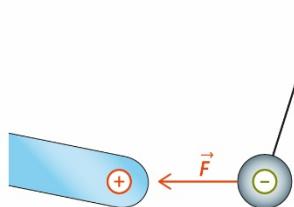
1. Observations au cours des expériences 1, 2 et 3 :

- **Expérience 1** : la bille déchargée s'approche de la baguette en verre ; dès le contact baguette-bille, la bille s'écarte, et quand on approche de nouveau la baguette, la bille est repoussée.
- **Expérience 2** : la bille déchargée s'approche de la baguette d'ébonite ; dès le contact baguette-bille, la bille s'écarte, et quand on approche de nouveau la baguette, la bille est repoussée.
- **Expérience 3** : quand on approche la baguette de verre de la bille chargée par contact avec la baguette d'ébonite, la bille est attirée.

2. a. Lors du contact baguette-bille, la bille acquiert une charge électrique de même nature que celle de la baguette. Dans les expériences 1 et 2, la répulsion de la bille après sa charge par contact prouve que deux corps portant une charge électrique de même nature se repoussent.

b. C'est l'expérience 3 qui prouve qu'une bille portant une charge électrique de même nature que celle de la baguette d'ébonite est attirée par une baguette de verre chargée.

3. La baguette de verre porte une charge électrique positive, la bille chargée par contact avec la baguette d'ébonite porte une charge électrique négative. La force est dessinée à partir de la bille, et dirigée vers la baguette.



4. La bille touche l'une des plaques : la plaque chargée positivement, par exemple.

- Elle acquiert par contact une charge électrique positive.
- Elle est donc repoussée par la plaque positive et attirée par la plaque négative.
- Elle se déplace donc vers la plaque négative et la touche.
- Elle acquiert par contact une charge électrique négative.
- Elle est donc repoussée par la plaque négative et attirée par la plaque positive.
- Elle se déplace donc vers la plaque positive et la touche, et ainsi de suite.

Elle frappe donc les plaques l'une après l'autre, les fait tinter comme un carillon.

Notons qu'à chaque période, la bille transporte une petite quantité de charge électrique d'une plaque à l'autre, leurs charges électriques décroissent en valeur absolue, et les allers-retours sont de plus en plus lents, et finissent par cesser lorsque les plaques sont pratiquement déchargées.

### Bilan

- La baguette de verre porte une charge électrique positive.
- La baguette d'ébonite porte une charge électrique négative.
- Une bille attirée par la baguette d'ébonite porte une charge électrique de signe opposé, donc positive.
- Une bille repoussée par la baguette de verre porte une charge électrique de même signe, donc positive.

#### ② Gravitation et électrostatique

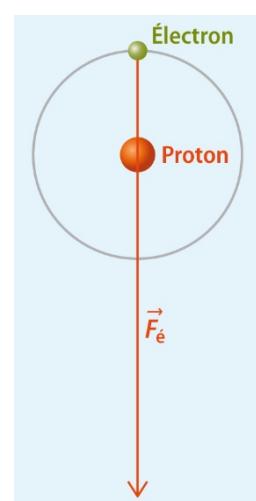
##### 1. Force électrostatique $\vec{F}_e$ exercée par le proton sur l'électron

a. Le proton est chargé positivement tandis que l'électron est chargé négativement. Si on reprend la loi de Coulomb (et le schéma associé), les forces d'interaction électrostatique entre l'électron et le proton sont attractives.

La norme de cette force exercée par le proton sur l'électron est :

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|-e \times e|}{r^2} = 8,2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

b. On dessine une flèche de 8,2 cm partant de l'électron (schéma ci-contre, réalisé sans souci d'échelle).



##### 2. Force électrostatique $\vec{F}_g$ exercée par le proton sur l'électron

a. La force gravitationnelle est une force attractive. Les corps s'attirent et ne se repoussent pas, du fait de cette interaction.

$$b. F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2} = 3,6 \times 10^{-47} \text{ N.}$$

Cette force est tout à fait négligeable devant la force électrostatique.

c. Si on essaie de tracer cette force sur le schéma, la flèche aura une taille de  $3,6 \times 10^{-39}$  m. Il est absolument impossible de tracer cette flèche.

3. L'ordre de grandeur de  $F_e$  est  $10^{-7}$  N, celui de  $F_g$  est  $10^{-47}$  N.  $F_e$  est donc  $10^{40}$  fois plus grande que  $F_g$  en ordre de grandeur.

### Bilan

- Points communs : les deux forces ont même direction, leurs normes sont proportionnelles à des caractéristiques des objets interagissant (charges électriques pour la force électrostatique, masses pour la force gravitationnelle) et inversement proportionnelles au carré de la distance entre les objets.
- Différences : la force électrostatique peut être attractive ou répulsive, alors que la force gravitationnelle ne peut

être qu'attractive ; pour des objets microscopiques, l'ordre de grandeur de la norme de la force gravitationnelle est très inférieur à celui de la norme de la force électrostatique.

### ③ Cartographie d'un champ électrostatique

1. a. Les vecteurs champ électrostatique sont dirigés vers la particule. Or l'expression vectorielle du champ électrostatique créé à une distance  $r$  par une particule de charge électrique  $q$  placée en O (origine du repère utilisé) est :

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{u}$$

Pour que  $\vec{E}$  soit dirigé selon  $-\vec{u}$ , il faut que la charge  $q$  soit négative.

b. Si l'on tenait compte de la norme, il faudrait représenter avec la même échelle une flèche cent fois plus petite pour un point dix fois plus éloigné : autant dire qu'on ne verrait rien.

c. La force subie sera :  $\vec{F} = q'\vec{E}$  avec  $q'$  la charge de la particule étudiée.

Si  $q'$  est positive,  $\vec{F}$  a la même direction et le même sens que  $\vec{E}$ . C'est le cas ici.

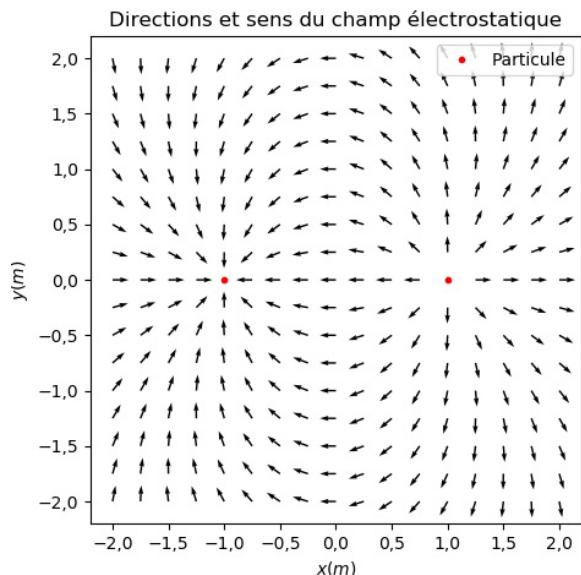
On peut dire alors que la force subie aura :

- pour direction, la droite passant par la particule étudiée et la particule générant le champ (en O) ;
- pour sens, de la particule étudiée vers la particule émettant le champ (en O).

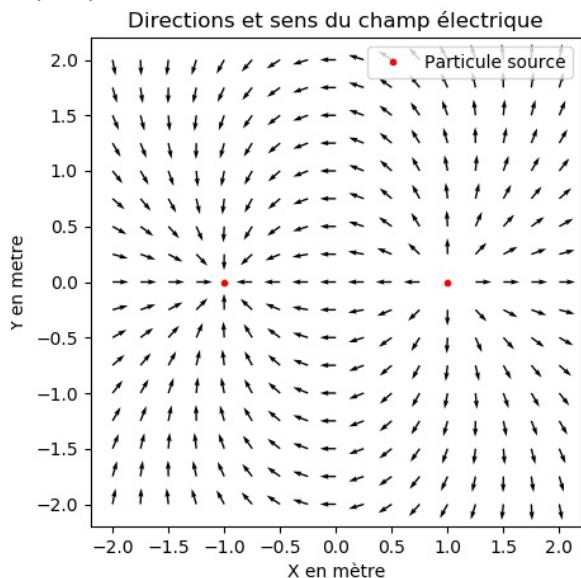
2. a. Ajouts à effectuer :

```
### Particule 2
q2 = e          # Charge électrique
X2 = 1          # Abscisse en m
Y2 = 0          # Ordonnée en m
### Distance particule 2 - point (x,y)
r2=((x-x2)**2+(y-y2)**2)**0.5
### Coordonnée radiale champ E2
E2=K*q2/r2**2
### Coordonnées vecteur unitaire 2
ux2=(x-x2)/r2
uy2=(y-y2)/r2
### Coordonnées cartésiennes champ E2
Ex2=E2*ux2
Ey2=E2*uy2
### Coordonnées champ total
Ex=Ex1+Ex2
Ey=Ey1+Ey2
```

On obtient alors :



b. Une particule de charge positive, placée au point M(0 ; 0) :



En ce point, sur le schéma, le champ est dirigé vers la gauche.

Comme la charge est positive, la force subie par cette particule sera, elle aussi dirigée vers la gauche.

c. Le raisonnement et la réponse sont les mêmes pour une particule de charge positive placée au point N(0 ; 1).

**Exercices**

p. 207 à 215

**24** a.  $g_T = G \frac{m_T}{d^2} = 3,33 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

b.  $g_L = G \frac{m_L}{(D-d)^2} = 3,40 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

c. On représente deux vecteurs opposés partant du même point.

Les normes des champs étant quasiment identiques (à la précision des données près), les forces gravitationnelles subies par le satellite en ce point sont donc opposées.

**26** La norme de la force électrostatique exercée est :

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_A q_B|}{d^2} \\ &= 8,99 \times 10^9 \times \frac{|1,0 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^{-6}|}{(1,0 \times 10^{-3})^2} \\ &= 9,0 \times 10^4 \text{ N} \end{aligned}$$

**28** a. Si  $q_A$  est doublée, la norme de la force est doublée. Sa direction et son sens sont inchangés.

b. Si  $q_B$  est multipliée par  $-3$ , la norme de la force est multipliée par  $3$  et la force change de sens (elle devient attractive).

c. Si  $q_A$  est divisée par  $-2$ , la norme de la force est divisée par  $2$  et la force change de sens (elle devient attractive).

d. Si  $r$  est multipliée par  $3$ , la norme de la force est divisée par  $9$ . Sa direction et son sens sont inchangés.

e. Si  $r$  est divisée par  $2$ , la norme de la force est multipliée par  $4$ . Sa direction et son sens sont inchangés.

f. Si on intervertit A et B, la force subie par A garde la même norme et est toujours dirigée sur la droite (AB), dans le sens opposé à B.

**29** a. Puisque B subit une force attractive de la part de A, alors  $q_B$  est de signe contraire à  $q_A$ . Puisque C subit une force répulsive de la part de A, alors  $q_C$  est de même signe que  $q_A$ .

b. Puisque les distances entre les points sont identiques, les normes des forces ne dépendent que des valeurs absolues des charges électriques.

Puisque la force électrostatique entre A et B est quatre fois plus grande que la force électrostatique entre A et C, on voit que le produit  $|q_A q_B|$  est quatre fois plus grand que le produit  $|q_A q_C|$ , donc que  $|q_B|$  est quatre fois plus grand que  $|q_C|$ . C'est donc  $q_B$  qui est double de  $q_A$  en valeur absolue, et  $q_C$  qui est moitié de  $q_A$ .

**30** a. La norme de la force gravitationnelle est :

$$\begin{aligned} F_g &= G \frac{m_1 m_2}{d^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,0 \times 10^{-3} \times 3,0 \times 10^{-3}}{(12 \times 10^{-2})^2} \\ &= 1,4 \times 10^{-14} \text{ N}. \end{aligned}$$

b. La norme de la force électrostatique est :

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{d^2} = 8,99 \times 10^9 \times \frac{2,0 \times 10^{-6} \times 6,0 \times 10^{-6}}{(12 \times 10^{-2})^2} = 7,5 \text{ N}$$

c. Le quotient des deux forces est  $\frac{F_e}{F_g} = 5,4 \times 10^{14}$ .

La force gravitationnelle est négligeable devant la force électrostatique.

**31** La norme de la force gravitationnelle exercée est :

$$\begin{aligned} F &= G \frac{m_A m_B}{r^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,0 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-3}}{(1,0 \times 10^{-2})^2} \\ &= 6,7 \times 10^{-12} \text{ N}. \end{aligned}$$

**33** a.  $\vec{g}(A) = -G \frac{m_0}{d^2} \vec{i}$ ,  $\vec{g}(B) = -G \frac{m_0}{d^2} \vec{j}$ ,  $\vec{g}(C) = G \frac{m_0}{d^2} \vec{i}$ ,

$\vec{g}(D) = G \frac{m_0}{d^2} \vec{j}$ .

b.  $\vec{F}_{A/C} = G \frac{m_0 m}{(2d)^2} \vec{i}$ .

**34** a. La force électrostatique subie par la particule est de même direction que  $\vec{E}$ , de même sens et de norme :  $F = qE = 1,0 \times 10^2 \text{ N}$ .

b. La force électrostatique subie par la particule est de même direction que  $\vec{E}$ , de sens contraire et de norme :  $F = |q|E = 10 \text{ N}$ .

**36** La force électrostatique a pour norme :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{d^2} = 9,0 \times 10^{-14} \text{ N}.$$

**38** 1. a. La force électrostatique qu'exerce un proton sur l'autre a pour norme :  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{a^2} = 2,3 \times 10^{-22} \text{ N}$ .

b. Cette force est répulsive.

2.  $d' = 10d$ , donc la force a pour norme :

$$F' = \frac{F}{100} = 2,3 \times 10^{-24} \text{ N}.$$

**39** a. La force électrostatique exercée par un ion sur l'autre a pour norme :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|2e \times (-2e)|}{a^2} = 2,82 \times 10^{-8} \text{ N}$$

b. Cette force est attractive car les ions ont des charges électriques de signes opposés.

**40** a. La force est répulsive, car les ions ont des charges de même signe.

b. L'expression de la norme de cette force est :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|-e^2|}{D^2}$$

D'où l'on extrait  $D = \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{F}} = 3,99 \times 10^{-10} \text{ m}$ .

**41** a. La force étant répulsive, les deux ions ont des charges de même signe. Comme le noyau d'hélium est positif, l'ion fer aussi.

b. La norme de la force s'exprime ainsi :  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|2eq|}{d^2}$ .

D'où l'on extrait  $q = \frac{F 4\pi\epsilon_0 d^2}{2e} = 4,81 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

La charge de l'ion fer peut se mettre sous la forme  $q = ne$ , avec  $n$  entier. On en déduit :

$$n = \frac{q}{e} = \frac{4,81 \times 10^{-19}}{1,602 \times 10^{-19}} = 3$$

c'est l'ion  $\text{Fe}^{3+}$ .

**42** a. Puisqu'il s'agit d'un transfert de charge, la charge électrique qui a quitté une bille est allée sur l'autre bille. Ainsi,  $q_A = -q$  et  $q_B = q$ .

b. Puisque les billes portent des charges de signes opposés, la force est attractive.

c. La force électrostatique s'écrit :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{d^2}$$

D'où l'on extrait  $|q| = \sqrt{Fd^2/4\pi\epsilon_0} = 3,01 \times 10^{-12} \text{ C}$ .

**44** a.  $\vec{E}_1(B) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-2e}{r^2} \vec{u}$  (dessiner un vecteur radial sortant sur le schéma).

b.  $\vec{F}_1 = 3e\vec{E}_1(B)$ .

c.  $E_1(B) = 4,1 \times 10^9 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  et  $F_1 = 2,0 \times 10^{-9} \text{ N}$ .

d. D'après la troisième loi de Newton,  $\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$ , donc

$$\vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{6e^2}{r^2} \vec{u}$$

Ainsi,  $\vec{E}_2(A) = \frac{\vec{F}_2}{-2e} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-3e}{r^2} \vec{u}$ .

**45** Si A et C étaient de même signe, B ne bougerait pas, donc A et C sont de signes opposés.

B va vers A, donc est attirée par A et repoussée par C.

B est donc de même signe que C et de signe opposé à A.

Ainsi B et C sont de charges  $-q$  et A de charge  $+q$ .

**46** 1. a. L'expression de la norme du champ est :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{d^2}$$

b. On en déduit  $q = E4\pi\epsilon_0 d^2 = 4,0 \times 10^{-4} \text{ C}$ .

2. Avec  $d = 1,0 \times 10^{-3} \text{ m}$  cela donne  $q = 4,0 \times 10^{-10} \text{ C}$ .

La charge nécessaire est beaucoup plus faible à proximité de la bille.

Lorsqu'on charge une bille, l'air aura tendance à claquer lorsqu'il est proche de celle-ci.

**47** 1. Schéma : voir la figure a du doc. 4 p. 201.

2. a.  $\vec{E}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(\frac{D}{2})^2} \vec{u}$

b.  $\vec{E}_2 = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(\frac{D}{2})^2} \vec{u}$

c.  $\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(\frac{D}{2})^2} \vec{u} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(\frac{D}{2})^2} \vec{u} = \vec{0}$

**48** a. La norme du champ électrostatique est :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2e}{r^2} = 3,0 \times 10^{12} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

b. La force subie par l'électron a pour norme :

$$F = -eE = 4,8 \times 10^{-7} \text{ N}$$

c. Le champ électrostatique est radial sortant, les flèches ayant une longueur égale à 3 cm ; la force subie par l'électron est radiale rentrante, les flèches ayant une longueur de 2,4 cm. La distance noyau-orbite de l'électron a une longueur sur le dessin de 6,2 cm.

**49** a. Le champ gravitationnel créé à la surface de la Terre a pour norme :

$$g = G \frac{m_T}{R_T^2} = 9,79 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

b. Le champ gravitationnel créé à l'altitude  $h$  a pour norme  $g' = G \frac{m_T}{(R_T+h)^2} = 2,22 \times 10^{-1} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

c. Le champ est divisé par quatre lorsque la distance est doublée, donc à l'altitude  $h = R_T$ .

**51** a.  $\vec{F}_e = -e\vec{E}$  et  $\vec{F}_g = m_e\vec{g}$ .

b.  $F_e = 1,3 \times 10^{-12} \text{ N}$  et  $F_g = 8,93 \times 10^{-30} \text{ N}$ .

La force gravitationnelle est négligeable devant la force électrostatique.

**53** a.  $F_g = G \frac{n^2}{d^2} = 1,19 \times 10^{-55} \text{ N}$ .

b. L'expression de la force électrostatique exercée entre les deux noyaux d'hélium situés à une distance  $d'$  l'un de l'autre est  $F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4e^2}{d'^2}$ .

On cherche pour quelle valeur de  $d'$  on a  $F_e = F_g$ .

$$\text{On obtient } d' = \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4e^2}{F_g}} = 8,81 \times 10^{13} \text{ m.}$$

La distance Terre-Soleil est  $D = 1,50 \times 10^{11} \text{ m}$  et  $\frac{d'}{D} = 587$ .

La distance  $d'$  correspondrait à 587 fois la distance Terre-Soleil.

**54** 1. Forces gravitationnelles :  $\vec{F}_A = m'g(A)\vec{j}$  ;

$$\vec{F}_B = m'g(B)\vec{i}; \vec{F}_C = -m'g(C)\vec{i}$$

2. a.  $q$  est négative car les lignes pointent vers O.

b. Forces électrostatiques :  $\vec{F}_A = -eE(A)\vec{j}$  ;

$$\vec{F}_B = -eE(B)\vec{i}; \vec{F}_C = eE(C)\vec{i}$$

**55** 1. A porte une charge positive car les lignes de champ s'en éloignent.

2. a. En C, le champ est opposé à  $\vec{i}$ , donc la force subie est aussi opposée à  $\vec{i}$  puisqu'un proton porte une charge positive. En E c'est la même chose, en D l'inverse.

b. On change le sens par rapport au proton.

**56** a.  $\vec{F}_A = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2e\delta}{a^2} \vec{i}$ , de norme  $F_A = 7,2 \times 10^{-9} \text{ N}$ .

b.  $\vec{F}_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2e\delta}{b^2} \vec{i}$ , de norme  $F_B = 4,3 \times 10^{-9} \text{ N}$ .

c.  $\vec{F} = (-F_A + F_B)\vec{i}$ , de norme  $F = F_A - F_B = 2,9 \times 10^{-9} \text{ N}$ , orientée vers l'ion  $\text{Cu}^{2+}$ .

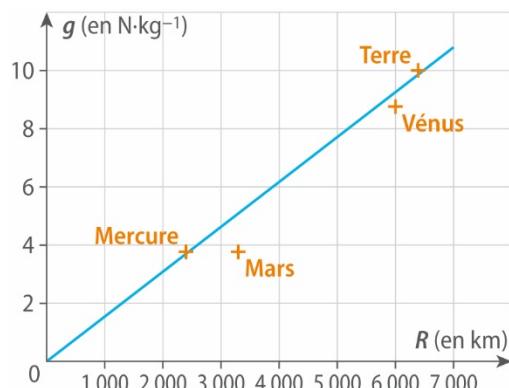
d. Bien que la molécule d'eau soit neutre, sa polarité fait qu'un ion l'attire.

**57** a.  $g = \frac{Gm}{R^2}$

Valeurs pour les sept planètes :

Planète	$g$ (en $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
Mercure	3,70
Vénus	8,86
Terre	9,79
Mars	3,71
Jupiter	24,8
Saturne	10,4
Uranus	8,86

b.



c. Les points représentatifs de Mercure, Vénus et Mars sont presque alignés sur une droite qui passe par l'origine. Son coefficient directeur vaut :

$$a = \frac{10,8}{7\,000 \times 10^3} = 1,54 \times 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

d. On identifie  $a = \frac{4}{3}\pi G\rho$  donc  $\rho = \frac{3a}{4\pi G} = 5\,500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

e.  $55\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 5,5 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$ , ce qui appartient bien à l'intervalle. Ce sont bien des planètes telluriques.

- 58 a. Il y a électrisation par influence. La partie N chargée négativement d'un côté et la partie P chargée positivement de l'autre forment un vecteur  $\vec{NP}$  dans le sens et la direction de  $\vec{E}$ .  
 b. Le N d'un grain se colle au P de son voisin, et ainsi de suite.  
 c. En tout point, deux grains voisins sont dans la direction de  $\vec{E}$  selon la première question.

59 1. a. Puisque les billes s'attirent, A et B sont de signes contraires,  $|q_A q_B| = -q_A q_B$ . D'après la loi de Coulomb,  $F_1 = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A q_B}{d^2}$ , d'où  $q_A q_B = -4\pi\epsilon_0 d^2 F_1$ .

b. On calcule  $c = -\frac{(3,0 \times 10^{-2})^2 \times 150}{8,99 \times 10^9} = 1,50 \times 10^{-11} \text{ C}^2$ .

2. a. La charge totale initiale est  $q_A + q_B$ . Après équilibre, elle est  $2q$ . Puisqu'elle est conservée, alors  $2q = q_A + q_B$ , d'où  $q = \frac{q_A + q_B}{2}$ .

b. La loi de Coulomb dans la situation finale s'écrit :

$F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{d^2}$  ou encore  $F_2 = \frac{1}{16\pi\epsilon_0} \frac{(q_A + q_B)^2}{d^2}$ , d'où il vient bien les expressions proposées.

$$b = \sqrt{\frac{4}{8,99 \times 10^9}} \times 10 \times (3,0 \times 10^{-2})^2 = 2,00 \times 10^{-6} \text{ C.}$$

3. a. On a donc  $q_A q_B = c$ , qui donne  $q_B = \frac{c}{q_A}$ .

On remplace dans  $q_A + q_B = b$ , cela donne :  $q_A + \frac{c}{q_A} = b$ , d'où il vient  $q_A^2 - bq_A + c = 0$ .

Et si l'on remplace dans  $q_A + q_B = -b$ , cela donne  $q_A + \frac{c}{q_A} = -b$ , d'où il vient  $q_A^2 + bq_A + c = 0$ .

b. Le discriminant des deux équations est le même :  $\Delta = b^2 - 4c$ .

On calcule ensuite les deux solutions de chaque polynôme du deuxième degré, ce qui donne quatre valeurs de  $q_A$ .

Celles de  $q_B$  s'obtiennent à l'aide de  $q_B = \frac{c}{q_A}$  :

$q_A$	3,00 $\mu\text{C}$	-3,00 $\mu\text{C}$	5,00 $\mu\text{C}$	-5,00 $\mu\text{C}$
$q_B$	-5,00 $\mu\text{C}$	5,00 $\mu\text{C}$	-3,00 $\mu\text{C}$	3,00 $\mu\text{C}$

c. Les quatre couples donneraient les mêmes caractéristiques de forces, il est donc impossible de savoir lequel est celui des valeurs réelles.

- 60 1. A et C portent des charges électriques positives, donc les lignes partent de A et C et vont vers B et D.  
 2. a. Puisque les quatre charges ont la même valeur absolue, A et B créent des champs opposés en O, de même que C et D. La force subie par le cation en O est donc nulle.  
 b. Si le cation se déplace vers A ou B, il est conduit à revenir vers O. S'il se déplace dans une autre direction, il subit une force qui l'attire vers C ou D, donc l'éloigne de O.  
 c. Si le cation s'éloigne un peu de O vers C ou D lorsque la configuration est celle de la carte, très rapidement après il subit une force qui le ramène vers O lorsque les charges sont interverties.  
 3. Le piège fonctionne de la même manière avec un anion, mais en inversant les directions d'attraction et répulsion.

61 1.  $g_0 = G \frac{M}{R^2}$ .

2. a. Lorsque  $R$  est multiplié par 2,  $g$  est divisé par 4 ( $0,25g_0$ ) ; lorsque  $R$  est multiplié par 3,  $g$  est divisé par 9 ( $0,11g_0$ ).

b. Au centre de la planète, un corps est soumis à la même force d'attraction gravitationnelle de la part de la moitié de planète que celles à sa gauche et à sa droite, devant que derrière, dessus que dessous, et le champ est nul.

62 Le volume de la boule est  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ , donc sa masse est  $m = \rho V = \rho \frac{4}{3}\pi r^3$  :

$$m = 19,3 \times \frac{4}{3}\pi \times (1,0 \times 10^{-3})^3 = 8,1 \times 10^{-8} \text{ kg}$$

Le poids de la boule a donc pour norme  $P = mg$  :

$$P = 8,1 \times 10^{-8} \times 9,8 = 7,9 \times 10^{-7} \text{ N}$$

La boule est immobile. D'après le principe d'inertie, les forces qu'elle subit se compensent. La force électrostatique  $\vec{F}$  qu'elle subit doit donc être opposée à son poids, donc avoir même norme :

$$F = P$$

$$F = 7,9 \times 10^{-7} \text{ N}$$

Par ailleurs, la tension entre les plaques est  $U = 15 \times 10^3 \text{ V}$  et la distance entre les plaques est  $d = 10 \times 10^{-3} \text{ m}$  d'après le document 1. Le document 2 permet donc de calculer la norme du champ électrostatique régnant entre les plaques :

$$E = \frac{U}{d} = \frac{15 \times 10^3}{10 \times 10^{-3}} = 1,5 \times 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

La charge électrostatique portée par la boule est donc :

$$q = \frac{F}{E} = \frac{7,9 \times 10^{-7}}{1,5 \times 10^6} = 5,3 \times 10^{-13} \text{ C}$$

**63** D'après la photo, Tchouri a des dimensions comprises entre 2,5 et 4 km suivant les directions.

Si on estime ses dimensions à  $2,5 \text{ km} \times 2,5 \text{ km} \times 4,0 \text{ km}$ , son volume est  $V = 2,5 \times 10^1 \text{ km}^3$ , soit  $V = 2,5 \times 10^{10} \text{ m}^3$ .

Sa masse volumique étant  $\rho = 5 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , on en déduit sa masse  $m = \rho V = 1 \times 10^{13} \text{ kg}$ .

Philae étant à une distance d'environ  $r = 2 \text{ km}$ , le champ gravitationnel qu'il subit sur la comète est :

$$g_c = \frac{G_m}{r^2} = 2 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Le quotient avec  $g_T$  vaut  $2 \times 10^{-5}$ .

L'affirmation dit que 1 g sur la comète « pèse » comme 100 kg sur Terre, donc que le quotient doit être de  $10^{-5}$ . C'est bien le cas en ordre de grandeur : l'affirmation est correcte. En revanche, dire que l'on « pèse » 100 kg ou 1 g est absurde. La masse ne change pas, c'est le poids qui change, et il est exprimé en newtons !

**64**

#### Question préliminaire

L'influence d'un atome d'or se fait sentir sur la surface d'un disque de rayon  $r$  de sorte que  $E(r) = 0,001 E_0$ .

On lit sur le deuxième graphique du document 2 que  $r = 0,0064b$ .

La superficie est donc  $S = \pi r^2$ .

#### Problème

La fraction surfacique d'occupation des atomes sur la feuille est donc  $\frac{\pi(0,0064b)^2}{d^2}$ .

Cette fraction représente 0,01 %, soit 0,0001.

On en déduit  $\frac{\pi(0,0064b)^2}{d^2} = 0,0001$ , soit

$$b = \frac{1}{0,0064} \sqrt{\frac{0,0001 d^2}{\pi}} = 10^{-10} \text{ m}, \text{ qui est l'ordre de grandeur de la valeur admise aujourd'hui : le modèle est bon.}$$

#### Remarque

On voit sur le document 2 que le champ électrostatique paraît nul pour  $r > b$  et non nul pour  $r < b$ .

Une particule qui passe à une distance inférieure à  $b$  du centre d'un atome est donc déviée, une particule qui passe à une distance supérieure à  $b$  n'est pas déviée.

Le document 1 indique que 99,99 % des particules ne sont pas déviées.

On en conclut que 99,99 % des particules passent à une distance inférieure à  $b/165$  du centre d'un atome.

La matière est donc lacunaire : ceci était la première conclusion de Rutherford.

# 10. Statique des fluides

## Activités

p. 220 à 222

### ① Les dangers de la plongée sous-marine

- a. D'après le document 1, la pression augmente quand on descend et diminue quand on remonte.
- b. La solubilité augmente quand la pression augmente, et la pression augmente quand on descend, donc quand la profondeur augmente. Par définition de la solubilité, la quantité de gaz dissous dans le sang augmente quand on descend. Lors de la remontée, la pression diminue, la solubilité diminue, et les gaz dissous reviennent à l'état gazeux, en formant des bulles.
- c. D'après le document 2, le volume des gaz diminue lorsque la pression diminue. Lors de la remontée, la pression diminue donc le volume de l'air dans les poumons augmente, l'air se dilate.
- d. Le dioxygène est consommé par les cellules de l'organisme.
- e. Le caisson hyperbare soigne les accidents de décompression. En mettant le patient dans un caisson à haute pression, la solubilité des gaz augmente, les bulles se dissolvent dans le sang et l'augmentation de la proportion de dioxygène favorise l'élimination du gaz par la respiration.

#### Bilan

- La pression est une fonction croissante de la profondeur.
- La solubilité des gaz est une fonction croissante de la pression.
- Le volume est une fonction décroissante de la pression.

### ② La loi de Mariotte

1. a. On trace  $P = f\left(\frac{1}{V}\right)$  : on obtient une droite.
- b. Pour un volume initial  $V_0 = 30 \text{ mL}$ , on obtient un coefficient directeur  $k \approx 3 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{-1}$ .
- c. On en déduit  $PV = k$ .
2. On observe une augmentation de la pression, à volume constant.

#### Bilan

- La constante s'identifie à  $P_0 V_0$ . Elle s'exprime en pascals mètre cube.
- La constante  $k$  dépend donc de la température.

### ③ Variation de la pression dans un liquide

- a. On trace  $P$  en fonction de  $z$ . Si la profondeur de l'eau est de l'ordre de 30 cm, la pression doit varier approximativement entre 1 013 hPa et 1 034 hPa. On peut donc choisir une échelle :
  - de  $z = 0$  à  $z = 30 \text{ cm}$  ;
  - de  $P = 1 000 \text{ hPa}$  à  $1 050 \text{ hPa}$ .
- b. Le coefficient directeur doit valoir environ  $k = -1,0 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{-1}$ .

On a donc  $|k| \approx pg$ .

- c.  $k = -1 \text{ bar par décamètre}$ . La pression augmente de 1 bar à chaque fois que la profondeur augmente de 10 mètres.

#### Question d'oral

On utilise la loi pratique de la question c.

À 2 500 mètres de profondeur, soit 250 décamètres, la pression a augmenté de  $250 \times 1 \text{ bar} = 250 \text{ bar}$ . La pression vaut donc environ 251 bar.

#### Bilan

- $P_1 - P_2 = pg(z_2 - z_1)$
- On choisit la référence des altitudes à la surface de la mer, donc  $z_1 = 0 \text{ m}$  et  $P_1 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ .
- À 500 m de profondeur,  $z_2 = -500 \text{ m}$ , donc  $P_2 = P_1 - pg(z_2 - z_1) = 51 \times 10^5 \text{ Pa} = 51 \text{ bar}$ .
- De même,  $z_2 = z_1 + (P_1 - P_2)/(pg) = -990 \text{ m}$ .

## Exercices

p. 228 à 237

23 a.  $P_1 = \frac{F_1}{S}$  donc  $S = \frac{F_1}{P_1} = 75 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = 7,5 \text{ mm}^2$

b.  $F_2 = P_2 S = 7,5 \text{ N}$

c.  $F_2 > F_1$ , le tympan est donc déformé vers l'extérieur.

27 a.  $V = \frac{m}{\rho} = 1,32 \times 10^{18} \text{ m}^3 = 1,32 \times 10^9 \text{ km}^3$

b.  $H = \frac{V}{S} = 3,66 \text{ km}$

30 a.  $F = P_{\text{atm}} \times S = 10 \text{ MN}$

b.  $m = \frac{F}{g} = 1,0 \text{ t}$

c. L'air dans l'appartement est aussi à la pression atmosphérique et exerce une force opposée sur la vitre.

32 a.  $P_1 = \frac{P_{\text{atm}} V_2}{V_1} = 2,6 \text{ bar}$

b.  $P_2 - P_1 = 1,6 \text{ bar}$ , donc  $h = 16 \text{ m}$

34 a.  $P = P_{\text{atm}} + \rho_{\text{eau douce}} gh = 1,62 \times 10^7 \text{ Pa}$

b.  $h' = \frac{P_1 - P_2}{\rho_{\text{eau douce}} g} = 347 \text{ m}$

35 a.  $P_1 = P_{\text{atm}} + pg(z_2 - z_1) = 3,53 \text{ MPa}$

b.  $V_0 = \frac{V_1 P_1}{P_{\text{atm}}} = 3,53 \times 10^5 \text{ m}^3$

36 a.  $F = P \times S = 73,5 \text{ kN}$

b.  $P_{2500} = \frac{F_{2500}}{S} = 800 \text{ hPa}$

37 a.  $V = \frac{4}{3} \pi R_1^3 = 7,0 \times 10^4 \text{ m}^3$

b.  $P_1 = \frac{P_{\text{atm}} V_0}{V_1} = 1,7 \text{ bar}$

39 Figure ① : à pression égale dans un liquide, on a altitude égale, donc les trois points à la pression atmosphérique sont à la même altitude.

**41** a. On trace  $P$  en fonction de  $\frac{1}{V}$ . On obtient une droite.

$$\text{b. } P = \frac{980 \times 30}{60} = 1\,960 \text{ hPa}$$

**42** a.  $12 \text{ cm Hg} \leftrightarrow 160 \text{ hPa}$  et  $7 \text{ cm Hg} \leftrightarrow 93 \text{ hPa}$

$$\text{b. } P_{\text{atm}} + 160 = 1\,173 \text{ hPa} \text{ et } P_{\text{atm}} + 93 = 1\,106 \text{ hPa}$$

**43** a.  $P_{\text{fond}} = P_{\text{atm}} + \rho g z_1 = 1\,022 \text{ hPa}$

$$\text{b. } P_{\text{atm}} - P_2 = \rho g(z_2 - z_1) = 1\,519 \text{ Pa}$$

c.  $P_2 = P_{\text{atm}} - 1\,519 = 998 \text{ hPa} > 750 \text{ hPa}$ , donc l'aspiration est possible.

**45** a.  $H_{\text{vinaigre}} = z_1$       b.  $H_{\text{huile}} = z_2 - z_1$

$$\text{c. } P_1 = P_{\text{atm}} + \rho_{\text{huile}} g H_{\text{huile}} = 1\,019 \text{ hPa}$$

$$\text{d. } P_{\text{fond}} = P_1 + \rho_{\text{eau}} g H_{\text{vinaigre}} = 1\,024 \text{ hPa}$$

**46** a. L'eau ne se comprime pas et ne se dilate pas, donc le ballon qui contient l'eau garde un volume constant. L'air se dilate et, d'après la loi de Mariotte, son volume augmente quand la pression augmente.

$$\text{b. } P'_1 = \frac{P_1}{30}$$

**47** a.  $H = z_3 - z_1$

$$\text{b. } h = z_2 - z_1$$

$$\text{c. } P_1 = P_{\text{atm}} + \rho_{\text{huile}} g H$$

$$\text{d. } P_1 = P_{\text{atm}} + \rho_{\text{eau}} g h$$

e. En identifiant les deux expressions :

$$P_{\text{atm}} + \rho_{\text{huile}} g H = P_{\text{atm}} + \rho_{\text{eau}} g h$$

$$\text{Donc } \rho_{\text{huile}} = \frac{\rho_{\text{eau}} h}{H} = 840 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

f. À l'équilibre, lorsque le dessus de la couche d'huile est mis à l'air libre après le coup de pioche, son niveau est plus haut que celui de l'eau, donc le pétrole jaillit.

**48** a.  $P_1 = \frac{P_{\text{atm}} V_0}{V_R} = 4,0 \text{ bar}$ , donc la profondeur vaut 30 m.

$$\text{b. } P_2 = P_{\text{atm}} + \rho_{\text{eau}} g h_2 = 21 \text{ bar}$$

$$\text{c. } V_2 = \frac{V_1 P_{\text{atm}}}{P_2} = 0,286 \text{ L}$$

d. Le sang est incompressible.

**49** a.  $P_1 - P_2 = \rho g \times 0 = 0$

$$\text{b. } \frac{(P_{\text{atm}} \times S + mg)}{S} = \frac{(P_{\text{atm}} \times S + Mg)}{S} \text{ donc } \frac{m}{S} = \frac{M}{S}$$

$$\text{c. } M = 5,0 \text{ t}$$

$$\text{d. } P = P_{\text{atm}} + \frac{mg}{S} = 50 \text{ bar}$$

**50** a. Aucune molécule n'est présente et  $P = 0 \text{ Pa}$ .

$$\text{b. } P_{\text{atm}}$$

$$\text{c. } P = P_{\text{atm}} - \rho g H = -96 \text{ Pa} \approx 0 \text{ Pa}$$

$$\text{d. } P_{\text{atm}} \times S = \rho g H \times S$$

e.  $H_{\text{eau}} = \frac{P_{\text{atm}}}{\rho_{\text{eau}} g} = 10,3 \text{ m} < 15 \text{ m}$ . Il est donc normal que l'eau ne puisse pas monter à 15 m.

**51** a.  $V_0 = S \times H = 4,2 \text{ m}^3$

$$\text{b. } P_1 = P_{\text{atm}} + \rho_{\text{eau de mer}} g h = 1\,740 \text{ hPa}$$

$$\text{c. } V_1 = \frac{V_0 P_0}{P_1} = 2,44 \text{ m}^3$$

$$\text{d. } h' = H - \frac{V_1}{S} = 1,17 \text{ m}$$

**52** 1. a.  $P = P_{\text{atm}} + \rho g H$  donc  $P$  augmente si  $P_{\text{atm}}$  augmente.  
b. D'après la loi de Mariotte,  $V$  diminue quand  $P$  augmente.

c. Le niveau de l'eau monte dans le réservoir, la masse du système augmente.  
d. Le poids augmente, rompt l'équilibre et le ludion coule.

2. Le ludion remonterait à la surface.

### 53 Question préliminaire

À 30 mètres de profondeur,  $P = P_{\text{atm}} + \rho g \times 30 = 4,0 \text{ bar}$ . Le plongeur emplit ses poumons de 16 litres d'air par minute, soit  $16 \times \frac{4,0}{1,0} = 64 \text{ L}$  mesurés à la pression atmosphérique.

Sa consommation est donc  $64 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .

#### Problème

La réserve d'air occupe 12 L à 50 bar donc :

$$12 \times \frac{50}{200} = 3,0 \text{ L à 200 bar}$$

Le volume d'air disponible à 200 bar est donc  $12 - 3,0 = 9,0 \text{ L}$ .

Cet air occuperait un volume égal à  $9,0 \times \frac{200}{1} = 1\,800 \text{ L}$  à la pression atmosphérique.

L'autonomie du plongeur est donc égale à :  $\frac{1\,800}{64} = 28 \text{ min}$

### 54

#### Question préliminaire

Le volume de l'air augmente car le liquide s'échappe de l'ampoule. D'après la loi de Mariotte, la pression de l'air diminue. D'après la loi de la statique des fluides incompressibles, comme la pression au-dessus du liquide diminue, et comme la hauteur de liquide diminue, la pression au fond du réservoir diminue.

#### Problème

La tranche d'eau dans le tube ne pourra plus descendre lorsque la somme des normes de son poids et de la force pressante en B (toutes deux vers le bas) sera inférieure à la norme de la force pressante de l'air en E. Comme la pression en B diminue, d'après la question préliminaire, le liquide cessera de couler lorsque cette pression sera assez faible pour que la condition précédente soit réalisée.

### 55

#### Question préliminaire

Le poids du volume déplacé est égal à celui de la masse de liquide dans le volume Sh, soit  $\vec{P} = -\rho Shg \vec{u}_z$ .

#### Problème

La somme des forces pressantes vaut :

$$(P_{\text{atm}} + \rho g H)S \vec{u}_z - (P_{\text{atm}} + \rho g(H-h))S \vec{u}_z = \rho Shg \vec{u}_z = -\vec{P}$$

#### Oral

Les forces latérales horizontales se compensent deux à deux. La pression sur la base inférieure du cylindre est supérieure à celle sur la base supérieure, donc la somme des forces pressantes est vers le haut.

# 11. Mouvement et forces

## Activités

p. 242 à 244

### ① Étude d'un mouvement plan

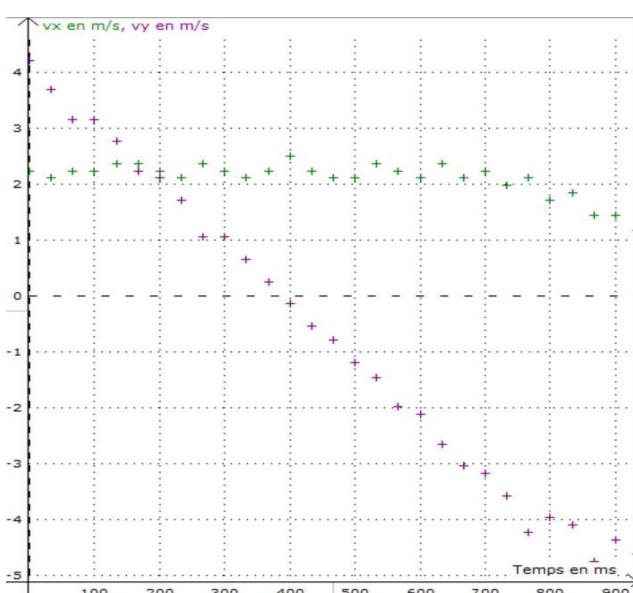
#### Liste de matériel

- Balle, ou un ballon
- Balance
- Objet de taille connue (étalon) : une règle avec son support pour la maintenir verticalement ou horizontalement (pour faciliter l'étalonnage de la vidéo)
- Caméra ou une webcam reliée à un ordinateur muni d'un logiciel de capture (VirtualDub par exemple, ou un petit utilitaire pour webcam)
- Prévoir si nécessaire un logiciel de montage (VirtualDub, par exemple) ou de conversion
- Logiciel de pointage (Latis-Pro, Aviméca, ou autre)
- Logiciel tableur (Latis-Pro, Rgressi, Excel, ou autre)

#### Remarques

- Pour que la vidéo réalisée soit exploitable, il convient de bien choisir le logiciel de capture ou de prévoir un passage par un convertisseur. Selon les logiciels de pointage, il faudra avoir un fichier dans le bon format (souvent .avi) mais aussi codé avec le bon codec.
- Il faudra toujours faire l'essai au préalable pour ne pas se retrouver sans solution le jour du TP.
- Le logiciel VirtualDub a l'avantage d'être libre et fournit des fichiers exploitables, sans modification, avec un bon nombre de logiciels de pointage.

1. a. Voici les courbes typiquement obtenues.



- b.  $v_x$  semble stable. Son évolution est quasiment nulle.
- c.  $v_y$  est initialement positive (la balle monte, la coordonnée du vecteur vitesse selon l'axe de  $y$  est positive).
- $v_y$  est ensuite négative (la balle descend, la coordonnée du vecteur vitesse selon l'axe de  $y$  est négative).

