

Livret de cours

# Physique/Chimie

Seconde

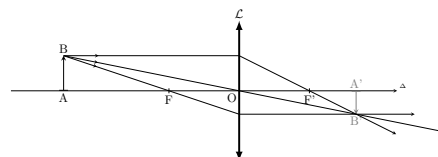
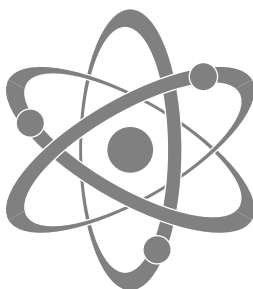
LYCÉE JEAN D'ALEMBERT - ALLIANCE FRANÇAISE DE VALPARAISO - ANNÉE SCOLAIRE 2026

Nom: .....

Prénom: .....

Classe:.....

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Leftrightarrow \Delta \vec{v} = \vec{0}$$





# Table des matières

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>0 Outils mathématiques pour la Physique-Chimie</b>                       | <b>7</b>  |
| 0.1 Faire la différence entre grandeur, valeur et unité . . . . .           | 8         |
| 0.2 "Jouer" avec les équations : le calcul littéral . . . . .               | 8         |
| 0.3 Résolution de problème : la méthode des 5C . . . . .                    | 11        |
| 0.4 Manipuler les unités . . . . .                                          | 12        |
| <b>1 Corps purs et mélanges</b>                                             | <b>17</b> |
| 1.1 Corps pur . . . . .                                                     | 17        |
| 1.2 Mélange . . . . .                                                       | 18        |
| 1.3 Identification d'espèces chimiques par des méthodes physiques . . . . . | 19        |
| 1.4 Identification d'espèces chimiques par des méthodes chimiques . . . . . | 20        |
| 1.5 Préparation à l'évaluation . . . . .                                    | 22        |
| <b>2 Solutions aqueuses</b>                                                 | <b>27</b> |
| 2.1 Notion de solution . . . . .                                            | 27        |
| 2.2 Réalisation de solutions . . . . .                                      | 29        |
| 2.3 Dosage par étalonnage . . . . .                                         | 31        |
| 2.4 Préparation à l'évaluation . . . . .                                    | 32        |
| <b>3 De l'atome à l'élément chimique</b>                                    | <b>37</b> |
| 3.1 Du macroscopique au microscopique . . . . .                             | 38        |
| 3.2 L'atome . . . . .                                                       | 39        |
| 3.3 Préparation à l'évaluation . . . . .                                    | 42        |
| <b>4 Vers des entités plus stables chimiquement</b>                         | <b>47</b> |
| 4.1 Le cortège électronique de l'atome . . . . .                            | 48        |
| 4.2 Vers des entités plus stables chimiquement . . . . .                    | 48        |
| 4.3 Préparation à l'évaluation . . . . .                                    | 53        |
| <b>5 La quantité de matière</b>                                             | <b>59</b> |
| 5.1 Masse d'une entité chimique . . . . .                                   | 59        |
| 5.2 Nombre d'entités dans un échantillon . . . . .                          | 61        |
| 5.3 La mole . . . . .                                                       | 61        |
| 5.4 Quantité de matière . . . . .                                           | 62        |
| 5.5 Préparation à l'évaluation . . . . .                                    | 64        |
| <b>6 Transformation physique</b>                                            | <b>69</b> |
| 6.1 Changement d'état . . . . .                                             | 69        |
| 6.2 Modélisation microscopique . . . . .                                    | 70        |
| 6.3 Transfert thermique . . . . .                                           | 71        |
| 6.4 Applications des changements d'états . . . . .                          | 71        |
| 6.5 Préparation à l'évaluation . . . . .                                    | 72        |