2. a. Le calcul des coordonnées de  $\Delta\vec{v}$  à un instant  $t$  se fait de la manière suivante :

$$\begin{aligned}\Delta v_x(t) &= v_x(t + \Delta t) - v_x(t) \\ \Delta v_y(t) &= v_y(t + \Delta t) - v_y(t)\end{aligned}$$

La mise en œuvre dépend du logiciel étudié.

Les nuages de points sont très bruités. La modélisation par des constantes a une valeur très faible pour  $\Delta v_x$  et une valeur négative non nulle pour  $\Delta v_y$ .

b. On ne peut pas calculer  $\Delta v_x$  et  $\Delta v_y$  au dernier instant, car il manque la valeur de  $v_x$  et de  $v_y$  à l'instant d'après. Les tableaux de valeurs des coordonnées  $\Delta v_x$  et  $\Delta v_y$  contiennent une ligne de moins que  $v_x$  et  $v_y$ .

c. Le modèle constant de la courbe  $\Delta v_x$  est quasiment centré sur 0 ( $-0,038 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Comme l'évolution de  $v_x$  est quasiment nulle, il était attendu que  $\Delta v_x$  soit nulle à tout instant.

Le modèle constant de la courbe  $\Delta v_y$  est centré sur une valeur négative ( $-0,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Comme l'évolution de  $v_y$  est une droite décroissante, il était attendu que  $\Delta v_y$  soit constante et négative à tout instant.

Ces constatations sont donc cohérentes avec les réponses aux questions 1b et 1c.

d. Nous avons obtenu, pour les modèles constants :

$$\Delta v_x = -0,038 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Delta v_y = -0,032 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

On peut ainsi dire que  $\Delta\vec{v}$  a une direction verticale ( $\Delta v_x$  nulle), est dirigé vers le bas ( $\Delta v_y < 0$ ), et a pour norme  $\Delta v = |\Delta v_y| = 0,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

On fera les calculs des normes avec une masse de la balle  $m = 1,0 \text{ kg}$ .

Le vecteur  $m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$  a une direction verticale comme  $\Delta\vec{v}$ , est orienté vers le bas comme  $\Delta\vec{v}$  et a pour norme  $m \frac{\Delta v}{\Delta t} = 1,0 \times \frac{0,32}{0,033} = 9,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Le poids  $\vec{P}$  a une direction verticale, est orienté vers le bas et a pour norme  $P = mg = 1,0 \times 9,81 = 9,8 \text{ N}$ .

$m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$  et  $\vec{P}$  ont donc les mêmes caractéristiques.

#### Remarque

La valeur de la masse intervient dans le calcul de la norme de  $m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$  et de  $\vec{P}$  : cela implique que la valeur de la masse ne peut en aucun cas être la source d'une non-égalité des normes de ces deux vecteurs.

C'est pour cette raison que, dans ce corrigé, la masse a été choisie comme étant de 1,0 kg alors même qu'il est clair qu'un ballon de volley ne peut avoir une telle masse. Cependant, le programme ne prévoit pas de constater ce dernier point.

Il sera donc important de « jouer le jeu » de la mesure rigoureuse de l'objet envoyé. Cette mesure peut même être l'occasion de parler d'incertitude, tout au moins de précision de la mesure au regard de la précision de la balance.

**Bilan**

- La relation que l'on est conduit à écrire d'après la question 2d est  $m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{P}$ .
- Si l'on connaît le poids du système, on peut donc connaître le vecteur variation de vitesse, donc construire les vecteurs vitesse successifs du système, puis ses positions successives.

**② Mouvement et masse**

Les figures sont réalisées à l'échelle 1/2.

**1. Enregistrement 1**

$$a. \bullet v_{D7} = \frac{D_7 D_8}{\Delta t}$$

Sur la figure,  $D_7 D_8 = 1,4$  cm, donc :

$$v_{D7} = \frac{1,4 \times 10^{-2}}{20,0 \times 10^{-9}} = 7,0 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Sur la figure,  $v_{D7}$  mesure 3,5 cm.

$$\bullet v_{D8} = \frac{D_8 D_9}{\Delta t}$$

Sur la figure,  $D_8 D_9 = 1,6$  cm, donc :

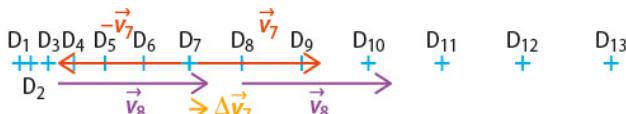
$$v_{D8} = \frac{1,6 \times 10^{-2}}{20,0 \times 10^{-9}} = 8,0 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Sur la figure,  $v_{D8}$  mesure 4,0 cm.

- b. Les vecteurs  $\vec{v}_{D7}$  et  $\vec{v}_{D8}$  ayant même direction et même sens, la norme du vecteur variation de vitesse peut se calculer directement :

$$\begin{aligned} \Delta v_{D7} &= v_{D8} - v_{D7} \\ &= 8,0 \times 10^5 - 7,0 \times 10^5 \\ &= 1,0 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

En faisant la construction, sur la figure,  $\Delta v_{D7}$  mesure 0,5 cm, ce qui donne bien  $\Delta v_{D7} = 1 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



$$c. \bullet v_{P5} = \frac{P_5 P_6}{\Delta t}$$

Sur la figure,  $P_5 P_6 = 2,1$  cm, donc :

$$v_{P5} = \frac{2,1 \times 10^{-2}}{20,0 \times 10^{-9}} = 1,1 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Sur la figure,  $v_5$  mesure 5,5 cm.

$$\bullet v_{P6} = \frac{P_6 P_7}{\Delta t}$$

Sur la figure,  $P_6 P_7 = 2,5$  cm, donc :

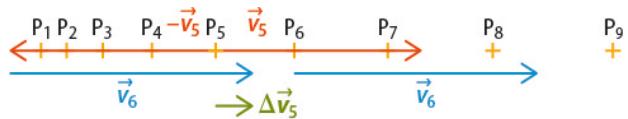
$$v_{P6} = \frac{2,5 \times 10^{-2}}{20,0 \times 10^{-9}} = 1,3 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Sur la figure,  $v_{P6}$  mesure 6,5 cm.

- Les vecteurs  $\vec{v}_{P5}$  et  $\vec{v}_{P6}$  ayant même direction et même sens, la norme du vecteur variation de vitesse peut se calculer directement :

$$\begin{aligned} \Delta v_{P5} &= v_{P6} - v_{P5} \\ &= 1,3 \times 10^6 - 1,1 \times 10^6 = 2 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

En faisant la construction sur la figure,  $\Delta v_{P5}$  mesure 1,0 cm, soit  $\Delta v_{P5} = 2,0 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



d. Pour le deutéron :

$$\begin{aligned} m_d \Delta v_{D7} &= 3,34 \times 10^{-27} \times 1,0 \times 10^5 \\ &= 3,3 \times 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Pour le proton :

$$\begin{aligned} m_p \Delta v_{P5} &= 1,67 \times 10^{-27} \times 2,0 \times 10^5 \\ &= 3,3 \times 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Les deux produits sont, à la précision des mesures près, identiques.

**2. Enregistrement 2**

$$\bullet v_{D4} = \frac{D_4 D_5}{\Delta t}$$

Sur la figure (voir page suivante),  $D_4 D_5 = 2,0$  cm, donc :

$$v_{D4} = \frac{2,0 \times 10^{-2}}{20,0 \times 10^{-9}} = 1,0 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Sur la figure,  $v_{D4}$  mesure 5,0 cm.

$$\bullet v_{D5} = \frac{D_5 D_6}{\Delta t}$$

Sur la figure,  $D_5 D_6 = 2,0$  cm, donc :

$$v_{D5} = \frac{2,0 \times 10^{-2}}{20,0 \times 10^{-9}} = 1,0 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Sur la figure,  $v_{D5}$  mesure 5,0 cm.

La construction se fait sur la figure :  $\Delta v_{D4}$  mesure 1,4 cm, ainsi  $\Delta v_{D4} = 2,8 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

$$\bullet v_{P3} = \frac{P_3 P_4}{\Delta t}$$

Sur la figure,  $P_3 P_4 = 2,0$  cm, donc :

$$v_{P3} = \frac{2,0 \times 10^{-2}}{20,0 \times 10^{-9}} = 1,0 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Sur la figure,  $v_{P3}$  mesure 5,0 cm.

$$\bullet v_{P4} = \frac{P_4 P_5}{\Delta t}$$

Sur la figure,  $P_4 P_5 = 2,0$  cm, donc :

$$v_{P4} = \frac{2,0 \times 10^{-2}}{20,0 \times 10^{-9}} = 1,0 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Sur la figure,  $v_{P4}$  mesure 5,0 cm.

- Pour  $\Delta v_{P3}$ , la construction se fait sur la figure :  $\Delta v_{P3}$  mesure 2,9 cm, ainsi  $\Delta v_{P3} = 5,8 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

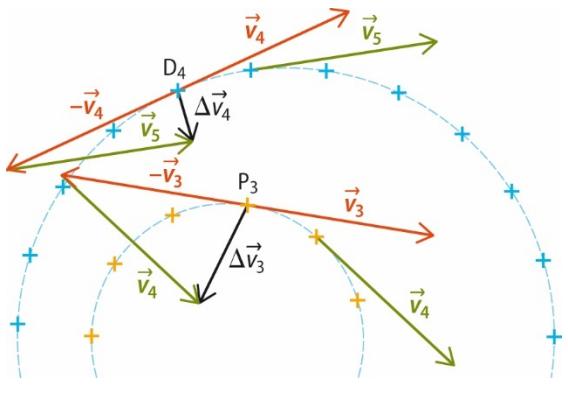
• Pour le deutéron :

$$\begin{aligned} m_d \Delta v_{D4} &= 3,34 \times 10^{-27} \times 2,8 \times 10^5 \\ &= 9,4 \times 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

• Pour le proton :

$$\begin{aligned} m_p \Delta v_{P3} &= 1,67 \times 10^{-27} \times 5,8 \times 10^5 \\ &= 9,7 \times 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Les deux produits sont très proches, avec les précisions de mesures, on peut affirmer que ces produits sont identiques.

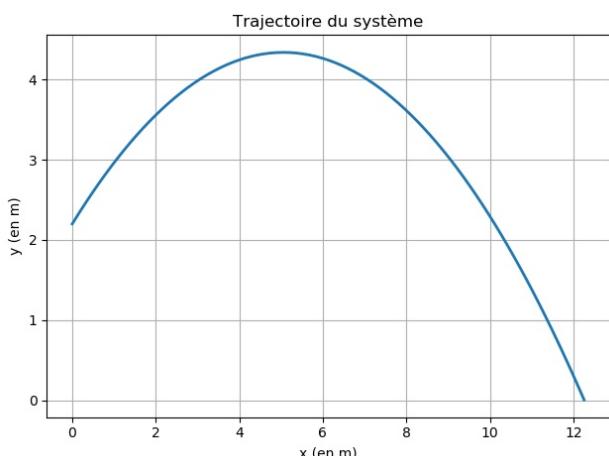
**Bilan**

L'influence de la masse est la suivante : à force identique, le vecteur variation de vitesse est plus petit si la masse du système est plus élevée.

**(3) Simulation d'un lancer de poids**

1. a. et b. Voir le fichier de correction du programme Python.

On obtient la figure suivante.

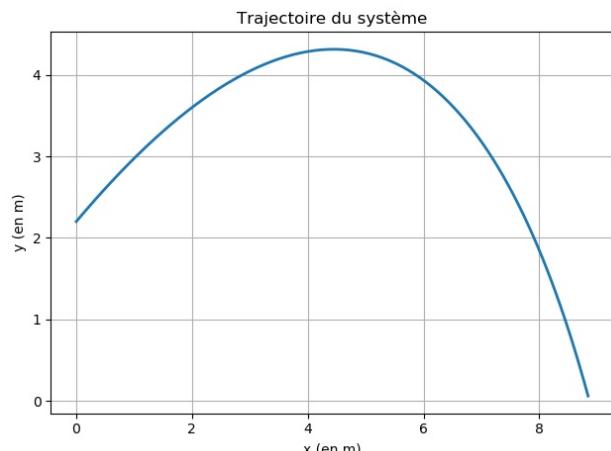


Conditions initiales pour la portée attendue :

- masse du système :  $m = 4,0 \text{ kg}$  ;
- hauteur de lancer :  $h = 2,2 \text{ m}$  ;
- norme de la vitesse initiale :  $v_0 = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ;
- angle de tir :  $40^\circ$  ;
- coefficient de frottement :  $k = 0 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$  ;
- force due au vent horizontal :  $T_x = 0 \text{ N}$ .

La portée attendue est  $12,33 \text{ m}$ .

2. a. On obtient la figure suivante.



Conditions initiales pour la portée attendue :

- masse du système :  $m = 4,0 \text{ kg}$  ;
- hauteur de lancer :  $h = 2,2 \text{ m}$  ;
- norme de la vitesse initiale :  $v_0 = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ;
- angle de tir :  $40^\circ$  ;
- coefficient de frottement :  $k = 0,1 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$  ;
- force due au vent horizontal :  $T_x = -10 \text{ N}$ .

La portée attendue est  $8,88 \text{ m}$ .

La portée n'est pas la même que sans frottements ni vent.  
b. En tâtonnant, au degré près, on obtient l'angle le plus favorable égal à  $31^\circ$ .

3. a. Voir le fichier de correction.  
b. Là encore nous obtenons  $31^\circ$ , comme dans la question 2b.

4. a. Les paramètres suivants nous permettent d'obtenir une valeur quasiment identique à la valeur attendue :

- masse du système :  $m = 4,0 \text{ kg}$  ;
- hauteur de lancer :  $h = 2,2 \text{ m}$  ;
- norme de la vitesse initiale :  $v_0 = 14,35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ;
- coefficient de frottement :  $k = 0,1 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$  ;
- force due au vent horizontal :  $T_x = 0 \text{ N}$ .

Portée maximale du tir :  $22,52 \text{ m}$  pour un angle de tir de  $42^\circ$ .

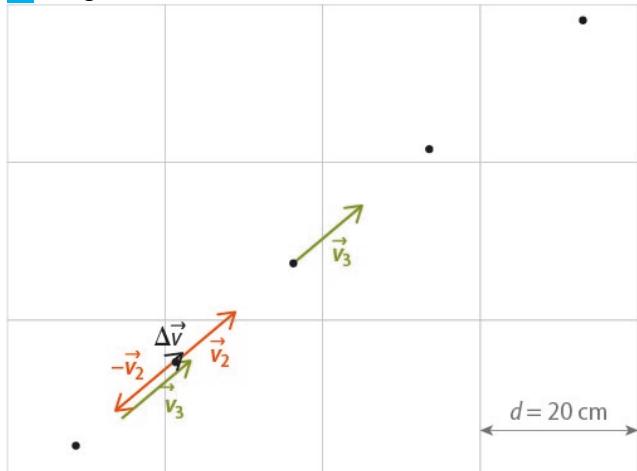
b. En ajoutant du vent, on arrive à une portée de  $17,52 \text{ m}$  dans les meilleures conditions :

- masse du système :  $m = 4,0 \text{ kg}$  ;
- hauteur de lancer :  $h = 2,2 \text{ m}$  ;
- norme de la vitesse initiale :  $v_0 = 14,35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ;
- coefficient de frottement :  $k = 0,1 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$  ;
- force due au vent horizontal :  $T_x = -10 \text{ N}$ .

Portée maximale du tir :  $17,52 \text{ m}$  pour un angle de tir de  $35^\circ$ .

## Exercices

p. 250 à 259

**20** a. Figure réalisée hors échelle.

On mesure une distance de 3,9 cm entre les deuxième et troisième points. D'après l'échelle, cela correspond à  $M_2 M_3 = 2,0 \times 10^{-1} \text{ m}$ .

On obtient une vitesse en  $M_2$  :

$$v_2 = \frac{M_2 M_3}{\Delta t} = \frac{2,0 \times 10^{-1}}{0,100} = 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

On mesure une distance entre le troisième point et le quatrième de 4,5 cm. D'après l'échelle cela correspond à  $M_3 M_4 = 2,3 \times 10^{-1} \text{ m}$ .

On obtient une vitesse en  $M_3$  :

$$v_3 = \frac{M_3 M_4}{\Delta t} = \frac{2,3 \times 10^{-1}}{0,100} = 2,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

En choisissant comme échelle 1 cm correspond à  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , on peut construire les vecteurs vitesse ainsi que la variation du vecteur vitesse.

$\Delta v$  mesure sur le schéma 3 mm, ainsi :

$$\Delta v = 3 \times 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

On peut ainsi calculer  $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{3 \times 10^{-1}}{0,100} = 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

b. Les deux valeurs sont identiques : la loi paraît vérifiée.

**23** a. Soit un point dont la vitesse dans un référentiel donné est  $\vec{v}(t)$  à une date  $t$ . La variation du vecteur vitesse entre les dates  $t$  et  $t + \Delta t$  s'écrit :

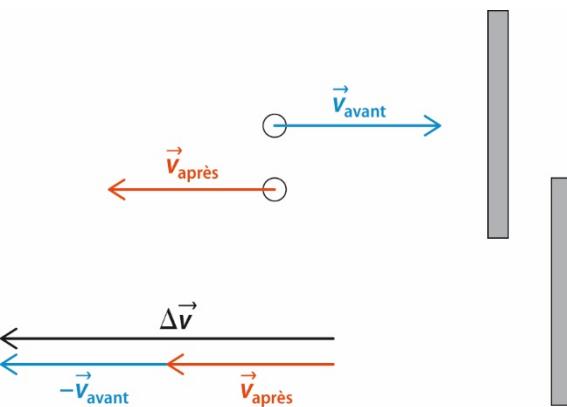
$$\Delta \vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$$

La variation du vecteur la vitesse a la même unité qu'une vitesse. Elle s'exprime en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

b. Soit un système de masse  $m$  subissant des forces dont la somme est  $\vec{F}_{\text{tot}}$ . Cette force est liée à la variation du vecteur vitesse du système  $\Delta \vec{v}(t)$  entre les dates  $t$  et  $t + \Delta t$  par la relation approchée  $\vec{F}_{\text{tot}} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t}$ .

La vitesse s'exprime en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , la masse en kg. Ainsi, l'unité d'une force est  $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Le newton est une unité qui signifie  $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

**25** a. et b. En utilisant 1 cm correspondant à  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , les vecteurs vitesse auront des longueurs, sur le schéma, de 2,2 cm.



c. Sur le schéma, la longueur de  $\Delta \vec{v}$  est de 4,4 cm, ainsi  $\Delta v = 44 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

d.  $\Delta \vec{v}$  est perpendiculaire au mur et dirigé dans le sens du mouvement de la balle après le rebond. Comme, d'après la deuxième loi de Newton,  $\Delta \vec{v}$  a le même sens et la même direction que la somme des forces appliquées au système  $\vec{F}_{\text{tot}}$ ,  $\vec{F}_{\text{tot}}$  est perpendiculaire au mur et dirigé dans le sens du mouvement de la balle après le rebond.

**26** Le mouvement est rectiligne et accéléré, les vecteurs vitesse ont tous la même direction et le même sens. De même, comme le mouvement est accéléré, la variation du vecteur vitesse a le même sens et la même direction que les vecteurs vitesse.

La définition vectorielle de la variation du vecteur vitesse  $\Delta \vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$  peut se réécrire ici en norme :  $\Delta v(t) = v(t + \Delta t) - v(t)$ .

Ainsi,  $v(t + \Delta t) = v(t) + \Delta v(t)$ .

$$v(\Delta t) = v(0) + \Delta v = 0 + 5,0 = 5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v(2\Delta t) = v(\Delta t) + \Delta v = 5,0 + 5,0 = 10,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v(3\Delta t) = v(2\Delta t) + \Delta v = 10,0 + 5,0 = 15,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v(4\Delta t) = v(3\Delta t) + \Delta v = 15,0 + 5,0 = 20,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v(5\Delta t) = v(4\Delta t) + \Delta v = 20,0 + 5,0 = 25,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**27** a. Le mouvement est rectiligne et accéléré, les vecteurs vitesse ont tous la même direction et le même sens. De même, comme le mouvement est accéléré, la variation du vecteur vitesse a le même sens et la même direction que les vecteurs vitesse.

La définition vectorielle de la variation du vecteur vitesse  $\Delta \vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$  peut se réécrire en norme  $\Delta v(t) = v(t + \Delta t) - v(t)$ .

$$\text{Ici : } \Delta v(0) = v(\Delta t) - v(0) = \frac{100}{3,6} - 0 = 27,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{b. D'après la deuxième loi de Newton, } \vec{F} = m \frac{\Delta \vec{v}(0)}{\Delta t}$$

Les deux vecteurs ont nécessairement même sens et même direction pour être égaux.

Leurs normes sont donc égales :

$$F = m \frac{\Delta v(0)}{\Delta t} = 2,1 \times 10^3 \times \frac{27,8}{2,4} = 2,4 \times 10^4 \text{ N}$$

**29** a. Le mouvement est rectiligne et décéléré, les vecteurs vitesse ont tous la même direction et le même sens.

De même, comme le mouvement est décéléré, la variation du vecteur vitesse a le sens opposé mais la même direction que les vecteurs vitesse.

La définition vectorielle de la variation du vecteur vitesse  $\Delta\vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$  peut se réécrire ici en norme :  $\Delta v(t) = -v(t + \Delta t) + v(t)$ .

Ici,  $\Delta v(0) = -v(\Delta t) + v(0) = -0 + \frac{100}{3,6} = 27,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

b. D'après la deuxième loi de Newton :  $\vec{F} = m \frac{\Delta\vec{v}(0)}{\Delta t}$ .

Les deux vecteurs ont nécessairement même sens et même direction pour être égaux.

Leurs normes sont donc égales :  $F = m \frac{\Delta v(0)}{\Delta t}$ .

Ainsi,  $\Delta t = m \frac{\Delta v(0)}{F} = 1,2 \times 10^3 \times \frac{27,8}{7,7 \times 10^3} = 4,3 \text{ s}$ .

c. Si  $m$  est doublée sans que  $\Delta v(0)$  et  $\Delta t$  soient modifiées, alors  $F$  doit être doublée également d'après la relation précédente.

**31** a. Faux.

Le mouvement n'est pas uniforme. La norme du vecteur vitesse n'est pas constante.

Or pour que le vecteur soit constant, il faut que sa norme, son sens et sa direction soient constants.

Le vecteur vitesse n'est donc pas constant.

b. Vrai.

Le mouvement est accéléré, cela implique que la vitesse (en norme) augmente au cours du temps.

c. Vrai.

Le mouvement est rectiligne et accéléré, les vecteurs vitesse ont tous la même direction et le même sens. De même, comme le mouvement est accéléré, la variation du vecteur vitesse a le même sens et la même direction que les vecteurs vitesse.

**32** D'après la deuxième loi de Newton :  $\vec{F} = m \frac{\Delta\vec{v}(t)}{\Delta t}$ .

Les deux vecteurs ont nécessairement même sens et même direction pour être égaux.

Leurs normes sont donc égales :  $F = m \frac{\Delta v(t)}{\Delta t}$ .

#### Remarque

Si le mouvement est accéléré, les vecteurs vitesse ont tous la même direction et le même sens. De même, la variation du vecteur vitesse a le même sens et la même direction que les vecteurs vitesse.

La définition vectorielle de la variation du vecteur vitesse  $\Delta\vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$  peut se réécrire en norme :  $\Delta v(t) = v(t + \Delta t) - v(t)$ .

Si le mouvement est décéléré, les vecteurs vitesse ont tous la même direction et le même sens. De même, la variation du vecteur vitesse a le sens opposé mais la même direction que les vecteurs vitesse.

La définition vectorielle de la variation du vecteur vitesse  $\Delta\vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$  peut se réécrire en norme :  $\Delta v(t) = -v(t + \Delta t) + v(t)$ .

Pour la colonne 1 :  $m = F \frac{\Delta t}{\Delta v(t)}$

Pour les colonnes 2 et 3 :  $F = m \frac{\Delta v(t)}{\Delta t}$

Pour la colonne 4 :  $\Delta t = m \frac{\Delta v(t)}{F}$

Pour la colonne 5 :  $m = F \frac{\Delta t}{\Delta v(t)}$

Pour la colonne 6 :  $\Delta v(t) = F \frac{\Delta t}{m}$

Situation	a	b	c	d	e	f
$v_i$ (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0	10	0	0	0	0
$v_f$ (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	10	0	10	10	30	10
$m$ (en kg)	1,0	1,0	2,0	1,0	3,0	10
$\Delta t$ (en s)	1,0	1,0	1,0	0,20	3,0	1,0
$F$ (en N)	10	10	20	50	30	100

**33** En utilisant les relations écrites à l'exercice précédent.

a.  $\Delta v(t) = F \frac{\Delta t}{m}$  : si  $m$  est multipliée par 3, la norme de  $\Delta\vec{v}$  est divisée par 3.

b.  $\Delta v(t) = F \frac{\Delta t}{m}$  : si  $F$  est multipliée par 3, la norme de  $\Delta\vec{v}$  est multipliée par 3.

c.  $\Delta v(t) = F \frac{\Delta t}{m}$  : si  $\Delta t$  est multipliée par 3, la norme de  $\Delta\vec{v}$  est multipliée par 3.

**35** a. D'après la deuxième loi de Newton :  $m \frac{\Delta\vec{v}(t)}{\Delta t} = \vec{F}$ .

Ainsi, les deux vecteurs étant nécessairement colinéaires et de même sens, on peut écrire cette relation en norme :

$$m \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = F, \text{ soit } \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = \frac{F}{m}$$

$$\text{b. } m \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = F$$

Pour obtenir une même mise en mouvement (un même  $\frac{\Delta v(t)}{\Delta t}$ ), la force de propulsion doit doubler pour pousser une personne deux fois plus lourde.

En effet, si  $\frac{\Delta v(t)}{\Delta t}$  est constant, il existe une relation de proportionnalité entre  $F$  et  $m$ .

$$\text{c. } m \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = F$$

Or, la vitesse initiale étant nulle, si le mouvement est accéléré, les vecteurs vitesse ont tous la même direction et le même sens. De même, la variation du vecteur vitesse a le même sens et la même direction que les vecteurs vitesse.

La définition vectorielle de la variation du vecteur vitesse  $\Delta\vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$  peut se réécrire en norme :

$$\Delta v(t) = v(t + \Delta t) - v(t).$$

$$\Delta v = v - 0, \text{ ainsi :}$$

$$F = m \frac{v}{\Delta t} = 86,3 \times \frac{1,5}{500 \times 10^{-3}} = 2,6 \times 10^2 \text{ N}$$

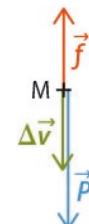
**36** a. Voir figure ci-contre.

b. D'après la deuxième loi de Newton :

$$\vec{P} = m \frac{\Delta\vec{v}(t)}{\Delta t}$$

Les vecteurs  $\Delta\vec{v}$  et  $\vec{P}$  ont même sens et même direction. Ainsi, en norme :  $P = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$ .

Comme à l'instant initial la vitesse est nulle, et au bout de  $\Delta t = 12 \text{ s}$  la vitesse est la vitesse limite  $v_{\lim}$ , on a  $\Delta v = v_{\lim}$ , donc  $P = m \frac{v_{\lim}}{\Delta t}$ . D'où :



$$v_{\text{lim}} = P \frac{\Delta t}{m} = 78,0 \times 9,81 \times \frac{12}{78,0} = 1,2 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

C'est plus de deux fois la valeur attendue. La force de frottement n'est pas négligeable ici.

c. Si la vitesse se stabilise,  $\Delta \vec{v}$  est un vecteur nul.

D'après la deuxième loi de Newton :  $\vec{F}_{\text{tot}} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t} = \vec{0}$ , donc ici  $\vec{P} + \vec{f} = \vec{0}$ , d'où  $\vec{P} = -\vec{f}$ .

**38** • En D<sub>6</sub> :

$$D_6 D_7 = 1,9 \text{ cm}$$

$$v_6 = \frac{D_6 D_7}{\Delta t} = \frac{1,9 \times 10^{-2}}{500 \times 10^{-3}} = 3,8 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$D_7 D_8 = 2,4 \text{ cm}$$

$$v_7 = \frac{D_7 D_8}{\Delta t} = \frac{2,4 \times 10^{-2}}{500 \times 10^{-3}} = 4,8 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Delta v_6 = 1,4 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

• En D<sub>9</sub> :

$$D_9 D_{10} = 2,8 \text{ cm}$$

$$v_9 = \frac{D_9 D_{10}}{\Delta t} = \frac{2,8 \times 10^{-2}}{500 \times 10^{-3}} = 5,6 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$D_{10} D_{11} = 3,2 \text{ cm}$$

$$v_{10} = \frac{D_{10} D_{11}}{\Delta t} = \frac{3,2 \times 10^{-2}}{500 \times 10^{-3}} = 6,4 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Delta v_{10} = 1,8 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**40** a. Lorsqu'il est en vol, il ne subit que son poids : ainsi, d'après la deuxième loi de Newton,  $\vec{P} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t}$ .

Les deux vecteurs sont égaux, ils ont nécessairement la même norme,  $P = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$ .

$$\text{Ainsi, } \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{P}{m} = \frac{736}{75,0} = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}.$$

b. Si le mouvement est décéléré, les vecteurs vitesse ont tous la même direction et le même sens. De même, la variation du vecteur vitesse a le sens opposé mais la même direction que les vecteurs vitesse.

La définition vectorielle de la variation du vecteur vitesse  $\Delta \vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$  peut se réécrire en norme :

$$\Delta v(t) = -v(t + \Delta t) + v(t).$$

Ici,  $\Delta v(0) = -v(\Delta t) + v(0)$ .

La vitesse de l'homme passe de  $v(0) = 35,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

à  $v(\Delta t) = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , soit  $\Delta v(0) = 35,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

$$\text{Or, } \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{P}{m}, \text{ d'où l'on déduit } \Delta t = \frac{\Delta v}{P} = \frac{35,4}{9,81} = 3,61 \text{ s.}$$

**41** a. L'avion n'est soumis qu'à  $\vec{F}$  ainsi, d'après la deuxième loi de Newton :



$$\vec{F} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t}$$

Les vecteurs  $\Delta \vec{v}$  et  $\vec{F}$  ont même sens et même direction.

b. D'après la deuxième loi de Newton :  $\vec{F} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t}$ .

Les vecteurs  $\Delta \vec{v}$  et  $\vec{F}$  ont même sens et même direction ainsi, en norme :

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = 10 \times 10^3 \times \frac{61}{1,5} = 4,1 \times 10^5 \text{ N}$$

**42** a. D'après la deuxième loi de Newton :  $m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t} = \vec{R}$ .

Les deux vecteurs sont égaux, leurs normes sont donc égales aussi :  $m \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = R$ . Soit  $\frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = \frac{R}{m}$ .

b. La variation du vecteur vitesse est inversement proportionnelle à la masse du système. Ainsi, la masse du système a une influence sur la vitesse du système.

c.  $\frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = \frac{R}{m}$ , d'où  $\Delta v(t) = \frac{R}{m} \Delta t$ .

Si le mouvement est accéléré, les vecteurs vitesses ont tous la même direction et le même sens. De même, la variation du vecteur vitesse a le même sens et la même direction que les vecteurs vitesse.

La définition vectorielle de la variation du vecteur vitesse  $\Delta \vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$  peut se réécrire en norme :  $\Delta v(t) = v(t + \Delta t) - v(t)$ .

Or, la vitesse initiale étant nulle,  $\Delta v = v - 0$ , ainsi :

$$v = \frac{R}{m} \Delta t = \frac{0,20}{10 \times 10^{-3}} \times 100 \times 10^{-3} = 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**43** a. On calcule la vitesse du point en utilisant la méthode :

$$\vec{v}(t) = \frac{\overrightarrow{M(t)M(t + \Delta t)}}{\Delta t}$$

Ici le mouvement est à une seule direction :

$$v = \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t}$$

SOMME	A	B	C	D	E
	t(s)	x(m)	v (m/s)		
1	0	0,000	=B3-B2)/(A3-A2)		
2	0,1	1,000	9		

Par définition,  $\Delta \vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$ .

À une dimension, cette relation s'écrit scalairement :

$$\Delta v(t) = v(t + \Delta t) - v(t)$$

	B	C	D	
	x(m)	v (m/s)	Dv (m/s)	
0,000	10	=C3-C2		
1,000	9	-0,9512294		

b. D'après la deuxième loi de Newton :  $\vec{F} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t}$ .

Les deux vecteurs ont donc obligatoirement même sens et même direction.

Cette relation est donc vraie en norme :  $F = m \frac{\Delta v(t)}{\Delta t}$

c.

	B	C	D	E
	x(m)	v (m/s)	Dv (m/s)	F
0,000	10	-1	=D2/0,1*40	
1,000	9	-0,9512294	-380,49177	

On obtient le tableau suivant :

t(s)	x(m)	v (m/s)	Dv (m/s)	F
0	0,000	10	-1	-400
0,1	1,000	9	-0,9512294	-380,49177
0,2	1,900	8,04877058	-0,9048374	-361,93497
0,3	2,705	7,14393316	-0,860708	-344,28319
0,4	3,419	6,28322518	-0,8187308	-327,4923
0,5	4,048	5,46449443	-0,7788008	-311,52031
0,6	4,594	4,68569364	-0,7408182	-296,32729
0,7	5,063	3,94487542	-0,7046881	-281,87524
0,8	5,457	3,24018733	-0,67032	-268,12802
0,9	5,781	2,56986729	-0,6376282	-255,05126
1	6,038	1,93223914	-0,6065307	-242,61226
1,1	6,231	1,32570848	-0,5769498	-230,77992
1,2	6,364	0,74875867	-0,136512	-54,604793
1,3	6,439	0,61224669	-0,6122467	-244,89867
1,4	6,500	0	0	0
1,5	6,500			

Au cours du freinage, la force n'est donc pas constante en norme.

44 1. a. La norme du poids est :

$$P = mg = 320 \times 9,81 = 3,14 \times 10^3 \text{ N}$$

La norme de la poussée d'Archimède est :

$$F_A = \rho_{\text{air}} V g = 1,22 \times 350 \times 9,81 = 4,19 \times 10^3 \text{ N}$$

b. En utilisant l'échelle suivante : 1 cm correspond à  $1 \times 10^3 \text{ N}$ , on trace le poids avec une flèche de 3,1 cm et la poussée d'Archimède avec une flèche de 4,2 cm (voir figures en fin d'exercice).

c. La somme des forces  $\vec{F}_{\text{tot}} = \vec{P} + \vec{F}_A$  est verticale et vers le haut et a pour norme :

$$F_{\text{tot}} = -P + F_A = 1,05 \times 10^3 \text{ N}$$

d.  $\vec{F}_{\text{tot}}$  est dirigée verticalement, vers le haut. Or, d'après la deuxième loi de Newton,  $\vec{F}_{\text{tot}}$  et  $\Delta \vec{v}$  ont le même sens et la même direction. Ainsi,  $\Delta \vec{v}$  est vertical vers le haut. La montgolfière est en train de décoller.

2. a. D'après la deuxième loi de Newton,  $\vec{F}_{\text{tot}} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t}$ .

Les deux vecteurs étant nécessairement colinéaires et de même sens, on peut écrire cette relation en norme :

$$m \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = F_{\text{tot}}$$

Si le mouvement est accéléré, les vecteurs vitesse ont tous la même direction et le même sens. De même, la variation du vecteur vitesse a le même sens et la même direction que les vecteurs vitesse.

La définition vectorielle de la variation du vecteur vitesse  $\Delta \vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$  peut se réécrire en norme  $\Delta v(t) = v(t + \Delta t) - v(t)$ .

Ici,  $\Delta v(0) = v(\Delta t) - v(0)$ . La vitesse initiale étant nulle, cela donne :  $\Delta v(0) = v(\Delta t)$ . Ainsi,  $m \frac{v(\Delta t)}{\Delta t} = F_{\text{tot}}$ .

D'où  $v(\Delta t) = \frac{F_{\text{tot}} \Delta t}{m} = \frac{1,1 \times 10^3 \times 5,0}{320} = 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

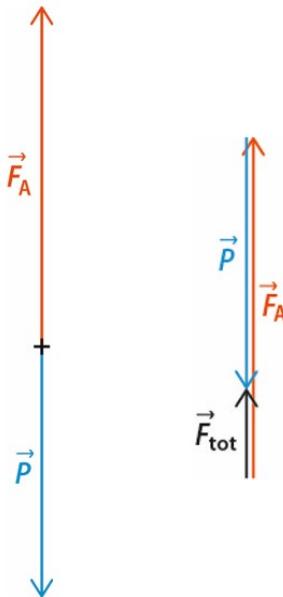
b. En  $\Delta t = 1,0 \text{ min}$  :

$v(\Delta t) = \frac{F_{\text{tot}} \Delta t}{m} = \frac{1,1 \times 10^3 \times 60}{320} = 2,0 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , soit environ  $740 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

c. Nous avons totalement négligé les forces de frottement.

Compte tenu de la taille de la montgolfière, il est normal que cette force ne soit rapidement plus négligeable.

Figures des questions 1b et 1c :



45 a. Le téléphone n'est soumis qu'à son poids  $\vec{P} = m \vec{g}$ .

b. D'après la deuxième de Newton :  $\vec{P} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t}$ , soit

$$m \vec{g} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t}, \text{ d'où } \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{g}.$$

Ainsi,  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  ne dépend pas de la masse du système.

c. Cette affirmation est erronée car  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  ne dépend pas de la masse du système. La vitesse à l'arrivée au sol sera la même indépendamment de la masse du système.

d. On constate que la balle de tennis met un petit peu plus de temps que la boule de pétanque pour chuter de la même altitude.

La masse intervient donc un peu.

C'est contradictoire avec la réponse à la question c, car les frottements de l'air sont à prendre en compte.

46 a. D'après la deuxième loi de Newton :  $m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t} = \vec{R}$ .

Les deux vecteurs étant nécessairement colinéaires et de même sens, on peut écrire cette relation en norme :

$$m \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = R, \text{ soit } \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = \frac{R}{m}.$$

Si le mouvement est accéléré, les vecteurs vitesse ont tous la même direction et le même sens. De même, la variation du vecteur vitesse a le même sens et la même direction que les vecteurs vitesse.

La définition vectorielle de la variation du vecteur vitesse  $\Delta \vec{v}(t) = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$  peut se réécrire en norme :  $\Delta v(t) = v(t + \Delta t) - v(t)$ .

Et comme le mouvement se fait uniquement selon l'horizontale :  $\Delta v(t) = v_x(t + \Delta t) - v_x(t)$ .

Ainsi,  $\frac{v_x(t + \Delta t) - v_x(t)}{\Delta t} = \frac{R}{m}$ , soit  $v_x(t + \Delta t) - v_x(t) = \frac{R}{m} \Delta t$ ,

d'où  $v_x(t + \Delta t) = v_x(t) + \frac{R}{m} \Delta t$ .

b.  $v_x(t) = \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t}$ , soit  $x(t + \Delta t) - x(t) = v_x(t) \Delta t$ , d'où  $x(t + \Delta t) = x(t) + v_x(t) \Delta t$ .

c. Vitesse de la fléchette 1 :

Fléchette 1

m1 (kg)	t (s)	vx (m/s)	x (m)
1,00E-02	0	0	0
		=E3+\$A\$2/\$C\$3*0,005	

Distance parcourue par la fléchette 1 :

Fléchette 1

m1 (kg)	t (s)	vx (m/s)	x (m)
1,00E-02	0	0	0
	0,005	1,00E-01	=F3+E3*0,05

Vitesse de la fléchette 2 :

Fléchette2

m2 (kg)	t (s)	vx (m/s)	x (m)
2,00E-02	0	0	0
	0,005	=J3+\$A\$2/\$H\$3*0,005	

Distance parcourue par la fléchette 2 :

Fléchette2

m2 (kg)	t (s)	vx (m/s)	x (m)
2,00E-02	0	0	0
	0,005	=K3+J3*0,005	

Avec une masse  $m_1 = 10 \text{ g}$ , la fléchette sort du lanceur (3 cm) avec une vitesse comprise entre  $1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et  $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

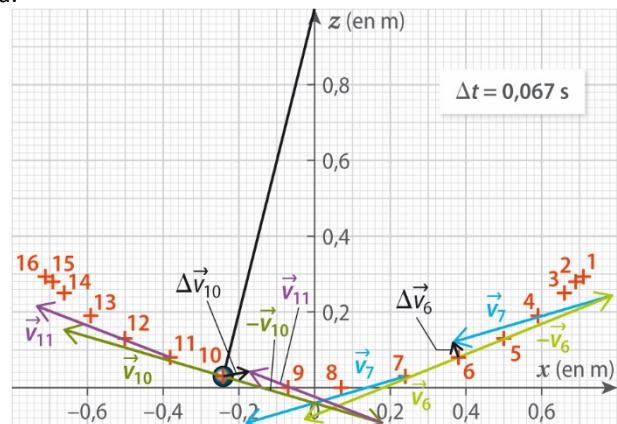
m1 (kg)	t (s)	vx (m/s)	x (m)
1,00E-02	0	0	0
	0,005	1,00E-01	0
	0,01	2,00E-01	0,0005
	0,015	3,00E-01	0,0015
	0,02	4,00E-01	0,003
	0,025	5,00E-01	0,005
	0,03	6,00E-01	0,0075
	0,035	7,00E-01	0,0105
	0,04	8,00E-01	0,014
	0,045	9,00E-01	0,018
	0,05	1,00E+00	0,0225
0,055	1,10E+00	0,0275	
0,06	1,20E+00	0,033	
0,065			
0,07			
0,075			
0,08			
0,085			
0,09			

Avec une masse  $m_2 = 20 \text{ g}$ , la fléchette sort du lanceur (3 cm) avec une vitesse comprise entre  $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et  $0,85 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

m2 (kg)	t (s)	vx (m/s)	x (m)
2,00E-02	0	0	0
	0,005	5,00E-02	0
	0,01	1,00E-01	0,00025
	0,015	1,50E-01	0,00075
	0,02	2,00E-01	0,0015
	0,025	2,50E-01	0,0025
	0,03	3,00E-01	0,00375
	0,035	3,50E-01	0,00525
	0,04	4,00E-01	0,007
	0,045	4,50E-01	0,009
	0,05	5,00E-01	0,01125
	0,055	5,50E-01	0,01375
	0,06	6,00E-01	0,0165
	0,065	6,50E-01	0,0195
	0,07	7,00E-01	0,02275
	0,075	7,50E-01	0,02625
0,08	8,00E-01	0,03	
0,085	8,50E-01	0,034	
0,09			

#### 47 1. Utilisation de la chronophotographie

a.



En tenant compte de l'échelle :

$$M_6 M_7 = 15 \text{ cm}, \text{ d'où } v_6 = \frac{M_6 M_7}{\Delta t} = \frac{15 \times 10^{-2}}{6,7 \times 10^{-2}} = 2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$M_7 M_8 = 15 \text{ cm}, \text{ d'où } v_7 = \frac{M_7 M_8}{\Delta t} = \frac{15 \times 10^{-2}}{6,7 \times 10^{-2}} = 2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$M_{10} M_{11} = 15 \text{ cm},$$

$$\text{d'où } v_{10} = \frac{M_{10} M_{11}}{\Delta t} = \frac{15 \times 10^{-2}}{6,7 \times 10^{-2}} = 2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$M_{11} M_{12} = 13 \text{ cm},$$

$$\text{d'où } v_{11} = \frac{M_{11} M_{12}}{\Delta t} = \frac{13 \times 10^{-2}}{6,7 \times 10^{-2}} = 1,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

On choisit l'échelle : 1 cm représente  $5 \times 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

b. Les normes des vecteurs sont (d'après la construction et la longueur des vecteurs) :

$\Delta v_6 = 2 \times 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (mesure sur la construction : un peu moins de 0,5 cm).

$\Delta v_{10} = 4 \times 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (mesure sur la construction : un peu moins de 0,7 cm).

c.  $\Delta v_6 = (-2 \times 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})$

Mesures :  $(-0,5 \text{ cm})$

$\Delta v_{10} = (4 \times 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})$

Mesures :  $(0,7 \text{ cm})$

d. D'après la deuxième loi de Newton :

$$\vec{F}_{\text{tot}} = \vec{P} + \vec{T} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t}. \text{ Ainsi, } \vec{T} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t} - \vec{P}.$$

Compte tenu du sens et de l'orientation de  $\vec{P}$  :  $\vec{P} = \begin{pmatrix} 0 \\ -mg \end{pmatrix}$ .

On en déduit les coordonnées de  $\vec{T}$  :

$$\text{Au point 6 : } \vec{T}_6 = m \frac{\Delta \vec{v}_6}{\Delta t}$$

$$= \frac{0,100}{0,067} \times \begin{pmatrix} -2 \times 10^{-1} \\ 1 \times 10^{-1} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ -0,100 \times 9,81 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -3 \times 10^{-1} \\ 1,1 \text{ N} \end{pmatrix}$$

$$\text{Au point 10 : } \vec{T}_{10} = m \frac{\Delta \vec{v}_{10}}{\Delta t}$$

$$= \frac{0,100}{0,067} \times \begin{pmatrix} 4 \times 10^{-1} \\ 1 \times 10^{-1} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ -0,100 \times 9,81 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 6 \times 10^{-1} \\ 1,1 \text{ N} \end{pmatrix}$$

## 2. Utilisation du tableau

a.

ARRONDI		$\times \checkmark f_x$	$= (B3-B2)/0,067$
A	B	C	D
t (s)	X (m)	Y (m)	$v_x$ (m/s)
0	0,714	0,300	$-B2/0,067$
0,067	0,692	0,278	
0,134	0,646	0,236	

ARRONDI		$\times \checkmark f_x$	$= (C3-C2)/0,067$
A	B	C	D
t (s)	X (m)	Y (m)	$v_x$ (m/s)
0	0,714	0,300	$= (C3-C2)/0,067$
0,067	0,692	0,278	-0,69
0,134	0,646	0,236	-1,07

On ne peut pas calculer les dernières valeurs car nous ne disposons pas des valeurs suivantes.

b.

Y (m)	$v_x$ (m/s)	$v_y$ (m/s)	$Dv_x$ (m/s)
0,300	-0,33	-0,33	$=D3-D2$
0,278	-0,69	-0,62	

Y (m)	$v_x$ (m/s)	$v_y$ (m/s)	$Dv_x$ (m/s)	$Dv_y$ (m/s)
0,300	-0,33	-0,33	-0,35	$=E3-E2$
0,278	-0,69	-0,62	-0,38	
0,236	-1,07	-0,82	-0,40	

On ne peut pas calculer les dernières valeurs car nous ne disposons pas des valeurs suivantes.

c. D'après la deuxième loi de Newton :

$$\vec{F}_{\text{tot}} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t} = \begin{pmatrix} m \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \\ m \frac{\Delta v_y}{\Delta t} \end{pmatrix}$$

E	F	G	H
$v_y$ (m/s)	$Dv_x$ (m/s)	$Dv_y$ (m/s)	$F_{\text{tot}x}$ (N)
-0,33	-0,35		$=0,100 * F2 / 0,067$
-0,62	-0,38	-0,20	

F	G	H	I
$Dv_x$ (m/s)	$Dv_y$ (m/s)	$F_{\text{tot}x}$ (N)	$F_{\text{tot}y}$ (N)
-0,35	-0,29		$=0,100 * G2 / 0,067$
-0,38	-0,20	-0,57	

d.  $\vec{F}_{\text{tot}} = \vec{P} + \vec{T}$ , d'où  $\vec{T} = \vec{F}_{\text{tot}} - \vec{P} = \begin{pmatrix} F_{\text{tot}x} - P_x \\ F_{\text{tot}y} - P_y \end{pmatrix}$ .

G	H	I	J
$Dv_y$ (m/s)	$F_{\text{tot}x}$ (N)	$F_{\text{tot}y}$ (N)	$T_x$ (N)
-0,29	-0,53	-0,43	$=H2-0$
-0,20	-0,57	-0,31	
-0,08	-0,60	-0,13	

H	I	J	K
$F_{\text{tot}x}$ (N)	$F_{\text{tot}y}$ (N)	$T_x$ (N)	$T_y$ (N)
-0,53	-0,43		$=I2 - (-0,100 * 9,81)$
-0,57	-0,31	-0,57	

### 3. Comparaison des deux méthodes

Au point 6, nous avons obtenu :  $\vec{T}_6 = \begin{pmatrix} -3 \times 10^{-1} \text{ N} \\ 1,1 \text{ N} \end{pmatrix}$

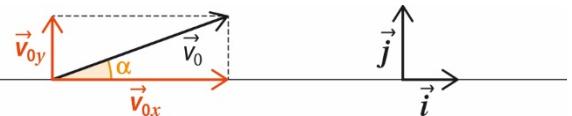
On lit :  $\vec{T}_6 = \begin{pmatrix} -0,31 \text{ N} \\ 1,47 \text{ N} \end{pmatrix}$

Au point 10, nous avons obtenu :  $\vec{T}_{10} = \begin{pmatrix} 6 \times 10^{-1} \text{ N} \\ 1,1 \text{ N} \end{pmatrix}$

On lit :  $\vec{T}_{10} = \begin{pmatrix} 0,53 \text{ N} \\ 1,20 \text{ N} \end{pmatrix}$

Les valeurs obtenues par constructions sont assez proches compte tenu de la précision liée au tracé.

48 1.



Compte tenu du sens de  $\vec{v}_{0x}$  et de  $\vec{v}_{0y}$ ,  $\vec{v}_0 = \begin{pmatrix} v_{0x} \\ v_{0y} \end{pmatrix}$ .

Les trois vecteurs  $\vec{v}_{0x}$ ,  $\vec{v}_{0y}$  et  $\vec{v}_0$  forment un triangle rectangle. Ainsi :

$$\cos(\alpha) = \frac{v_{0x}}{v_0} \Leftrightarrow v_{0x} = v_0 \cos(\alpha)$$

$$\text{et } \sin(\alpha) = \frac{v_{0y}}{v_0} \Leftrightarrow v_{0y} = v_0 \sin(\alpha)$$

$$\text{On arrive à } \vec{v}_0 = \begin{pmatrix} v_0 \cos(\alpha) \\ v_0 \sin(\alpha) \end{pmatrix}.$$

2. Compte tenu du sens et de l'orientation de  $\vec{P}$ ,  $\vec{P} = \begin{pmatrix} 0 \\ -mg \end{pmatrix}$ .

3. D'après la deuxième loi de Newton :

$$\vec{F}_{\text{tot}} = \vec{P} = m \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t}, \text{ soit } \frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t} = \frac{\vec{P}}{m}$$

On en déduit les coordonnées de  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  :  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{P}}{\Delta t} = \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{mg}{m} \end{pmatrix}$ , soit  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix}$ .

4. La masse du projectile n'a pas d'influence sur  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  et donc sur le mouvement du projectile.

5. Selon l'axe des  $x$ , la coordonnée du vecteur  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  est nulle.

Or les coordonnées de  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  sont :  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \begin{pmatrix} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \\ \frac{\Delta v_y}{\Delta t} \end{pmatrix}$ .

On en déduit que  $\frac{\Delta v_x}{\Delta t} = 0$ , soit  $\Delta v_x = 0$ .

Comme  $\Delta v_x = v_x(t + \Delta t) - v_x(t)$ , on a :

$v_x(t + \Delta t) - v_x(t) = 0$ , soit  $v_x(t + \Delta t) = v_x(t)$  à tout instant  $t$ .

On en déduit que  $v_x$  est constant.

Comme à  $t = 0$ ,  $v_x(0) = v_{0x} = v_0 \cos(\alpha)$ , on en déduit qu'à tout instant  $v_x(t) = v_0 \cos(\alpha)$ .

6. a. Au sommet de la trajectoire,  $v_y$  devient nulle. En effet pendant l'ascension  $v_y$  est positif alors que pendant la descente  $v_y$  est négatif. Ainsi, au moment du sommet  $v_y$  est nulle.

b. On note S le sommet de la trajectoire.

$$\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_S - \vec{v}_0}{\Delta t}$$

Or les coordonnées de  $\Delta \vec{v}$  sont :

$$\vec{v}_S - \vec{v}_0 = \begin{pmatrix} v_0 \cos(\alpha) - v_0 \cos(\alpha) \\ 0 - v_0 \sin(\alpha) \end{pmatrix}$$

$$\text{D'où } \vec{v}_S - \vec{v}_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ -v_0 \sin(\alpha) \end{pmatrix}.$$

Ainsi, les coordonnées de  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  sont :  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \left( -\frac{v_0 \sin(\alpha)}{\Delta t} \right)$ .

Mais aussi  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \left( \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix} \right)$ .

On en déduit que  $-g = -\frac{v_0 \sin(\alpha)}{\Delta t}$ , ainsi :

$$\Delta t = \frac{v_0 \sin(\alpha)}{g} = \frac{15,0 \times \sin(38,0)}{9,81} = 0,941 \text{ s}$$

7. a. Compte tenu de la symétrie de la trajectoire de l'objet, lorsque celui-ci touche le sol, il a un vecteur vitesse identique au vecteur vitesse au point de départ, à l'exception que sa projection selon l'axe vertical est, cette fois-ci, dirigée vers le bas et non plus vers le haut.

b. La variation du vecteur vitesse entre le lancer et le moment où le système atteint le sol vérifie  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_0}{\Delta t}$ , où  $\Delta t$  est la durée du vol.

Or les coordonnées de  $\Delta \vec{v}$  sont alors :

$$\vec{v}_f - \vec{v}_0 = \begin{pmatrix} v_0 \cos(\alpha) - v_0 \cos(\alpha) \\ -v_0 \sin(\alpha) - v_0 \sin(\alpha) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -2v_0 \sin(\alpha) \end{pmatrix}$$

Ainsi, les coordonnées de  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  sont  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \left( -\frac{2v_0 \sin(\alpha)}{\Delta t} \right)$ ,

mais aussi  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \left( \begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix} \right)$ .

On en déduit que  $-g = -\frac{2v_0 \sin(\alpha)}{\Delta t}$ .

$$\text{Ainsi, } \Delta t = \frac{2v_0 \sin(\alpha)}{g} = \frac{2 \times 15,0 \times \sin(38,0)}{9,81} = 1,88 \text{ s.}$$

C'est le double de la durée de vol jusqu'au sommet : le projectile met autant de temps à monter qu'à descendre.

c.  $v_x = \frac{L}{\Delta t}$ . Or nous avons montré qu'à tout instant,  $v_x(t) = v_0 \cos(\alpha)$ .

On en déduit que :

$$L = v_0 \cos(\alpha) \Delta t = 15,0 \times \cos(38,0) \times 1,88 = 22,2 \text{ m}$$

49 Sur la chronophotographie, la distance entre les points successifs est, pour les deux ions, 4,0 cm.

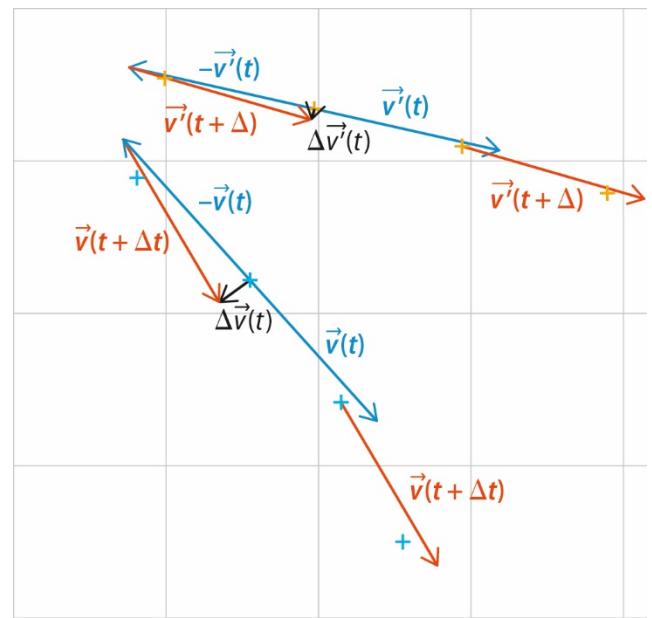
Le côté d'un carré mesure aussi 4,0 cm.

On en déduit que la distance parcourue par les deux ions entre deux positions successives est  $MM' = 5,0 \text{ cm}$ .

On en déduit la norme de la vitesse des ions :

$$v = \frac{MM'}{\Delta t} = \frac{5,0 \times 10^{-2}}{50 \times 10^{-6}} = 1,0 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

En prenant comme échelle 1 cm correspond à  $2,0 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , on obtient des vecteurs vitesses qui mesurent 5 cm sur la figure (réalisée à l'échelle 1/2).



Sur le schéma :

Pour l'ion sodium la variation du vecteur vitesse mesure 1,0 cm.

Ainsi,  $\Delta v = 2,0 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Pour l'ion inconnu, la variation du vecteur vitesse mesure 0,3 cm.

Ainsi,  $\Delta v' = 6 \times 10^1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

D'après la deuxième loi de Newton :  $m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F}$ .

Les deux vecteurs de l'égalité sont nécessairement colinéaires :  $m \frac{\Delta v}{\Delta t} = F$ .

Les deux ions sont soumis à des forces identiques en norme, ainsi le produit  $m \frac{\Delta v}{\Delta t}$  et le produit  $m \Delta v$  sont les mêmes pour les deux ions :  $m(\text{Na}^+) \Delta v = m(\text{X}^+) \Delta v'$ , d'où  $m(\text{X}^+) = \frac{m(\text{Na}^+) \Delta v}{\Delta v'}$ .

$$\text{On calcule } m(\text{X}^+) = \frac{22,9898 \times 2,0 \times 10^2}{6 \times 10^1} = 8 \times 10^1 \text{ u.}$$

Comme l'ion est nécessairement un ion alcalin, il ne peut s'agir que du rubidium.

50

Question préliminaire

Voir la figure ci-contre.

Problème

En  $\Delta t = 1,0 \text{ s}$  on mesure :

$$\Delta v = 4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$



D'après la deuxième loi de Newton :

$$m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{T} + \vec{P}$$

En observant l'orientation des vecteurs, on en déduit une relation correspondant à cette situation physique :

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = T - P$$

$$\text{Soit } T = P + m \frac{\Delta v}{\Delta t} = 500 \times 9,81 + 500 \times \frac{4,0}{1,0} = 6,9 \times 10^3 \text{ N}$$

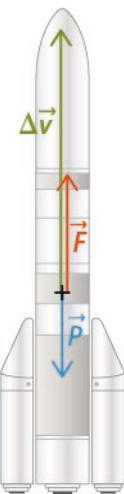
Si l'objet est immobile,  $\Delta v = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . On en déduit que  $T = P + m \frac{\Delta v}{\Delta t} = P = 500 \times 9,81 = 4,94 \times 10^3 \text{ N}$ . Lors de l'accélération, la tension est 1,4 fois plus grande que lorsque l'objet est au repos (car  $\frac{6,9 \times 10^3}{4,94 \times 10^3} = 1,4$ ).

**51** On peut caractériser l'accélération par  $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ , c'est-à-dire la norme du vecteur  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  qui intervient dans la deuxième loi de Newton. Si on schématisé la situation physique, au moment du décollage, on obtient la figure ci-contre.

Au moment du décollage, la fusée est soumise à son poids et à la force de poussée.  $\Delta \vec{v}$  sera quant à lui orienté verticalement vers le haut.

La deuxième loi de Newton s'écrit

$$m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F} + \vec{P}.$$



En observant l'orientation des vecteurs, on en déduit une relation correspondant à cette situation physique :

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = F - P, \text{ soit } \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{F - P}{m} = \frac{F - mg}{m}$$

Pour le lanceur A62 :

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{8000 \times 10^3 - 530 \times 10^3 \times 9,81}{530 \times 10^3} = 5,28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Pour le lanceur A64 :

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{15000 \times 10^3 - 860 \times 10^3 \times 9,81}{860 \times 10^3} = 7,63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Le lanceur A64 subit une accélération plus grande que le lanceur A62.

## 12. Aspects énergétiques des phénomènes électriques

### Activités

p. 264 à 266

#### ① Conduction électrique : du microscopique au macroscopique

1. a. Le débit volumique s'écrit  $D = \frac{V}{\Delta t}$ .

Cette relation est cohérente avec la définition du débit donnée dans le doc. 1.

b. Dans cette analogie, la charge électrique correspond au volume et l'intensité du courant électrique correspond au débit.

c. Par analogie avec la relation de la question 1a., on a :  $I = \frac{Q}{\Delta t}$ .  $I$  est en ampères,  $Q$  est en coulombs,  $\Delta t$  est en secondes.

2. a. Lorsque l'intensité augmente, le nombre d'électrons susceptibles d'entrer en collision avec les atomes du conducteur augmente pour une durée donnée. Les chocs sont alors plus fréquents et les atomes plus souvent percutés par les électrons, ce qui augmente leur agitation et donc la température du matériau.

b. D'après le document 2, des collisions fréquentes sont associées à une résistance plus élevée et donc à un matériau moins bon conducteur. On en déduit que c'est dans l'aluminium que les collisions se produisent plus souvent. La résistance du fil d'aluminium est plus élevée que celle du fil de cuivre.

3. Les plaques de cuisson sont destinées à faire chauffer les ustensiles de cuisine posés dessus et ce qu'ils contiennent. L'effet Joule est donc recherché car les fils seront chauffés au passage du courant électrique. Le matériau des fils doit avoir une résistance élevée tout en restant assez conducteur pour permettre le passage du courant électrique.

Pour un moteur électrique destiné à mettre en mouvement un dispositif, la production de chaleur n'est pas souhaitable. Ceci explique d'ailleurs le choix du cuivre pour les fils qui auront alors une faible résistance et pour lequel l'effet Joule sera réduit.

#### Bilan

- L'intensité d'un courant électrique est un débit de charge électrique ou L'intensité d'un courant électrique est une charge électrique circulant par unité de temps.
- La puissance dissipée par effet Joule dans un conducteur est la puissance électrique reçue qui est convertie en puissance thermique communiquée à l'environnement.

#### ② Utilisation de l'effet joule

##### 1. Rendement d'un dispositif de chauffage expérimental

a. En général, l'intensité du courant est plutôt stable au cours de cette expérience. Les valeurs de  $R$  étant variables d'un dispositif à l'autre, nous ne donnons ci-dessous que les résultats littéraux.

b. La puissance électrique reçue par la résistance plongeuse est  $P_e = UI$ .

c. D'après le doc. 1, la puissance thermique reçue par l'eau est  $P_{th} = \frac{mc\Delta T}{\Delta t}$ .

d. La puissance électrique fournie est convertie en puissance thermique destinée à chauffer l'eau. Cette dernière est donc la puissance « utile » et le rendement s'écrit  $\eta = \frac{P_{th}}{P_e}$ .

#### 2. Rendement d'un dispositif de chauffage réel

##### Remarques

La puissance électrique reçue par la bouilloire ou la plaque électrique est indiquée par le vendeur. On peut aussi utiliser un wattmètre, ou un mesureur de consommation électrique à intercaler entre la prise de courant et l'appareil, afin de mesurer la puissance effectivement reçue au cours de la manipulation. Ci-après on notera  $P_e$  la puissance électrique consommée par chacun des dispositifs.

a. Une bouilloire électrique chauffe l'eau jusqu'à son point d'ébullition et s'arrête automatiquement quand il est atteint. Remplir la bouilloire avec un volume d'eau, donc une masse  $m$  d'eau, connus avec précision. Mesurer la température de l'eau  $T_i$  de l'eau. En déclenchant le chronomètre, allumer la bouilloire. Arrêter le chronomètre avant que l'eau entre en ébullition ; l'eau est alors à  $T_f$  inférieure à 100 °C. Noter le temps  $\Delta t$  indiqué sur le chronomètre.

La puissance reçue par l'eau est, là encore,  $P_r = \frac{mc(T_f - T_i)}{\Delta t}$  et le rendement s'écrit  $\eta = \frac{P_r}{P_e}$ .

##### Remarque

Il est nécessaire d'arrêter la bouilloire avant ébullition, sinon le calcul est faux, car il ne prend pas en compte l'énergie de vaporisation de l'eau.

b. Pour un chauffage avec une casserole, on procède de même, en réglant la plaque au maximum de chauffage. Pendant le chauffage, agiter le contenu de la casserole. Le calcul se fait de la même manière. Là encore, il faut arrêter avant ébullition.

c. On trouve généralement que la bouilloire a un rendement supérieur (voisin de 90 %, alors que le chauffage par plaque électrique est plutôt voisin de 70 %). Dans la bouilloire, l'eau est directement au contact de la résistance chauffante, ce qui favorise le transfert thermique direct entre le métal et l'eau. Dans le cas de la plaque chauffante, la chaleur est d'abord transmise aux parois de la casserole avant d'atteindre l'eau, ce qui occasionne des pertes. Si la casserole est laissée découverte, l'eau peut également perdre de la chaleur au contact de l'air qui est plus froid, alors que les bouilloires sont fermées.

#### Bilan

- Sources d'erreurs : mesures de températures approximatives ; inhomogénéité de la température dans l'eau ; délai entre l'arrêt du chronomètre et la mesure ;

- variations de la puissance consommée ; mesure approximative des masses.
- Hypothèses simplificatrices effectuées : il n'y a pas de vaporisation de l'eau ; la capacité thermique massique de l'eau est indépendante de la température, la puissance consommée est constante.
  - Modifications : il est difficile d'améliorer la qualité des mesures de manière très significative pour peu qu'on se soit appliqué au départ. On peut alors, pour réduire les incertitudes, répéter la mesure un nombre suffisant de fois.

### ③ Modélisation d'un générateur de tension réel

#### Remarque

Les valeurs de résistance internes obtenues peuvent être très variables, du dixième d'ohm à plusieurs centaines d'ohms si l'on utilise une pile électrochimique fabriquée en TP.

1. a. Les points de mesures obtenus ont l'allure générale d'une droite de coefficient directeur négatif lorsqu'on les place dans un graphique représentant  $U$  en fonction de  $I$ . Ceci est cohérent avec la modélisation du générateur réel, pour lequel la tension à ses bornes aurait l'expression  $U = E - rI$ .

b. On trace une droite qui représente le mieux possible la tendance des points de mesure (à la main ou à l'aide d'un logiciel). L'ordonnée à l'origine correspond à la f.e.m. ( $E$ ) du générateur. L'opposé de la pente de la droite correspond à la résistance interne ( $r$ ).

#### Remarque

On insistera sur la démarche (prise de mesure, placement des points sur un graphique, modélisation, détermination graphique des paramètres du modèle, identification de ces paramètres aux paramètres de la loi testée) et sur les écueils (notamment les unités).

2. D'après l'expression de la tension aux bornes du générateur, la puissance fournie s'écrit :

$$P_f = UI = (E - rI)I = EI - rI^2$$

Le terme  $EI$  représente la puissance consommée par le générateur.

$rI^2$  correspond à la puissance Joule, dissipée par la résistance interne (d'où le signe moins).

3. a. Un générateur idéal de tension n'aurait pas de pertes par effet Joule. Sa tension serait  $U = E$  et la puissance fournie serait alors  $P = EI$ .

b. Le rendement  $\eta$  du générateur est le rapport entre la puissance véritablement fournie et la puissance qui serait fournie en l'absence de pertes.

$$\eta = \frac{EI - rI^2}{EI} = 1 - \frac{rI}{E}$$

#### Bilan

– La tension aux bornes du générateur est diminuée en présence d'une résistance interne. Elle diminue d'autant plus que l'intensité du courant est élevée. Le générateur pourrait ne plus pouvoir imposer une tension assez élevée pour alimenter un circuit électrique.

– De même, le rendement du générateur est d'autant plus faible que l'intensité du courant électrique est élevée, ce qui signifie que toute l'énergie électrique qu'il fournit n'est pas consacrée à alimenter le circuit. Une partie est perdue par effet Joule.

### Exercices

p. 272 à 281

26 a. L'intensité moyenne de charge est :  $I_{ch} = \frac{P}{U} = 3,0 \text{ A}$ .

b. La charge accumulée est donc :

$$Q = I_{ch}\Delta t_{ch} = 3,0 \times 12\,000 = 3,6 \times 10^4 \text{ C}$$

c. La durée  $\Delta t$  nécessaire à la décharge totale de la batterie quand circule un courant d'intensité  $I_m$  est :

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{Q}{I_m} = \frac{3,6 \times 10^4}{10} \\ &= 3,6 \times 10^3 \text{ s} \\ &= 1,0 \text{ h} \end{aligned}$$

30 a. Les électrons, chargés négativement, vont vers les nuages qui sont chargés positivement.

b. La charge électrique transférée est :

$$\begin{aligned} Q &= 300 \times 10^3 \times 0,20 \\ &= 6,0 \times 10^4 \text{ C.} \end{aligned}$$

32 a. Les deux résistances sont en parallèle du générateur et donc soumises à la tension  $U_g$ .

$$\text{Par la loi d'Ohm : } I_1 = \frac{U_g}{R_1} = 0,13 \text{ A} ; I_2 = \frac{U_g}{R_2} = 0,067 \text{ A.}$$

b. Puissance fournie par le générateur :

$$P_g = U_g I = U_g(I_1 + I_2) = 2,4 \text{ W}$$

c. Puissance reçue par  $R_1$  :  $P_1 = R_1 I^2 = 1,6 \text{ W}$ .  
Puissance reçue par  $R_2$  :  $P_2 = R_2 I^2 = 0,80 \text{ W}$ .  
Leur somme est égale à  $P_g$ .

33 a. La puissance électrique reçue par le radiateur est  $P = UI$ , d'où l'on déduit  $I = \frac{P}{U} = 8,7 \text{ A}$ .

b. D'après la loi d'Ohm,  $R = \frac{U}{I} = 26 \Omega$ .

34 1. La puissance fournie par la pile est  $P = EI$ .

On en déduit  $I = \frac{P}{E} = 6,7 \times 10^{-6} \text{ A}$ .

2. a. L'énergie consommée pendant la durée  $\Delta t = 3 \text{ ans}$  est  $E_c = P\Delta t = 9 \times 10^2 \text{ J}$

b. La charge électrique transférée est :

$$Q = I\Delta t = 631 \text{ C}$$

36 a. On fait un schéma en série d'un générateur réel (générateur idéal et résistance interne) avec une lampe.

b. Par la loi des mailles et la loi d'Ohm :  $E - rI - U_L = 0$ .  
On en déduit  $I = \frac{E - U_L}{r}$ .

c. La puissance reçue par la lampe est  $U_L I = 40 \text{ W}$ .

d. La puissance utile est celle reçue par la lampe.

La puissance totale consommée est celle fournie par le générateur.

Le rendement est donc :  $\eta = \frac{U_L I}{EI} = 89 \%$ .

- 37** a. Le rendement de l'éolienne est  $\eta = \frac{150}{500} = 30,0\%$ . La puissance non convertie en puissance électrique a été convertie en puissance thermique.
- b. L'intensité du courant produit est  $I = \frac{150 \times 10^3}{630} = 238\text{ A}$ .
- c. La puissance  $P = 150\text{ kW}$  du générateur est entièrement transmise à la résistance.
- On en déduit  $R = \frac{P}{I^2} = \frac{150 \times 10^3}{238^2} = 2,65\Omega$ .

**39**

$Q$	$I$	$\Delta t$
$28 \times 10^4\text{ C}$	$0,70\text{ A}$	$2,5 \times 10^3\text{ s}$
$0,72\text{ MC}$	$100\text{ A}$	$2,0\text{ h}$
$9,0 \times 10^{-15}\text{ C}$	$1,8 \times 10^{-12}\text{ A}$	$5,0\text{ ms}$
$2,50 \times 10^{-1}\text{ C}$	$2,0\text{ A}$	$0,125\text{ s}$

- 40** a. La charge électrique ayant circulé pendant trois minutes est  $Q = 20 \times 10^3 \times 3,0 \times 60 = 3,6 \times 10^6\text{ C}$ .
- b. Le nombre d'électrons correspondant est :

$$N = \frac{Q}{e} = 2,3 \times 10^{25}.$$

**42**

$P$	$I$	$U$
$3,72 \times 10^7\text{ W}$	$0,6\text{ A}$	$6,2 \times 10^7\text{ V}$
$8,16 \times 10^{-3}\text{ W}$	$2,0 \times 10^{-2}\text{ A}$	$0,41\text{ V}$
$6,3 \times 10^3\text{ W}$	$1,2\text{ A}$	$5,23\text{ kV}$

- 43** a. On note  $P = 250\text{ W}$ . L'intensité du courant qui circule est  $I = \frac{P}{U} = 21\text{ A}$ .
- b. On note  $\Delta t$  la durée de fonctionnement. L'énergie consommée est  $E = P\Delta t = 5,4 \times 10^9\text{ J}$ .

**45**

$R$	$I$	$P$
$50\Omega$	$4,2 \times 10^{-4}\text{ A}$	$8,8 \times 10^{-6}\text{ W}$
$2,7\text{ m}\Omega$	$1,8 \times 10^2\text{ A}$	$90\text{ W}$
$8,9\text{ M}\Omega$	$62\mu\text{A}$	$34\text{ mW}$
$68\text{ k}\Omega$	$0,33\text{ A}$	$7,2\text{ kW}$
$1,0 \times 10^{-5}\Omega$	$310\text{ kA}$	$1,0\text{ MW}$

- 46** Si l'on connaît la tension aux bornes du dipôle et l'intensité qui le traverse, on utilise la relation générale de la puissance reçue par un dipôle.  
Si l'on connaît la résistance du dipôle ohmique, on utilise la loi de Joule.

- 47** a. La puissance reçue par le dipôle est :

$$P = RI^2 = 0,25\text{ W}$$

- b. L'énergie reçue pendant la durée  $\Delta t$  est :

$$E = RI^2\Delta t = 7,5\text{ J}$$

- c. Il s'agit d'une conversion sous forme de chaleur (effet Joule).

- 48** a. L'intensité maximale correspondant à la puissance maximale est  $I = \sqrt{\frac{P}{R}} = 0,12\text{ A}$ .

- b. Si l'intensité maximale est dépassée, cela peut entraîner l'endommagement ou la destruction du conducteur.

- 49** a. Avec  $U = 220\text{ V}$  et  $P = 2,3\text{ kW}$ , l'intensité du courant est  $I = \frac{P}{U} = \frac{2,3 \times 10^3}{220} = 10\text{ A}$ .

- b. La résistance du dipôle ohmique est donc :

$$R = \frac{U}{I} = 21\Omega$$

- 50** La tension aux bornes de la calculatrice est  $U = E = 6,0\text{ V}$ . L'intensité du courant qui la parcourt est donc  $I = \frac{P}{U} = \frac{0,80 \times 10^{-3}}{6,0} = 1,3 \times 10^{-4}\text{ A}$ .

- 51** a. Par la loi des mailles et la loi d'Ohm :  $U = E - rI$ .

$$\text{b. On en déduit } r = \frac{E-U}{I} = 2,0\Omega.$$

- c. La puissance fournie par la pile est  $P = UI = 0,12\text{ W}$ .

- d. La présence d'une résistance fait que la tension effectivement délivrée par la pile est inférieure à  $E$  si du courant circule dans le circuit. La puissance fournie est également inférieure à  $EI$ . Et la pile s'échauffe.

- 52** 1. En notant  $\Delta t$  la durée de fonctionnement,  $E$  l'énergie fournie par le générateur au circuit, l'intensité du courant qui circule est  $I = \frac{E}{U\Delta t} = 2,2\text{ A}$ .

2. a. L'énergie  $E_p$  perdue est  $E_p = (1 - \eta)E = 4,5\text{ kJ}$ .

- b. Les pertes sont dues à l'effet Joule associé à la résistance interne du générateur.

- c. La puissance Joule  $P$  est l'énergie  $E_p$  perdue par unité de temps. La durée de fonctionnement étant  $\Delta t$ , on a  $P = \frac{E_p}{\Delta t} = rI^2$  d'où  $r = \frac{E_p}{I^2\Delta t} = 0,51\Omega$ .

- d. La tension aux bornes du générateur s'écrit  $U = E - rI$  d'où on tire  $E = U + rI = 8,6\text{ V}$ .

- 53** a. Voir schéma ci-contre.

- b. La puissance fournie par le générateur est

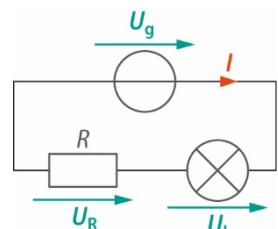
$$P_g = U_g I \\ = 0,72\text{ W}$$

- La puissance reçue par le conducteur ohmique est

$$P_R = RI^2 = 0,36\text{ W}$$

- c. La puissance  $P_L$  reçue par la lampe est donnée par la conservation des puissances dans le circuit :

$$P_g = P_R + P_L \text{ d'où } P_L = 0,36\text{ W}$$



- La puissance électrique reçue par la lampe est convertie en puissance lumineuse de rayonnement et en puissance thermique.

- 54** a. La puissance délivrée par la borne est

$$P = 230 \times 16 = 3,7 \times 10^3\text{ W}$$

- b. L'énergie perdue a été dissipée sous forme de chaleur.

- c. La puissance qui contribue effectivement à recharger la batterie est  $\eta P$  où  $\eta = 0,90$ . On déduit la durée  $\Delta t$  du transfert de l'énergie  $E = 24\text{ kW}\cdot\text{h}$  :  $\Delta t = \frac{E}{\eta P} = 7,2\text{ h}$ .

d. Les pertes par effet Joule augmentent avec le carré de l'intensité du courant. Les pertes seront donc plus grandes.

**56** a. D'après la loi des mailles et la loi d'Ohm :

$$I = \frac{E}{r + R_p + R_h}$$

- b. La valeur minimale de l'intensité du courant est  $I_{\min} = 0,27$  A. Sa valeur maximale est  $I_{\max} = 1,0$  A.  
 c. Sans résistance de protection, la valeur minimale serait  $I_{\min} = 0,34$  A, la valeur maximale  $I_{\max} = 6,0$  A.  
 d. La résistance  $R_p$  limite la valeur que peut prendre l'intensité du courant dans le circuit. Ce faisant, elle protège le générateur de l'endommagement.

**57** a. On utilise la relation  $P = UI$  pour chaque chargeur (voir le tableau ci-après).

b. On utilise la relation  $\Delta t = \frac{Q}{I}$  où  $Q$  est la charge et  $\Delta t$  la durée pour chaque chargeur (voir le tableau ci-après).

Chargeur	1	2	3
Intensité	$I_1 = 0,70$ A	$I_2 = 2,4$ A	$I_3 = 3,0$ A
Puissance	3,5 W	12 W	15 W
Durée de recharge	4,3 h	1,3 h	1,0 h

c. Le phénomène est dû à l'effet Joule.

d. Pour chaque chargeur  $j$ , on utilise la loi de Joule

$$P_{rj} = rI_j^2. \text{ On déduit } \frac{P_{r2}}{P_{r1}} = \frac{I_2^2}{I_1^2} = 12 \text{ alors que } \frac{P_2}{P_1} = 3,4.$$

Lorsque l'on passe du chargeur 1 au chargeur 2, la puissance perdue par effet Joule est multipliée par 12, alors que la puissance fournie par le chargeur n'est multipliée que par 3,4.

Les pertes ont augmenté de façon considérable mais le gain de temps est significatif.

$$\text{e. } \frac{P_{r3}}{P_{r2}} = \frac{I_3^2}{I_2^2} = 1,56 \text{ et } \frac{P_3}{P_2} = 1,25.$$

Encore une fois les pertes augmentent plus que la puissance fournie. Cependant le gain de temps est minime.

f. L'utilisation du chargeur 1 permet de réduire les pertes énergétiques mais le temps de charge est élevé.

Mieux vaut l'utiliser la nuit, par exemple.

Le chargeur 2 permet une charge rapide et il est pratique de l'utiliser si on est pressé.

Le chargeur 3 ne fait gagner que peu de temps par rapport au 2 alors que les pertes continuent d'augmenter. Mieux vaut s'en passer.

**58** 1.a. La puissance reçue par l'électrolyseur, aux bornes duquel il y a une tension  $U = 2,0$  V, est  $P = UI = 7,0$  kW.  
 b. Il faut consommer  $E = 1,8 \times 10^7$  J électriques pour produire un mètre cube de dihydrogène, donc la durée de production d'un mètre cube de dihydrogène est  $\Delta t = \frac{E}{P} = 43$  min.

2. a. Le rendement de l'électrolyseur est :

$$\eta = \frac{1,8 \times 10^7 - 7,7 \times 10^5 - 5,7 \times 10^6}{1,8 \times 10^7} = 0,65$$

- b. Il y a conversion d'énergie électrique en énergie chimique.

c. Si le dioxygène est valorisé, le rendement devient :

$$\eta' = \frac{1,8 \times 10^7 - 7,7 \times 10^5}{1,8 \times 10^7} = 0,96$$

#### Question d'oral

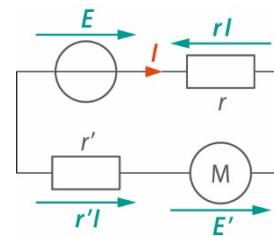
Un dispositif de conversion transforme une énergie totale  $E_{\text{tot}}$  en une énergie  $E$  qui peut être exploitée ou qui représente un intérêt. Le rendement caractérise l'efficacité de la conversion.

Il se calcule alors :  $\eta = \frac{E}{E_{\text{tot}}}$ .

**59** 1. a. Voir ci-contre.

b. À l'aide de la loi des mailles et de la loi d'Ohm, on obtient  $I = \frac{E-E'}{r+r'} = 3,0$  A.

2. a. La puissance totale consommée par le générateur est :  $EI$ .



La puissance exploitable pour le circuit est :  $EI - rI^2$ .

Le rendement du générateur est donc  $\eta_g = \frac{EI - rI^2}{EI} = 0,50$ .

b. La puissance reçue par le moteur est :

$$UI = (E' + r'I)I = 27 \text{ W}$$

c. La puissance exploitable du moteur est  $E'I$ .

Le rendement du moteur est donc  $\eta_m = \frac{E'I}{E'I + rI^2} = 0,67$ .

d. Le rendement global de ce dispositif est

$$\eta = \eta_g \eta_m = 0,33$$

**60** Valeur de l'incertitude :

$$2,457 \times 0,010 + 0,003 = 0,03 \text{ A}$$

Le résultat de la mesure s'écrit donc :  $(2,46 \pm 0,03)$  µA.

**61** a. D'après la loi des mailles,  $E - 2U_L - 2RI = 0$

$$\text{d'où } I = \frac{E-2U_L}{2R}.$$

b. La puissance fournie par le générateur est  $P_g = EI = 1,8$  W.

c. La puissance reçue par chaque lampe est  $U_L I = 0,6$  W.

La puissance reçue par chaque résistance est

$$RI^2 = 0,3 \text{ W. On a bien } 2 \times 0,6 + 2 \times 0,3 = 1,8.$$

d. Le rendement du circuit est  $\eta = \frac{2U_L I}{EI} = 0,67$ .

**62** a. Loi des mailles pour trouver  $I_1$  :  $E - U_L - RI_1 = 0$

$$\text{d'où } I_1 = \frac{E-U_L}{R}. \text{ De même pour } I_2 : I_2 = \frac{E-U_L}{R} = I_1.$$

b. La puissance fournie par le générateur est  $EI = E(I_1 + I_2) = 14,4$  W.

c. La puissance reçue par chaque résistance est  $RI_1^2 = RI_2^2 = 4,8$  W.

La puissance reçue par chaque lampe est :

$$U_L I_1 = U_L I_2 = 2,4 \text{ W}$$

On a bien  $2,4 + 2,4 + 4,8 + 4,8 = 14,4$ .

d. Le rendement du dispositif est  $\eta = \frac{U_L I_1 + U_L I_2}{EI} = 0,33$ .

**63** a. La tension aux bornes d'un générateur réel de tension est  $E - rI$ .

La puissance fournie est donc  $P_f = EI - rI^2$ .

Le premier terme est la puissance électrique totale.

Le second représente les pertes par effet Joule.

b.  $EI$  est considéré comme la puissance que l'on obtient dans le cas idéal.

Le rendement est donc :

$$\eta = \frac{EI - rI^2}{EI} = 1 - \frac{rI}{E} = 1 - \frac{I}{I_{cc}} \text{ en posant } I_{cc} = \frac{E}{r}$$

Si les bornes du générateur sont reliées par un fil,  $I_{cc}$  est le courant qui le traverse, d'où son appellation.

$$I_{cc} = 25 \text{ A}$$

c.  $\eta(I)$  est une droite (fonction affine décroissante).

d.  $P_f(I)$  est une parabole dont le sommet pointe « vers le haut ».

e. Si on trace sur le graphe représentant  $P_f(I)$  une droite d'équation  $y = P$  constante, on constate qu'elle a deux intersections avec la courbe  $P_f(I)$ . Donc, pour une puissance  $P$  donnée, deux intensités  $I$  correspondent. Cependant, plus l'intensité est élevée, plus le rendement est faible. Il faut donc que le courant qui circule soit le plus faible possible afin que la puissance soit fournie avec un rendement optimal.

**64** a. Par conservation de l'énergie ramenée à une unité de temps, on a  $P_f = P_a$ .

b. En remplaçant  $P_f$  par son expression on a :

$$EI - rI^2 - P_a = 0$$

c. L'équation est un polynôme du second degré. Une solution existe si et seulement si le discriminant est positif :  $E^2 - 4rP_a \geq 0$ , ce qui équivaut à  $P_a \leq \frac{E^2}{4r}$ .

d. On a  $P_a = \frac{E^2}{4r}$  lorsque  $P_a$  prend sa valeur maximale, donc le discriminant est nul et l'intensité du courant a pour seule valeur possible :  $I = \frac{E}{2r}$ .

Le rendement vaut alors :  $\eta = 1 - \frac{rE}{2rE} = 0,50$ .

**65** 1. a. D'après la relation fournie par l'énoncé on déduit que :  $\rho = \frac{RS}{\ell}$ .

L'unité du membre de droite est :  $\frac{\Omega m^2}{m} = \Omega \cdot m$ . C'est donc l'unité dans laquelle s'exprime  $\rho$ .

b. La puissance reçue par le câble est :  $P = RI^2 = \frac{4\rho\ell I^2}{\pi d^2}$ .

c. La résistance d'un tel câble de cuivre est  $R = 4,5 \Omega$ .

d. Si  $d$  est doublé,  $R$  est divisé par 4.

2. a. La loi de Joule donne  $P = RI^2$ . La puissance augmente avec le carré de l'intensité, donc il vaut mieux que l'intensité soit faible afin de limiter les pertes par effet Joule.

b. Si  $P$  et  $\ell$  sont fixés, alors  $d = \sqrt{\frac{\pi P}{4\rho\ell}} I$ .

Le diamètre correspondant est proportionnel à l'intensité du courant qui traverse le câble. Une intensité élevée requiert donc un diamètre de câble élevé.

3. a. Bien que l'or soit meilleur conducteur que l'aluminium, son prix très élevé prohibe son utilisation pour constituer un réseau national de distribution

d'électricité. La fonte est peu chère mais sa résistivité élevée va occasionner des pertes par effet Joule.

b. La fonte a une résistivité élevée. Le fait d'allonger le fil et de diminuer la section augmente la résistance du câble et donc la puissance Joule qu'il dissipe.

c. Le transport d'électricité se fait sans pertes Joule, ce qui représente un avantage énorme. Cependant, l'état supraconducteur nécessite de refroidir les matériaux et de les maintenir à basse température, ce qui requiert de l'énergie.

## 66

### Questions préliminaires

a. Les ions positifs se déplacent vers l'électrode reliée au pôle négatif du générateur. Les ions négatifs se déplacent en sens opposé. Les électrons dans les fils sortent de la borne moins du générateur, entrent dans la borne plus.

b. Les demi-réactions se produisant à chaque électrode sont :  $\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- = \text{Al}$        $2\text{O}_2 + 4\text{e}^-$

### Problème

On veut produire  $m = 1,00$  tonne d'aluminium.

La quantité de matière d'aluminium correspondant à la masse désirée est  $n = \frac{m}{M_A} = 37,0 \times 10^3$  mol.

Or la formation de chaque atome d'aluminium nécessite trois électrons, d'après la demi-équation de réaction.

On déduit le nombre d'électrons échangés pendant la fabrication :  $N_e = 3nN_A = 6,69 \times 10^{28}$ .

Ce qui correspond à une charge électrique totale (en valeur absolue) :  $Q = eN_e = 1,07 \times 10^{10}$  C.

Pour avoir la durée nécessitant un tel transfert, il faut calculer l'intensité du courant. On la déduit à partir de la tension et de la puissance de l'électrolyseur :

$$I = \frac{1,5 \times 10^6}{5,0} = 3,0 \times 10^5 \text{ A}$$

On déduit enfin la durée de l'électrolyse :

$$\Delta t = \frac{Q}{I} = \frac{1,07 \times 10^{10}}{3,0 \times 10^5} = 3,6 \times 10^4 \text{ s} = 10 \text{ h}$$

**67** L'énergie électrique de la bouilloire est transférée à l'eau sous forme d'énergie thermique. On note  $P$  la puissance de la bouilloire et  $\rho$  la masse volumique de l'eau. Il faut calculer la masse  $m$  d'eau pour chaque utilisatrice de la bouilloire à partir du volume  $V$  utilisé. Dans le tableau ci-dessous sont résumés les renseignements relatifs à Sara et Anaïs et utiles pour la résolution :

Sara	Anaïs
Volume d'eau	$V_S = 0,35 \text{ L}$
Masse d'eau	$m_S = \rho V_S = 0,35 \text{ kg}$
Variation de température	$\Delta T_S = 80^\circ\text{C}$
Durée de chauffage	$\Delta t_S = 60 \text{ s}$
	$\Delta T_A = 50^\circ\text{C}$
	$\Delta t_A$ à déterminer

Dans chaque cas, une énergie électrique  $P\Delta t$  est convertie en énergie thermique destinée à chauffer l'eau. L'énergie reçue par l'eau est  $mc\Delta t$ . On ne sait rien de la

valeur du rendement ( $\eta$ ) de la bouilloire mais on peut supposer qu'il est le même dans chaque cas. On a alors :  $\eta = \frac{m_A c \Delta T_A}{P \Delta t_A} = \frac{m_S c \Delta T_S}{P \Delta t_S}$ . On déduit le temps de chauffage pour Anaïs :  $\Delta t_A = \frac{m_A \Delta T_A \Delta t_S}{m_S \Delta T_S} = 48 \text{ s}$

#### Remarques

Les valeurs de  $c$  et  $P$  ne jouent finalement aucun rôle dans le calcul, mais aident pour le raisonnement sur le transfert. Le rendement fait partie du raisonnement mais sa valeur numérique n'est d'aucune utilité non plus. C'est une conséquence du fait qu'on sait combien de temps Sara fait chauffer son thé.

**68** On utilise la relation établie dans l'exercice précédent pour le rendement du transfert énergétique :  $\eta = \frac{mc\Delta T}{P\Delta t} = 39\%$  où  $m = 0,40 \text{ kg}$  (la masse de lait),  $\Delta T = 30^\circ\text{C}$  est la variation de température,  $P = 850 \text{ W}$  la puissance du four micro-ondes,  $\Delta t = 150 \text{ s}$  la durée de chauffage.

**69** Connaissant la puissance consommée par la batterie du téléphone, on peut faire un bilan d'énergie et identifier les différentes étapes de conversion d'énergie. La conversion réalisée par la photopile est la seule pour laquelle un rendement est fourni. En l'absence d'indications pour les autres conversions, on peut faire l'hypothèse qu'elles sont parfaites. Le schéma ci-dessous montre les différentes étapes de conversion, de transfert et de répartition de l'énergie. L'énergie lumineuse est partiellement convertie par la photopile en énergie électrique pour la batterie du téléphone. Cette dernière fournit au téléphone l'énergie nécessaire pour fonctionner et stocke l'autre partie.

#### Calcul de l'énergie convertie par la photopile

La puissance lumineuse reçue par la photopile vaut

$P_s = \varphi_s S$ . Durant l'après-midi, la photopile reçoit donc une énergie totale  $E_{\text{lum}} = \varphi_s S \Delta t$  où  $\Delta t = 4 \text{ h}$ .

On fait le bilan d'énergie au niveau de la batterie :

$$\eta \varphi_s S \Delta t = P_c \Delta t + E_s$$

Le terme à gauche de l'équation est la partie de l'énergie lumineuse effectivement convertie en énergie électrique. Le premier terme à droite est l'énergie consommée par la batterie pour faire fonctionner le téléphone. Le second terme est l'énergie électrique reçue par la batterie. La puissance électrique  $P_c$  consommée par la batterie du téléphone est :  $P_c = UI_c$ .

On parle de puissance moyenne puisque l'utilisation du téléphone ne requiert pas constamment la même puissance.  $I_c$  désigne l'intensité moyenne consécutive à la charge débitée par la batterie :  $I_c = \frac{Q_{\max}}{\Delta t_d}$ .

Où  $Q_{\max} = 1,1 \times 10^5 \text{ C}$  désigne la charge maximale de la batterie et  $\Delta t_d = 100 \text{ h}$  la durée de décharge totale quand le téléphone est laissé en veille. La puissance électrique moyenne consommée par la batterie est donc :

$$P_c = \frac{U Q_{\max}}{\Delta t_d}$$

On s'intéresse à présent à l'énergie  $E_s$  stockée par la batterie du téléphone. Si on considère qu'elle se comporte comme un dipôle électrique pour lequel le courant (d'intensité  $I$ ) qui le traverse et la tension à ses bornes ne changent pas au cours du temps on peut écrire :  $E_s = UI\Delta t$ .

On reconnaît l'expression de la charge transférée  $Q = I\Delta t$  et on écrit donc :  $E_s = UQ$ .

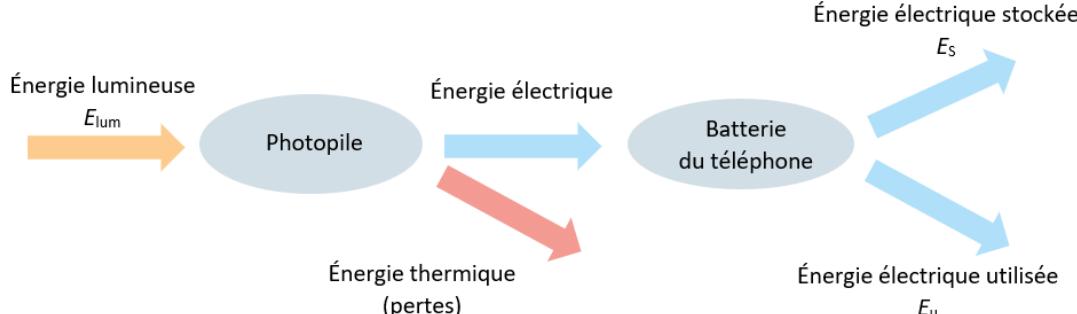
On peut ainsi déduire la charge accumulée par la batterie pendant la durée  $\Delta t$  passée à la plage :

$$\eta \varphi_s S \Delta t = P_c \Delta t + UQ \text{ donne } Q = \frac{\eta \varphi_s S \Delta t - P_c \Delta t}{U}$$

En remplaçant avec les valeurs de l'énoncé on trouve :

$$Q = 4,2 \times 10^3 \text{ C}, \text{ soit } Q = 3,9 \times 10^{-2} Q_{\max}.$$

L'indicateur de la batterie affichera donc environ 4 % en fin d'après-midi.



# 13. Théorème de l'énergie cinétique

## Activités

p. 286 à 288

### ① Accélérer des particules

a. Les ions  $H^-$  sont injectés avec une énergie cinétique  $E_c = 40 \text{ keV}$ . Leur vitesse vaut donc :

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 40 \times 10^3 \times 1,60 \times 10^{-19}}{1,67 \times 10^{-27}}} = 2,8 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

b. Le poids des ions  $H^-$  a pour norme  $P = mg = 1,67 \times 10^{-27} \times 9,8 = 1,6 \times 10^{-26} \text{ N}$

La force électrique qu'ils subissent dans la zone où règne un champ électrique a pour norme :

$$F_e = |-eE| = e \times \frac{U}{d} = 1,60 \times 10^{-19} \times \frac{65 \times 10^3}{8,0 \times 10^{-2}} = 1,3 \times 10^{-13} \text{ N}$$

La force magnétique qu'ils subissent dans les dees avec la vitesse trouvée à la question précédente a pour norme  $F_m = |-evB| = 1,60 \times 10^{-19} \times 2,8 \times 10^6 \times 1,7 = 7,6 \times 10^{-13} \text{ N}$

On a donc bien  $P \ll F_e$  et  $P \ll F_m$ .

Le poids et la force électrique sont constants, et la force magnétique augmentera avec  $v$ . Donc le poids sera toujours négligeable devant ces autres forces.

c. Entre les dees, les ions ne subissent que la force électrique. C'est donc elle qui provoque leur accélération.

d.  $F_e d = eEd = e \frac{U}{d} d = eU = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 65 \times 10^3}{1,6 \times 10^{-19}} = 65 \text{ keV}$

e. D'après le doc. 1, les ions ont un mouvement uniforme dans les dees, donc leur énergie cinétique est constante. À cet endroit, ils sont soumis à la force magnétique.

f. On constate que la force parallèle au mouvement,  $\vec{F}_e$ , est capable d'accélérer les ions, c'est-à-dire d'augmenter leur énergie cinétique, tandis que celle qui est perpendiculaire au mouvement,  $\vec{F}_m$ , ne modifie pas leur vitesse et donc pas non plus leur énergie cinétique.

Les directions relatives de la force et du mouvement sont donc en jeu.

### Bilan

Le travail de la force électrostatique est l'énergie reçue par l'ion à chaque passage entre des dees :

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = F_e d$$

### ② Travail d'une force constante

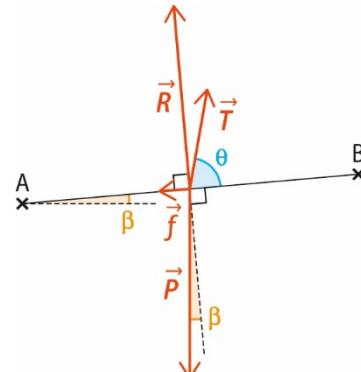
1. a. Les efforts des personnages 1 et 2 sont utiles, mais ceux de la deuxième personne moins que ceux de la première. Les efforts du personnage 3 sont inutiles et ceux de la personne 4 sont contreproductifs.

b. La première expression ne convient pas pour le personnage 3. La deuxième convient. La troisième ne convient pas, car si  $\alpha = 90^\circ$ , aucune énergie n'est transmise.

2. a. La voiture subit :

- son poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas ;
- la réaction normale  $\vec{R}$  de la route, perpendiculaire à la route, vers le haut ;

- la tension  $\vec{T}$  du câble, parallèle au câble, vers le haut ;
- les frottements  $\vec{f}$  de la route, parallèles à cette dernière, vers le bas.



b.  $W_{AB}(\vec{P}) = mg \times AB \times \cos(\beta + 90^\circ) = 1120 \times 9,81 \times 500 \times \cos 95^\circ = -4,8 \times 10^5 \text{ J}$

Le poids est résistant.

$W_{AB}(\vec{T}) = T \times AB \times \cos \theta = 1,2 \times 10^4 \times 500 \times \cos 75^\circ = 1,6 \times 10^6 \text{ J}$ . La tension du câble est motrice.

$W_{AB}(\vec{f}) = f \times AB \times \cos(180^\circ) = 2,0 \times 10^3 \times 500 \times \cos 180^\circ = -1,0 \times 10^6 \text{ J}$

Les frottements sont résistants.

c. La somme des travaux est positive : la voiture gagne de l'énergie.

### Bilan

- Une force motrice fait gagner de l'énergie au système et va dans le même sens que le mouvement, aide au mouvement ( $\alpha$  est aigu).
- Une force résistante fait diminuer l'énergie du système, elle est orientée dans le sens opposé au mouvement, et tend à l'empêcher ( $\alpha$  est obtus).

### ③ Transferts énergétiques lors d'un mouvement rectiligne

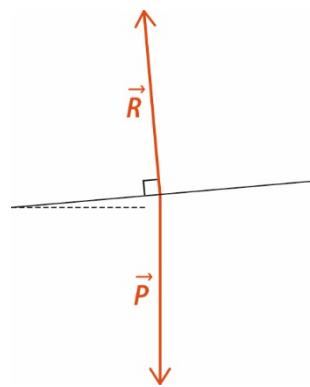
#### Liste de matériel

- Dispositif à force constante
- Caméra
- Règle graduée
- Ordinateur avec logiciels (capture et montage vidéo, pointage, tableur-grapheur)

1. Le mobile subit :

- son poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas ;
- la réaction normale  $\vec{R}$  du support, perpendiculaire à ce dernier, vers le haut.

2. a. Le logiciel de pointage permet d'accéder aux coordonnées  $x(t)$  et  $y(t)$  du mobile.



La distance qu'il a parcourue vaut, d'après le théorème de Pythagore :  $d = \sqrt{x^2 + y^2}$ .

#### Remarque

La racine carrée est souvent notée « sqrt » dans les logiciels de calculs.

b. La vitesse instantanée est approximée par la vitesse moyenne entre la position sur l'image précédente et la position sur l'image suivante.

Soit  $t_n$  la date de l'image  $n$ .

La vitesse à l'image  $n$  vaut alors  $v(t_n) = \frac{d(t_{n+1}) - d(t_{n-1})}{t_{n+1} - t_{n-1}}$ .

c. L'énergie cinétique du mobile vaut alors :

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

#### Remarques

Attention, ne pas utiliser le signe « carré » situé en haut à gauche du clavier mais « ^2 », et penser à convertir la masse du mobile en kilogrammes.

d. Lorsque la distance parcourue vaut  $d$ , le travail du poids vaut  $W_d(\vec{P}) = mgx$  puisque sa variation d'altitude vaut  $y$ . Le travail de la réaction du support est nul, puisque cette dernière est constamment perpendiculaire au déplacement.

La somme des travaux des forces est donc égale à  $W_d(\vec{P})$ .

3. On constate sur le graphique qu'aux incertitudes de mesures près, l'énergie cinétique du mobile est égale à la somme des travaux des forces qu'il subit.

#### Bilan

- Quand le système est initialement au repos, son énergie cinétique est égale à la somme des travaux des forces qu'il subit.
- On peut supposer que lorsque le système est déjà en mouvement initialement, c'est la variation de son énergie cinétique qui est égale à la somme des travaux des forces qu'il subit. En effet, les travaux sont des énergies reçues, qui s'ajoutent aux énergies éventuellement présentes initialement.

## Exercices

p. 297 à 303

27  $v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \times 10^5}{1,0 \times 10^3}} = 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 64 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

29 a.  $W_{AB}(\vec{P}) > 0$ , donc le poids est moteur : le ballon descend.

b.  $y_A - y_B = \frac{W_{AB}(\vec{P})}{mg} = \frac{5,4}{0,500 \times 9,81} = 1,1 \text{ m}$ .

30 a. L'Inuit subit son poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas et la réaction normale de l'igloo  $\vec{R}$ , perpendiculaire à la surface de ce dernier, vers le haut.

b.  $\vec{R}$  ne travaille pas puisqu'elle est constamment perpendiculaire au déplacement.

Le travail du poids vaut :

$$W_R(\vec{P}) = mgR = 70 \times 9,81 \times 1,6 = 1,1 \times 10^3 \text{ J}$$

32  $AB = -\frac{W_{AB}(\vec{f})}{f} = -\frac{-25}{5,0} = 5,0 \text{ m}$

33  $W_{AB}(\vec{T}) = T \times AB \times \cos \alpha = 10 \times 5,0 \times \cos 40^\circ = 8 \text{ J}$

34 1. a. Le palet subit son poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas, la réaction normale du sol,  $\vec{R}$ , verticale, vers le haut, et les frottements  $\vec{f}$  du sol, horizontaux, de sens opposé au déplacement du palet.

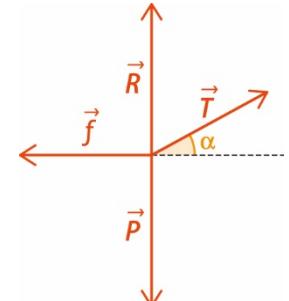
b.  $\vec{P}$  et  $\vec{R}$  ne travaillent ni l'une ni l'autre puisqu'elles sont perpendiculaires au mouvement. Les frottements  $\vec{f}$  sont résistants : ce sont eux qui provoquent le ralentissement du palet.

c.  $W_{AB}(\vec{P}) = W_{AB}(\vec{R}) = 0$  et  $W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB$ .

2. a.  $\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R}) + W_{AB}(\vec{f})$ , avec  $v_B = 0$ . Donc  $-\frac{1}{2}mv_A^2 = -f \times AB$ .

b. On en déduit que  $f = \frac{mv_A^2}{2AB} = \frac{0,160 \times 20^2}{2 \times 60} = 0,53 \text{ N}$ .

35 1. a. Le système subit son poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas, la réaction normale du sol,  $\vec{R}$ , verticale, vers le haut, les frottements du sol et de l'air  $\vec{f}$ , horizontaux vers la gauche de la photo, et la tension de la barre  $\vec{T}$ , faisant un angle  $\alpha$  avec le sol, vers en haut à droite de la photo. Voir schéma ci-contre.



b. Le poids et la réaction

normale du sol sont perpendiculaires au mouvement et ne travaillent pas.

$$W_d(\vec{f}) = -fd \text{ et } W_{AB}(\vec{T}) = Td \cos \alpha$$

c. La force qui interdit au système d'avoir une vitesse indéfiniment croissante est celle qui est résistante : les frottements.

2. a. Le mouvement étant uniforme, la variation d'énergie cinétique est nulle et le théorème de l'énergie cinétique donne :  $0 = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R}) + W_{AB}(\vec{f}) + W_{AB}(\vec{T}) = -fd + Td \cos \alpha$ .

b. On en tire  $f = T \cos \alpha = 200 \times \cos 25,0^\circ = 1,8 \times 10^2 \text{ N}$ .

37 Pour chaque animal de masse  $m$  et de vitesse  $v$ , on calcule l'énergie cinétique  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ .

Puce :  $3,1 \times 10^{-6} \text{ J}$  ; lièvre :  $5,8 \times 10^2 \text{ J}$  ; tortue :  $9,4 \times 10^{-2} \text{ J}$  ; éléphant :  $3,0 \times 10^5 \text{ J}$ .

39  $v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 100}{50 \times 10^{-3}}} = 63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

40 Pour chaque objet de masse  $m$  et énergie cinétique  $E_c$  on calcule la vitesse  $v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}}$ .

Escargot :  $0,013 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 0,047 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Ballon de foot :  $33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 1,2 \times 10^2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Coureur à pieds :  $6,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

Camion de livraison :  $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 49 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Péniche :  $2,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 9,9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

**42** a.  $E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 50 \times \left(\frac{15}{3,6}\right)^2 = 4,3 \times 10^2 \text{ J}$   
 b.  $E'_c = \frac{1}{2}m(v' - v)^2 = \frac{1}{2} \times 50 \times \left(20 \times 0,5144 - \frac{15}{3,6}\right)^2 = 9,4 \times 10^2 \text{ J}$

**44** a. Le chien blanc est plus efficace que le noir, parce que l'angle  $\theta$  est plus faible que l'angle  $\beta$ , ce qui fait que son cosinus est plus grand, et ainsi le travail de la force exercée par le chien blanc est plus grand que celui de la force qu'exerce le chien noir.

b.  $W_{AB}(\vec{F}_B) = F \times AB \times \cos \theta = 150 \times 1,5 \times 10^3 \times \cos 25^\circ = 2,0 \times 10^5 \text{ J}$

$W_{AB}(\vec{F}_N) = F \times AB \times \cos \beta = 150 \times 1,5 \times 10^3 \times \cos 65^\circ = 9,5 \times 10^4 \text{ J}$

c. En notant  $F'_N$  la nouvelle norme de la force exercée par le chien noir, on a  $F \times AB \times \cos \theta = F'_N \times AB \times \cos \beta$ , qui donne  $F'_N = \frac{F \cos \theta}{\cos \beta} = \frac{150 \times \cos 25^\circ}{\cos 65^\circ} = 3,2 \times 10^2 \text{ J}$ .

**45** a. Le système monte donc son poids est résistant.

b.  $W_{AB}(\vec{P}) = -mgh = -600 \times 9,81 \times 15 = 8,8 \times 10^4 \text{ J}$

**46** a. Le système descend donc son poids est moteur.

b.  $W_{AB}(\vec{P}) = mgh = 100 \times 9,81 \times 10 = 9,8 \times 10^3 \text{ J}$

**47**  $W_{AB}(\vec{P}) = mgh = 100 \times 9,81 \times 10 = 9,8 \times 10^3 \text{ J}$

**48**  $f = -\frac{W_{AB}(\vec{f})}{AB} = -\frac{-4,0}{0,20} = 20 \text{ N}$

**50** 1. a. Le système subit son poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas, de norme  $P = mg$  et la réaction normale du sol,  $\vec{R}$ , perpendiculaire à la piste, vers le haut.

b. Voir ci-contre.

c. Le travail du poids vaut

$W_{AB}(\vec{P}) = mgh$  et celui de la réaction normale est nul, puisqu'elle est perpendiculaire au mouvement.

2. a. On a donc :

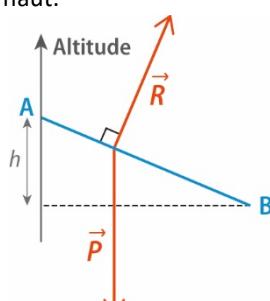
$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R}) = mgh$$

b.  $v_B = \sqrt{v_A^2 + 2gh} = \sqrt{15^2 + 2 \times 9,81 \times 35} = 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 1,1 \times 10^2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

3. La vitesse réelle est plus grande que celle qu'on vient de calculer. La somme des travaux des forces a donc été sous-évaluée.

a. Si les frottements n'étaient pas négligeables, comme ils sont résistants, on aurait une somme des travaux plus faible. Cela ne va pas dans le bon sens.

b. Si la vitesse initiale est plus grande, la vitesse finale l'est aussi. Cette hypothèse est valable.



c. Si le dénivelé  $h$  est plus faible, la vitesse finale l'est aussi. Cette hypothèse n'est pas correcte.

**51** 1. a. La seule force qui s'applique est le poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas.

b. En notant  $m$  la masse de la balle et  $h$  sa variation d'altitude, son travail vaut  $W_h(\vec{P}) = -mgh$ .

2. a. Lorsque la balle arrive à son point le plus haut, sa vitesse  $v_1$  est nulle.

b. On a  $\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -\frac{1}{2}mv_0^2 = -mgh$ .

c. On en déduit  $h = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{20^2}{2 \times 9,81} = 20 \text{ m}$ .

3. En retombant, la balle parcourt la même distance  $h$  qu'en montant. Le poids est maintenant moteur et son travail vaut  $W_h'(\vec{P}) = mgh$ . En notant  $v_2$  la vitesse acquise par la balle, le théorème de l'énergie cinétique donne maintenant  $\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = mgh$  et  $v_2 = \sqrt{2gh} = v_0 = 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

4. Le travail du poids vaut alors  $W_h''(\vec{P}) = mgh_0$ .

En notant  $v_3$  la vitesse d'arrivée au sol, le théorème de l'énergie cinétique donne  $\frac{1}{2}mv_3^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh_0$ , dont on déduit  $v_3 = \sqrt{v_0^2 + 2gh_0} = \sqrt{20^2 + 2 \times 9,81 \times 1,5} = 21 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

**52** 1. a. Le mobile est soumis à son poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas et à la réaction de la piste  $\vec{R}$ , perpendiculaire à cette dernière, vers le haut.

Voir schéma ci-contre.

b. La réaction  $\vec{R}$  étant perpendiculaire au déplacement, elle ne

travaille pas :  $W_{AB}(\vec{R}) = 0$ .

Le travail du poids vaut :

$$W_{AB}(\vec{P}) = -mgh = -mg \times AB \times \sin \alpha$$

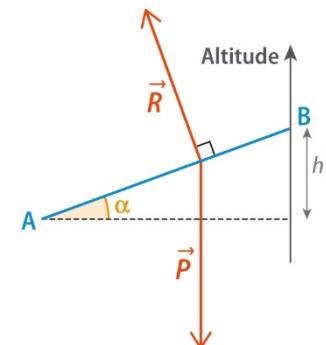
2. a. En B, la vitesse  $v_B$

du mobile est nulle puisqu'il s'agit du point le plus haut.

b. En notant  $m$  la masse du mobile, on a :

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = -\frac{1}{2}mv_A^2 = W_{AB}(\vec{R}) + W_{AB}(\vec{P}) = -mg \times AB \times \sin \alpha$$

c. On a donc  $AB = \frac{v_A^2}{2g \sin \alpha} = \frac{5,0^2}{2 \times 9,81 \times \sin 20^\circ} = 3,7 \text{ m}$ .



**53**  $\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$

$$= -\frac{1}{2}mv_A^2$$

$$= W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R}) + W_{AB}(\vec{f})$$

$$= -mg \times AB \times \sin \alpha - f_{AB}$$

D'où  $AB = \frac{v_A^2}{2(g \sin \alpha + \frac{f}{m})} = 2,1 \text{ m}$ .

**54** On note  $m = 1 \text{ t}$  la masse de la voiture,  $v = 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

sa vitesse finale,  $d = 20 \text{ m}$  son déplacement et  $F$  la norme cherchée.

La voiture subit son poids, vertical, vers le bas, et la réaction du sol, verticale vers le haut, qui ne travaillent ni l'un ni l'autre puisque ces forces sont perpendiculaires au mouvement, ainsi que la force de poussée, horizontale dans la direction et le sens du mouvement (le garagiste optimise l'angle entre la force et le déplacement), dont le travail vaut  $Fd$ .

Le théorème de l'énergie cinétique donne, avec une vitesse initiale nulle,  $\frac{1}{2}mv^2 = Fd$ ,  
 donc  $F = \frac{mv^2}{2d} = \frac{1 \times 10^3 \times 3^2}{2 \times 20} = 2 \times 10^2 \text{ N}$ .

**55** Soit  $v = 130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Soit  $m = 30 \text{ t} = 3,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$ . Soit  $d = 100 \text{ m}$ .

Le camion subit son poids, vertical, vers le bas, et la réaction du sol, verticale vers le haut, qui ne travaillent ni l'un ni l'autre puisque ces forces sont perpendiculaires au mouvement, ainsi que la force de frottement  $f$ , horizontale dans la direction du mouvement et de sens opposé à celui-ci, dont le travail vaut  $-fd$ .

Le théorème de l'énergie cinétique donne, avec une vitesse finale nulle,  $-\frac{1}{2}mv^2 = -fd$ ,

$$\text{donc } f = \frac{mv^2}{2d} = \frac{30 \times 10^3 \times (36)^2}{2 \times 100} = 2,0 \times 10^5 \text{ N}$$

**56** 1. L'objet subit son poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas, et la tension du fil  $\vec{T}$ , parallèle au fil, c'est-à-dire perpendiculaire au mouvement, vers le haut.

2. a.  $\vec{T}$  ne travaille pas. La différence d'altitude  $y_A - y_B$  entre les points A et B vaut  $y_A - y_B = L(1 - \cos \theta)$ , et le travail du poids vaut donc  $W_{AB}(\vec{P}) = mgL(1 - \cos \theta)$ .

On lâche l'objet : sa vitesse initiale est donc nulle.

Le théorème de l'énergie cinétique s'écrit alors :

$$\frac{1}{2}m v_B^2 = mgL(1 - \cos \theta), \text{ qui donne}$$

$$v_B = \sqrt{2gL(1 - \cos \theta)} \\ = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,50 \times (1 - \cos 20^\circ)} = 0,77 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

b. L'altitude de C est la même que celle de A. Donc le travail du poids entre A et C est nul. La variation d'énergie cinétique est donc nulle également. La vitesse en C est la même qu'en A : elle est nulle.

3. La différence d'altitude entre les points A et D est  $y_A - y_D = -L \cos \theta$ , et le travail du poids vaut donc  $W_{AB}(\vec{P}) = -mgL \cos \theta$ . On cherche la vitesse minimale en A pour atteindre D, c'est-à-dire celle pour laquelle l'objet arrive en D avec une vitesse nulle.

Le théorème de l'énergie cinétique s'écrit donc :

$$-\frac{1}{2}m v_A^2 = -mgL \cos \theta, \text{ qui donne } v_A = \sqrt{2gL \cos \theta} \\ = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,50 \times \cos 20^\circ} = 3,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**57** a. L'électron subit son poids  $\vec{P}$ , vertical vers le bas et la force électrique  $\vec{F}_e$  horizontale vers la droite sur le schéma.

b.  $P = m_e g = 9,1 \times 10^{-31} \times 9,81 = 8,9 \times 10^{-30} \text{ N}$ , qui est donc de l'ordre de  $10^{-29} \text{ N}$ .

$F_e = |qE| = \left| q \frac{U_{AC}}{d} \right|$ . Pour une tension de quelques volts, on a  $F_e = 1,6 \times 10^{-19} \times \frac{1}{10^{-2}} = 10^{-17} \text{ N}$ .

Si la tension vaut quelques milliers de volts, on a une force électrique de l'ordre de  $10^{-14} \text{ N}$ .

On constate que le poids de l'électron est négligeable par rapport à la force électrique qu'il subit.

c. La force électrique est parallèle au mouvement.

Son travail vaut donc  $W_d(F_e) = F_e d = |qE|d = |qU_{AC}|$ . D'après le théorème de l'énergie cinétique, l'énergie cinétique acquise vaut alors  $E_c = |qU_{AC}|$   
 $= 1,60 \times 10^{-19} \times 1,00 = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

C'est la définition de l'électron-volt.

**58** a.  $\vec{v}_0 = (v_0 \cos \alpha ; v_0 \sin \alpha)$ .

b. Le système ne subit que son poids, dont le travail entre O et S vaut  $W_{OS}(\vec{P}) = -mgy_S$ .

Le théorème de l'énergie cinétique appliqué entre O et S donne alors  $E_c(S) - E_c(O) = -mgy_S$ , avec  $E_c(O) = \frac{1}{2}m v_0^2$ . On en tire  $E_c(S) = \frac{1}{2}m v_0^2 - mgy_S$ .

c. Arrivé en S, sommet de la trajectoire, le système a un vecteur vitesse horizontal. La norme de ce dernier est égale à la composante horizontale de  $\vec{v}_0$ , c'est-à-dire  $v_0 \cos \alpha$ . Le système a alors une énergie cinétique  $E_c(S) = \frac{1}{2}m(v_0 \cos \alpha)^2$ .

d. On a donc  $\frac{1}{2}m v_0^2 - mgy_S = \frac{1}{2}m(v_0 \cos \alpha)^2$ , qui donne  $y_S = \frac{1}{2g} v_0^2 (1 - \cos^2 \alpha) = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ .

e.  $y_S$  est maximal si  $\sin \alpha$  l'est, c'est-à-dire pour  $\alpha = 90^\circ$ , ce qui était prévisible puisqu'il s'agit alors d'un tir vertical.

**59** 1. a. Le skieur subit son poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas, et la tension de la corde  $\vec{T}$ , horizontale dans le sens du mouvement, la réaction normale de l'eau  $\vec{R}$ , verticale vers le haut et les frottements  $\vec{f}$ , horizontaux et de sens opposé au mouvement.

b. Le poids et la réaction de l'eau sont constamment perpendiculaires au mouvement, et ils ne travaillent donc pas. Les frottements ont un travail  $W_{AB}(\vec{f}) = -fL$  et la tension de la corde  $W_{AB}(\vec{T}) = TL$ .

c. La vitesse en A étant nulle, le théorème de l'énergie cinétique donne  $\frac{1}{2}m v_B^2 = (T - f)L$ , d'où l'on tire

$$v_B = \sqrt{\frac{2(T-f)L}{m}}$$

2. a. Le skieur subit seulement son poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas et la réaction normale du tremplin.

b. La réaction du tremplin est constamment perpendiculaire au déplacement. Elle ne travaille donc pas. Le travail du poids sur le déplacement de B à C vaut  $W_{BC}(\vec{P}) = -mgh$ .

c. On a donc, d'après le théorème de l'énergie cinétique,  $\frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 = -mgh$ , qui donne  $v_C = \sqrt{v_B^2 - 2gh}$ .

3. Les réponses précédentes donnent :

$$T = f + \frac{m}{2L}(v_C^2 + 2gh) \\ = 150 + \frac{75}{2 \times 150} \times \left( \left( \frac{50}{3,6} \right)^2 + 2 \times 9,81 \times 2,0 \right) = 9,3 \times 10^2 \text{ N}$$

4. À partir de C, le skieur ne subit plus que son poids, donc le travail vaut  $mgh$  entre C et le point D où le skieur retombe dans l'eau. Avec  $v_D$  sa vitesse en D, le théorème de l'énergie cinétique donne :

$$\frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_C^2 = mgh, \text{ d'où } v_D = \sqrt{v_C^2 + 2gh}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{50}{3,6}\right)^2 + 2 \times 9,81 \times 2,0} = 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 55 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

#### Remarque

La norme de la vitesse en D est la même qu'en B.

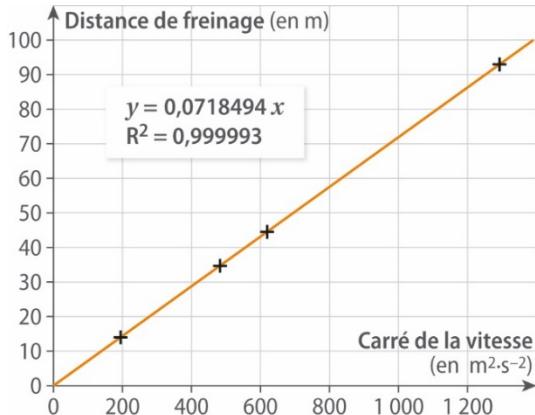
### 60 Questions préliminaires

a. On convertit les vitesses en mètres par seconde.

Vitesse (en km·h <sup>-1</sup> )	Vitesse (en m·s <sup>-1</sup> )	Distance parcourue en 1 s
50	14	14
80	22	22
90	25	25
130	36	36

Les valeurs des distances parcourues pendant le temps de réaction sont confirmées.

b.



#### Problème

La voiture subit son poids  $\vec{P}$ , vertical, vers le bas, la réaction  $\vec{R}$  de la route, verticale vers le haut, et la force de frottement  $\vec{f}$ , horizontale, opposée au mouvement.  $P$  et  $R$  étant perpendiculaires au mouvement, elles ne travaillent pas.

Le travail de  $f$  avant arrêt vaut  $W_{d_f} = -fd_f$ .

Entre le début du freinage et l'arrêt de la voiture, le théorème de l'énergie cinétique donne :

$$-\frac{1}{2}mv^2 = W_{d_f} = -fd_f \text{ D'où } d_f = \frac{m}{2f}v^2$$

On trace  $d_f$  en fonction de  $v^2$  et on obtient une droite passant par l'origine, dont le coefficient directeur vaut  $a = 0,072$  USI.

Par identification,  $a = \frac{m}{2f}$ ,

$$\text{et donc } \frac{f}{m} = \frac{1}{2a} = \frac{1}{2 \times 0,072} = 6,9 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Le coefficient de frottement entre les pneus et la route vaut donc :

$$\mu = \frac{f}{P} = \frac{f}{mg} = \frac{1}{g} \times \frac{f}{m} = \frac{0,69}{9,81} = 0,7$$

D'après le document 3, la route est donc sèche.

#### Remarque

Si la route n'est pas sèche, la distance d'arrêt est encore plus grande.

61 La vitesse atteinte lors du lancer vaut

$$v = 105,1 \text{ miles} \cdot \text{h}^{-1} = 46,98 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Lorsque le lanceur tient la balle dans sa main, le poids de cette dernière et la réaction de sa main se compensent.

La balle subit la poussée  $\vec{F}$  dont on cherche la norme, dans la direction et le sens du mouvement. Son travail vaut  $Fd$ , où  $d$  est la distance sur laquelle on accompagne la balle. Il est égal à la valeur finale de l'énergie cinétique de la balle :  $\frac{1}{2}mv^2$ . On en déduit que  $F = \frac{mv^2}{2d}$ . On prendra  $m = 145 \text{ g}$  et  $d = 3 \text{ m}$ . On trouve  $F = 5 \times 10^2 \text{ N}$ .

#### Remarque

Cette valeur est plausible, puisqu'elle est le poids d'un objet d'environ 5 kg.

62 Le travail du poids lors d'une chute du 4<sup>e</sup> étage, c'est-à-dire d'une hauteur  $h$  d'une dizaine de mètres, pour une personne de masse  $m$  vaut  $W_h(\vec{P}) = mgh$ .

L'énergie cinétique acquise lors de son arrivée au sol vaut alors, d'après le théorème de l'énergie cinétique,  $E_c = mgh$ .

$$\text{Sa vitesse vaut alors } v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2mgh}{m}} = \sqrt{2gh}$$

$$\simeq \sqrt{2 \times 9,81 \times 10} = 14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

Lors du choc, l'énergie cinétique acquise par le passager dans le référentiel du sol doit être dissipée brutalement. Cette énergie cinétique est la même que si la personne était tombée du quatrième étage.

63 À priori, l'antiproton subit son poids et la force électrique. Nous allons pourtant supposer qu'on peut négliger le poids de l'antiproton par rapport à la force électrique qu'il subit, ce que l'on vérifiera en fin d'exercice.

La force électrique sera orientée de sorte qu'elle soit le plus résistante possible, c'est-à-dire dans la direction de la trajectoire des antiprotons, et dans le sens opposé à leur mouvement. Son travail sur la distance  $d$  (qui doit être de l'ordre de la dizaine de mètres) vaut alors  $W_d(\vec{F}_e) = -dF_e = -deE$ , où  $E$  est la norme du champ électrique.

On note  $v_i$  la vitesse initiale de l'antiproton et  $E_{cf}$  son énergie cinétique après freinage. Le théorème de l'énergie cinétique s'écrit alors  $E_{cf} - \frac{1}{2}m_p v_i^2 = -deE$ .

$$\text{On en tire } E = \frac{1}{de} \left( \frac{1}{2}m_p v_i^2 - E_{cf} \right).$$

Avec  $d = 10 \text{ m}$  et  $E_{cf}$  de l'ordre de 105 eV, c'est-à-dire de l'ordre de  $10^{-14} \text{ J}$ , on obtient un champ électrique de l'ordre de  $10^7 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Vérification de l'hypothèse :  $F_e$  est de l'ordre de  $10^{-12} \text{ N}$ , tandis que la norme du poids est de l'ordre de  $10^{-26} \text{ N}$ .

Ce dernier est donc bien négligeable par rapport à la force électrique.

# 14. Énergie mécanique

## Activités

p. 308 à 310

### ① Conservation ou non de l'énergie mécanique

1. et 2.

Position	3	5	7	10
$y$ (en m)	2,9	3,7	3,6	1,8
$v$ (en $m \cdot s^{-1}$ )	5,4	3,9	3,9	4,9
$E_c$ (en J)	9,5	4,9	4,9	7,8
$E_{pp}$ (en J)	19	24	23	11
$E_m$ (en J)	28	28	28	19

#### Remarques

- Question 1. b. : pour calculer la vitesse, on mesure  $x_4 - x_2 = 1,6$  m ;  $x_6 - x_4 = 1,2$  m ;  $x_8 - x_6 = 1,2$  m ;  $x_{11} - x_9 = 1,5$  m.
- Questions 1 et 2 : la mesure des distances avec une règle n'est précise qu'à 0,1 cm près. Toutes les mesures et calculs effectués ont deux chiffres significatifs.
- 3. Avant de toucher le panier, le ballon est uniquement soumis à son poids, on peut négliger les forces de frottement. L'énergie mécanique reste constante.
- 4. L'énergie mécanique diminue considérablement entre les points 7 et 9.
- 5. Au niveau du point 11, l'énergie mécanique sera égale à 19 joules environ, comme au point 10. Le ballon ne subit pas de nouvelles actions entre les points 10 et 11 et le ballon n'est soumis qu'à son poids.

#### Bilan

Le poids ne modifie pas l'énergie mécanique du ballon, donc en l'absence de toute autre force, l'énergie mécanique reste constante. En revanche, la force exercée par le filet sur le ballon modifie l'énergie mécanique du ballon qui diminue. Une partie de l'énergie mécanique du ballon est dissipée sous forme de chaleur à cause des frottements avec le filet.

### ② Énergie mécanique d'un pendule

- Installer le montage comme indiqué dans le doc. 2. Suivre ensuite le protocole du doc. 1.
- Précautions pour le pointage : calibrer en fonction de l'échelle donnée. La position de l'origine importe peu. Pointer le centre de la boule.
- Le pointage donne les positions  $x$  et  $y$  du pendule à chaque instant.
- Dans un tableur, rentrer les valeurs de  $x$  et  $y$ .
- Ajouter des variables dans le tableur et calculer  $v_x$  et  $v_y$  pour chaque point à l'aide du doc. 3. Calculer alors  $v$ , puis  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$  et  $E_{pp} = mgy$  et enfin  $E_m = E_c + E_{pp}$ .
- Tracer les énergies en fonction du temps. Les aspects des courbes sont variables, globalement l'énergie mécanique doit être à peu près constante.
- b. Sur quelques périodes, l'énergie mécanique est constante (mais diminue globalement sur plusieurs périodes à cause des frottements).

L'énergie potentielle de pesanteur est minimale quand le pendule est en bas et maximale quand le pendule est en haut. L'énergie cinétique est maximale lorsque le pendule est en bas et minimale lorsque le pendule est en haut.

Il y a conversion de l'énergie cinétique en énergie potentielle de pesanteur et inversement.

c. Reprendre les étapes précédentes pour une autre vidéo en prenant garde à l'échelle donnée. On obtient les résultats suivants.

- Chute d'une bille dans l'huile : l'énergie mécanique diminue, l'énergie potentielle de pesanteur diminue, l'énergie cinétique est environ constante, du moins au bout d'un certain temps.
- Chute parabolique ou verticale : l'énergie mécanique est constante, l'énergie potentielle de pesanteur diminue, l'énergie cinétique augmente.
- Rebonds : mêmes résultats qu'avec la chute libre, mais l'énergie mécanique diminue à chaque rebond.

#### Bilan

Lorsque le système n'est soumis qu'à des forces conservatives, l'énergie mécanique est conservée. C'est le cas du pendule, de la chute verticale d'une balle dans l'air ou du vol parabolique, où le système n'est soumis qu'à son poids. S'il subit en plus des forces non conservatives, l'énergie mécanique est modifiée. Elle diminue dans le cas de la chute de la goutte d'eau dans l'huile car le système est soumis aux frottements : l'énergie mécanique est dissipée sous forme de chaleur. Elle diminue dans le cas du rebond car la balle subit l'action du sol, l'énergie mécanique est dissipée sous forme de chaleur. Enfin, dans le cas du monte-charge, l'énergie mécanique augmente sous l'action motrice de la force de poussée.

### ③ Bilan énergétique

#### 1. Mouvement sans frottements

a. Voici la fin du programme complété :

```
if mu==0:
    print("Hypothèse de conservation de
l'énergie mécanique")
    ### Calcul de EmB
    EmB=EmA
else:
    print("Hypothèse : loi de frottement de
Coulomb")
    ### Calcul de la norme des frottements
    ### Calcul du travail des frottements
    ### Calcul de EmB

    ### Calcul des énergies et de la vitesse en B
    EppB=m*g*yB
    EcB=EmB-EppB
    vB=(2*EcB/m)**0.5
```

Voir le résultat page suivante (fin du corrigé des activités).

b. et c. À partir d'une situation 1 de départ, on change la valeur de  $y_A$  (situation 2), la valeur de  $L$  (situation 3), la valeur de  $v_A$  (situation 4) ou la valeur de  $m$  (situation 5).

On obtient les résultats suivants (avec deux chiffres significatifs).

Situation	1	2	3	4	5
$m$ (en kg)	1,0	1,0	1,0	1,0	10
$L$ (en m)	20	20	40	20	20
$y_A$ (en m)	10	20	10	10	10
$v_A$ (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	0	0	0	20	0
$v_B$ (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	14	20	14	24	14

Plus  $y_A$  est grand, plus la vitesse en B est élevée.  $v_B$  ne dépend que de la vitesse initiale  $v_A$  et du dénivelé  $y_A - y_B$ , donc de l'altitude  $y_A$  pour  $y_B$  fixé à 0. En particulier, elle ne dépend pas de la masse et, pour un dénivelé donné, pas de la longueur de la piste.

## 2. Pris en compte des frottements avec une vitesse initiale nulle

Voici les modifications à effectuer :

```
#####
##### Question 2 - à compléter #####
### test du glissement et interruption ###
#####
if tan(alpha)<=mu:
    sys.exit("L'inclinaison est trop faible
pour qu'il y ait glissement")
```

```
#####
##### À compléter : question 1a puis
question 2 #####
### Utilisation du théorème de l'énergie
mécanique #####
#####
if mu==0:
    print("Hypothèse de conservation de
l'énergie mécanique")
    ### Calcul de EmB
    EmB=EmA
else:
```

```
print("Hypothèse de la loi de frottement
de Coulomb")
### Calcul et affichage de la norme des
frottements
f=mu*m*g*cos(alpha)
print("- Norme de la force de frottements
:",round(f,1),"N")
### Calcul et affichage du travail des
frottements
Wf=-f*L
print("- Travail de la force de
frottements :,round(Wf,1),"J")
### Calcul de EmB
EmB=EmA+Wf
```

On teste le programme pour différentes valeurs de  $\mu$  (pour  $y_A = 10 \text{ m}$  ;  $v_A = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) :

$\mu$	0	0,2	0,4	0,6
$v_B$ (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	14	11	8	Pas de glissement

On peut également faire varier les autres paramètres ( $y_A$ ,  $L$ ,  $m$ ).

### Bilan

- Sans frottements, l'énergie mécanique se conserve, donc l'énergie potentielle de pesanteur est convertie en énergie cinétique. Avec frottements, l'énergie mécanique ne se conserve pas, l'énergie potentielle de pesanteur est convertie en énergie cinétique, mais également en énergie thermique.
  - En cas de frottement, plus le coefficient de frottement est élevé, plus la vitesse acquise à la fin est faible. En effet, l'énergie mécanique se dissipe sous forme de chaleur.
- Plus le coefficient de frottement est élevé, plus la dissipation est grande.

Résultat obtenu avec le programme complété (activité 3, 1. a.)

```
Données :
- masse du système : 1.000000 kg
- longueur de la piste : 20.000000 m
- altitude du point de départ : 10.000000 m
- altitude du point d'arrivée : 0.000000 m
- vitesse initiale du système : 0.000000 m/s
- coefficient de frottement : 0.000000

L'angle d'inclinaison de la piste au-dessus de l'horizontale est 30.000000°

Affichage des énergies en A
L'énergie cinétique du système en A est 0.000000 J
L'énergie potentielle de pesanteur du système en A est 98.000000 J
L'énergie mécanique du système en A est 98.000000 J

Hypothèse de conservation de l'énergie mécanique

Affichage des énergies en B
L'énergie cinétique du système en B est 98.000000 J
L'énergie potentielle de pesanteur du système en B est 0.000000 J
L'énergie mécanique du système en B est 98.000000 J

La vitesse en B est 14.000000 m/s
```

**Exercices**

p. 316 à 325

- 25** a. L'augmentation de l'énergie potentielle de pesanteur du camion est  $\Delta E_{pp} = mgh$  donc  $h = \frac{\Delta E_{pp}}{mg}$ . On mesure  $\Delta E_{pp} = 3,8 \text{ MJ}$  d'où  $h = 12 \text{ m}$ .
- b. L'énergie cinétique est constante, donc la vitesse aussi. On mesure  $E_c = 3,0 \text{ MJ}$  donc  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$  donc  $v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}}$ . Elle vaut  $v = 13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 49 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .
- c. Les frottements du sol sur les roues permettent au camion de monter. Le travail de cette force vaut  $W(\vec{f}) = \Delta E_m = 6,8 - 3,0 = 3,8 \text{ MJ}$ .

- 29** a.  $W_{AB}(\vec{f}) = -f_{AB} = -2,0 \times 15 = -30 \text{ J}$   
 $W_{AC}(\vec{f}) = -f_{AC} = -2,0 \times 8,2 = -16 \text{ J}$   
 $W_{CB}(\vec{f}) = -f_{CB} = -2,0 \times 8,6 = -17 \text{ J}$   
 $W_{ACB}(\vec{f}) = W_{AC}(\vec{f}) + W_{CB}(\vec{f}) = -16 - 17 = -34 \text{ J}$
- b. Le travail de la force de frottement dépend du trajet suivi, la force de frottement est donc une force non conservative.

- 30** 1. a. Sur le pont, l'altitude de l'homme par rapport à sa position de référence est  $y_{\text{pont}} = 105 \text{ m}$ . Son énergie potentielle de pesanteur est alors :  
 $E_{ppi} = mgy_{\text{pont}} = 70 \times 9,81 \times 105 = 7,2 \times 10^4 \text{ J}$
- b. Au point le plus bas l'altitude est  $y_{\text{bas}} = 20 \text{ m}$ , donc l'énergie potentielle de pesanteur :  
 $E_{ppf} = mgy_{\text{bas}}$   
 $= 70 \times 9,81 \times 20 = 1,4 \times 10^4 \text{ J}$
2. La variation d'énergie potentielle de pesanteur est donc :  $\Delta E_{pp} = E_{ppf} - E_{ppi}$   
 $= 1,4 \times 10^4 - 7,2 \times 10^4$   
 $= -5,8 \times 10^4 \text{ J}$ .

- 32** a. Le système est le sac de ciment. La variation de l'énergie potentielle de pesanteur du sac de ciment est  $m_2gh = 50 \times 9,81 \times 9,3 = 4,6 \text{ kJ}$ .
- b. c. et d. Le système est le maçon. La variation d'énergie potentielle du maçon est :  
b.  $m_1gh = 85 \times 9,81 \times 9,3 = 7,8 \text{ kJ}$  lors de la montée.  
c.  $-m_1gh = 85 \times 9,81 \times 9,3 = -7,8 \text{ kJ}$  lors de la descente.  
d. nulle lors de son aller-retour puisqu'il revient à la même altitude.

- 33** a. Comme le point de lancer est pris comme référence, son énergie potentielle de pesanteur initiale est nulle. Son énergie mécanique initiale est donc  $E_{m0} = \frac{1}{2}mv_0^2 = 24 \text{ J}$ .
- b. À son point le plus haut, son énergie cinétique est nulle. Son énergie mécanique au sommet est donc  $E_{ms} = mgh = 2,4 \text{ J}$ .
- c. L'énergie mécanique n'est pas conservée à cause des frottements de l'air sur le volant.
- d. Le travail de la force de frottement  $\vec{F}$  (seule force non conservative) vaut :  
 $W_{AB}(\vec{F}) = \Delta E_m = E_{ms} - E_{m0} = -22 \text{ J}$

- 34** La courbe a représente une grandeur égale à la somme des deux autres, donc c'est l'énergie mécanique. La courbe b décroît sans atteindre une valeur limite, donc c'est l'énergie potentielle de pesanteur de l'objet qui chute vers le bas. La courbe c croît et tend vers une valeur limite : c'est l'énergie cinétique de l'objet. Du fait des frottements subis, l'énergie mécanique de l'objet décroît, il y a dissipation d'énergie mécanique.

- 35** On étudie le chat dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Il subit uniquement son poids par hypothèse, donc son énergie mécanique est constante au cours de son mouvement. À l'instant initial de sa chute, elle vaut  $E_{mi} = mgh$  puisque sa vitesse initiale est nulle (on a choisi le sol comme niveau de référence). Juste avant l'arrivée au sol, sa vitesse est  $v_{\text{sol}}$  et son altitude est nulle, donc son énergie mécanique est  $E_{mf} = \frac{1}{2}mv_{\text{sol}}^2$ . Par conservation de l'énergie mécanique  $E_{mi} = E_{mf}$  donc  $mgh = \frac{1}{2}mv_{\text{sol}}^2$  d'où  $v_{\text{sol}} = \sqrt{2gh} = 13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 46 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

- 37** a. Le palet est soumis à son poids, à la force de frottement avec l'air et la glace, à la réaction normale du support, ici la glace.
- b. La force de frottement est la seule force non conservative qui travaille.
- c. Soit A le point de départ du palet et B son point d'arrivée. Le travail de cette force, notée  $\vec{f}$ , le long du trajet AB vaut  $W_{AB}(\vec{f}) = \Delta E_m = E_{mB} - E_{mA}$   
 $= \left( \frac{1}{2}mv_B^2 + mgy_B \right) - \left( \frac{1}{2}mv_A^2 + mgy_A \right)$
- Ici  $y_B = y_A = 0$  car la glace est horizontale et son altitude est prise comme référence pour l'énergie potentielle de pesanteur.  $v_B = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  car le palet est à l'arrêt et  $v_A = v_0$ . Donc  $W_{AB}(\vec{f}) = -\frac{1}{2}mv_0^2 = -\frac{1}{2} \times 0,160 \times 15^2 = -18 \text{ J}$ .
- d.  $W_{AB}(\vec{f}) = -f_{AB}$  donc  $f = -\frac{W_{AB}(\vec{f})}{AB} = \frac{18}{50} = 0,36 \text{ N}$ .

**38**

$h_i$ (en m)	0,5	3,0	1,5	2,5	3,0
$h_f$ (en m)	2,5	1,0	2,5	1,5	1,0
$\Delta E_{pp}$ (en J)	19,6	-19,6	9,8	-9,8	-19,6

- 40** a. L'altitude du système de masse  $m_i$  s'accroît de  $h_1$ , donc sa variation d'énergie potentielle de pesanteur est  $\Delta E_{pp1} = m_i gh_1 = 3,34 \times 10^6 \text{ J}$ .
- b. La masse de la montgolfière est à présent  $m_i - m$ . Son altitude s'accroît de  $h_2 - h_1$ , donc sa variation d'énergie potentielle de pesanteur est  $\Delta E_{pp2} = (m_i - m) g (h_2 - h_1) = 3,18 \times 10^5 \text{ J}$ .
- c. La masse de la montgolfière est toujours  $m_i - m$ . Son altitude varie de  $-h_2$ . Sa variation d'énergie potentielle de pesanteur est donc  $\Delta E_{pp3} = (m_i - m) g (-h_2) = -3,32 \times 10^6 \text{ J}$ .

- 41** Le travail de la force de rappel ne dépend que des positions initiale et finale, il s'agit donc d'une force conservative.

**42** a. Le travail de la force  $\vec{F}$  entre A et B vaut :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = q\vec{E} \cdot \overrightarrow{AB} = qEAB \times \cos(\vec{E}, \overrightarrow{AB}) \\ = qE \cdot AB \cdot \frac{d}{AB} = qEd = 4,5 \times 10^{-19} \times 6,0 \times 10^4 \times 0,07 \\ = 1,89 \times 10^{-15} \text{ J}$$

b.  $\vec{F}$  est une force constante donc elle est conservative.

#### Remarque

L'expression du travail ne fait pas intervenir AB. Le travail ne dépend donc pas du chemin suivi, ce qui prouve que cette force est conservative.

**43** 1. La courbe a représente l'énergie mécanique du

volant car elle traduit la somme des grandeurs représentées par les courbes b et c.

La courbe c représente l'énergie potentielle de pesanteur du volant, car elle croît légèrement avant de redescendre : cela correspond aux phases de montée et descente du volant.

La courbe c représente l'énergie cinétique du volant car elle diminue nettement juste après le service (ralentissement du volant qui monte) avant d'augmenter à nouveau lorsque le volant accélère en redescendant.

2. L'énergie cinétique initiale du volant est  $E_{c0} = 10 \text{ J}$ , donc sa vitesse initiale est :

$$v_0 = \sqrt{\frac{2E_{c0}}{m}} = 63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 2,3 \times 10^2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$$

3. a. L'énergie potentielle de pesanteur du volant est maximale à  $t = 0,9 \text{ s}$  environ : c'est à cette date que le volant est au sommet de sa trajectoire.

b. À cette date-là, l'énergie potentielle de pesanteur du volant est environ égale à  $E_{pps} = 0,3 \text{ J}$ , donc son altitude au-dessus du sol est  $hs = \frac{E_{pps}}{mg} = 6 \text{ m}$ .

L'énergie cinétique du volant au sommet de sa trajectoire est  $E_{cs} = 0,1 \text{ J}$ .

$$\text{Sa vitesse est alors } v_s = \sqrt{\frac{2E_{cs}}{m}} \\ = 6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 2 \times 10^1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$$

4. L'énergie mécanique du volant diminue du fait des frottements de l'air.

5. Il y a dissipation de l'énergie mécanique sous forme de chaleur (énergie thermique).

**44** 1. L'expression de l'énergie mécanique est :

$$E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mgy$$

a. Avant le départ, l'énergie mécanique de l'homme est nulle si l'on prend comme référence des altitudes le niveau du sol. Il n'y a pas de vitesse initiale :

$$E_m = 0 \text{ J.}$$

b. À l'altitude  $\frac{h}{2}$  et à la vitesse  $v_{max}$ , elle vaut :

$$E_m = \frac{1}{2}mv_{max}^2 + mg\frac{h}{2} = 2,5 \times 10^5 \text{ J}$$

c. En haut, à vitesse nulle, elle vaut  $E_m = mgh = 4,6 \times 10^5 \text{ J}$

2. L'énergie mécanique de l'homme n'est pas conservée, car une force permet de l'accroître (la réaction du sol de l'ascenseur).

**46** a. En choisissant le niveau du sol comme altitude de référence, l'énergie mécanique initiale de la boule est

$$E_{m0} = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0 = 495 \text{ J}$$

b. Cette énergie est conservée au cours du mouvement à condition que les frottements de l'air soient suffisamment petits pour que leur action ne se fasse pas sentir.

c. À l'arrivée au sol, d'altitude nulle, l'énergie cinétique de la boule est égale à  $E_{m0}$ .

Sa vitesse est alors :

$$v_f, \text{ telle que } \frac{1}{2}mv_f^2 = E_{m0}, \text{ d'où } v_f = \sqrt{\frac{2E_{m0}}{m}} = 15,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

**47** a. On suppose que l'énergie mécanique est conservée donc  $\Delta Em = 0$  soit  $E_{mi} = E_{mf}$ .

On peut donc écrire  $\frac{1}{2}mv_i^2 + mgy_i = \frac{1}{2}mv_f^2$ , comme l'altitude au point d'arrivée est nulle.

$$\text{Ainsi, } v_f = \sqrt{v_i^2 + 2gy_i} = 30,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

b. La balle touche le sol à un temps  $t = 0,7 \text{ s}$  environ.

À cette date-là, les composantes de la vitesse valent  $v_x = 22,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  et  $v_y = -6,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  donc la norme de la vitesse vaut  $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 23,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

On ne retrouve pas les résultats de la question a. Ceci vient du fait que nous avons supposé l'énergie mécanique conservée. En réalité, la balle subit des frottements avec l'air, et l'énergie mécanique diminue.

**48** a. L'énergie mécanique de la gymnaste est constante si elle n'est soumise qu'à son poids au cours de son saut (et en particulier si on ne tient pas compte des frottements de l'air).

b. On étudie la gymnaste dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

D'après l'énoncé, on considère qu'elle ne subit que son poids. Son énergie mécanique est donc constante au cours de son saut.

Soit A la position de ses pieds lorsqu'elle quitte le trampoline. Soit B la position de ses pieds lorsqu'elle est au sommet de sa trajectoire.

Le niveau du sol est choisi comme référence pour la définition des énergies potentielles de pesanteur.

Comme son énergie mécanique est supposée constante entre A et B, on peut écrire  $E_m(A) = E_m(B)$  soit

$$\frac{1}{2}mv_A^2 + mgy_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgy_B. \text{ En B, elle cesse de monter pour redescendre, donc sa vitesse est nulle.}$$

Donc la variation d'altitude entre les points A et B vaut

$$h_{max} = y_B - y_A = \frac{v_A^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} = 5,41 \text{ m.}$$

Ses pieds sont alors à l'altitude  $y_B = y_A + h_{max} = 0,53 + 5,41 = 5,94 \text{ m}$  du sol.

Sa tête est 1,53 m plus haut, donc à 7,47 m.

C'est inférieur aux 8,0 m sous plafond, donc elle ne risque rien.

**50** Soit A la position de la balle lorsqu'elle est lancée et B sa position lorsqu'elle touche la table.

La force de frottement est la seule force non conservative donc son travail s'exprime :

$$\begin{aligned} W_{AB}(\vec{F}) &= \Delta E_m \\ &= E_{mB} - E_{mA} \\ &= \left( \frac{1}{2}mv_B^2 + mgy_B \right) - \left( \frac{1}{2}mv_A^2 + mgy_A \right) \\ &= \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 - mgy_A \text{ car l'altitude en B est nulle.} \end{aligned}$$

$$\text{Donc } v_B = \sqrt{\frac{2W_{AB}(\vec{F})}{m}} + v_A^2 + 2gy_A = 13,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

**51** a. Soient A la position de la voiture lorsqu'elle démarre et B sa position d'arrivée. La force de frottement exercée par le sol sur les roues, notée  $\vec{F}$ , est la seule force non conservative donc on peut écrire

$$\begin{aligned} W_{AB}(\vec{F}) &= \Delta E_m \\ &= E_{mB} - E_{mA} = \left( \frac{1}{2}mv_B^2 + mgy_B \right) \\ &\quad - \left( \frac{1}{2}mv_A^2 + mgy_A \right). \end{aligned}$$

La route est horizontale et son altitude est prise comme référence donc  $y_A = y_B = 0$ .

Le travail de la force de frottement du sol sur les roues est donc  $W_{AB}(\vec{F}) = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = 3,2 \times 10^5 \text{ J}$ .

b. Le travail est positif donc la force est motrice.  
c. Il y a désormais deux forces non conservatives : la force de frottement due à l'air  $\vec{f}$  et celle due au sol  $\vec{F}$ .

La variation d'énergie mécanique vaut alors :

$$\begin{aligned} \Delta E_m &= W_{AB}(\vec{F}) + W_{AB}(\vec{f}) = W_{AB}(\vec{F}) - f \times AB \\ &= 3,2 \times 10^5 - 2530 \times 40 = 2,2 \times 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

La variation d'énergie mécanique peut aussi s'écrire

$$\Delta E_m = E_{mB} - E_{mA} = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2.$$

$$\text{Donc } v_B = \sqrt{v_A^2 + \frac{2\Delta E_m}{m}} = 28,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 103 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}.$$

d.  $\Delta E_m > 0$  donc il y a gain d'énergie mécanique.

**52** Soient A le point de départ du TGV et B son point d'arrivée. Le point B correspond à l'arrêt du TGV donc  $v_B = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Les altitudes en A et B sont choisies comme référence et fixées à 0.

La variation d'énergie mécanique s'écrit :

$$\begin{aligned} \Delta E_m &= E_{mB} - E_{mA} \\ &= \left( \frac{1}{2}mv_B^2 + mgy_B \right) - \left( \frac{1}{2}mv_A^2 + mgy_A \right) = -\frac{1}{2}mv_A^2 \end{aligned}$$

Les frottements  $\vec{f}$  sont la seule force non conservative donc leur travail est égal à la variation d'énergie mécanique.

On a donc  $W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB = \Delta E_m = -\frac{1}{2}mv_A^2$ .

La norme des frottements vaut alors :  $f = \frac{mv_A^2}{2AB} = 4,4 \times 10^5 \text{ N}$ .

**53** a. En utilisant l'échelle donnée, on mesure

$$y_1 - y_3 = 4,0 \text{ cm et } y_{10} - y_{12} = 4,2 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} \text{Point A : } v_A &= v_2 = \frac{y_1 - y_3}{2\tau} = \frac{4,0 \times 10^{-2}}{2 \times 1} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \\ \text{donc } E_{cA} &= \frac{1}{2}mv_A^2 = 2,6 \times 10^{-8} \text{ J.} \end{aligned}$$

$$\text{Point B : } v_B = v_{11} = \frac{y_{10} - y_{12}}{2\tau} = \frac{4,2 \times 10^{-2}}{2 \times 1} = 2,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\text{donc } E_{cB} = \frac{1}{2}mv_B^2 = 2,9 \times 10^{-8} \text{ J.}$$

$$\Delta E_m = E_{mB} - E_{mA} = 0,29 - 0,23 = 0,06 \text{ J}$$

$$\begin{aligned} \text{b. On mesure } y_2 - y_{11} &= 19,0 \text{ cm donc } \Delta E_{pp} = mg(y_B - y_A) \\ &= mg(y_{11} - y_2) = -0,13 \times 10^{-3} \times 9,81 \times 19,0 \times 10^{-2} \\ &= -2,4 \times 10^{-4} \text{ J} \end{aligned}$$

La variation d'énergie mécanique est donc

$$\begin{aligned} \Delta E_m &= \Delta E_{pp} + \Delta E_c = \Delta E_{pp} + E_{cB} - E_{cA} \\ &= -2,4 \times 10^{-4} + 2,9 \times 10^{-8} - 2,6 \times 10^{-8} = -2,4 \times 10^{-4} \text{ J} \end{aligned}$$

c. La force de frottement est la seule force non conservative qui travaille donc son travail est égal à la variation d'énergie mécanique :  $\Delta E_m = W_{AB}(\vec{f}) = -fL$ .

Donc la norme de la force de frottement vaut

$$f = -\frac{\Delta E_m}{L} = \frac{2,4 \times 10^{-4}}{19,0 \times 10^{-2}} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ N.}$$

**54** 1. a. Comme la vitesse initiale du pendule est nulle, son énergie cinétique initiale est nulle, donc la courbe rouge représente l'énergie cinétique du système. La courbe verte est la somme des deux autres, donc représente l'énergie mécanique du système. La courbe bleue est donc l'énergie potentielle de pesanteur du système, qui diminue juste après l'instant initial puisque le système descend.

b. C'est aux passages à la verticale que l'énergie cinétique du pendule est maximale, parce que c'est là qu'il va le plus vite. L'énergie potentielle de pesanteur est bien nulle lorsque l'énergie cinétique est maximale.

c. L'énergie potentielle de pesanteur initiale est  $E_{ppo} = 2,0 \text{ kJ}$  au-dessus de la valeur nulle, qui est, elle du niveau de référence (pendule à la verticale). L'altitude initiale du système est donc  $y_0 = \frac{E_{ppo}}{mg} = 3,3 \text{ m}$ .

d. L'énergie cinétique maximale acquise par le système est  $E_{cmax} = 1,95 \text{ kJ}$ . La vitesse maximale correspondante est donc  $v_{max} = \sqrt{\frac{2E_{max}}{m}} = 7,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

2. L'énergie mécanique décroît un peu du fait des frottements de l'air, elle n'est donc pas conservée.

3. Les passages à la verticale (énergie potentielle de pesanteur nulle) se font aux dates 1,1 s, 3,3 s et 5,4 s. Une oscillation dure 4,3 s vu qu'il faut cette durée pour que l'énergie potentielle de pesanteur revienne à une valeur maximale deux fois (aller-retour).

**55** 1. L'énergie potentielle de pesanteur de la balle décroît initialement, avant de croître à nouveau à partir de  $t_1 = 0,75 \text{ s}$ . C'est donc à cette date que la balle touche le sol. Comme à cette date l'énergie potentielle de pesanteur de la balle est nulle, on en déduit que le sol est choisi comme niveau de référence.

2. L'énergie potentielle de pesanteur initiale est

$$E_{ppo} = 1,42 \text{ J, d'expression } E_{ppo} = mgh_0.$$

$$\text{Cela donne } h_0 = \frac{E_{ppo}}{mg} = 2,54 \text{ m.}$$

3. Dans cette situation, la balle tombe bien de la hauteur  $h_0 = 2,54 \text{ m}$ .

Soit  $E_{pp1}$  l'énergie potentielle de pesanteur maximale atteinte par la balle après son premier rebond. Elle remonte à une hauteur  $h_1$  telle que  $E_{pp1} = mgh_1 = 0,78 \text{ J}$ , ce qui donne  $h_1 = \frac{E_{pp1}}{mg} = 1,4 \text{ m}$ .

Cette hauteur étant comprise entre les deux valeurs préconisées, on peut en conclure que la balle est conforme aux spécifications, donc homologable.

4. a. L'énergie mécanique avant le premier rebond étant constante puisqu'on néglige toute action de l'air, celle-ci est égale à l'énergie potentielle de pesanteur initiale de la balle  $E_{m0} = E_{ppo} = 1,42 \text{ J}$ .

b. À la date  $t_1 = 1,25 \text{ s}$ , l'énergie potentielle de pesanteur de la balle est maximale : c'est le point le plus haut entre les deux rebonds. La balle cesse de monter pour redescendre, son énergie cinétique est alors nulle. L'énergie mécanique après le premier rebond est donc égale à l'énergie potentielle de pesanteur en  $t_1$ , donc  $E_{m1} = 0,78 \text{ J}$ .

c. La réaction normale du sol travaille lors du rebond de la balle.

$E_{m1} - E_{m0} = 0,78 - 1,42 = -0,64 \text{ J}$ , donc le travail de la force normale vaut  $-0,64 \text{ J}$ .

d. La proportion d'énergie mécanique subsistant après le premier rebond est  $\frac{E_{m1}}{E_{m0}} = 0,55$ . Le reste, soit 45 %, est perdu en énergie thermique au moment du choc.

e. On mesure les énergies mécaniques entre rebonds comme les énergies potentielles de pesanteur maximales entre rebonds. On a  $E_{m2} = 0,42 \text{ J}$ ,  $E_{m3} = 0,23 \text{ J}$ ,  $E_{m4} = 0,14 \text{ J}$ .

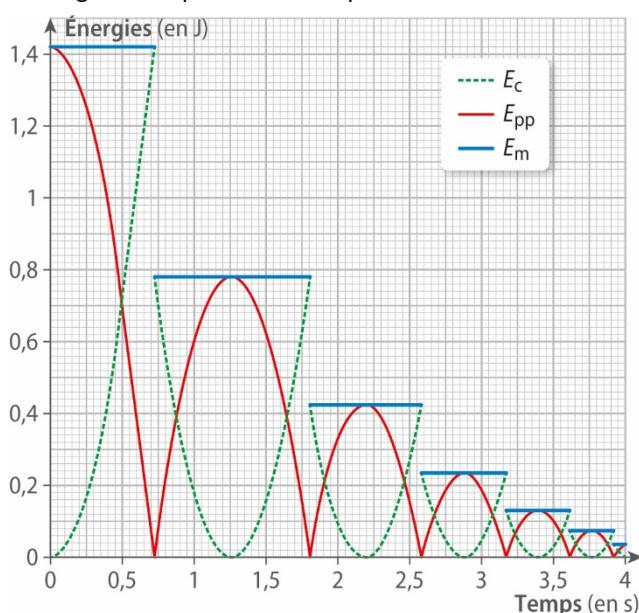
On calcule les proportions restantes :  $\frac{E_{m2}}{E_{m1}} = 0,54$  ;

$\frac{E_{m3}}{E_{m2}} = 0,55$  ;  $\frac{E_{m4}}{E_{m3}} = 0,61$ . La proportion d'énergie conservée

est approximativement la même à chaque rebond, donc c'est aussi le cas pour la proportion d'énergie mécanique dissipée.

5. Entre deux rebonds, l'énergie mécanique est constante, égale à l'énergie potentielle de pesanteur maximale.

L'énergie cinétique s'en déduit par soustraction.



56 1. a.  $Cl = CG \cos(\theta) = L \cos(\theta)$

b. L'altitude  $y_G = Ol$ , or  $Ol = Oc - Cl$ , avec  $Oc = L$  et  $Cl = CG \cos(\theta) = L \cos(\theta)$ .

Cela donne  $y_G = L - L \cos(\theta) = L(1 - \cos(\theta))$ .

c. Les forces qui s'exercent sur Marion sont son poids, la tension de la corde (perpendiculaire au mouvement) et l'action de l'air. Si on considère l'énergie mécanique comme constante, c'est que l'on néglige l'action de l'air.

d. L'énergie mécanique initiale du système est

$E_m = \frac{1}{2}mv_0^2$ . Son énergie mécanique pour une position quelconque est  $E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mg y_G$ , soit  $E_m = \frac{1}{2}mv^2 + mgL(1 - \cos(\theta))$ .

L'énergie mécanique étant constante, on en déduit

$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mgL(1 - \cos(\theta))$ , qui peut s'écrire

$$v_0^2 = v^2 + 2gL(1 - \cos(\theta))$$

2. Au point de montée maximale,  $v = 0$ , donc la relation précédente s'écrit  $v_0^2 = 2gL(1 - \cos(\theta_{\max}))$ .

3. On a donc  $v_0 = \sqrt{2gL(1 - \cos(\theta_{\max}))}$

a. Pour  $\theta_{\max} = 60^\circ$ , on calcule  $v_0 = 4,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

b. Pour monter à la hauteur du point d'attache, il faut  $\theta_{\max} = 90^\circ$ , donc  $v_0 = \sqrt{2gL} = 6,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

4. On a aussi  $\cos \theta_{\max} = 1 - \frac{v_0^2}{2gL}$ , ce qui permet d'obtenir ici  $\theta_{\max} = 21^\circ$ .

57 1. a. L'énergie cinétique du caddie vide en A est

$$E_c(A) = \frac{1}{2}m_0 v_0^2 = 1,68 \times 10^2 \text{ J}$$

b. La différence d'altitude entre A et B est  $h = AB \sin \alpha = 0,70 \text{ m}$ . La variation de l'énergie potentielle de pesanteur du caddie entre A et B est donc  $E_{pp}(B) - E_{pp}(A) = m_0 gh = m_0 g AB \sin \alpha = 1,16 \times 10^2 \text{ m}$ .

c. L'énergie cinétique en B est nulle puisque le chariot est immobile en B. La variation d'énergie mécanique s'exprime  $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp} = E_{cB} - E_{cA} + E_{ppB} - E_{ppA} = 0 - 1,68 \times 10^2 + 1,16 \times 10^2 = -52 \text{ J}$

Le travail est négatif donc il s'agit d'une force résistante. Ce sont les frottements.

d. Le travail de la force de frottement  $\vec{f}$ , seule force non conservative, est égal à la variation d'énergie mécanique :  $\Delta E_m = W_{AB}(\vec{f}) = -f_{AB}$ , donc la norme de la force de frottement vaut :  $f = -\frac{\Delta E_m}{AB} = 6,5 \text{ N}$ .

2. La masse totale du chariot contenant le pack d'eau est maintenant  $m_0 + m = 26 \text{ kg}$ .

L'énergie cinétique en B est nulle puisque le chariot est immobile. En A, l'énergie cinétique vaut  $\frac{1}{2}(m_0 + m)v_f^2$ .

La variation d'énergie potentielle s'exprime  $\Delta E_{pp} = E_{pp}(A) - E_{pp}(B) = -(m + m_0)gh = -(m + m_0)gAB \sin(\alpha)$ . La variation d'énergie mécanique entre les points B et A est alors  $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp} = E_{cB} - E_{cA} + \Delta E_{pp} = \frac{1}{2}(m_0 + m)v_f^2 - (m_0 + m)gAB \sin(\alpha)$ .

La force de frottement est la seule force qui travaille donc  $\Delta E_m = W_{AB}(\vec{f}) = -f \times AB$ .

On peut donc écrire :

$$-f \times AB = \frac{1}{2}(m_0 + m)v_f^2 - (m_0 + m)gAB \sin(\alpha)$$

$$\text{soit } v_f = \sqrt{\frac{(-f \times AB) \times 2}{m_0 + m} + 2gAB\sin(\alpha)} = 2,74 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$= 9,88 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

3. Le caddie parcourt la distance  $L$ . La variation d'énergie potentielle est donc  $\Delta E_{pp} = (m + m_0)gL\sin(\alpha)$ .

Au point le plus haut l'énergie cinétique est nulle, au point le plus bas elle vaut  $\frac{1}{2}(m_0 + m)v_0^2$ .

La variation d'énergie mécanique est alors :

$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_{pp} = -\frac{1}{2}(m_0 + m)v_0^2 + (m_0 + m)gL\sin(\alpha)$$

Cette variation s'écrit également  $\Delta E_m = W_{AB}(\vec{f}) = -fL$ .

$$\text{On a donc } -f \times L = -\frac{1}{2}(m_0 + m)v_0^2 + (m_0 + m)gL\sin(\alpha)$$

$$\text{soit } L = \frac{\frac{1}{2}(m_0 + m)v_0^2}{(m_0 + m)gsin\alpha + f} = 7,97 \text{ m.}$$

**58** 1. a. Au début du saut, la chute est libre car l'élastique n'est pas tendu. L'énergie cinétique du solide augmente (puisque la vitesse du solide augmente) tandis que son énergie potentielle de pesanteur diminue (puisque le solide descend). On en déduit que la courbe b, décroissante, représente l'énergie potentielle de pesanteur du système, la courbe a, croissante au début, représente l'énergie cinétique.

b. La courbe d représente l'énergie mécanique du solide puisqu'elle est la somme de la courbe b et de la courbe a au début. Puisqu'elle est constante, on en déduit qu'aucun frottement ne se fait sentir.

2. a. L'énergie élastique (courbe c) n'est non nulle qu'à partir de  $t_1 = 0,30 \text{ s}$ . Jusqu'à cette date, l'élastique n'est donc pas étiré.

b. À cette date, l'énergie potentielle de pesanteur a une valeur de  $E_{pp}(t_1) = 13,5 \text{ J}$ . À l'instant initial elle valait  $E_{pp}(0) = 17,5 \text{ J}$ . Donc sa variation est  $\Delta E_{pp1} = E_{pp}(t_1) - E_{pp}(0) = -4,0 \text{ J}$ .

La variation d'altitude entre ces deux dates est donc

$$\Delta y_1 = \frac{\Delta E_{pp1}}{mg} = -0,41 \text{ m.}$$

L'objet est descendu de 0,41 m, qui est donc la longueur de l'élastique sans étirement.

3. La vitesse maximale  $v_{max}$  est atteinte à la date  $t_2 = 0,38 \text{ s}$  où l'énergie cinétique (courbe a) est maximale.

L'énergie cinétique maximale étant  $E_{cmax} = 5,5 \text{ J}$ , la vitesse

$$\text{maximale est } \sqrt{\frac{2E_{cmax}}{m}} = 3,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

À cette date, l'énergie potentielle de pesanteur est  $E_{pp}(t_2) = 11 \text{ J}$ . La variation de l'énergie potentielle de pesanteur du système entre le début et cette date-là est  $\Delta E_{pp2} = E_{pp}(t_2) - E_{pp}(0) = -6,5 \text{ J}$ . La variation d'altitude correspondante est donc  $\Delta y_2 = \frac{\Delta E_{pp2}}{mg} = -0,66 \text{ m}$ .

Le système est descendu de 0,66 m : c'est donc la longueur de l'élastique à ce moment-là.

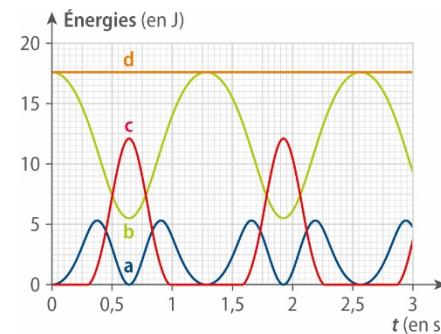
4.  $E_{pp}(0) = 17,5 \text{ J}$  donc l'altitude initiale est  $y_0 = \frac{E_{pp}(0)}{mg} = 1,8 \text{ m}$ .

L'énergie potentielle de pesanteur semble atteindre un minimum à la date 0,64 s, elle vaut alors  $E_{ppmin} = 5,5 \text{ J}$ .

L'altitude minimale est donc  $y_{min} = \frac{E_{ppmin}}{mg} = 0,56 \text{ m}$ .

5. Il semble qu'un peu avant la fin du graphe, le système ait atteint une altitude minimale, que l'élastique soit tendu au maximum. Le système va donc remonter vers le haut et reprendre de la vitesse, l'élastique va se détendre. Donc l'énergie potentielle de pesanteur augmente à nouveau, l'énergie cinétique aussi dans un premier temps, et l'énergie élastique diminue.

On trace les courbes symétriques de ce qui est déjà dessiné. Si l'énergie mécanique est conservée, alors le système remonte à son altitude de départ.



**59**

#### Question préliminaire

Plus la zone d'élan est pentue, plus la vitesse acquise est élevée : l'hypothèse b est plus favorable que l'hypothèse a. Si tout frottement est négligé, alors l'énergie mécanique du skieur est conservée, ce qui maximise sa vitesse acquise : les hypothèses c et d sont favorables.

#### Problème

On étudie un sportif de masse  $m$  dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

En imaginant que l'équipement et la posture du sportif soient optimisés, négligeons tout frottement.

Le sportif subit alors seulement son poids et la réaction du sol, perpendiculaire au sol.

D'après le théorème de l'énergie mécanique, son énergie mécanique est donc constante au cours de son mouvement.

Appelons A le point de départ du sportif et B sa position après la phase d'élan. La longueur de la piste est  $AB = 550 \text{ m}$  (doc. 2).

Dans le meilleur des cas, toute la piste d'élan est inclinée à 98 % (hypothèse b) et forme un angle  $\alpha$  avec l'horizontale tel que  $\tan(\alpha) = 0,98$ , soit  $\alpha = 44^\circ$ .

Le dénivelé entre A et B est donc :

$$h = y_A - y_B = AB\sin(\alpha) = 3,8 \times 10^2 \text{ m.}$$

L'énergie mécanique du sportif en A est  $E_m(A) = mgy_A$ .

Le sportif a acquis une vitesse  $v_f$  à l'issue de la phase d'élan, en B.

Son énergie mécanique en B est  $E_m(B) = \frac{1}{2}mv_f^2 + mgy_B$

La conservation de l'énergie mécanique s'écrit

$$E_m(B) = E_m(A), \text{ d'où } \frac{1}{2}mv_f^2 + mgy_B = mgy_A$$

$$\frac{1}{2}mv_f^2 = mg(y_A - y_B)$$

$$= mgh$$

D'où  $v_f^2 = 2gh$  ce qui donne  $v_f = \sqrt{2gh}$ .

Application numérique :

$$v_f = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 3,8 \times 10^2} = 86,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$= 313 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$$

Avec les hypothèses fortes qu'on a faites, il resterait la possibilité d'augmenter le record de près de 60 km·h<sup>-1</sup>. Mais cela nécessite d'éliminer tous les frottements, de l'air comme du sol, ce qui est peu réaliste. L'hypothèse que toute la piste d'élan est inclinée à 98 % est certainement aussi une hypothèse trop favorable.

**60** Si sa chute est libre, alors son énergie mécanique doit être constante. L'altitude du point d'où il se laisse tomber est  $y_0 = 38\ 968 \text{ m}$  au-dessus du sol.

Son énergie mécanique est alors  $E_{m0} = mg y_0 = 4,5 \times 10^7 \text{ J}$ . Il atteint sa vitesse maximale au bout de 50 s.

À cette date, sa vitesse vaut  $v_{\max} = 380 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  et son altitude est  $y_1 = 27 \text{ km}$ . Son énergie mécanique est alors :

$$E_m = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 + mgy_1$$

$$= 4,0 \times 10^7 \text{ J}$$

L'énergie mécanique n'a pas été conservée, donc sa chute n'est pas réellement une chute libre.

La variation d'énergie mécanique vaut alors :

$$\Delta E_m = E_m - E_{m0} = -0,5 \times 10^7 \text{ J}$$

D'après le théorème de l'énergie mécanique, cette valeur est égale au travail des forces de frottements :

$$W_{AB}(\vec{f}) = -0,5 \times 10^7 \text{ J}$$

**61** On étudie une personne dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On supposera qu'elle chute sans que l'action de l'air soit perceptible, donc en ne subissant que son poids.

Soit  $m$  la masse de la personne. Soit  $h$  la hauteur de chute de la personne. Si elle se laisse tomber, sa vitesse initiale est nulle et son énergie mécanique initiale  $E_{m0}$  est égale à son énergie potentielle de pesanteur,  $E_{m0} = mgh$ . On a pris le niveau du sol comme référence.

Soit  $v_{\text{sol}}$  sa vitesse d'arrivée au sol. On a  $v_{\text{sol}} = 8,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

À l'arrivée au sol, son énergie mécanique est égale à son énergie cinétique puisque son énergie potentielle de pesanteur est choisie nulle. L'énergie mécanique de la personne à l'arrivée au sol est donc  $E_{msol} = \frac{1}{2}mv_{\text{sol}}^2$ .

Si l'on fait l'hypothèse que la chute est libre, l'énergie mécanique de la personne est conservée lors de la chute. Donc  $E_{msol} = E_{m0}$ .

$$\text{On en déduit } mgh = \frac{1}{2}mv_{\text{sol}}^2, \text{ d'où } h = \frac{v_{\text{sol}}^2}{2g}$$

$$\text{On en déduit } h = 3,9 \text{ m.}$$

Un étage faisant aux environs de trois mètres, cela revient à tomber d'un étage et demi au maximum.

# 15. Ondes mécaniques

## Activités

p. 330 à 334

### ① Cuve à ondes

1.  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{20} = 0,050 \text{ s} = 50 \text{ ms}$ , donc 50 ms est la plus petite durée entre deux passages d'une vague en A ainsi qu'en B ou en C.
2. A et B sont en phase car ils sont au sommet des vagues en même temps (zones blanches). A et C sont en opposition de phase, l'un est en haut d'une vague (zone blanche) lorsque l'autre est au creux d'une vague (zone sombre).
3. a. Les trois courbes sont périodiques de même période  $T = 50 \text{ ms}$  (à mesurer en considérant deux périodes).
- b. La soufflerie est à gauche sur le document donc plus on s'éloigne de la soufflerie, plus l'amplitude des courbes diminue en raison de l'amortissement des ondes.
- Donc le point A correspond à la courbe bleue, le point C à la courbe verte et le point B à la courbe rouge.
4. a. 5 mm sur le document séparent deux centres de zones blanches consécutives et c'est toujours la même valeur.
- b. La vague située en A se retrouve au niveau de la vague blanche qui la suit sur le document à l'instant  $t_1 + T$ . Elle aura donc parcouru la distance séparant deux vagues. Sur le document, 5,0 cm réels correspondent à 26 mm donc  $\frac{5 \times 5,0}{26} = 1 \text{ cm}$  correspond à la distance entre deux sommets de vagues.
- c. Il faut 50 ms pour parcourir cette distance de 1 cm, donc la célérité de l'onde est  $v = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ cm} \cdot \text{ms}^{-1}$  soit  $v = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- d. La longueur d'onde correspond, selon cette définition, à 1 cm.

### Bilan

- La longueur d'onde est la distance minimale séparant deux points en phase.
- La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde en une durée  $T$ . Si on note  $v$  la célérité de cette onde, on a  $v = \frac{\lambda}{T}$  donc  $v = \lambda f$ .

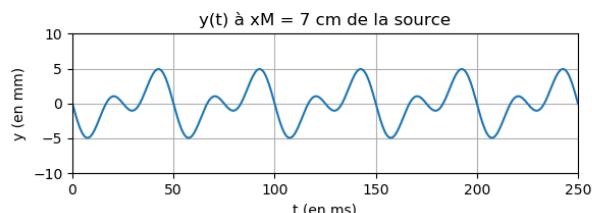
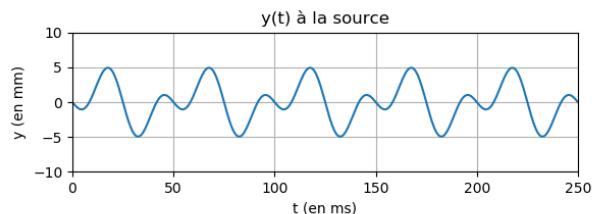
### ② Propagation d'une onde périodique

1. a. Plus l'amplitude  $A$  augmente, plus la taille verticale du signal augmente. Plus  $T$  augmente, plus la « taille horizontale » du signal augmente et le nombre de périodes visibles diminue. Et réciproquement.

- ImprEC1

```
*****
* Propagation d'une onde périodique *
* Mouvements en fonction du temps *
*****
```

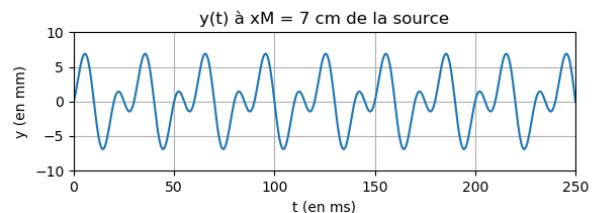
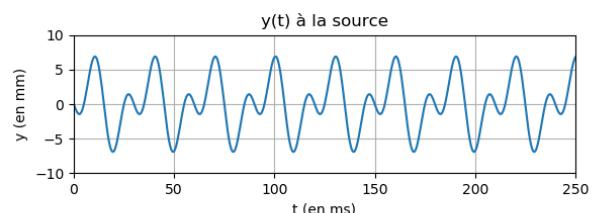
Amplitude de l'onde :  $A = 5 \text{ mm}$   
Période de l'onde :  $T = 50 \text{ ms}$   
d'où la fréquence  $f = 20,0 \text{ Hz}$   
Célérité de l'onde :  $v = 40 \text{ cm/s}$   
d'où la longueur d'onde lambda = 2 cm



### • ImprEC2

```
*****
* Propagation d'une onde périodique *
* Mouvements en fonction du temps *
*****
```

Amplitude de l'onde :  $A = 7 \text{ mm}$   
Période de l'onde :  $T = 30 \text{ ms}$   
d'où la fréquence  $f = 33,3 \text{ Hz}$   
Célérité de l'onde :  $v = 40 \text{ cm/s}$   
d'où la longueur d'onde de l'onde lambda = 1 cm



- b. Par changement de  $v$  on ne constate aucun changement dans la forme du signal.  
Mais le début du signal en  $x_M$  ne se fait pas au même endroit du signal si l'on change  $v$ .
- a. Soit  $t_0$  la date de passage de l'onde en O,  $t_M$  sa date de passage en M.  
Comme  $t_M = t_0 + \frac{x_M}{v}$ , le retard est  $t_M - t_0 = \frac{x_M}{v}$ .
- b. En M il se produit la même chose qu'en O mais avec retard  $\frac{x_M}{v}$ , autrement dit, ce qui se passe à l'instant  $t$  en M a eu lieu en O à l'instant  $t - \frac{x_M}{v}$ .

Ceci se traduit mathématiquement par :

$$y_M(t) = y_O\left(t - \frac{x_M}{v}\right)$$

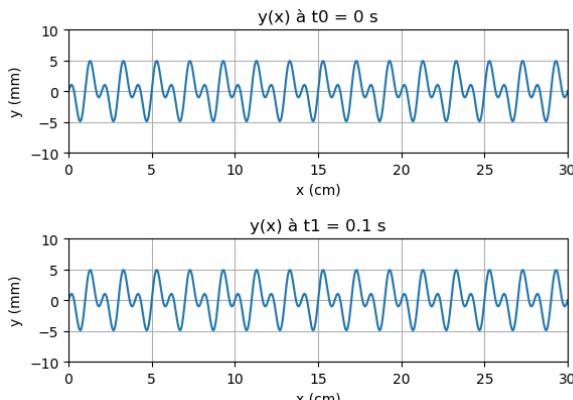
- c. On constate un décalage horizontal du signal sur le graphe de l'onde en  $x_M$ .
- d. Par ces essais, on constate que les signaux sont en phase pour des valeurs de  $x_M$  multiples de 2 cm.

La plus petite valeur étant 2 cm, ceci est la longueur d'onde de l'onde.

3.

\*\*\*\*\*
 \* Propagation d'une onde périodique \*
 \* Aspect spatial du milieu \*
 \*\*\*\*

Amplitude de l'onde :  $A = 5 \text{ mm}$   
 Période de l'onde :  $T = 50 \text{ ms}$   
 d'où la fréquence  $f = 20,0 \text{ Hz}$   
 Célérité de l'onde :  $v = 40 \text{ cm/s}$   
 d'où la longueur d'onde de l'onde  $\lambda = 2 \text{ cm}$



Les graphes sont identiques pour des valeurs de  $t_1$  égales à des multiples de la période : 50 ms, 100 ms, 150 ms.

### Bilan

- Les graphes obtenus pour chaque multiple de la période se superposent car dans cette situation l'onde a progressé d'une longueur d'onde.
- On mesure  $5\lambda = 10 \text{ cm}$ , donc  $\lambda = 2,0 \text{ cm}$ . Donc la célérité  $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{2,0}{0,050} = 40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### ③ Principe d'un sonar

#### Matériel

Voir la page 332 et la fiche de complément.

- À l'aide de la température mesurée de la salle de classe et des conditions météo (humidité, temps sec), on peut faire une lecture graphique de la célérité du son sur le doc. 1, puis compléter la ligne concernée du programme.
- Le son fait l'aller-retour entre le bloc émetteur-récepteur et l'obstacle : la distance totale parcourue est  $vt$ , donc  $d = \frac{vt}{2}$ .

- Utiliser un tableur (Latis-Pro, etc.) ou faire un tracé graphique sur papier en utilisant les dix valeurs de mesure effectuées. L'équation du type  $d_s = ad_m + b$  avec  $a$  sans unité et  $b$  en m.
- Le programme non corrigé permet de déterminer  $d$  avec une erreur. Pour la corriger, on se sert de l'équation précédente :  $d_m = \frac{(d_s - b)}{a}$  donc la nouvelle expression à programmer est  $d = \frac{\frac{d_s - b}{a}}{v} \cdot t$ .

- $d_m$  est mesuré avec un mètre ruban donc l'incertitude est de l'ordre du millimètre.

L'incertitude sur  $d_s$  a été évaluée grâce à la question 2.

c. Pour déterminer cette plage de valeurs, on peut définir un critère, par exemple quand  $d_s$  s'éloigne de plus de 5 % de  $d_m$  on considère que le sonar n'est plus opérationnel. À partir d'une certaine distance, le signal reçu est aussi trop faible pour être détecté.

### Bilan

- Inconvénients du sonar : l'espace entre sonar et objet doit être dégagé et non dispersif pour le son. Le sonar fonctionne avec une valeur programmée pour la célérité du son, or celle-ci dépend de la température et de l'humidité. L'objet doit être plat et à peu près perpendiculaire à la direction de propagation des ondes sonores. Les mesures effectuées montrent qu'il y a une incertitude de mesure aussi liée au système de mesure.
- Avantages : cela fonctionne sur une distance dégagée élevée et cela ne nécessite pas d'accéder à l'obstacle. Un grand nombre de mesures est possible en peu de temps, pouvant donner lieu à calcul de moyenne.

### ④ Mesure de la longueur d'onde d'ondes ultrasonores

- $T = \frac{1}{40 \times 10^3} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ s}$
- Il faut régler les paramètres de l'interface pour avoir au moins 250 µs à l'écran.
- On mesure avec le réticule la durée de  $10 T$  pour améliorer précision.
- Il faut dessiner deux sinusoïdes en phase (amplitudes différentes).
- On a déplacé le deuxième récepteur de dix fois la longueur d'onde, donc la distance mesurée est  $10 \lambda$ .
- $v = \frac{\lambda}{T}$

### Bilan

- En prenant la valeur de dix longueurs d'onde ou périodes, l'incertitude de mesure est divisée par 10 puisque faite une seule fois à chaque extrémité de la mesure (réseau ou mètre ruban).
- L'expérimentateur a une influence, donc on peut faire plusieurs fois la mesure avec plusieurs expérimentateurs par exemple ou faire moyenne sur tous les groupes de TP.

### ⑤ Détermination de l'épicentre d'un séisme

a.

	VALF	CARF	FILF
$t_s$	13 h 24 min 00 s	13 h 23 min 58 s	13 h 24 min 04 s
$t_p$	13 h 23 min 57 s	13 h 23 min 55,5 s	13 h 23 min 59,5 s

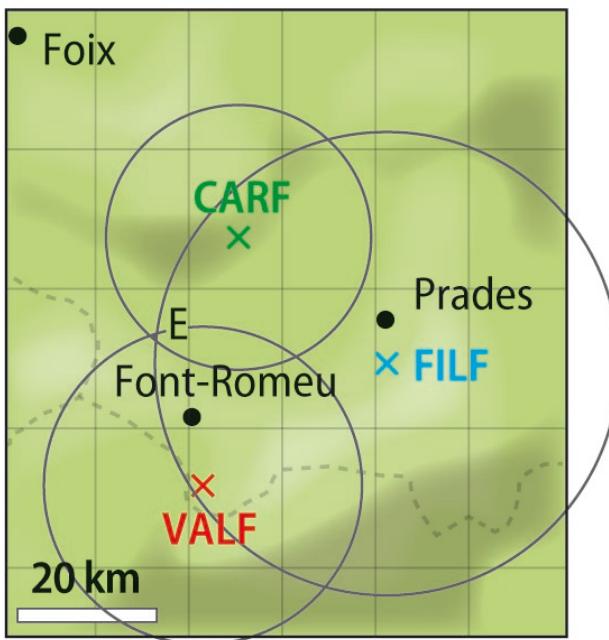
- b. La durée du trajet de l'onde S est  $t_s - t_0$ . La distance qu'elle parcourt est donc  $d = v_s(t_s - t_0)$ .

De même,  $d = v_p(t_p - t_0)$ .

- c. On exprime  $t_0 = \frac{v_s t_s - d}{v_s} = \frac{v_p t_p - d}{v_p}$  donc  $d = \frac{v_s v_p (t_s - t_p)}{v_p - v_s}$ .

	VALF	CARF	FILF
$d$	24 km	20 km	35 km

d. L'épicentre est repéré par le point E sur la carte, intersection des trois cercles.



### Bilan

- Voir le schéma ci-dessus.
- En réalité, ce point E correspond au point en surface de la Terre situé à la verticale de l'épicentre. Ceci limite la précision car les distances  $d$  mesurées ne sont pas en surface de la Terre. Et la méthode ne permet pas de connaître la position réelle du séisme en profondeur.
- La rigidité et la densité des matériaux de propagation des ondes P et S peut expliquer leur différence de célérité.

### Exercices

p. 340 à 349

- 24** a. Le retard entre les signaux reçus par les deux micros est  $\tau = 2,6 - 1,3 = 1,3$  ms.  
 b. La distance séparant les deux micros vaut donc  $d = vt = 340 \times 1,3 \times 10^{-3} = 0,44$  m.  
 c. L'enregistrement du signal commençant à l'émission du bip, il s'écoule donc 1,3 ms entre l'émission du bip et la réception par le premier micro ; donc 0,44 m entre le bip et le premier micro.

**28** Le retard de perception du son vaut  $\tau = \frac{d}{v_{\text{air}}} = \frac{5,3}{340} = 0,015$  s = 15 ms.

**30** La fréquence du son émis est :  
 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,0 \times 10^{-5}} = 1,0 \times 10^5$  Hz

- 32** a. La période du son émis vaut  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{880} = 1,14$  ms.  
 b. La longueur d'onde vaut donc  $\lambda = v_{\text{air}} T = 340 \times 1,14 \times 10^{-3} = 0,388$  m  
 c.  $\frac{0,92}{0,388} = 2,4$

Ces points ne sont pas en phase car ils ne sont pas séparés par un nombre entier de longueur d'onde.

- 33** a. Cette onde est périodique puisque le phénomène créant l'onde (l'agitation) est lui-même périodique.  
 b. La période de ce phénomène de fréquence  $f = 3,5$  Hz vaut  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{3,5} = 0,29$  s.  
 c. La longueur d'onde vaut  $\lambda = 15$  cm donc la célérité est  $v = \lambda f = 3,5 \times 0,15 = 0,52$  m·s<sup>-1</sup>.

- 34** la période  $T$  mesurée sur le graphe est  $T = 2,0$  ms (en mesurant  $7T$ ), donc la fréquence  $f$  est :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,0 \times 10^{-3}} = 5,0 \times 10^2 \text{ Hz}$$

- 36** a. Sur le document, 3,1 cm correspondent à 6,0 cm en réalité. Et on mesure 2,3 cm pour quatre écarts entre deux zones blanches, donc  $\lambda = \frac{2,3 \times 6,0}{4 \times 3,1} = 1,1$  cm.  
 La célérité de l'onde périodique est donc :  
 $v = \lambda f = 1,1 \times 20 = 22$  cm·s<sup>-1</sup>.  
 b. Si la fréquence double et que la longueur d'onde augmente, forcément la célérité change puisque  $v = \lambda f$ .

**37**

<b>AB</b>	12 cm	3,4 m	15 m	$1,0 \times 10^2$ m
<b><math>\tau_{AB}</math></b>	5,0 ms	10 ms	10 ms	10 s
<b>Célérité</b>	24 m·s <sup>-1</sup>	340 m·s <sup>-1</sup>	$1,5 \times 10^3$ m·s <sup>-1</sup>	36 km·h <sup>-1</sup>

- 39** a. La distance parcourue par le son entre les deux coureurs est  $d = 15 - 5 = 10$  m. Le retard de perception du signal est donc  $\tau = \frac{d}{v_{\text{air}}} = 29$  ms.  
 b. Cela crée une inégalité car il y a presque 30 ms d'écart donc trois centièmes de seconde.

**40**

	Onde 1	Onde 2	Onde 3	Onde 4
<b>Fréquence</b>	25 Hz	1,8 kHz	13 Hz	0,22 Hz
<b>Période</b>	40 ms	0,56 ms	75 ms	4,5 s
<b>Célérité</b>	340 m·s <sup>-1</sup>	22 m·s <sup>-1</sup>	0,20 m·s <sup>-1</sup>	25 km·h <sup>-1</sup>
<b>Longueur d'onde</b>	14 m	12 mm	1,5 cm	31 m

- 41** a. La salve verte est le premier signal reçu, donc correspond au micro le plus proche du coup. La salve orange correspond au micro le plus éloigné du coup.  
 b. La valeur du retard mesuré sur le graphe est  $\tau = 10 \times 10^{-5}$  s.  
 c. La célérité de l'onde dans la barre vaut donc :  
 $v = \frac{d}{\tau} = \frac{0,38}{10 \cdot 10^{-5}} = 3,8 \times 10^3$  m·s<sup>-1</sup>  
 d. Dans l'air, le retard vaut  $\tau = \frac{d}{v_{\text{air}}} = \frac{0,38}{340} = 1,1$  ms.  
 La célérité dépend du milieu de propagation, voilà pourquoi cette valeur est différente de la précédente.

**42** a. La vague est une onde mécanique progressive car il y a propagation de la vague sans que l'eau avance avec elle.

Elle n'est pas périodique car il y a une seule perturbation, lors du tremblement de Terre.

b. Le tsunami a mis environ  $\tau = 21$  h pour parcourir

$$d = 17 \times 10^3 \text{ km donc sa célérité est } v = \frac{d}{\tau} = \frac{17 \times 10^3}{21} = 8,1 \times 10^2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

c. Les ondes se sont propagées dans toutes les directions possibles sur la mer. Cet étalement de l'énergie, ainsi que l'amortissement par l'eau, font qu'elles ont eu une très faible amplitude arrivées à San Antonio.

**43** a. L'onde peut se propager dans deux milieux de propagation, l'air et le métal du tuyau, les célérités dans ces deux milieux sont différentes.

b. La distance parcourue par le son dans les deux cas est  $d = 10,0$  m. La durée du parcours dans le premier milieu est  $\tau_1 = 3,3 \times 10^{-3}$  s. La célérité dans le premier milieu est donc  $v_1 = \frac{d}{\tau_1} = \frac{10}{3,3 \times 10^{-3}} = 3,0 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### Question d'oral

La célérité d'une onde dépend des caractéristiques du milieu de propagation (rigidité, densité), de sa température, de sa pression, et peut dépendre des caractéristiques de l'onde elle-même.

**44** a. Les deux ondes sont reçues aux dates 9 h 16 min 10 s et 9 h 16 min 22 s.

b. Ce n'est pas un retard au sens défini dans le cours car ce sont deux ondes différentes enregistrées au même endroit dans ce cas présent.

c. La première est perçue avec un retard  $\tau_1 = 9 \text{ h } 16 \text{ min } 10 \text{ s} - 9 \text{ h } 15 \text{ min } 54 \text{ s} = 16 \text{ s}$

La distance parcourue étant  $d = 94,1$  km, la célérité de cette onde est  $v_1 = \frac{d}{\tau_1} = \frac{94,1}{16} = 5,9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

La deuxième est perçue avec un retard  $\tau_2 = 9 \text{ h } 16 \text{ min } 22 \text{ s} - 9 \text{ h } 15 \text{ min } 54 \text{ s} = 28 \text{ s}$ .

Sa célérité est donc  $v_2 = \frac{d}{\tau_2} = \frac{94,1}{28} = 3,4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

d. Avec la connaissance des célérités, on pourrait retrouver la distance parcourue (voir l'activité 5 p. 334).

**46** a. La période de cette onde est  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{3,5} = 0,29 \text{ s}$ .

b. Cette longueur sépare deux points en phase, donc c'est un nombre entier de fois la longueur d'onde, pas forcément une seule longueur d'onde.

c. Si on prenait pour célérité la valeur  $v = 6,9 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ , on aurait  $\lambda = vT = 6,9 \times 0,28 = 1,9 \text{ cm}$ . Donc 3,8 cm correspondent alors à deux fois la longueur d'onde.

Si  $\lambda = 1,9 \text{ cm}$  on a donc  $v = \lambda f = 1,9 \times 3,5 = 6,7 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**47** a. la chute de 21 gouttes correspond à 20 fois la période  $T$ . Donc  $20T = 10 \text{ s}$  donc  $T = 0,50 \text{ s}$  et  $f = \frac{1}{T} = 2,0 \text{ Hz}$ .

b.  $5\lambda = 2,0 \text{ cm}$  sur le document et 30 cm en réalité correspondent à 2,7 cm sur le document.

$$\text{Donc } \lambda = \frac{2,0 \times 30}{5 \times 2,7} = 4,4 \text{ cm.}$$

$$\text{La célérité vaut donc } v = \frac{\lambda}{T} = \frac{4,4}{0,5} = 8,8 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}.$$

**48** 1. Sur le graphique, on mesure  $T = 20 \text{ ms}$  donc :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-6}} = 50 \times 10^5 \text{ Hz}$$

2. Si l'expérience a lieu dans l'air, la célérité de l'onde

$$\text{est } v_{\text{air}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ donc } \lambda = v_{\text{air}} T = 340 \times 0,020 = 6,8 \text{ cm.}$$

3. a. La longueur de déplacement correspond à une longueur d'onde.

$$\text{Donc } \lambda = 2,5 \text{ cm donc } v = \frac{\lambda}{T} = \frac{0,025}{20 \times 10^{-6}} = 1,3 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Il s'agit donc du dihydrogène.

b. La période n'est pas modifiée, c'est la longueur d'onde qui change. Donc il y a toujours le même nombre de périodes affichées.

c. Il faut déplacer le second récepteur de plusieurs longueurs d'onde, par exemple en repassant cinq fois par des situations où les signaux sont en phase à l'écran, ce qui correspond à cinq longueurs d'onde.

**50** a. Il s'agit d'une onde mécanique progressive périodique sinusoïdale.

b. On peut déterminer l'amplitude et longueur d'onde.

c. Sur le document,  $3\lambda = 6,5 \text{ cm}$  donc  $\lambda = 2,2 \text{ cm}$ , donc

$$f = \frac{v_{\text{air}}}{\lambda} = \frac{340}{2,2 \times 10^{-2}} = 1,5 \times 10^4 \text{ Hz}$$

$$\text{et } T = \frac{\lambda}{v_{\text{air}}} = \frac{2,2 \times 10^{-2}}{340} = 6,5 \times 10^{-5} \text{ s.}$$

d. Les points en phase avec le point situé à l'abscisse 2,0 cm sont aux abscisses 4,2 cm ; 6,4 cm ; 8,6 cm. Il faut ajouter à chaque fois la valeur de la longueur d'onde.

e. 195  $\mu\text{s}$  plus tard cela correspond à  $t_0 + 3T$ , donc le signal aura la même allure.

f. La célérité change donc la longueur d'onde change mais la fréquence et la période ne changent pas.

**51** 1. a. OA = 2,50 m est égal à  $10\lambda$  puisqu'il y a dix motifs spatiaux de l'onde entre O et A. D'où  $\lambda = 0,25 \text{ m}$ .

b. On calcule  $T = \frac{1}{f} = 0,50 \text{ s}$ . Sur le graphe donnant

l'ordonnée de A en fonction du temps, on mesure bien  $10T = 5,0 \text{ s}$ .

$$\text{c. D'où } v = \frac{\lambda}{T} = 0,50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

d. A et B sont en phase car ils sont séparés d'un nombre entier de longueur d'onde. On le vérifie sur le simulateur.

2. a. v n'est pas modifiée.

$$T = \frac{1}{f} = 2,0 \text{ s et } \lambda = vT = 1,0 \text{ m.}$$

b. A et B sont séparés d'un nombre non entier de longueur d'onde, donc ne sont pas en phase (ils sont en opposition de phase car séparés de  $1,5\lambda$ ).

c. À la date  $t + 3T$ , A est à nouveau à un sommet car un nombre entier de périodes s'est écoulé.

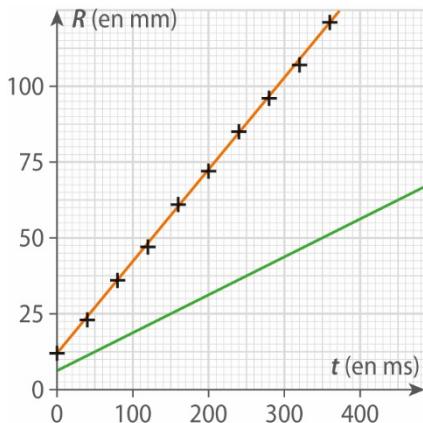
Pour les autres dates, une demi-période plus un nombre entier de période s'est écoulé, donc A est dans un creux. Pour B c'est l'inverse car A et B vibrent en opposition de phase.

## 52 1. a.

Image	1	2	3	4	5
R (en mm)	12	23	36	47	61
t (en ms)	0	40	80	120	160
Image	6	7	8	9	10
R (en mm)	72	85	96	107	121
t (en ms)	200	240	280	320	360

b. L'onde n'a pas été créée au début de la vidéo car  $R > 0$  pour  $t = 0$  s.

2. a. La profondeur est quatre fois plus petite donc la célérité étant proportionnelle à la racine carré de la profondeur est elle-même deux fois plus petite, donc la pente de la droite est deux fois plus petite (courbe en trait plein).



b. En haute mer, la profondeur de l'eau est supérieure à la profondeur de l'eau près de la côte donc le tsunami a une célérité supérieure en haute mer par rapport à la célérité près de la côte.

53 1. la distance parcourue correspond à un aller-retour donc elle vaut  $2L$ .

2. a.  $\tau$  est la durée séparant la réception du son par les deux récepteurs.

b. Le son se propage plus vite dans l'eau donc le premier signal reçu est celui se propageant dans l'eau (trace 2, voie B).

c.  $2L = t_{\text{air}}v_{\text{air}}$

d.  $2L = t_{\text{eau}}v_{\text{eau}}$

e.  $\tau = t_{\text{air}} - t_{\text{eau}}$

f. On en déduit  $\tau = \frac{2L}{v_{\text{air}}} - \frac{2L}{v_{\text{eau}}} \text{ donc } \frac{1}{v_{\text{air}}} - \frac{1}{v_{\text{eau}}} = \frac{\tau}{2L}$ ,

donc  $v_{\text{eau}} = \frac{2Lv_{\text{air}}}{2L - \tau v_{\text{air}}} = 1,5 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

4. Les paramètres influençant la précision de la détermination de la célérité est la précision de la mesure de la taille de l'aquarium et celle de  $\tau$ . Pour améliorer cette précision on peut allonger l'aquarium, faire plusieurs mesures et prendre des moyennes, zoomer davantage pour  $\tau$ , etc.

5. a. La célérité des ondes dans le glycérol est supérieure à celle dans l'eau donc  $\tau$  est plus grand.

b.  $\tau = \frac{2L}{v_{\text{air}}} - \frac{2L}{v_{\text{g}}} = 2,7 \text{ ms}$

54 1. Sur le document, 14 cm correspondent à dix fois la longueur d'onde  $\lambda$ .

Donc  $\lambda = 1,4 \text{ cm} = 1,4 \times 10^{-2} \text{ m}$ . La célérité de l'onde est donc  $v = \lambda f = 1,4 \times 10^{-2} \times 23 = 0,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

2. a.  $\lambda = 60 \text{ m}$  et  $h = 3000 \text{ m}$ , donc  $\lambda < 0,5h$ . Dans ces conditions, la célérité de l'onde se calcule avec la relation

$$v_b = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} = \sqrt{\frac{9,8 \times 60}{2\pi}} = 9,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ donc } T = \frac{\lambda}{v_b} = \frac{60}{9,7} = 6,2 \text{ s.}$$

b. Pour une onde longue la célérité est  $v_c = \sqrt{gh} = \sqrt{9,8 \times 4,0} = 6,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

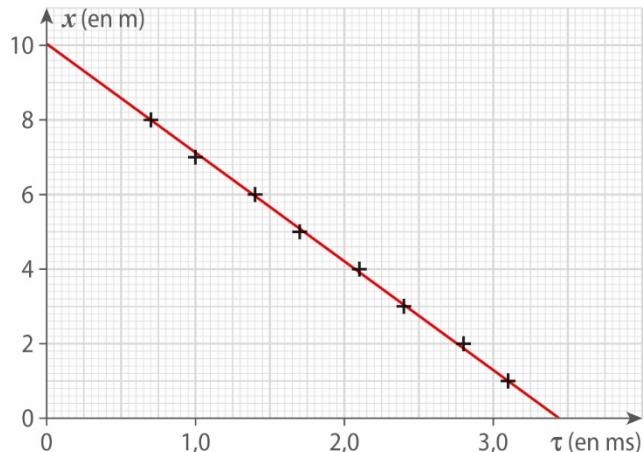
La longueur d'onde de l'onde est donc :  $\lambda_c = v_c T = 6,3 \times 6,2 = 39 \text{ m}$

55 a. L'onde doit parcourir vers un capteur la distance  $x$  et vers l'autre capteur la distance  $L - x$ .

Donc la durée de propagation de l'onde jusqu'au premier capteur est  $t_1 = \frac{x}{v_{\text{acier}}}$  et, jusqu'à l'autre capteur,  $t_2 = \frac{L - x}{v_{\text{acier}}}$ .

Donc  $\tau = t_2 - t_1 = \frac{L - x}{v_{\text{acier}}} - \frac{x}{v_{\text{acier}}} = \frac{L - 2x}{v_{\text{acier}}}$ .

b.



L'équation de la droite tracée est  $x = a\tau + b$  avec  $b = 10 \text{ m}$  et  $a = 2,8 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Et d'après la question a, on déduit  $x = \frac{L}{2} - \frac{v_{\text{acier}}\tau}{2}$  donc  $v_{\text{acier}} = 2a = 5,6 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 56

## Questions préliminaires

1. Faire un schéma représentant un aller-retour.

2. Le capteur unique est donc à la fois émetteur et récepteur, le sonar émet des salves à intervalles de temps réguliers, il faut donc que le retour du signal émis ait lieu avant l'émission de la salve suivante et il ne faut pas que le signal émis revienne avant que l'émission soit finie.

## Problème

La durée d'un aller-retour doit donc être supérieure à  $\Delta t_1 = 1,7 \text{ ms}$  et inférieure à  $\Delta t_2 = 12 \text{ ms}$ .

La distance minimale entre le détecteur et l'obstacle est donc  $d_1 = \frac{v_{\text{air}}\Delta t_1}{2} = 0,29 \text{ m}$ .

La distance maximale est  $d_2 = \frac{v_{\text{air}}\Delta t_2}{2} = 2,0 \text{ m}$ .

Il faut donc d'autres systèmes adaptés pour les distances plus grandes mais aussi pour des déplacements à vitesse élevée, en effet dans ce calcul on a considéré le sonar à l'arrêt.

57

### Questions préliminaires

Le chronomètre est déclenché à la vue de la lumière de la flamme et est arrêté à la perception du son.

On fait l'hypothèse que la lumière est perçue instantanément.

#### Problème

La distance parcourue par l'onde dans l'eau est  $d = 13\,487 \text{ m}$ . La durée du parcours est  $\tau = 9,4 \text{ s}$ .

La vitesse mesurée expérimentalement est donc  $v_{\text{eau}} = \frac{d}{\tau} = 1,435 \times 10^3 \text{ s}$  (en conservant temporairement trop de chiffres significatifs).

D'après le document 2, l'incertitude sur la distance est  $U(d) = 20 \text{ m}$  et celle sur la durée est  $U(\tau) = 0,25 \text{ s}$ .

On en déduit l'incertitude sur la vitesse :

$$(v_{\text{eau}}) = v_{\text{eau}} \sqrt{\left(\frac{U(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{U(\tau)}{\tau}\right)^2} = 38 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

L'encadrement de la célérité du son dans l'eau est donc  $1\,397 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} < v_{\text{eau}} < 1\,473 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

À  $14^\circ\text{C}$ , d'après le document 4, la vitesse du son dans l'eau vaut est  $1\,460 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

L'encadrement est satisfaisant car la valeur théorique attendue est dans cet intervalle.

58 La longueur d'onde est l'invariant car la taille du saxophone ne change pas.

À  $0^\circ\text{C}$  la célérité du son dans l'air est :

$$v_0 = 20,07\sqrt{273,15} \\ = 332 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

et, à  $20^\circ\text{C}$ , elle vaut  $v_{20} = 344 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

La fréquence en intérieur est  $f_1 = 440 \text{ Hz}$ , donc la longueur d'onde du son est  $\lambda = \frac{v_0}{f_1} = \frac{344}{440} = 0,781 \text{ m}$ .

En extérieur, la fréquence perçue est donc :

$$f_2 = \frac{v_{20}}{\lambda} = \frac{332}{0,781} \\ = 425 \text{ Hz}$$

Le quotient des deux fréquences est  $\frac{f_1}{f_2} = \frac{440}{425} = 1,04$ .

C'est supérieur à 1,002, donc l'oreille distingue bien une différence entre les deux sons.

# 16. Images et couleurs

## Activités

p. 354 à 358

### ① Observation d'une image, mise au point

1. a.  $f'_1 = \frac{1}{C_1} = \frac{1}{5,0} = 0,20 \text{ m} = 20 \text{ cm}$ .
- b. L'image a la même taille que l'objet lorsque la distance lentille-objet vaut 40 cm. Cela correspond au double de la distance focale soit  $2f'_1$ .
- c. Pour une distance lentille-objet inférieure à 20 cm, il n'est pas possible d'observer une image sur l'écran. C'est la valeur de la distance focale de la lentille  $f'_1$ .
2. a. L'observation d'un objet lointain correspond à l'étape 2. Celle d'un objet proche correspond à l'étape 4 (mise au point).
- b. La mise au point d'un appareil reflex correspond au protocole A, car on change les positions relatives de l'écran et de la lentille.
- La mise au point d'un smartphone correspond au protocole B, car on change la vergence de la lentille.
- c. L'accommodation de l'œil correspond au protocole B : la vergence du cristallin est modifiée.

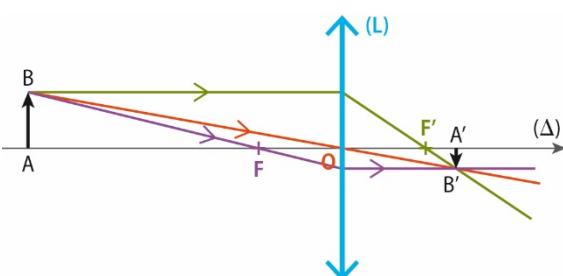
#### Bilan

- On observe une image virtuelle si l'objet est placé entre le foyer objet de la lentille et la lentille.

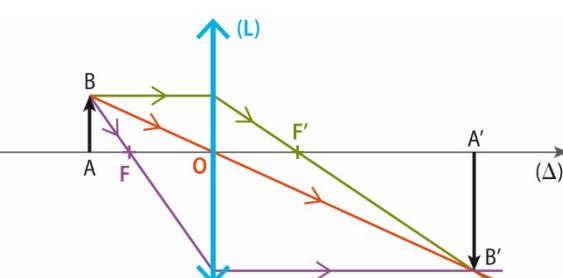
	Image		
	Agrandie ou rétrécie	Réelle ou virtuelle	Droite ou renversée
$ OA  > 2f'$	Rétrécie	Réelle	Renversée
$ OA  = 2f'$	Même taille	Réelle	Renversée
$f' <  OA  < 2f'$	Agrandie	Réelle	Renversée
$ OA  < f'$	Agrandie	Virtuelle	Droite

- Tracés pour chaque mode de mise au point.

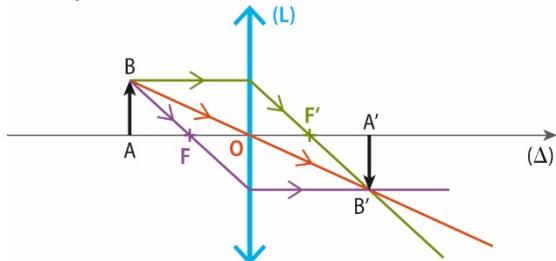
- Objet lointain



- Objet proche, mise au point A ( $f'$  ne change pas mais  $OA'$  augmente)



- Objet proche, mise au point B ( $OA'$  ne change pas, mais  $f'$  diminue)



### ② Distance focale d'une lentille convergente

Les mesures ont été faites avec une lentille de vergence attendue  $C = 5,0 \delta$  donc de distance focale attendue 20 cm.

#### a. Autocollimation

On mesure  $f' = 20,0 \text{ cm}$  avec une marge de 0,2 cm, donc l'incertitude est  $\Delta x = 0,2 \text{ cm}$ .

D'où  $f' = 20,0 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}$ .

#### b. Méthode de Bessel

Pour le calcul de  $f'$  dans ce tableau, on conserve temporairement tous les chiffres en vue du calcul d'incertitude.

$D$ (cm)	$d$ (cm)	$x_1$ (cm)	$x_2$ (cm)	$f'$ (cm)
85	20,9	31,8	52,7	19,9652647059
90	29,6	30,0	59,6	20,0662222222
95	37,7	28,5	66,2	20,0097631579
100	44,3	27,6	71,9	20,093775
105	51,2	26,8	78,0	20,0084761905
110	57,4	26,0	83,4	20,0119090909
115	62,9	25,7	88,6	20,1491086957
120	68,9	25,3	94,2	20,1099791667
130	80,6	24,6	105,2	20,007
140	91,7	24,0	115,7	19,984125
150	102,2	23,8	126,0	20,0919333333
160	112,9	23,4	136,3	20,083734375
170	123,6	23,0	146,6	20,0338823529

Calcul :  $f' = 20,05 \text{ cm}$  et  $U_A(f') = 0,04 \text{ cm}$ .

On a donc  $f' = 20,05 \text{ cm} \pm 0,04 \text{ cm}$ .

- c. La valeur attendue se trouve dans l'intervalle de confiance pour la première méthode, pas pour la deuxième. On a probablement sous-estimé la valeur de l'incertitude dans la deuxième méthode : on n'a pas pris en compte les sources d'erreur systématique (type B).

#### Bilan

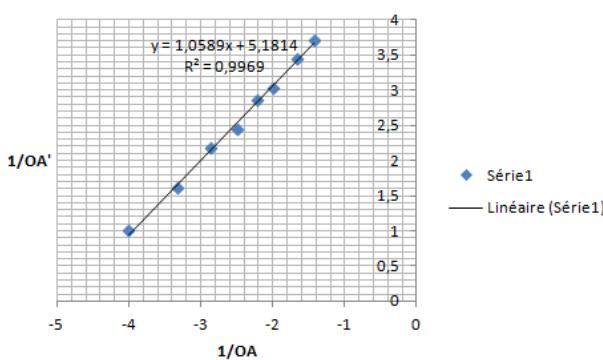
La deuxième méthode, utilisant la répétabilité, est plus longue mais meilleure que la première, qui ne tient compte que d'une seule mesure. L'incertitude relative est plus faible dans la deuxième méthode.

On pourrait utiliser l'autocollimation dans des conditions de répétabilité, ou prendre en compte les erreurs systématiques dans la méthode de Bessel.

### ③ Relation de conjugaison

a.

$\overline{OA}$ (cm)	-0,7	-0,6	-0,5	-0,45
$\overline{OA'}$ (cm)	0,27	0,29	0,33	0,35
$x$ (cm)	-1,42857143	-1,66666667	-2	-2,22222222
$y$ (cm)	3,7037037	3,44827586	3,03030303	2,85714286
$\overline{OA}$ (cm)	-0,4	-0,35	-0,3	-0,25
$\overline{OA'}$ (cm)	0,41	0,46	0,62	1
$x$ (cm)	-2,5	-2,85714286	-3,33333333	-4
$y$ (cm)	2,43902439	2,17391304	1,61290323	1



On obtient une droite-modèle de coefficient directeur  $a = 1,06$  et d'ordonnée à l'origine  $b = 5,2 \text{ m}^{-1}$ .

La relation de conjugaison s'écrit :  $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OF'}}$

La courbe représente une fonction affine :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = a \times \frac{1}{\overline{OA}} + b$$

Par identification, cette relation est compatible avec la relation de conjugaison si  $a = 1$  et  $b = \frac{1}{\overline{OF'}}$ .

Ici  $a = 1,06 \approx 1$  aux incertitudes de mesures près.

b.  $b = \frac{1}{\overline{OF'}} = C = 5,2 \text{ m}^{-1} = 5,2 \text{ dm}^{-1}$  donc  $f' = \frac{1}{C} = 19 \text{ cm}$ .

Écart relatif :  $\left| \frac{X_{\text{exp}} - X_{\text{att}}}{X_{\text{att}}} \right| = \left| \frac{X_{\text{exp}} - 20}{20} \right| = \left| \frac{19 - 20}{20} \right| = 5 \%$ .

La valeur obtenue pour  $f'$  est plutôt satisfaisante et proche de la valeur attendue.

#### Bilan

La méthode utilisée permet d'estimer la valeur de la distance focale de la lentille utilisée. La valeur obtenue est une approximation mais pas une valeur exacte.

D'autres techniques de mesure de la distance focale sont plus précises et plus couramment utilisées comme l'autocollimation ou la méthode de Bessel (voir activité 2).

### ④ Synthèse des couleurs

#### 1. Utilisation des sources de couleurs primaires

a. L'œil est constitué de trois types de récepteurs ayant des sensibilités importantes, l'un dans le rouge, un autre dans le vert et le dernier dans le bleu. Cela justifie l'utilisation de ces trois couleurs.

b. Rouge et vert superposés donnent du jaune ; bleu et vert donnent du cyan ; rouge et bleu donnent du magenta. Les trois couleurs superposées donnent du blanc.

#### 2. Utilisation des filtres de couleurs secondaires

a. Que le filtre jaune soit perçu jaune signifie qu'il diffuse du jaune car si nous le voyons jaune c'est que la lumière jaune parvient à notre œil.

b. En superposant les filtres jaune et cyan, la lumière transmise est verte ; jaune et magenta donnent du rouge ; cyan et magenta donnent du bleu. Les trois filtres superposés empêchent la quasi totalité de la lumière de passer, donc on obtient une couleur proche du noir.

c. La couleur complémentaire est la couleur absorbée par le filtre. Les filtres cyan et magenta laissent passer le bleu ; quand on ajoute le filtre jaune, le bleu est absorbé donc la couleur complémentaire du jaune est le bleu. De même, la couleur complémentaire du cyan est le rouge et la couleur complémentaire du magenta est le vert.

#### 3. Quelques exemples.

Couleur de l'objet	Couleur de la lumière	Couleur observée
Blanc	Bleu	Bleu
Rouge	Bleu	Noir
Rouge	Jaune	Rouge
Magenta	Jaune	Rouge
Vert	Magenta	Noir
Bleu	Cyan	Bleu

Un objet blanc renvoie toutes les couleurs, donc éclairé en bleu il renvoie le bleu.

Un objet rouge absorbe le vert et le bleu, donc éclairé en jaune, qui est un mélange de rouge et de vert, il ne renvoie que le rouge.

Un objet magenta renvoie le rouge et le bleu, donc éclairé en jaune, qui est constitué de vert et de rouge, il renvoie le rouge.

#### Bilan

On reproduit les doc. 17 p. 362 et 20 p. 363.

### ⑤ Couleurs des images

1. a. L'œil est constitué de trois types de récepteurs ayant des sensibilités importantes l'un dans le rouge, un autre dans le vert et le dernier dans le bleu. Cela justifie l'utilisation de ces trois couleurs.

b. Rouge : R 100 % V 0 % B 0 % (autre solution possible avec le pourcentage que l'on veut pour R, les deux autres à 0).

Cyan : même pourcentage pour les pixels V et B, et 0 pour R.

Jaune : même pourcentage pour les pixels R et V et 0 pour le B.

Blanc : tous les pixels au même pourcentage ; plus celui-ci est proche de 100 %, plus le blanc est lumineux.

c. Chaque pixel peut prendre 256 valeurs (de 0 à 255), donc le nombre de nuances de couleur théorique est  $256 \times 256 \times 256 = 16\,777\,216$ , soit près de 17 millions de nuances différentes (évidemment, l'œil n'est pas capable de distinguer toutes ces nuances).

2. a. Les principes sont comparables, chaque pixel se comporte comme une source de lumière primaire pour les écrans LCD. Dans le pointillisme, chaque tache de couleur se comporte comme une source de lumière secondaire. Les deux techniques sont assimilables à de la synthèse additive.

b. Le peintre qui mélange des couleurs utilise la technique de la synthèse soustractive ; en effet, la superposition des couleurs revient à une superposition de filtres de couleurs.

3. Le principe de fonctionnement de l'imprimante est basé sur la synthèse soustractive. La superposition des couleurs jaune et cyan permet d'obtenir du vert, couleur qui ne sera pas absorbée par le jaune et le cyan. Pour obtenir du noir, on peut superposer les trois couleurs jaune, cyan et magenta. Pour faire des économies d'encre, on préfère utiliser une cartouche d'encre noire.

### Bilan

- Les couleurs émises par écran LCD sont sur le principe de la synthèse additive (différentes sources de lumière, couleurs primaires, la superposition des couleurs donne du blanc). Les couleurs perçues en pointillisme sont aussi sur le principe de la synthèse additive : différentes sources de lumières (secondaires) chaque tache d'encre peut être considérée comme source de lumière (elle diffuse la lumière reçue). L'impression jet d'encre est basée sur le principe de la synthèse soustractive : la superposition des encres correspond à la superposition de filtres de couleurs, la superposition de toutes les couleurs donne du noir.

- Le vidéoprojecteur fonctionne sur le même principe que les écrans de télévision LCD, les couleurs émises le sont par des pixels RVB. Il s'agit donc de synthèse additive.

### Exercices

p. 366 à 377

30 a. La bande bleue diffuse le bleu, la bande rouge absorbe la couleur complémentaire du rouge, soit le cyan.

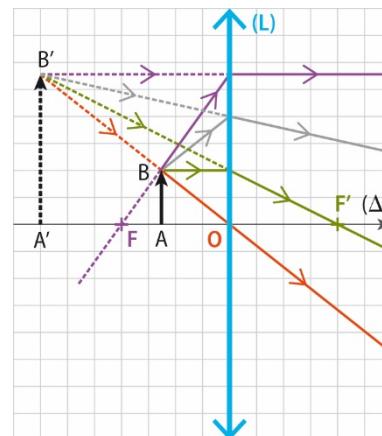
b. Éclairée en magenta, la bande bleue reste bleue, la bande blanche est perçue magenta et la bande rouge est perçue rouge donc le drapeau sera perçu bleu, magenta rouge.

c. La bande blanche devenant jaune, on part du principe que le drapeau est éclairé en jaune. Le bleu éclairé en jaune donne du noir car ce sont des couleurs

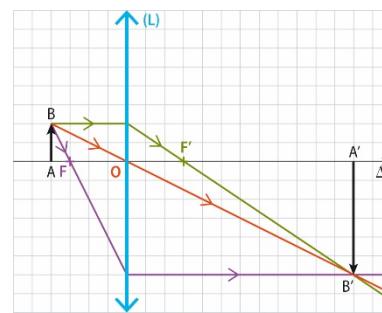
complémentaires et le rouge éclairé en jaune reste rouge ; on obtient donc bien le drapeau belge.

33 a.  $f' = \frac{1}{c} = \frac{1}{25,0} = 0,040 \text{ m} = 4,0 \text{ cm}$ .

b. Voir figure ci-après.



34 a.



On mesure  $\overline{OA'} = 12 \text{ cm}$  et  $\overline{A'B'} = -6 \text{ cm}$ .

b.  $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} \text{ donc } \overline{OA'} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}} = \frac{1}{\frac{1}{-4,0} + \frac{1}{3,0}} = 12 \text{ cm}$

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

$$\text{donc } \overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \overline{AB}$$

$$= \frac{12}{-4,0} \times 2,0$$

$$= -6,0 \text{ cm}$$

c. L'image est réelle.

35  $C = \frac{1}{f'}$  donc la distance focale de la lentille est

$$f' = \frac{1}{C} = 0,10 \text{ m} = 10 \text{ cm}.$$

$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} \text{ donc } \overline{OA} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{f'}} = \frac{1}{\frac{1}{30} - \frac{1}{10}} = -15 \text{ cm} : \text{ il faut placer l'objet 15 cm devant la lentille.}$

36 a.  $\overline{OA} = -6,0 \text{ cm} ; \overline{OF'} = f = \frac{1}{c} = \frac{1}{20} = 0,050 \text{ m} = 5,0 \text{ cm}$ .

b.  $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} \text{ donc } \overline{OA'} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}} = \frac{1}{\frac{1}{-6,0} + \frac{1}{5,0}} = 30 \text{ cm.}$

c.  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{30}{-6,0} = -5,0$ .

d.  $\overline{A'B'} = \gamma \overline{AB} = -5 \times 2,0 = -10 \text{ cm.}$

e. L'image est réelle, renversée, agrandie.

**40** On peut obtenir du magenta avec les spots rouge et bleu ; du cyan avec des spots bleu et vert.  
On ne peut pas obtenir le blanc : il faudrait les trois couleurs primaires donc trois spots.

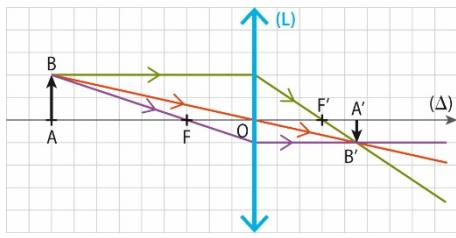
**42** Filtre jaune : on observe du vert car le jaune laisse passer le vert et le rouge.  
Filtre magenta : on observe du noir car le vert et le magenta sont complémentaires.  
Filtre cyan et jaune superposés : on observe du vert car ces deux filtres laissent passer le vert.

**43** Éclairée en bleu la casquette est vue noire car le vert absorbe le bleu.  
En jaune elle est vue verte car le jaune est un mélange vert et rouge. La casquette absorbe donc le rouge mais diffuse le vert.  
Elle est perçue noire éclairée en magenta car le magenta est un mélange rouge et bleu, or le vert absorbe le rouge et le bleu.

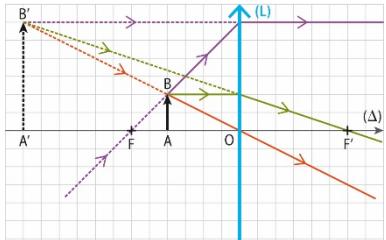
**45** a. Les parties bleues diffusent et transmettent le bleu car c'est la couleur dont nous le percevons que nous soyons d'un côté ou de l'autre du vitrail, mais elles ne l'absorbent pas.  
b. Toutes les parties bleues sont vues bleues et les parties rouges sont perçues noires, les parties blanches sont perçues bleues et la partie verte est perçue noire car elle吸吸收 le bleu.

**46** a.

(1)



(2)



b. (1) : l'image est renversée, rétrécie, réelle.  
(2) : l'image est droite, agrandie, virtuelle.

$$c. \text{ (1)} \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{-1}{2} = -\frac{1}{2}$$

$$\text{ (2)} \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{6}{2} = 3$$

**47** (1) On utilise la relation de conjugaison :  $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}$   
donc  $\overline{OA'} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}} = \frac{1}{\frac{1}{-18} + \frac{1}{6}} = 9 \text{ cm}$

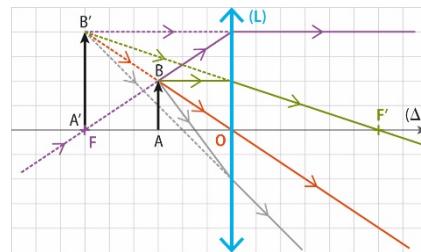
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \text{ donc } \overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \times \overline{AB} = \frac{9}{-18} \times 4 = -2 \text{ cm}$$

$$\text{ (2) De même, } \overline{OA'} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}} = \frac{1}{\frac{1}{-8} + \frac{1}{12}} = -24 \text{ cm}$$

$$\overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \times \overline{AB} = \frac{-24}{-8} \times 4 = 12 \text{ cm}$$

**49** a.  $C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0,06} = 17 \delta$

b.



c. On mesure :  $\overline{A'B'} = 4 \text{ cm}$  et  $\overline{OA'} = -6 \text{ cm}$ . L'image est virtuelle car elle est placée du même côté que l'objet.

#### 50 • Exercice 48

On utilise la relation de conjugaison :  $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}$   
donc  $\overline{OA'} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}} = \frac{1}{\frac{1}{-12} + \frac{1}{4,0}} = 6,0 \text{ cm}$ .

Le grandissement s'exprime  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$   
donc  $\overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \times \overline{AB} = \frac{6,0}{-12} \times 4,0 = -2,0 \text{ cm}$

#### • Exercice 49

On utilise la relation de conjugaison :  $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}$   
donc  $\overline{OA'} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}} = \frac{1}{\frac{1}{-3,0} + \frac{1}{6,0}} = -6,0 \text{ cm}$

Le grandissement s'exprime  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$   
donc  $\overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \times \overline{AB} = \frac{-6,0}{-3,0} \times 2,0 = 4,0 \text{ cm}$

**51** Situation (1) : l'image est renversée, agrandie, réelle.  
Situation (2) : l'image est droite, agrandie, virtuelle.  
Situation (3) : l'image est droite, agrandie, virtuelle.  
Situation (4) : l'image est renversée, rétrécie, réelle.

**52** a. Le grandissement s'exprime  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$  donc les valeurs obtenues sont :

- (1) :  $\gamma = -3,3$  ; (2) :  $\gamma = 0,50$  ;
- (3) :  $\gamma = 2,6$  ; (4) :  $\gamma = -0,60$

b.  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$  donc  $\overline{OA} = \frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}} \times \overline{OA'}$

- (1) :  $\overline{OA} = -2,4 \text{ cm}$  ; (2) :  $\overline{OA} = -7,5 \text{ cm}$  ;
- (3) :  $\overline{OA} = -6,7 \text{ cm}$  ; (4) :  $\overline{OA} = -18 \text{ cm}$

On peut alors utiliser la relation de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} \text{ donc } f' = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}}$$

- (1) :  $f' = 1,8 \text{ cm}$  ; (2) :  $f' = 15 \text{ cm}$  ;
- (3) :  $f' = 11 \text{ cm}$  ; (4) :  $f' = 6,9 \text{ cm}$

**53** a. Le grandissement s'exprime  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$

b.

	$\overline{AB}$	$\overline{A'B'}$	$\gamma$
Situation ①	5,0 cm	-10 cm	-2,0
Situation ②	20 cm	-10 cm	-0,50
Situation ③	2,0 cm	8,0 cm	+4,0
Situation ④	-2,0 cm	2,0 cm	-1,0

- c. L'image est agrandie pour les cas ① et ③, rétrécie pour le cas ② et de même taille pour le cas ④.  
d. L'image est droite pour le cas ③ et renversée pour les cas ①, ② et ④.

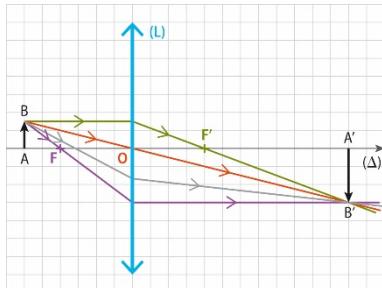
54 Pour savoir si une image est réelle ou virtuelle, il faut comparer les valeurs de  $\overline{OA}$  et  $\overline{OA'}$ . Si ces grandeurs ont le même signe, l'image est virtuelle, si leur signe est opposé, l'image est réelle.

Pour savoir si une image est droite ou renversée, il faut comparer les valeurs de  $\overline{AB}$  et  $\overline{A'B'}$ . Si leur signe est le même, l'image est droite, sinon l'image est renversée.  
Pour savoir si une image est agrandie ou rétrécie, il faut comparer les valeurs absolues de  $\overline{AB}$  et  $\overline{A'B'}$ .

56

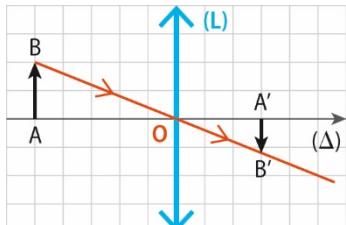
	$\overline{AB}$	$\overline{OA}$	$\overline{OA'}$	$\overline{A'B'}$	$f$
①	12 cm	-7,0 cm	-23,3 cm	3,6 cm	10 cm
②	24 cm	-14 cm	7,8 cm	13,5 cm	5,0 cm
③	3,8 cm	-10,5 cm	63 cm	-23 cm	9,0 cm
④	-4,7 cm	-18,7 cm	-74,2 cm	19 cm	25,0 cm
⑤	-7,0 cm	-23,4 cm	51 cm	15,1 cm	16 cm

57 a.

b. On mesure  $\overline{A'B'} = -3,0$  cm

c.  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{-3,0}{1,5} = -2,0$

58 a.



b. D'après le théorème de Thalès, on peut écrire

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$
 donc  $\overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \overline{AB} = \frac{3,0}{-5,0} \times 2,0 = -1,2$  cm

c.  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{-1,2}{2,0} = -0,60$  ou  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OA}} = \frac{3,0}{-5,0} = -0,60$ .

59 1. a. La relation reliant  $\overline{OA'}$ ,  $\overline{OA}$  et  $f$  est la relation de conjugaison :  $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f}$

b. Le grandissement s'exprime  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

2.

	$\overline{AB}$	$\overline{OA}$	$\overline{OA'}$	$\gamma$	$\overline{A'B'}$
①	8,0 cm	-50,0 cm	16,7 cm	-0,33	-2,7 cm
②	8,0 cm	-25,0 cm	25,0 cm	-1,0	-8,0 cm
③	8,0 cm	-18,0 cm	40,9 cm	-2,3	-18 cm
④	8,0 cm	-12,5 cm	Infini	/	/
⑤	8,0 cm	-10,0 cm	-50,0 cm	+5,0	+40 cm

3. ① L'image est réelle, renversée, rétrécie.

② L'image est réelle, renversée, de même taille.

③ L'image est réelle, renversée, agrandie.

④ L'image est à l'infini.

⑤ L'image est virtuelle, agrandie.

4. À l'aide du simulateur, on retrouve bien les résultats ci-dessus.

60 1. À l'aide du simulateur, on mesure :

a.  $\overline{OA} = -17$  cm

b.  $\overline{OA} = -7,5$  cm

2. La distance focale de la lentille est :

$$f' = \frac{1}{c} = \frac{1}{10,0} = 0,100 \text{ m} = 10,0 \text{ cm}$$

a.  $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} \text{ donc } \overline{OA} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{f'}} = \frac{1}{\frac{1}{25} - \frac{1}{10,0}} = -17 \text{ cm}$

b. Le grandissement s'écrit  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$   
donc  $\overline{OA'} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \overline{OA} = \gamma \overline{OA}$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} \text{ soit } \frac{1}{\gamma \overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}$$

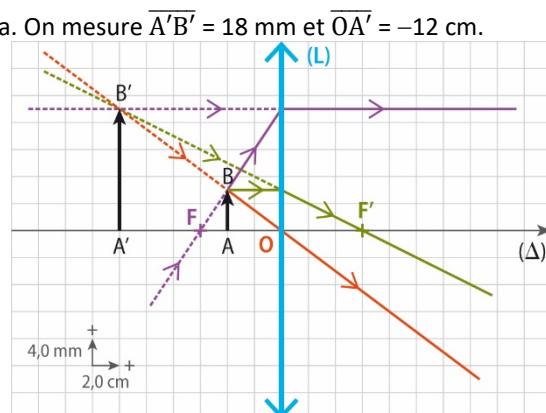
ou encore  $\frac{1-\gamma}{\gamma \overline{OA}} = \frac{1}{f'} \text{ donc } \overline{OA} = \frac{(1-\gamma)f'}{\gamma}$

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{20}{5,0} = 4,0 \text{ et } f' = 10,0 \text{ cm}$$

Donc  $\overline{OA} = \frac{(1-\gamma)f'}{\gamma} = -7,5 \text{ cm}$

61 a. C'est la distance focale donc  $\overline{OA'} = f' = \frac{1}{c} = \frac{1}{20} = 0,050 \text{ m} = 5,0 \text{ cm}$ b. D'après la relation de conjugaison  $\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} \text{ donc } \overline{OA'} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}} = \frac{1}{\frac{1}{-1,3 \times 10^2} + \frac{1}{5,0}} = 5,2 \text{ cm}$ c. D'après les relations du grandissement  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$   
donc  $\overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \times \overline{AB} = \frac{5,2}{-1,3 \times 10^2} \times 35 = -1,4 \text{ cm}$ .

d. L'image est renversée, rétrécie, réelle.

62 a. On mesure  $\overline{A'B'} = 18 \text{ mm}$  et  $\overline{OA'} = -12 \text{ cm}$ .

b. D'après la relation de conjugaison  $\frac{1}{OA'} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f'}$  donc  $OA' = \frac{1}{\frac{1}{OA} + \frac{1}{f'}} = \frac{1}{\frac{1}{-4,0} + \frac{1}{6,0}} = -12 \text{ cm}$ .

c. D'après les relations du grandissement  $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$  donc  $A'B' = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} AB = \frac{-12}{-4,0} \times 6,0 = 18 \text{ mm}$ .

d. L'image est virtuelle, droite, agrandie. Elle ne peut pas être visualisée sur un écran.

**64** 1. L'objet blanc n'absorbe aucune couleur, il diffuse le rouge.

2. L'objet rouge absorbe toutes les couleurs sauf le rouge donc, éclairé en rouge, il diffuse le rouge.

3. a. Le magenta est un mélange de rouge et de bleu. Il peut donc diffuser le rouge, le bleu et le mélange des deux donc le magenta.

L'objet est éclairé en cyan (mélange bleu et vert) donc diffuse le bleu et absorbe le vert.

b. Cet objet éclairé en vert ne diffuse rien et absorbe le vert, car ce sont des couleurs complémentaires.

4. Cet objet diffuse le vert et absorbe le bleu : éclairé en cyan, il paraît donc vert car le cyan est un mélange de vert et de bleu.

5. L'objet étant vu noir éclairé en bleu, il peut être soit vert, soit rouge soit jaune (mélange de rouge et de vert).

Le magenta est un mélange de rouge et de bleu : s'il est vu rouge c'est qu'il est soit rouge, soit jaune. Donc l'objet peut être jaune ou rouge.

**65** a. Pour former du cyan, il faut allumer les LED verte et bleue ; pour former du jaune, les LED rouge et verte ; pour former du magenta, les LED rouge et bleue. Pour former du noir, aucune ne doit être allumée.

b. Si l'on zoomé, on voit une succession de LED de couleurs rouge, verte, bleue. Les récepteurs sur la rétine étant petits, à partir d'une certaine distance, ils ne distinguent plus ces LED les unes des autres, donc on observe du blanc.

**66** a.

	C	O	U	L	E	U	R
Bleu	Noir	Bleu	Noir	Noir	Bleu	Bleu	Noir
Vert	Noir	Noir	Noir	Vert	Vert	Noir	Vert
Cyan	Noir	Bleu	Noir	Vert	Cyan	Bleu	Rouge
Magenta	Rouge	Bleu	Noir	Noir	Bleu	Magenta	Rouge

b. Avec un filtre, on observe les mêmes couleurs que celles indiquées dans le tableau ci-dessus.

**68** 1. a. Pour imprimer le rouge, on utilise les cartouches magenta et jaune car la superposition de ces deux couleurs donne du rouge (synthèse soustractive). Pour imprimer le bleu, on utilise les cartouches magenta et cyan.

b. Le noir est obtenu en synthèse soustractive en mélangeant les trois couleurs jaune, cyan et magenta. Le blanc est obtenu sans rien déposer si on utilise une feuille blanche.

2. Le jaune étant vide, le bleu étant obtenu par superposition du cyan et du magenta sera bleu mais le vert obtenu par superposition du jaune et du cyan sera cyan et le rouge obtenu par superposition du jaune et de magenta sera magenta.

3. Le texte sera imprimé en blanc et bleu (superposition du cyan et du magenta, la cartouche jaune étant vide).

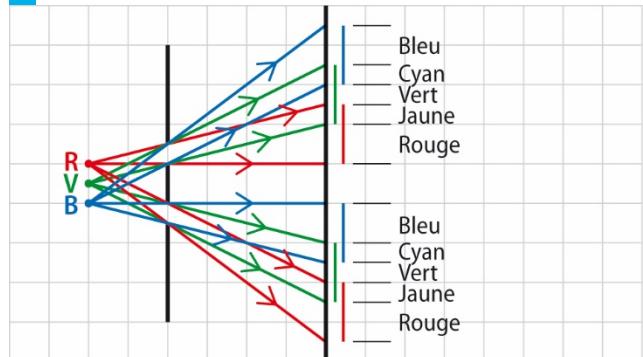
**69** a. On perçoit du blanc car on a de la synthèse additive avec addition des trois couleurs primaires.

b. Elles peuvent être toutes allumées en moins de 0,04 s donc la persistance rétinienne joue son rôle et donne l'impression de voir les trois allumées : on perçoit encore du blanc.

c. L'œil ne perçoit alors qu'une seule couleur à la fois, la pause étant supérieure à la durée de 0,04 s.

d. Seules deux diodes peuvent être perçues allumées en même temps et cela pendant 0,04 s, donc si l'ordre d'allumage est rouge, vert, bleu, on perçoit les couleurs suivantes : rouge, jaune (rouge et vert), vert, cyan (vert et bleu), bleu, magenta (bleu et rouge), rouge et le cycle reprend.

**70**



**71** 1. Il s'agit de synthèse additive, basée sur trois sources de couleurs primaires.

2. a. Bleu (0,0,255), vert (0,255,0), magenta (255,0,255), cyan (0,255,255). D'autres propositions sont possibles, il suffit de remplacer 255 par une autre valeur comprise entre 1 et 255.

b. Jaune (255,255,0) ou (125,125,0) ou (75,75,0) ; les deux premiers nombres doivent être égaux et le dernier nul.

c. Blanc (255,255,255), noir (0,0,0).

d. Du gris s'obtient avec toutes les valeurs identiques. Il y a donc 256 nuances en comptant le blanc et le noir.

3. a. et b. À faire sur ordinateur. La couleur tangerine est orange.

**72** a. D'après la relation de conjugaison  $\frac{1}{OA'} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f'}$

$$\text{donc } f' = \frac{1}{\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA}} = \frac{1}{\frac{1}{22,0} - \frac{1}{-300}} = 20,5 \text{ mm}$$

$$\text{Donc } C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0,0205} = 48,8 \delta.$$

b. L'image est située sur le point focal image.

$$\text{Ici } \overline{OF'} = f' = 22,0 \text{ mm. Donc } C = \frac{1}{f'} = \frac{1}{0,0220} = 45,5 \delta.$$

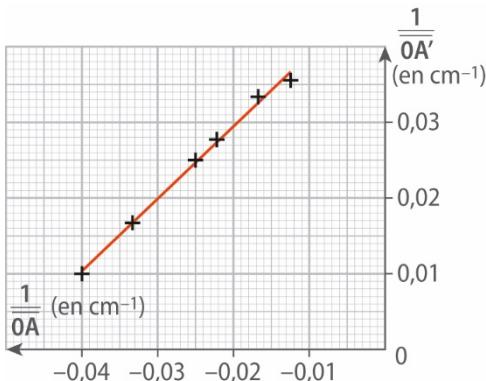
**73** 1. Le cristallin au repos forme de l'infini une image nette sur la rétine. Celle-ci est donc le plan focal image du cristallin dans ce cas, donc la distance focale du cristallin est alors  $f_{\text{max}} = d$ , distance lentille-écran de l'œil modélisé.  
 2. a. Son cristallin au repos a une vergence  $C_{\text{repos}}$  faisant en sorte que la distance focale de l'œil corrigé par les lunettes soit égale à  $d$ . La vergence totale de l'œil corrigé est  $C + C_{\text{repos}}$  et vaut donc  $\frac{1}{d}$ .  
 On en déduit  $C_{\text{repos}} = \frac{1}{d} - C = 42,5 \delta$ .

b. Sans correction, le cristallin au repos forme une image de l'infini à la distance  $\frac{1}{C_{\text{repos}}} = 23,6 \text{ mm}$  du cristallin, soit à 1,6 mm derrière la rétine.

**74** a.

$\overline{OA}$ (cm)	-80,0	-60,0	-45,0	-40,0	-30,0	-25,0
$\overline{OA}'$ (cm)	28,0	30,0	36,0	40,0	60,0	100,0
$x$ (cm $^{-1}$ )	-0,0125	-0,0167	-0,0222	-0,025	-0,0333	-0,04
$y$ (cm $^{-1}$ )	0,0357	0,0333	0,0278	0,025	0,0167	0,01

b.



Les points peuvent être modélisés par une droite d'équation  $y = ax + b$ .

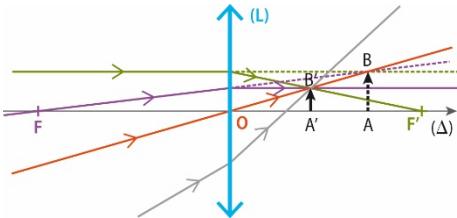
On obtient  $a = 1,0$  et  $b = 0,050 \text{ cm}^{-1} = 5,0 \text{ m}^{-1}$ .

c. La relation de conjugaison peut s'écrire  $\frac{1}{OA'} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f'}$ .

Par identification,  $b = \frac{1}{f'} = C = 5,0 \text{ m}^{-1}$  donc la vergence vaut  $C = 5,0 \delta$ .

**75** a.  $\overline{OA'} = \frac{1}{C + \frac{1}{OA}} = 4,1 \text{ cm}$  et  $\overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \overline{AB} = 1,2 \text{ cm}$ .

b.



**76** a.  $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -1$  donc  $\overline{OA'} = -\overline{OA}$

b.  $\frac{1}{OA'} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f'}$  donc on remplace :  $-\frac{1}{OA} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f'}$

D'où  $\frac{1}{f'} = \frac{-2}{OA}$  donc  $f' = \frac{-OA}{2}$

Géométriquement  $\overline{OA} = -\overline{AO} = -\overline{OA'} = -\frac{\overline{AA'}}{2}$  donc  $f' = \frac{\overline{AA'}}{4}$

**77** a. On utilise la relation de Chasles :

$$\overline{O_1A'} = \overline{O_1A} + \overline{AA'} = x + D ;$$

$$\overline{O_2A} = \overline{O_2O_1} + \overline{O_1A} = -d + x ;$$

$$\overline{O_2A'} = \overline{O_2O_1} + \overline{O_1A} + \overline{AA'} = -d + x + D .$$

b. Les deux relations de conjugaison s'écrivent :

$$-\frac{1}{x} + \frac{1}{x+D} = \frac{1}{f'} \text{ d'où l'on extrait bien } -Df' = x(x+D) ;$$

$$\text{et } -\frac{1}{x-d} + \frac{1}{x-d+D} = \frac{1}{f'} \text{ d'où l'on extrait bien }$$

$$-Df' = (x-d)(x-d+D).$$

c. Ces deux relations donnent :

$$x(x+D) = (x-d)(x-d+D) \text{ d'où } x = -\frac{D}{2} - \frac{d}{2}$$

Puis on calcule  $f' = \frac{x(x+D)}{-D}$  qui est bien égal à  $f' = \frac{D^2-d^2}{4D}$ .

d. Si  $D < 4f'$ , alors  $4Df' > D^2$ , ce qui rend impossible la relation précédente, qui peut s'écrire  $4Df' = D^2 - d^2$ . Tout ce qui précède est donc incorrect.

**78** 1. a.  $A'B'$  est nécessairement virtuelle car elle n'est pas projetée sur un écran.

b. Comme  $|A_1| = |A'| = 1,000 \text{ m}$  et  $|IO| = 10,0 \text{ cm}$ , on a  $\overline{OA'} = -90,0 \text{ cm}$ .

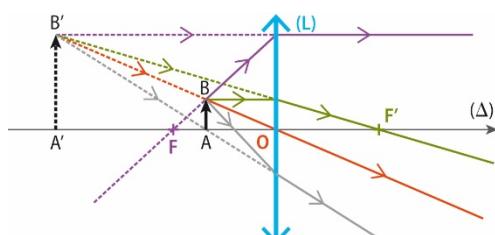
c. D'après la formule de conjugaison de Descartes,

$$\overline{OA} = \frac{-1}{\frac{1}{f'} - \frac{1}{\overline{OA'}}} = -0,99 \text{ cm}.$$

2. a. Le grossissement est  $\gamma = 91,0$ .

b. Si  $|A_1B_1| = 10 \text{ cm}$ , il faut que  $|AB| = 0,11 \text{ cm}$ .

3.



**79** 1. D'après le théorème de Thalès  $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{F'A'}{FA}$

(figure orange) et  $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{FO}{FA}$  (figure violette).

2. Par identification :  $\frac{F'A'}{FO} = \frac{FO}{FA}$

$$\text{donc } \overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = \overline{FO} \cdot \overline{F'O} = f' \cdot (-f') = \overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2.$$

3. a.  $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{F'A'}{FO}$

$$\text{donc } \overline{F'A'} = -\frac{A'B'}{AB} \times f' = \frac{16}{4} \times 10 = 40 \text{ cm}$$

$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{FO}{FA}$

$$\text{donc } \overline{FA} = \frac{AB}{A'B'} \times f' = \frac{4}{-16} \times 10 = -2,5 \text{ cm}$$

b. D'après la relation de Chasles :

$$\overline{OA} = \overline{OF} + \overline{FA} = -f' + \overline{FA} = -10 - 2,5 = -12,5 \text{ cm}$$

$$\overline{OA'} = \overline{OF'} + \overline{F'A'} = f' + \overline{F'A'} = 10 + 40 = 50 \text{ cm}$$

$$\text{c. } \frac{1}{OA'} = \frac{1}{OA} + \frac{1}{f'} \text{ donc } f' = \frac{1}{\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA}} = \frac{1}{\frac{1}{50} - \frac{1}{-12,5}} = 10 \text{ cm}$$

On retrouve bien la valeur de l'énoncé.

**80** a.  $\frac{1}{\overline{OA}'} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} \text{ donc } \overline{OA}' = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'}}$

b.  $\gamma = \frac{\overline{OA}'}{\overline{OA}}$  donc  $\overline{OA} = \frac{\overline{OA}'}{\gamma}$

c.  $\frac{1}{\overline{OA}'} = \frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{f'} = \frac{\gamma}{\overline{OA}'} + \frac{1}{f'} \text{ donc } \frac{1-\gamma}{\overline{OA}'} = \frac{1}{f'}$

d'où  $\overline{OA}' = (1-\gamma)f'$ .

d.  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{1200}{10} = 120$  ou  $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{1800}{15} = 120$ .

Au minimum :  $\overline{OA}' = (1-\gamma)f' = (1-120) \times 21,95 = -2\,612 \text{ m}$

Au maximum :  $\overline{OA}' = (1-\gamma)f' = (1-120) \times 24,18$

= -2 877 m

Donc -2 877 m <  $\overline{OA}'$  < -2 612 m.

**81** a. La moyenne est  $\bar{f}' = 24,8333 \dots \text{ cm}$ .

b. L'écart-type expérimental est  $\sigma = 0,43 \text{ cm}$ .

L'incertitude est donc  $U(f') = 0,22 \text{ cm}$ .

c. La mesure est donc  $f' = 24,8 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}$ .

La vergence théorique étant  $C = 4,0 \delta$ , la distance focale théorique est 25 cm.

C'est bien dans l'intervalle de confiance [24,6 cm ; 25,0 cm], donc la mesure est conforme à la valeur attendue.

**82** 1. a. À 500 nm, les trois types de cônes sont stimulés.

Le cône vert est deux fois plus stimulé que les cônes rouges et bleus. On perçoit une couleur verte.

b. À 450 nm, seuls les cônes bleus sont stimulés donc l'œil perçoit du bleu.

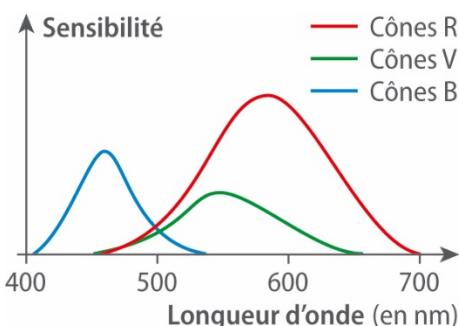
À 600 nm, les cônes verts et rouges sont stimulés mais les cônes rouges le sont le plus, on perçoit un rouge tirant sur l'orange.

2. a. Les cônes verts étant absents, les deux types de cônes rouges et bleus sont stimulés, l'œil deutéranope perçoit donc du magenta là où l'œil normal perçoit du vert.

b. À 450 nm, les cônes verts ne sont pas présents donc la perception ne change pas. Le bleu est perçu.

À 600 nm, les cônes verts étant absents, l'œil deutéranope perçoit du rouge. Le rouge perçu est moins orange que celui perçu par l'œil normal.

3. a.



b. Les lunettes rétablissent les proportions initiales entre les différentes couleurs en atténuant le R et le B de manière comparable à l'atténuation du V, donc les couleurs peuvent de nouveau être vues comme un œil normal mais avec une intensité lumineuse plus faible.

**83**

#### Question préliminaire

Le Soleil étant à l'infini, il est observé net dans le plan focal image de la lentille. Pour la raie H $\alpha$  observée, on a donc  $f_\alpha = d$ . L'indice de réfraction est  $n_\alpha = 1,615$ . On en déduit donc  $R = d(n_\alpha - 1) = 2,12 \text{ m}$ .

#### Problème

L'indice de réfraction pour la raie H $\delta$  est  $n_\delta = 1,649$ . La distance focale de la lentille est donc  $f'_\delta = \frac{R}{n_\delta - 1} = 3,27 \text{ m}$ .

Il faut donc avancer l'écran de 18 cm.

**84**

#### Question préliminaire

a. On mesure sur le zoom du tableau que deux taches sont séparées d'environ 2 mm.

b. Un carré d'un millimètre de côté contient  $1,6 \times 10^5$  cônes, donc 400 par 400 : un cône fait donc un 400<sup>e</sup> de millimètre, soit  $2,5 \times 10^{-5} \text{ m}$ .

#### Problème

On veut que soient formées sur le même cône les images de deux taches voisines. Il faut donc que, si l'objet est constitué des deux taches ( $AB = 2 \text{ mm}$  donc), l'image A'B' fasse moins de  $2,5 \times 10^{-6} \text{ m}$ . Le grossissement doit donc être inférieur à 0,01 en valeur absolue.

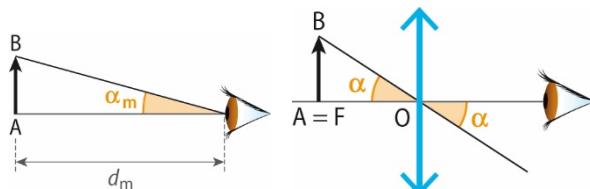
Comme  $OA' = 22 \text{ mm}$ , on en déduit que OA doit être supérieure à  $2 \times 10^1 \text{ m}$ . C'est beaucoup, donc en observation normale on voit toujours les points.

**85**

#### Question préliminaire

D'après le schéma,  $\tan \alpha_m = \frac{AB}{d_m}$  et  $\tan \alpha = \frac{AB}{f'}$ .

Le grossissement est donc  $G = \frac{\alpha}{\alpha_m} \simeq \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_m} = \frac{d_m}{f'}$ .



#### Problème

Si l'on veut  $G = 4$ , il faut  $f' = 6 \text{ cm}$  d'après ce qui précède. Or, sur la photo commerciale, il est évident que le smartphone est à plus de 6 cm de la lentille.

Et puis si toutes les dimensions étaient multipliées par 4, cela ne tiendrait pas dans la taille de la lentille à travers laquelle on regarde...

# 17. Modèles de la lumière

## Activités

p. 382 à 384

### ① Une histoire de photon

- a. Le rayonnement du corps noir ne donne pas une prévision théorique conforme à la courbe expérimentale.
- b.  $E = h\nu$
- c.  $E$  s'exprime en joules,  $\nu$  en Hertz ( $s^{-1}$ ) donc  $h$  en J·s.
- d.  $\Delta E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,63 \times 10^{-34}) \times (3,00 \times 10^8)}{550 \times 10^{-9}} = 3,62 \times 10^{-19} \text{ J}$   
 $= 2,26 \text{ eV}$

#### Bilan

- L'effet photoélectrique ne peut pas être interprété par un modèle ondulatoire et les photons portent une quantité indivisible d'énergie.
- La longueur d'onde  $\lambda$  est une grandeur caractéristique des ondes, et la relation  $E = \frac{hc}{\lambda}$  qui définit l'énergie du photon prouve que c'est une grandeur caractéristique dans le modèle particulaire (on peut en dire autant de la fréquence  $\nu$ ).

### ② Niveaux d'énergie du mercure

#### 1. Spectre de l'atome de mercure



- b. Voici le tableau complété (deux autres raies nettement visibles ont été ajoutées).

Raie observée	(Violette)	Bleue	Verte
Longueur d'onde (nm)	407	434	546
Énergie (J)	$4,89 \cdot 10^{-19}$	$4,58 \cdot 10^{-19}$	$3,64 \cdot 10^{-19}$
Énergie (eV)	3,054	2,864	2,277
Transition associée	-	$E_5 \rightarrow E_2$	$E_5 \rightarrow E_3$
Raie observée	(Jaune 1)	Jaune 2	
Longueur d'onde (nm)	577	579	
Énergie (J)	$3,45 \cdot 10^{-19}$	$3,44 \cdot 10^{-19}$	
Énergie (eV)	2,154	2,147	
Transition associée	-	$E_6 \rightarrow E_4$	

- c. Voici ci-après l'allure du diagramme.



- d. On calcule les différences :

$$E_5 - E_2 = 2,86 \text{ eV}, E_5 - E_3 = 2,28 \text{ eV}, E_6 - E_4 = 2,15 \text{ eV}$$

- e. On observe la bonne adéquation entre les valeurs de ces transitions et les énergies des trois photons. Le postulat de Bohr est donc vérifié.

#### Bilan

$$\Delta E = E_n - E_p = \frac{hc}{\lambda}$$

### ③ L'atome d'hydrogène

- 1 a. Voici les niveaux d'énergie à faire figurer sur le diagramme :

n	1	2	3	4
$E_n$ (eV)	-13,6	-3,4	-1,51	-0,85
$E_n$ (J)	$-2,8 \cdot 10^{-18}$	$-5,44 \cdot 10^{-19}$	$-2,42 \cdot 10^{-19}$	$-1,36 \cdot 10^{-19}$
n	5	6	7	
$E_n$ (eV)	-0,54	-0,38	-0,28	
$E_n$ (J)	$-8,64 \cdot 10^{-20}$	$-6,08 \cdot 10^{-20}$	$-4,48 \cdot 10^{-20}$	

- b. On a une presque parfaite adéquation (aux arrondis de calcul près) entre les énergies des photons correspondant aux raies (troisième ligne du tableau du document 1) et la deuxième colonne du tableau calculé par le programme Python.

On en déduit le tableau de correspondance suivant.

Longueur d'onde (nm)	397	410	434
Énergie (J)	$5,01 \cdot 10^{-19}$	$4,85 \cdot 10^{-19}$	$4,58 \cdot 10^{-19}$
Énergie (eV)	3,13	3,03	2,86
Transition associée	$E_7 \rightarrow E_2$	$E_6 \rightarrow E_2$	$E_5 \rightarrow E_3$
Longueur d'onde	486	656	
Énergie (J)	$4,09 \cdot 10^{-19}$	$3,03 \cdot 10^{-19}$	
Énergie (eV)	2,56	1,90	
Transition associée	$E_4 \rightarrow E_2$	$E_3 \rightarrow E_2$	

- c. Il suffit de remplacer à la troisième ligne la valeur -13 306 par -54 400.

## Exercices p. 390 à 399

**21** 1. a. Les transitions peuvent se faire de  $E_4$  à  $E_3$ ,  $E_2$ ,  $E_1$  ou  $E_0$ , soient quatre photons différents.

b.  $\Delta E_{43} = E_4 - E_3 = 2,83 \text{ eV}$  donc  $\lambda_{43} = \frac{hc}{E_{43}} = 439 \text{ nm}$ .

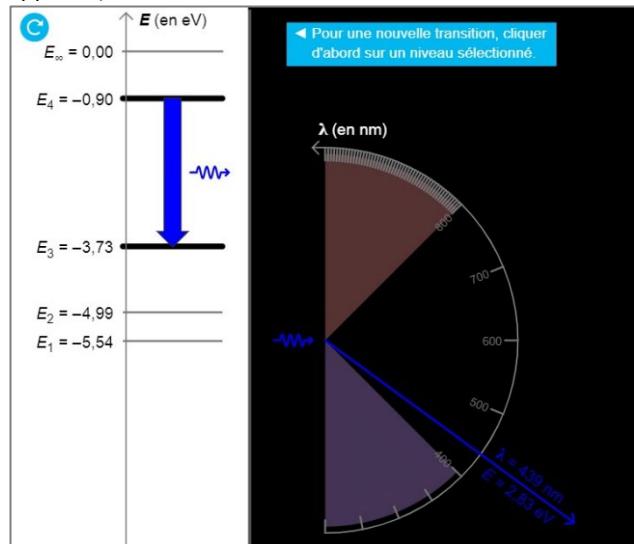
$\Delta E_{42} = E_4 - E_2 = 4,09 \text{ eV}$  donc  $\lambda_{42} = \frac{hc}{E_{42}} = 304 \text{ nm}$ .

$\Delta E_{41} = E_4 - E_1 = 4,64 \text{ eV}$  donc  $\lambda_{41} = \frac{hc}{E_{41}} = 268 \text{ nm}$ .

$\Delta E_{40} = E_4 - E_0 = 9,54 \text{ eV}$  donc  $\lambda_{40} = \frac{hc}{E_{40}} = 130 \text{ nm}$ .

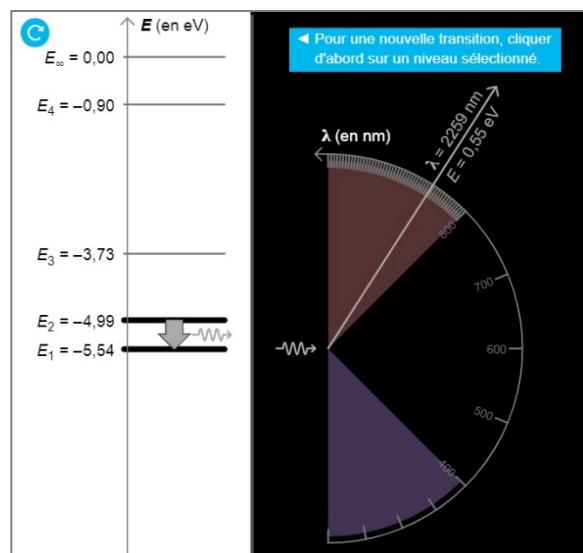
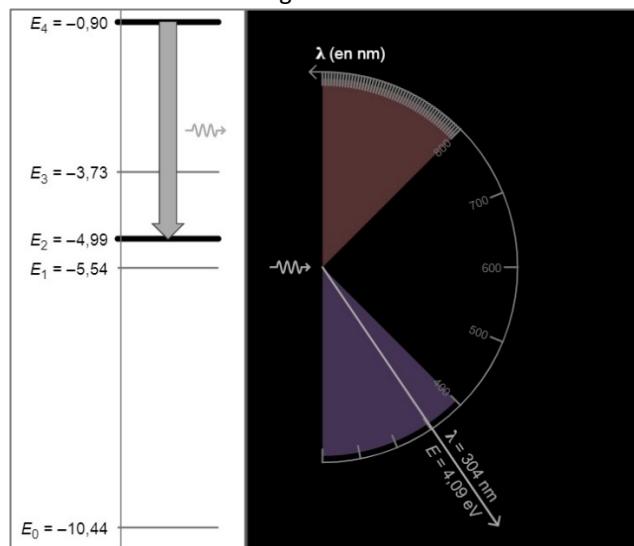
c. Seule la première est dans le domaine du visible.

2. a. Voici une copie d'écran du résultat du simulateur (on clique sur  $E_4$ , la ligne s'épaissit, puis sur  $E_3$ , et la raie apparaît).



Le résultat est cohérent avec le calcul de la question 2.b., la raie est bleue.

b. Les deux raies sont fournies en utilisant le simulateur, la première est dans le domaine ultraviolet, la seconde dans le domaine infrarouge.



**25**  $\lambda = c \cdot T = 3,00 \times 10^8 \times 65 \times 10^{-6} = 2,0 \times 10^4 \text{ m}$ .

**27** a.  $T = 1/v = 6,67 \times 10^{-17} \text{ s}$ .

b.  $\lambda = c \cdot T = 3,00 \times 10^8 \times 6,67 \times 10^{-17} = 2,0 \times 10^{-8} \text{ m}$ .  
c. Domaine ultraviolet.

**29**  $\Delta E = hc/\lambda = 3,15 \times 10^{-19} \text{ J} = 1,97 \text{ eV}$ .

**30** a.  $v = c/\lambda = 1 \times 10^{20} \text{ Hz}$ .

b.  $\Delta E = hv = 6,63 \times 10^{-14} \text{ J} = 4,14 \times 10^5 \text{ eV}$ .

**31** a.  $v = c/\lambda$ ;  $v$  en Hz,  $c$  en m/s,  $\lambda$  en m.

b.  $v = c/\lambda = 5,17 \times 10^{14} \text{ Hz}$ .

c.  $\Delta E = hv = 3,43 \times 10^{-19} \text{ J}$ ; absorption de photon.

**33** a. État fondamental à 9,52 eV ; états excités : 6,51 et 7,64 eV.

b. Flèche montante de l'état 7,64 eV à l'état 6,51 eV.

c. Flèche descendante de l'état 7,64 eV à l'état 9,52 eV.

d. Non, l'énergie minimale est égale à 1,13 eV.

**34** a. Un atome ne peut absorber que les radiations qu'il est capable d'émettre : cadmium et mercure.  
b. Superposition des couleurs du spectre visible.

**36** a.  $\lambda = c/v = 3,00 \times 10^8 / (2,45 \times 10^9) = 0,122 \text{ m}$ .

b. Oui (voir diagramme p. 385).

**37** a.  $E = hv = 6,63 \times 10^{-34} \times 8,11 \times 10^{14} = 5,38 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

b.  $\lambda = c/v = 3,00 \times 10^8 / (8,11 \times 10^{14}) = 370 \text{ nm}$ .

c. Cette onde appartient au domaine des ultraviolets.

**38**  $v = c/\lambda : [3 \times 10^{16} \text{ m} ; 3 \times 10^{20} \text{ m}]$

$E = hc/\lambda : [2 \times 10^{-17} \text{ J} ; 2 \times 10^{-13} \text{ J}]$

**39** a.  $v = 9\,192\,631\,770 \text{ Hz}$ .

$$b. \Delta E = h\nu = 6,63 \times 10^{-34} \times 9\,192\,631\,770 = 6,09 \times 10^{-24} \text{ J}$$

$$= 3,8 \times 10^{-5} \text{ eV}.$$

$$c. \lambda = c/v = 3,00 \times 10^8 / 9\,192\,631\,770 = 3,26 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$= 3,26 \text{ cm}.$$

**41** Les longueurs d'onde extrêmes sont :

$$\lambda = c/v = 3,00 \times 10^8 / (0,3 \times 10^{12}) = 1 \times 10^{-3} \text{ m} = 1 \text{ mm}$$

$$\text{et } \lambda = 3,00 \times 10^8 / (10 \times 10^{12}) = 3 \times 10^{-5} \text{ m} = 30 \mu\text{m}$$

Ces rayonnements sont absorbés par l'atmosphère terrestre : on a besoin d'un télescope spatial en orbite, au-dessus de l'atmosphère, pour le détecter plus facilement.

**42** a. Schéma légendé : l'état fondamental est celui d'énergie  $E_0$  et l'état ionisé  $E_\infty$ .

b. Flèche sur le diagramme de  $E_1$  vers  $E_3$  : absorption.

$$c. \Delta E = E_3 - E_1 = -3,73 + 5,54 = -1,81 \text{ eV} = -2,90 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

**44** a. Émission : état  $E''$  et état final  $E'$ .

$$\lambda = hc/\Delta E = 6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8 / (2,11 \times 1,6 \times 10^{-19})$$

$$= 589 \text{ nm} : \text{domaine du visible.}$$

b. Non, l'énergie est insuffisante.

c. Non, ce ne serait possible qu'en partant de  $E'$ .

d. B a absorbé l'énergie émise par A lors de son retour au niveau  $E'$ .

**45** 1. UV : à gauche ; visible : spectre ; IR : à droite.

2. Schéma légendé : l'état fondamental est celui d'énergie  $E_0$  et l'état ionisé  $E_\infty$ .

$$3. a. \lambda = 569 \text{ nm} \rightarrow \Delta E = hc/\lambda = 3,50 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,19 \text{ eV}.$$

b. Transition  $E_2$  vers  $E_0$ .

c. Flèche sur le diagramme.

**46** A :  $\lambda = c/v = 3,00 \times 10^8 / (3,95 \times 10^{14}) = 759 \text{ nm}$ .

B :  $\lambda = 3,00 \times 10^8 / (4,37 \times 10^{14}) = 686 \text{ nm}$ .

**48** 1.  $E_1 = -13,6 \text{ eV}$

2.  $\Delta E = 13,6 \text{ eV}$

3. Diagramme de niveaux d'énergie.

4. a.  $\Delta E_{73} = -1,97 \times 10^{-19} \text{ J}$  ;  $\Delta E_{63} = -1,82 \times 10^{-19} \text{ J}$  ;

$$\Delta E_{53} = -1,55 \times 10^{-19} \text{ J}$$
 ;  $\Delta E_{43} = -1,06 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

b.  $\lambda_{73} = hc/\Delta E = 1,01 \times 10^{-6} \text{ m}$  ;  $\lambda_{63} = 1,09 \times 10^{-6} \text{ m}$  ;

$$\lambda_{53} = 1,28 \times 10^{-6} \text{ m}$$
 ;  $\lambda_{43} = 1,87 \times 10^{-6} \text{ m}$ .

c. Domaine infrarouge.

5. La longueur d'onde la plus petite correspond à la transition énergétique la plus grande, soit  $\Delta E_{71} = 13,32 \text{ eV}$  et  $\lambda = 93 \text{ nm}$ , domaine des ultraviolets.

6. Les raies de la série de Paschen correspondent à une énergie minimale  $\Delta E = 1,51 \text{ eV}$  donc à une longueur d'onde maximale  $\lambda = 823 \text{ nm}$ , elles sont donc toutes dans le domaine des infrarouges.

7. On retrouve bien les longueurs d'onde obtenues à la question 4. b.

**49** 1. Les longueurs d'onde des raies permettent d'identifier le mercure.

Les spectres contiennent les mêmes raies caractéristiques que celles de la lampe à vapeur de mercure. De plus, les spectres ne contiennent pas la raie caractéristique du sodium (à un peu moins de 600 nm).

2. a. Le pic bleu a pour longueur d'onde  $\lambda = 439 \text{ nm}$ , il correspond à une transition énergétique  $\Delta E = hc/\lambda = 2,83 \text{ eV}$ . On a donc  $E_4 - E_n = \Delta E$  donc  $E_n = E_4 - \Delta E = -3,73 \text{ eV}$  donc  $n = 3$ .

b.  $\lambda = hc/(E_1 - E_0) = 254 \text{ nm}$

c. La vapeur de mercure contenue dans le tube émet donc un rayonnement compris entre 200 nm et 300 nm. Ce rayonnement est bien adapté pour que la poudre produise de la lumière visible.

3. Les poudres permettent d'obtenir une lumière dont le spectre est continu. Les pics du mercure sont de faible longueur d'onde en moyenne, la lumière est donc un peu bleutée (on dit qu'elle est « métallique »).

**50** 1. Diagramme énergétique avec une flèche vers le bas.

2.  $E = h\nu = hc/\lambda$

3. a.  $E = 2,105 \text{ eV}$

b.  $E_1 - E_0 = 2,105 \text{ eV} = E$

Cette émission correspond donc à la transition du niveau excité  $E_1$  vers le niveau fondamental  $E_0$ .

4. Transition vers le niveau fondamental :

$$E_1 - E_0 = 2,105 \text{ eV}$$

$E_2 - E_0 = 2,180 \text{ eV} > 2,110 \text{ eV}$ . Les autres transitions vers le niveau fondamental auront une énergie plus élevée.

La transition de plus grande énergie correspond au passage du niveau  $E_5$  vers  $E_1$  et correspond à l'émission d'un photon d'énergie égale à 1,236 eV, valeur plus faible que l'énergie du photon émis par l'hélium. Toutes les autres transitions auront donc une énergie plus faible.

**51** a. Diagramme complété.

b.  $E_{H0} \rightarrow E_{H2}$  : absorption ;  $E_{N2} \rightarrow E_{N1}$  : émission.

c. Cela permet de transférer la totalité de l'énergie sans émission de rayonnement annexes.

d.  $\Delta E_{N2N1} = 1,96 \text{ eV}$ .

e.  $\lambda = hc/(E_{N1} - E_{N2}) = 634 \text{ nm}$

f. Domaine du visible, rouge.

**52** La loi énoncée dans le cours dit que « un atome ne peut absorber qu'un photon qu'il peut émettre ».

Le spectre fourni dans le document 1 est un spectre d'absorption dans lequel on identifie six raies dont on lit les longueurs d'onde et dont on déduit l'énergie des photons absorbés.

$\lambda \text{ (nm)}$	397	434	486
$E = hc/\nu \text{ (eV)}$	3,03	2,86	2,55
$\lambda \text{ (nm)}$	528	590	656
$E = hc/\nu \text{ (eV)}$	2,36	2,11	1,89

On calcule les énergies des photons émis ou absorbés lors des transitions.

Par comparaison avec les transitions données dans le tableau du document 2, on en déduit la présence d'hydrogène, d'hélium et de fer (même si une seule de ses raies est visible).

53

**Question préliminaire**

À partir de l'état fondamental, il n'est possible d'exciter la molécule de quinine que si l'énergie du photon est supérieure ou égale à  $\Delta E = E_1 - E_0 = 2,76 \text{ eV} = 4,42 \times 10^{-19} \text{ J}$ . Ceci correspond à une longueur d'onde  $\lambda = (hc)/\Delta E = 449 \text{ nm}$ , qui correspond à la frontière entre le bleu et le violet. Au-delà de la zone violette, il est possible qu'il y ait encore des photons dont la longueur d'onde soit égale à cette valeur, il est aussi possible que des photons appartenant à l'ultraviolet excitent l'atome jusqu'aux niveaux  $E_2$  et  $E_3$ .

**Problème**

Lorsque l'atome est excité au niveau  $E_3$ , il se désexcite en réémettant un photon de longueur d'onde  $\lambda = 449 \text{ nm}$ . Remarquons que si l'atome est excité au niveau  $E_2$ , le photon émis lors de la désexcitation  $E_2 \rightarrow E_0$  est dans le domaine de l'ultraviolet (346 nm), donc non visible ; mais la désexcitation peut se faire en deux étapes,  $E_2 \rightarrow E_1$  avec émission d'un photon dans l'infrarouge (1 514 nm) puis

$E_1 \rightarrow E_0$  avec émission d'un photon de longueur d'onde  $\lambda = 449 \text{ nm}$ .

La lumière bleutée a donc pour longueur d'onde  $\lambda = 449 \text{ nm}$ .

54 En superposant les deux spectres d'émission, on constate que les atomes de l'atmosphère, oxygène et azote, excités par les particules chargées solaires, couvrent par leurs longueurs d'onde à peu près tout le spectre du visible (donc teinte blanche), avec une surreprésentation du rouge. Ceci peut expliquer la teinte rose.

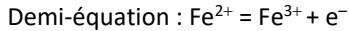
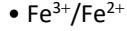
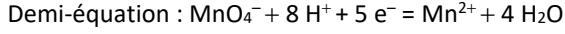
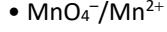
Les longueurs d'onde associées aux trois couleurs citées par l'énoncé sont respectivement  $\lambda_{\text{rouge}} = hc/E_{\text{rouge}} = 655 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{\text{vert}} = hc/E_{\text{vert}} = 517 \text{ nm}$  et  $\lambda_{\text{indigo}} = hc/E_{\text{indigo}} = 428 \text{ nm}$ . La première correspond à une raie de l'oxygène, la deuxième correspond sensiblement à une raie de l'azote (les énergies données sont des ordres de grandeur) et la troisième à une raie de l'oxygène.

## Exercices de synthèse

- 1** 1. La longueur d'onde à utiliser est 275 nm : c'est la longueur d'onde du maximum d'absorption.  
 2. Si la caféine n'absorbe pas au-delà de 400 nm (dans le visible), et comme le solvant est incolore, alors la solution est incolore.  
 3. Pour obtenir  $V_0 = 100 \text{ mL}$  de solution  $S_0$ , il a fallu dissoudre une quantité de matière  $n_0 = c_0 V$  de caféine, soit une masse  $m_0 = c_0 V M_{\text{CAF}} = 11 \text{ mg}$ .  
 4. Pour préparer  $S_3$  à partir de  $S_0$ , il faut faire une dilution par dix, donc utiliser une pipette jaugée dix fois plus petite que la fiole : le couple pipette jaugée de 2,0 mL, fiole jaugée de 20 mL convient.  
 5. D'après le graphique de la figure 3, on détermine que la concentration de la solution diluée, d'absorbance  $A = 0,43$ , est  $c' = 6,5 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . La solution non diluée a donc pour concentration  $c = 10c' = 6,5 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . La masse de caféine dans l'infusion tout entière est donc  $m = cVM_{\text{CAF}} = 13 \text{ mg}$ . Pour atteindre l'intoxication à  $m_{\text{tot}} = 400 \text{ mg}$ , il faudrait boire un nombre de tasses  $\frac{m_{\text{tot}}}{m} = 30$ . C'est beaucoup et probablement pas atteint par une personne raisonnable.

- 2** 1. La chlorose des végétaux est une carence notamment en élément fer. Cette solution apporte des ions fer (II)  $\text{Fe}^{2+}$  donc permet de lutter contre la chlorose.

2. Les couples sont :



3. L'équivalence est repérée à la persistance de la coloration violette du réactif titrant, l'ion permanganate.  
 4. La quantité de matière de réactif titrant  $\text{MnO}_4^-$  apporté à l'équivalence est  $n = c_2 V_E$ .

D'après la stœchiométrie de la réaction de titrage, la quantité de matière de réactif titré  $\text{Fe}^{2+}$  initialement présente est cinq fois supérieure.

La concentration de la solution  $S'$  titrée est donc

$$c_1 = \frac{5c_2 V_E}{V_1}$$

La solution commerciale  $S$  étant trente fois plus concentrée, sa concentration est  $c = 30c_1$ .

La concentration en masse de l'ion fer (II) dans la solution commerciale est donc finalement :

$$t = M_{\text{Fe}} c = \frac{150 c_2 V_E}{V_1} M_{\text{Fe}} = 20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

D'après le tableau, il s'agit de la solution Fer Soni H39F.

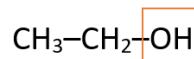
5. 1. Si la solution titrante a été diluée, alors le volume qu'il faut en apporter pour consommer tout le réactif titré initialement présent est plus grand, donc  $V_E$  est plus grand.

Si le prélèvement de solution titré est trop petit, alors le volume de solution titrante à apporter pour consommer tout le réactif titré initialement présent est plus petit, donc  $V_E$  est plus petit.

5. 2. Si l'on a surévalué la concentration, c'est qu'on a surévalué  $V_E$ , donc que la première erreur a été commise.

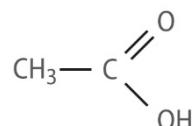
### 3 1. De l'éthanol à l'acide éthanoïque

1. 1. Formule semi-développée de l'éthanol :



Cette molécule appartient à la famille des alcools.

1. 2. Il s'agit de l'acide éthanoïque :

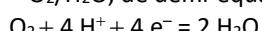


1. 3. La fermentation acétique a pour équation :

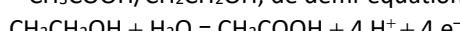


Il s'agit bien d'une réaction d'oxydoréduction, dont les couples sont :

- $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ , de demi-équation :



- $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ , de demi-équation :



L'éthanol étant réducteur, il subit bien une oxydation.

1. 4. Ce spectre comporte les bandes caractéristiques des liaisons O–H (vers  $3\ 000 \text{ cm}^{-1}$ ) et C=O (vers  $1\ 700 \text{ cm}^{-1}$ ), donc il s'agit de celui de l'acide éthanoïque.

### 2. Degré alcoolique du vin blanc ayant servi à fabriquer un vinaigre

2. 1. La quantité de matière d'éthanol contenue dans  $m_1 = 1,0 \text{ g}$  d'éthanol est  $n_1 = \frac{m_1}{M_{\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}}}$ .

D'après la stœchiométrie de la réaction de fermentation acétique, il se forme autant d'acide éthanoïque que d'éthanol consommé.

La quantité de matière d'acide éthanoïque produite par la fermentation de  $1,0 \text{ g}$  d'éthanol est donc également  $n_1$ . La masse d'acide éthanoïque correspondante est donc  $m_2 = n_1 M_{\text{CH}_3\text{COOH}}$ , soit :

$$m_2 = m_1 \frac{M_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{M_{\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}}} = 1,3 \text{ g}$$

2. 2. Ce vinaigre est à  $5,8^\circ$ , c'est-à-dire que cent grammes de vinaigre contiennent  $5,8 \text{ g}$  d'acide éthanoïque.

L'énoncé précise que ces cent grammes de vinaigre occupent environ  $100 \text{ mL}$  et que la fermentation acétique s'effectue à volume constant, donc le volume de vin qui a produit ces cent grammes de vinaigre est  $100 \text{ mL}$ .

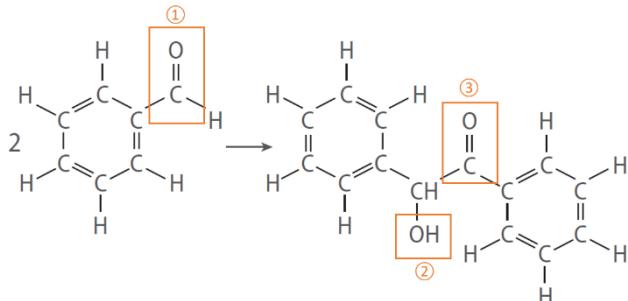
D'après la question précédente, on en déduit que  $100 \text{ mL}$  de vin ayant servi à la fabrication de ce vinaigre contenaient une masse d'éthanol  $m = 5,8 \times \frac{1,0}{1,3} = 4,5 \text{ g}$ .

Le volume de cet éthanol est  $V = \frac{m}{\rho} = 5,6 \text{ mL}$ .

Le degré alcoolique du vin était donc de  $5,6^\circ$ .

#### 4.1. Les molécules mises en jeu

Le groupe ① correspond à la famille des aldéhydes. Le groupe ② correspond à la famille des alcools, le groupe ③ à la famille des cétones.



#### 2. La méthode ZININ 1839

2. 1. On détermine les dangers à l'aide des pictogrammes de sécurité. Il faut travailler sous la hotte car l'éthanol est susceptible de s'enflammer et le cyanure de potassium susceptible de produire un gaz毒ique. Il faut récupérer les déchets dans des bacs appropriés car le cyanure de potassium est toxique pour l'environnement. Il faut porter des gants car les espèces sont toxiques ou irritantes.
2. 2. Synthèse : étapes ① et ②. Séparation : étapes ③ et ④. Purification : étapes ⑤ à ⑨. Identification : étape ⑩.
2. 3. La recristallisation consiste à dissoudre le solide dans un solvant « propre », où les impuretés ne sont pas solubles. La benzoïne, dissoute, est séparée des impuretés. On filtre et on ne garde que la solution du produit purifié, qu'il faut ensuite recristalliser.
2. 4. L'étuve à 100 °C permet d'évaporer l'éthanol et l'eau sans évaporer la benzoïne, dont la température d'ébullition est plus élevée.

2. 5. La température de fusion du solide obtenu étant exactement égale à celle de la benzoïne pure, on en déduit que le solide obtenu est de la benzoïne pure.
3. 1. Le volume de benzaldéhyde introduit est  $V = 15,0 \text{ mL}$ . Sa masse volumique étant  $\rho_1 = 1,04 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , la masse de benzaldéhyde apporté est donc  $m_1 = \rho_1 V$ , soit une quantité de matière  $n_1 = \frac{\rho_1 V}{M_1}$ .

D'après la stœchiométrie de la réaction de synthèse, la quantité de matière de benzoïne formée est deux fois inférieure, soit une masse  $m_{\text{th}} = \frac{M_2 n_1}{2} = \frac{\rho_1 V M_2}{2 M_1} = 15,6 \text{ g}$ .

3. 2. Le rendement de cette synthèse est  $\eta = \frac{m}{m_{\text{th}}} = 50,0 \%$ .

#### 5.1. Extraction du saccharose de la betterave

1. Schéma du montage à reflux.

Dans l'objectif d'accélérer la réaction, le montage à reflux permet de chauffer un mélange réactionnel en toute sécurité et sans perte de matière : les vapeurs s'échappant du mélange sont condensées par le réfrigérant et retombent dans le mélange.

1. 2. Le saccharose contient beaucoup de groupes  $-\text{OH}$ , donc peut faire de nombreuses liaisons hydrogène avec l'eau, donc est bien soluble dans l'eau.

#### 2. Du saccharose au bioéthanol

Une betterave de 1,25 kg contient 19,5 % de saccharose, soit une masse  $m = 0,195 \times 1,25 = 244 \text{ g}$  de saccharose. La quantité de matière correspondante est :

$$n = \frac{m}{M_{\text{saccharose}}} = 7,13 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

D'après la stœchiométrie de la réaction de formation de l'éthanol, la quantité de matière d'éthanol qui peut être formée à partir de ce saccharose est  $4n$ , donc la masse d'éthanol produite est  $m' = 4nM_{\text{éthanol}} = 131 \text{ g}$ .

#### 3. Et si on roulait tous au biocarburant ?

Le volume total d'éthanol à produire est  $V_{\text{tot}} = 3 \times 10^6 \text{ m}^3$ , soit une masse  $m_{\text{tot}} = \rho V_{\text{tot}} = 2 \times 10^{12} \text{ g}$ .

D'après la question précédente, il faut une masse de betteraves  $1,25 \times \frac{2 \times 10^{12}}{131} = 2 \times 10^{10} \text{ kg}$ , soit bien  $2 \times 10^7 \text{ t}$ .

Vu le rendement de 74,8 tonnes par hectare, il faudrait donc  $\frac{2 \times 10^7}{74,8} = 3 \times 10^6 \text{ ha}$ , c'est-à-dire environ le tiers de la surface totale cultivée. C'est peu réaliste, car cela voudrait dire que l'ensemble des cultures qui occupent actuellement cet espace devraient se trouver ailleurs.

#### 4. Combustion de l'éthanol

4. 1.  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2 + 3 \text{ H}_2\text{O}$
4. 2. D'après les ruptures et formations de liaisons lors de cette réaction, l'énergie molaire de cette réaction est :  
 $E = E_{\text{i}}(\text{C}-\text{C}) + E_{\text{i}}(\text{C}-\text{O}) + E_{\text{i}}(\text{O}-\text{H}) + 5 E_{\text{i}}(\text{C}-\text{H}) + 3 E_{\text{i}}(\text{O}= \text{O}) - 4 E_{\text{f}}(\text{C}=\text{O}) - 6 E_{\text{f}}(\text{O}-\text{H}) = -1 234 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
4. 3. L'éthanol a un pouvoir calorifique de  $1,2 \text{ MJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , environ six fois inférieur à celui du gazole mais presque du même ordre de grandeur : c'est donc un carburant valable.

#### 6.1. Le solide ionique

1. 1. La formule est  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , ce qui signifie que l'ion avec «  $\text{NH}_4$  » a une charge deux fois plus petite que l'ion avec «  $\text{SO}_4$  ». Les ions sont donc  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  (réponse c).

1. 2. La masse molaire du sulfate d'ammonium est

$$M = 2 M_{\text{N}} + 8 M_{\text{H}} + M_{\text{S}} + 4 M_{\text{O}} = 132,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

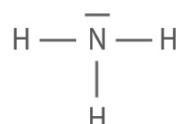
1. 3. L'équation de dissolution du sulfate d'ammonium est  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4{}_{(s)} \rightarrow 2 \text{ NH}_4^{+}{}_{(aq)} + \text{SO}_4^{2-}{}_{(aq)}$ .

La concentration en masse maximale d'une solution avant saturation est  $C_m = 8,8 \times 10^2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , donc sa concentration molaire est  $c = \frac{C_m}{M} = 6,7 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

D'après l'équation de dissolution, la concentration des ions ammonium dans une telle solution est donc  $[\text{NH}_4^+] = 2c = 13 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , celle des ions sulfate  $[\text{SO}_4^{2-}] = 6,7 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

#### 2. Synthèse du sulfate d'ammonium

2. 1. La méthode de couplage des électrons seuls donne le schéma de Lewis de la molécule d'ammoniac :



Puisque les doublets liants ou non liants se repoussent autour de l'ammoniac, leurs orbitales pointent vers les sommets d'un tétraèdre autour de l'atome d'azote, et cette molécule adopte une géométrie pyramidale : l'azote est à un des sommets.

2. 2. Chaque liaison N-H est polarisée puisque la différence des électronégativités de N et H est supérieure à 0,4 D. Les atomes d'hydrogène portent donc une charge partielle positive, l'atome d'azote une charge partielle négative. Le centre des charges partielles positives n'est pas confondu avec l'atome d'azote (centre des charges partielles négative) puisque la molécule est pyramidale. Elle est donc polaire, donc bien soluble dans l'eau, solvant polaire.

### 3. Ammoniac nécessaire

3. 1. Dans une masse  $m = 20 \times 10^6$  t de sulfate d'ammonium solide, soit  $m = 2,0 \times 10^{13}$  g, il y a une quantité de matière  $n = \frac{m}{M} = 1,5 \times 10^{11}$  mol de sulfate d'ammonium.

D'après la stœchiométrie de la réaction de production, cela nécessite l'apport d'une quantité de matière double d'ammoniac, soit  $n' = 2n = 3,0 \times 10^{11}$  mol.

Le volume molaire des gaz à 60 °C étant  $V_m = 27,5 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ , on en déduit le volume d'ammoniac à 60 °C nécessaire à cette production :  $V = n'V_m = 8,3 \times 10^{12}$  L.

3. 2. D'après la loi de Mariotte, pour diviser ce volume par dix à la même température, il faut multiplier la pression par dix, soit  $10P_{\text{atm}} = 1,01 \times 10^6$  Pa.

### 7 Partie A

1. D'après l'équation fondamentale de la statique des fluides, la profondeur  $h$  est liée à la pression  $P$  par la relation  $P - P_{\text{atm}} = \rho_{\text{mer}}gh(h - 0)$ , d'où il vient  $P = P_{\text{atm}} + \rho_{\text{mer}}gh$ .

Si le pressiomètre mesure la pression  $P_1$ , c'est que le Nautilus se trouve à la profondeur :

$$h_1 = \frac{P_1 - P_{\text{atm}}}{\rho_{\text{mer}}g} = 5,93 \times 10^3 \text{ m.}$$

2. 1. Le diamètre du panneau est  $d = 45 \text{ cm}$ , donc sa superficie est  $S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0,16 \text{ m}^2$ . La force pressante exercée sur le panneau est la somme des forces pressantes exercées à l'intérieur et à l'extérieur, forces de même direction, de sens opposés et de normes  $P_{\text{max}}S$  et  $P_{\text{atm}}S$ . La norme de la force pressante totale est donc  $F_{\text{max}} = (P_{\text{max}} - P_{\text{atm}})S = 14,3 \text{ MN}$ .

2. 2. La masse ayant un poids de même norme est

$$m_{\text{max}} = \frac{F_{\text{max}}}{g} = 1,46 \times 10^3 \text{ t.}$$

### Partie B

1. La durée nécessaire pour charger jusqu'à  $Q_1$  à l'intensité  $I$  est  $\Delta t = \frac{Q_1}{I} = 4,32 \times 10^4 \text{ s}$ , soit 12 h.

2. La puissance dissipée par effet Joule dans la résistance interne est  $rI^2 = 11 \text{ W}$ .

Le produit  $U_1I = 3,3 \text{ kW}$ . Il représente la puissance totale consommée par la batterie.

Sur cette puissance totale, seule une très faible fraction (11 W seulement) est dissipée en effet Joule.

On peut donc considérer le générateur comme idéal.

3. Pour descendre et travailler au fond, la charge électrique disponible est  $0,70Q_1$ .

Admettons que chacun des huit projecteurs consomme 500 W en permanence : cela fait 4 kW consommés par les projecteurs.

Le moteur développe une puissance mécanique  $P_m$  en fonctionnant avec le rendement  $\eta$ , donc consomme une puissance électrique  $\frac{P_m}{\eta} = 5,9 \text{ kW}$ .

Au total, la batterie délivre une puissance  $P = 9,9 \text{ kW}$ . La tension aux bornes de la batterie, supposée générateur idéal, est  $U_1 = 220 \text{ V}$ .

L'intensité du courant délivré par la batterie est donc

$$I_1 = \frac{P}{U_1} = 45 \text{ A.}$$

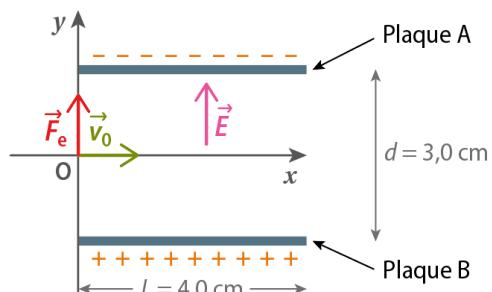
La durée nécessaire à la consommation de  $0,70Q_1$  à cette intensité est  $\Delta t = \frac{0,70Q_1}{I_1} = 1,0 \times 10^4 \text{ s}$ , soit 2,8 h.

### 8 1. Le poids de la particule a pour norme

$m_{\alpha}g = 6,51 \times 10^{-26} \text{ N}$ . La force électrostatique qu'elle subit a pour norme  $F_e = 2eE = \frac{2eU}{d} = 9,6 \times 10^{-16} \text{ N}$ .

Il y a un facteur  $10^{10}$  entre ces deux forces, donc le poids de la particule peut bien être négligé par rapport à la force électrostatique.

2. Représentation de la force dans le même sens que le champ puisque la charge de la particule est positive.



3. 1. En projection sur l'axe (Ox), la relation donnée indique que  $m_{\alpha} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = 0$ , donc que  $v_x$  est constante : le mouvement selon cet axe est bel et bien uniforme.

3. 2. La distance  $L$  à parcourir sur l'axe (Ox) étant parcourue à la vitesse  $v_0$ , la durée du passage de la particule dans la chambre d'ionisation est  $t_S = \frac{L}{v_0} = 2,5 \times 10^{-9} \text{ s}$ .

3. 3. En projection sur l'axe (Oy), la relation donnée fournit  $F_e = m_{\alpha} \frac{\Delta v_y}{\Delta t}$ .

Or,  $F_e = 2e \frac{U}{d}$ , d'une part.

Et, entre l'entrée et la sortie de la particule dans la chambre d'ionisation, la durée écoulée est  $\Delta t = t_S = \frac{L}{v_0}$ , d'autre part.

Enfin, la variation de vitesse correspondante est  $\Delta v_y = v_{Sy}$  puisque la vitesse initiale a une coordonnée nulle sur l'axe (Oy).

Cela donne la relation  $2e \frac{U}{d} = m_{\alpha} \frac{v_{Sy}}{\frac{L}{v_0}}$ , ce qui donne bien

$$v_{Sy} = \frac{2eUL}{m_{\alpha}dv_0}$$

On calcule  $v_{Sy} = 36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

4. 1. La force électrostatique étant constante, son travail est  $W_{OS}(\vec{F}_e) = \vec{OS} \cdot \vec{F}_e$ , soit  $W_{OS}(\vec{F}_e) = F_e y_S$ . D'après l'expression de la force, on obtient bien l'expression demandée.

4. 2. Le théorème de l'énergie cinétique appliquée à la particule entre O et S s'écrit  $E_c(S) - E_c(O) = W_{OS}(\vec{F}_e)$ , soit  $\frac{1}{2}m_\alpha(v_{Sy}^2 + v_0^2) - \frac{1}{2}m_\alpha v_0^2 = 2e\frac{U}{d}y_S$ .

On en déduit  $y_S = \frac{dm_\alpha}{4eU}v_{Sy}^2 = \frac{eUL^2}{dm_\alpha v_0^2}$ .

On calcule  $y_S = 4,5 \times 10^{-8}$  m. On constate que la particule n'a quasiment pas été déviée, donc son mouvement est presque rectiligne.

**9** 1. Comme l'énergie cinétique du système grandit au cours de la chute, sa vitesse aussi.

2. D'après la première courbe, l'énergie cinétique tend vers  $E_{cl} = 2,5$  J. La vitesse tend donc vers  $v_l = \sqrt{\frac{2E_{cl}}{m}} = 3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Cette valeur est atteinte à partir d'environ 0,4 s.

3. Entre 0,4 s et 1,3 s, l'énergie potentielle de pesanteur varie de  $\Delta E_{pp} = -12$  J. La variation d'altitude correspondante est donc  $\Delta z = \frac{\Delta E_{pp}}{mg} = -3,1$  m.

4. 1. L'énergie mécanique diminue, donc il y a des forces non conservatives qui la dissipent. Ce ne peut être ici que le frottement de l'air sur le parachute.

4. 2. La variation de l'énergie mécanique pendant la phase uniforme est la même que la variation de l'énergie potentielle de pesanteur :  $\Delta E_m = -12$  J.

4. 3. Cette variation s'écrit  $\Delta E_m = W(\vec{f}) = -fL$ , où  $\vec{f}$  est la force de frottements subie par le système et  $L$  la distance parcourue, égale à  $-\Delta z = 3,1$  m.

On en déduit  $f = 3,9$  N.

4. 4. On constate que ceci est égal à  $mg$  : la somme des forces s'exerçant sur le système est donc nulle pendant cette phase, ce qui est conforme à la première loi de Newton (principe de l'inertie) : un système au repos ou en mouvement rectiligne et uniforme dans un référentiel galiléen est soumis à des forces dont la somme vectorielle est nulle.

## 10 1. Longueur d'onde

1. 1.  $\lambda = vT$ , où  $v$  est en mètres par seconde si  $\lambda$  est en mètres et  $T$  en secondes.

1. 2. À la profondeur  $h_i$ , la longueur d'onde est  $\lambda_i = \sqrt{gh_i}T = 8,0 \times 10^2$  km. C'est effectivement une très grande longueur d'onde.

Près du bord on calcule  $\lambda_f = \sqrt{gh_f}T = 36$  km.

## 2. Propagation de l'onde

2. 1. Une onde est mécanique si à son passage il y a mouvement d'un milieu matériel. Elle est progressive si elle se propage d'un point à un autre dans un seul sens. Elle est périodique si en un point donné la vibration du milieu matériel se reproduit à l'identique à intervalles de temps réguliers.

Le tsunami vérifie ces trois critères selon l'énoncé.

2. 2. La célérité de l'onde n'étant pas la même tout au long de son parcours, on n'a pas une seule valeur de  $v$  donc on ne peut pas utiliser cette relation.

2. 3. La profondeur vérifie l'équation affine

$h(x) = \frac{h_f - h_i}{L}x + h_i$ , et pour chaque distance  $dx$  parcourue, il faut une durée  $dx/v$  de parcours.

D'où le programme complété.

```
g=9.8          ##### champ de pesanteur en N/kg
T=3600         ##### période en s
L=5e6          ##### distance parcourue en m
hi=5e3         ##### profondeur au large en m
hf=10          ##### profondeur côtière en m
dx=1e3         ##### pas en x, en m
A=(hf-hi)/L   ##### à compléter
B=hi           ##### à compléter
def h(x):
    ##### fonction profondeur
    return A*x+B
temps=0         ##### durée de propagation en s
x=0            ##### position en m
while (x<L):
    v=(g*h(x))**0.5
    x=x+dx
    temps=temps+dx/v  ##### à expliquer
print("Duree du parcours en heures")
print(round(temps/3600,1))
```

## 3. Amplitude

En haute mer, on a  $a_i = kh_i^{-1/4}$ , d'où l'on déduit  $k = a_i h_i^{1/4}$ . Sur la côte, l'amplitude de l'onde vérifie  $a_f = kh_f^{-1/4}$ , soit  $a_f = a_i \left(\frac{h_i}{h_f}\right)^{1/4} = 2,4$  m.

L'onde a bien atteint plusieurs mètres de haut.

**11** 1. La vergence de la lentille fixe est  $C_0 = 385 \delta$ , donc sa distance focale  $f_0' = \frac{1}{C_0} = 2,60 \times 10^{-3}$  m.

2. 1. Lorsque le code-barres est à l'infini, l'image se forme dans le plan focal image de la lentille constituée par l'ensemble des deux lentilles accolées. Si le code-barres se rapproche, elle se forme derrière ce plan focal. Comme l'image se forme toujours au même endroit (la distance lentille-écran est fixe), la plus grande distance focale de la lentille variable doit être celle où le code-barres est à l'infini. La vergence de la lentille est alors minimale,  $C_{min} = 380 \delta$ .

2. 2. La distance lentille-écran est donc la distance focale maximale de la lentille, soit  $d = \frac{1}{C_{min}} = 2,63$  mm.

3. Considérons la position où le code-barres est au plus près de la lentille. La vergence est alors  $C_{max}$ .

D'après la relation de conjugaison de Descartes, la position  $\overline{OA}$  de l'objet vérifie alors  $-\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{d} = C_{max}$ , d'où l'on déduit  $\overline{OA} = \frac{1}{C_{max} - \frac{1}{d}} = -0,050$  m : la plage de mise au point est entre cinq centimètres et l'infini.

4. Le schéma à l'échelle demandée se trouve sur la page suivante.

5. Lorsque le code-barres est placé à 5,0 cm, l'image est la plus grande sur l'écran de photocapteurs. Si, dans cette situation, les photocapteurs ne suffisent pas à lire le code-barres, alors ce ne sera possible pour aucune autre position.

Dans cette situation,  $\overline{OA'} = d$  et  $\overline{OA} = -0,050$  m.

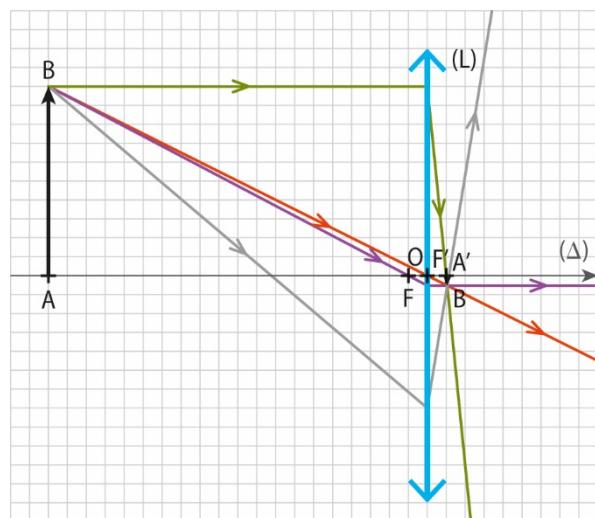
Le grandissement est donc  $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -0,053$ .

La distance entre une barre et sa voisine est au minimum  $h = 0,25$  mm.

La distance séparant sur l'écran l'image de cette barre de l'image de cette voisine est donc  $h' = |\gamma| h = 1,3 \times 10^{-4}$  m, ou encore  $5,2 \times 10^{-3}$  pouces.

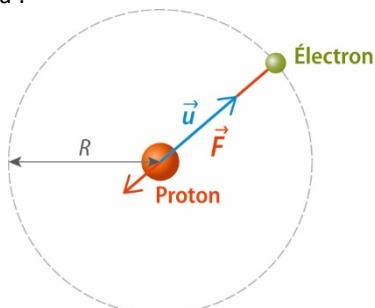
Ceci doit être supérieur à la distance entre deux capteurs, donc il faut un minimum de  $1,9 \times 10^2$  pixels par pouce pour que le lecteur fonctionne. (Si l'on se contente du minimum, alors il ne fonctionnera, pour les codes-barres les plus petits, que si on les met très près du détecteur.)

#### Schéma de la question 4



#### 12.1. Mouvement de l'électron dans l'atome

1. Schéma :



$$\text{Expression : } \vec{F} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{R^2} \vec{u}$$

$$\text{Norme : } F = 8,22 \times 10^{-8} \text{ N}$$

$$1.2. \text{ On calcule } E_c = 2,18 \times 10^{-18} \text{ J} = 13,6 \text{ eV.}$$

#### 2. La quantification de Bohr

2.1. L'énergie est quantifiée parce qu'elle ne peut prendre que quelques valeurs bien précises et pas un continuum de valeurs.

2.2. La variation de l'énergie de l'atome est :

$$E_2 - E_3 = -1,89 \text{ eV}$$

2.3. Le photon correspondant a donc une énergie  $E = 1,89 \text{ eV}$ , donc une longueur d'onde dans le vide  $\lambda = \frac{hc}{E} = 6,58 \times 10^{-7} \text{ m}$ . Il s'agit d'une radiation visible, car sa longueur d'onde est comprise entre 400 nm et 800 nm.

#### 3. Largeur de la raie

3.1. D'après le calcul à la calculatrice,  $\bar{\lambda} = 656,281818 \text{ nm}$  et  $s = 0,01834\dots \text{ nm}$ , donc  $U(\lambda) = 0,01 \text{ nm}$ .

On a donc  $\lambda = 656,28 \text{ nm} \pm 0,01 \text{ nm}$ .

3.2. L'incertitude relative est ici  $2 \times 10^{-5}$ , supérieure à l'élargissement relatif de la raie, donc celui-ci n'est pas visible à l'aide de ce dispositif.

13.1.1. L'incandescence est l'émission de photons dans toute une gamme de longueurs d'ondes par un corps chauffé, produisant une lumière à spectre continu. La désexcitation atomique, elle, produit une lumière à spectre de raies.

1.2. Le photon 3 a une énergie  $E_3 = 1,825 \text{ eV} = 2,92 \times 10^{-19} \text{ J}$ . Sa longueur d'onde est  $\lambda_3 = \frac{hc}{E_3} = 681 \text{ nm}$  : cela correspond à la couleur rouge.

1.3. Les deux autres photons ont des énergies proches, donc seront également dans le rouge, ce qui explique la couleur rouge du crackling R100.

1.4. La lumière d'éclairement est rouge, comme le bâtiment jaune diffuse le rouge, il sera perçu rouge.

2.1. On étudie le marron d'air, ramené à un point, dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Si toute action de l'air est négligée, le point subit uniquement son poids  $\vec{P} = m\vec{g}$ , où  $m$  est la masse du marron d'air.

L'énergie mécanique initiale du marron d'air est, en choisissant l'altitude initiale comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur, égale à l'énergie cinétique initiale :  $E_m = \frac{1}{2}mv_i^2$ .

L'énergie mécanique au plus haut est, puisque c'est à cette altitude que le projectile s'arrête de monter pour redescendre, égale à son énergie potentielle de pesanteur :  $E_m = mgh$ .

Comme l'énergie mécanique est conservée, ces deux valeurs sont égales : on en déduit  $h = \frac{v_i^2}{2g}$ .

$$\text{On calcule } h = 157 \text{ m.}$$

2.2. La distance entre l'éclatement et l'artificier est :

$$L = \sqrt{H^2 + d^2} = 118 \text{ m.}$$

$$\text{Le retard de propagation est donc } \tau = \frac{L}{v} = 0,35 \text{ s.}$$

# Activités type ÉCE

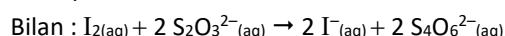
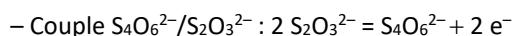
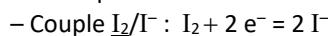
## ① Dosage des sucres dans un jus de fruits

Cette ÉCE consiste en un titrage indirect des sucres selon une méthode classique. Seule la dernière partie du titrage, conforme au programme, est à faire par l'élève ; cependant, toute la démarche est présentée et guidée. L'érlemeyer donné aux élèves peut avoir subi effectivement les étapes 1 et 2 du protocole, ou avoir été préparé comme une solution de diiode.

### 1. Analyser les différentes étapes du dosage

a. Réaction de titrage du diiode par les ions thiosulfate.

Demi-équations :



b. La quantité de matière d'ions thiosulfate versée à l'équivalence est  $c_2 V_{\text{éq}}$ .

D'après la stoéchiométrie de la réaction de titrage, la quantité de matière de diiode initialement présente est deux fois inférieure, donc  $n_{I_2} = \frac{c_2 V_{\text{éq}}}{2}$ .

### 2. Réaliser le titrage

a. Lors de l'appel, vérifier le zéro de la burette, les bulles du robinet, l'agencement correct de l'agitation et la position du bas de la burette.

b. Le volume équivalent est très variable selon les jus utilisés. Il est possible qu'il faille adapter la concentration de la solution  $S_1$  si le jus est très sucré. Mettons pour la suite que le volume équivalent soit  $V_{\text{éq}} = 14,5 \text{ mL}$ .

### 3. Exploitation du titrage

a. D'après la relation établie à la question 1. b., on calcule  $n_{I_2} = 1,45 \times 10^{-5} \text{ mol}$ .

$$\text{On en déduit } n_g = n_1 - n_{I_2} = c_1 V_1 - n_{I_2} \\ = 9,86 \times 10^{-4} \text{ mol.}$$

b. La masse de glucose dans 2,0 mL de jus est donc  $M_{\text{gl}} = 0,177 \text{ g}$ . Pour atteindre 25 g par jour, il faut boire  $\frac{25 \times 2,0}{0,177} = 2,8 \times 10^2 \text{ mL}$  de jus de fruits, ce qui est très vite atteint (un peu plus d'un quart de litre).

## ② Comment teindre un blue-jean ?

Ce sujet peut être vu comme la première partie d'une activité expérimentale plus grande où l'indigo serait utilisé pour teindre un tissu.

Voir le complément [hatier-clic.fr/pc1416](http://hatier-clic.fr/pc1416).

Le calcul du rendement nécessite d'avoir de l'indigo préparé à l'avance.

### 1. S'approprier le protocole

a. Précautions : porter des gants et des lunettes (les espèces sont corrosives et nocives). L'éthanol étant inflammable, tenir éloigné de toute flamme.

b. Les réactifs sont le 2-nitrobenzaldéhyde, l'acétone et l'ion hydroxyde. Le rôle de l'eau est de dissoudre tous les réactifs ensemble.

c. L'acétone prélevée à la pipette graduée de 5 mL et l'eau prélevée à l'éprouvette graduée de 25 mL.

Le 2-nitrobenzaldéhyde est prélevé sur une balance au centigramme à l'aide d'une coupelle de pesée et d'une spatule.

La solution d'hydroxyde de sodium est prélevée à la pipette graduée de 5 mL.

### 2. Réaliser le protocole

a. Le lavage est fait à l'éthanol car l'un des réactifs, le 2-nitrobenzaldéhyde, solide, y est soluble et pas l'indigo (le 2-nitrobenzaldéhyde n'étant pas soluble dans l'eau).

### 3. Exploitation de la synthèse

a. La quantité de matière de 2-nitrobenzaldéhyde introduit est  $n_1 = \frac{0,48}{151} = 3,2 \times 10^{-3} \text{ mol}$ .

Si le 2-nitrobenzaldéhyde est réactif limitant, la réaction de synthèse produit une quantité de matière d'indigo  $x_{\text{max}} = \frac{n_1}{2}$ , soit une masse  $M_2 x_{\text{max}} = 0,42 \text{ g}$ .

b. Le rendement est très variable suivant les manipulations des élèves.

## ③ Physique d'une poche d'air

### 1. Réalisation de la préparation décrite dans le protocole

1. Le protocole proposé permet de réaliser une poche d'air et d'avoir un tuyau vide d'eau au début des mesures.

### 2. Mesures

a. et b. Les mesures ne posent pas de difficulté particulière.

### 3. Exploitation des résultats

a. On doit obtenir une droite de pente  $1,0 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{-1}$ . Par application de la loi de la statique des fluides incompressibles, en prenant la référence de l'axe  $z$  vertical dirigé vers le haut, la pression dans l'eau à la profondeur  $h$  vaut  $P(-h)$  avec  $P(-h) - P_0 = \rho g(0 - (-h))$  soit  $P = P(-h) = P_0 + \rho gh$ .

On en déduit  $P - P_0 = \rho gh$ . La pente de la droite vaut donc  $\rho g = 1,0 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{m}^{-1}$  qui est cohérent avec le graphe de la question 3. a.

c. On doit obtenir une variation de pression de l'ordre de sa variation dans l'eau sur une vingtaine de centimètres, donc  $\Delta P \approx 2 \times 10^3 \text{ Pa}$ .

d. D'après la loi de Mariotte,  $P \times V = \text{constante à quantité de matière constante}$  (l'air est piégé dans l'éprouvette) et à température constante (le contact de la poche d'air avec une grande quantité d'eau agissant comme un thermostat assure une température constante).

L'application de la loi des variations corrélées donne donc

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta V}{V}$$

$$\text{donc } \Delta V \approx V \times \frac{\Delta P}{P} \approx 250 \times \frac{2 \times 10^3}{1 \times 10^5} = 5 \text{ mL.}$$

Cette valeur est de l'ordre de grandeur de l'incertitude sur la mesure de  $V$ .

#### 4. Prévision d'un phénomène et vérification

On met en communication la poche d'air avec l'air atmosphérique à la pression  $P_0$  donc la pression de la poche d'air vaudra  $P_0$ . D'après la loi établie à la question 3. b., on aura  $h = 0$  et le niveau de l'eau dans l'éprouvette sera le même que dans le seau.

#### 5. Exploitation

C'est le même phénomène que celui décrit à la question 4, la cheminée permettant d'égaler les pressions de la poche dans la grotte et de l'air atmosphérique.

### ④ Un bond sur la Lune

Cette activité utilise une vidéo célèbre pour en extraire la norme du champ de pesanteur lunaire. Les pointages et la collecte de données étant déjà réalisée, le travail de l'élève est centré sur le traitement de ces données à l'aide du langage Python.

#### 1. Proposition d'un protocole expérimental

a. La seule force subie par l'astronaute est son poids lunaire,  $\vec{P} = m\vec{g}_L$ .

La version approchée de la deuxième loi de Newton s'écrit  $m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{P}$ , d'où  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{g}_L$  qui, en projection verticale, donne  $g_L = -\frac{\Delta v_y}{\Delta t}$ .

b. Dans le programme Python, on dispose des positions  $y_A$  du point A. À l'aide de ces positions, on calcule les valeurs de la vitesse  $v_y$  aux dates considérées à l'aide de la relation donnée par l'énoncé.

Ensuite, grâce à la relation précédente, on en déduit les valeurs de  $g_L$  calculées à chaque position.

Le document 2 indique que la valeur estimée de  $g_L$  sera obtenue par la moyenne de ces valeurs ; l'incertitude à l'aide du calcul de l'écart-type expérimental dont l'expression est fournie.

#### 2. Mise en œuvre du protocole

a. et b. Voir le fichier de correction.

#### 3. Comparaisons des valeurs

a. Le calcul donne  $g_L = (1,7 \pm 0,4) \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

b. La valeur attendue est dans l'intervalle de confiance.

Cependant, cette méthode de mesure est assez approximative (l'incertitude relative est supérieure à 20 %).

### ⑤ Télémétrie à ultrasons

Cette activité est une alternative à l'activité figurant p. 332 du manuel et utilisant un émetteur-récepteur à ultrasons interfacé par un microcontrôleur.

#### 1. Réalisation de l'étalonnage du sonar

a. Protocole : pour différentes valeurs de  $d$ , mesurer  $\tau$ .

Tracer  $d$  en fonction de  $\tau$  et modéliser le graphique obtenu par une fonction adaptée.

b. La modélisation donne une équation affine  $d = a\tau + b$ .

Le coefficient directeur  $a$  est voisin de  $170 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , l'ordonnée à l'origine est en général négative, voisine du centimètre.

#### 2. Analyse théorique du fonctionnement

a. Si la modélisation du doc. 1 est correcte, alors  $d = \frac{v\tau}{2}$ .

b. On en déduit la valeur de  $v$  en multipliant le coefficient directeur de la modélisation par deux.

c. La présence d'une ordonnée à l'origine non nulle, négative, peut s'expliquer par la distance entre la position réelle des transducteurs et la position de la face de sortie de l'émetteur et du récepteur, seule accessible à la mesure.

#### 3. Mesure d'une distance et précision du sonar

a. Les mesures concordent approximativement.

b. L'incertitude associée à la mesure au mètre ruban peut être évaluée à environ deux millimètres. L'incertitude associée à la mesure au sonar s'évalue par essais successifs et est voisine également de deux millimètres.

Il est possible que les mesures soient incompatibles car les intervalles de confiance sont disjoints. Cela est dû le plus probablement à une sous-estimation de l'incertitude.

c. L'inconvénient de la mesure au sonar est la nécessité d'un appareillage plus complexe que le mètre ruban, même si cet appareillage peut être miniaturisé et la mesure automatisée. Elle nécessite également de connaître la célérité du son dans l'air, qui est variable avec la température et l'humidité. L'amélioration du dispositif passe par un critère de détection plus fin pour la mesure de  $\tau$  et une meilleure connaissance de la célérité du son. L'inconvénient du mètre ruban est qu'il doit avoir accès à l'obstacle dont on cherche à mesurer la distance. Le sonar n'a pas cet inconvénient.

**Édition et mise en page**

Stéphanie Mathé et Hannah-Belle Abdullah

**Illustrations**

Domino