|                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>7 Transformation chimique</b>                                                       | <b>77</b>  |
| 7.1 Réaction chimique . . . . .                                                        | 77         |
| 7.2 Équation de réaction chimique . . . . .                                            | 78         |
| 7.3 Recherche du réactif limitant. . . . .                                             | 79         |
| 7.4 Réactions exothermiques et endothermiques . . . . .                                | 80         |
| 7.5 Synthèse d'une espèce chimique . . . . .                                           | 81         |
| 7.6 Préparation à l'évaluation . . . . .                                               | 82         |
| <b>8 Transformation nucléaire</b>                                                      | <b>87</b>  |
| 8.1 Isotope. . . . .                                                                   | 87         |
| 8.2 Réaction nucléaire . . . . .                                                       | 88         |
| 8.3 Écriture symbolique d'une réaction nucléaire . . . . .                             | 88         |
| 8.4 Réaction de fusion nucléaire . . . . .                                             | 89         |
| 8.5 Réaction de fission nucléaire. . . . .                                             | 89         |
| 8.6 Reconnaître le type de transformation à partir de l'équation de réaction . . . . . | 90         |
| 8.7 Préparation à l'évaluation . . . . .                                               | 91         |
| <b>9 Description des mouvements</b>                                                    | <b>95</b>  |
| 9.1 Système et référentiel . . . . .                                                   | 95         |
| 9.2 Description du mouvement . . . . .                                                 | 97         |
| 9.3 Préparation à l'évaluation . . . . .                                               | 100        |
| <b>10 Modéliser une action mécanique sur un système</b>                                | <b>105</b> |
| 10.1 Action sur un système . . . . .                                                   | 106        |
| 10.2 Principe des actions réciproques - 3 <sup>ème</sup> loi de Newton . . . . .       | 107        |
| 10.3 Interactions de contact . . . . .                                                 | 107        |
| 10.4 Interactions à distance . . . . .                                                 | 108        |
| 10.5 Préparation à l'évaluation . . . . .                                              | 111        |
| <b>11 Principe d'inertie</b>                                                           | <b>117</b> |
| 11.1 Énoncé . . . . .                                                                  | 117        |
| 11.2 Cas du point immobile . . . . .                                                   | 118        |
| 11.3 Cas du point en mouvement rectiligne uniforme. . . . .                            | 118        |
| 11.4 Cas du point en chute libre à une dimension . . . . .                             | 119        |
| 11.5 Préparation à l'évaluation . . . . .                                              | 119        |
| <b>12 Émission et perception d'un son</b>                                              | <b>125</b> |
| 12.1 Émission et propagation d'un signal sonore. . . . .                               | 125        |
| 12.2 Vitesse de propagation du son . . . . .                                           | 126        |
| 12.3 Signal sonore périodique . . . . .                                                | 127        |
| 12.4 Perception du son . . . . .                                                       | 128        |
| 12.5 Hauteur et timbre d'un son . . . . .                                              | 128        |
| 12.6 Intensité sonore et niveau d'intensité sonore . . . . .                           | 129        |
| 12.7 Préparation à l'évaluation . . . . .                                              | 130        |
| <b>13 Spectres d'émission</b>                                                          | <b>135</b> |
| 13.1 Nature de la lumière blanche. . . . .                                             | 135        |
| 13.2 Les spectres d'émission . . . . .                                                 | 137        |
| 13.3 Préparation à l'évaluation . . . . .                                              | 140        |

|                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>14 Réfraction et réflexion de la lumière</b>                       | <b>145</b> |
| 14.1 Réflexion de la lumière . . . . .                                | .146       |
| 14.2 Réfraction de la lumière . . . . .                               | .146       |
| 14.3 Dispersion de la lumière . . . . .                               | .148       |
| 14.4 Préparation à l'évaluation . . . . .                             | .148       |
| <b>15 Lentilles minces convergentes</b>                               | <b>153</b> |
| 15.1 Lentille mince convergente . . . . .                             | .153       |
| 15.2 Modèle simplifié de l'œil . . . . .                              | .156       |
| 15.3 Préparation à l'évaluation . . . . .                             | .156       |
| <b>16 Lois de l'électricité</b>                                       | <b>161</b> |
| 16.1 Circuit électrique et potentiel électrique . . . . .             | .162       |
| 16.2 Mesures électriques . . . . .                                    | .163       |
| 16.3 Loi des nœuds. . . . .                                           | .163       |
| 16.4 Loi des mailles . . . . .                                        | .164       |
| 16.5 Caractéristique tension $U$ et courant $I$ d'un dipôle . . . . . | .164       |
| 16.6 Capteurs électriques . . . . .                                   | .165       |
| 16.7 Préparation à l'évaluation . . . . .                             | .166       |
| <b>A Les lettres grecques et leur utilisation</b>                     | <b>171</b> |
| <b>B Grandeurs physiques, unités et conversions</b>                   | <b>172</b> |
| B.1 Unités de base du Système International S.I. . . . .              | .172       |
| B.2 Préfixe des unités . . . . .                                      | .173       |
| <b>C Les chiffres significatifs</b>                                   | <b>174</b> |
| C.1 Définition . . . . .                                              | .174       |
| C.2 Exprimer le résultat d'une opération. . . . .                     | .174       |
| <b>D Incertitudes de mesure</b>                                       | <b>176</b> |
| D.1 Écrire un résultat d'une mesure. . . . .                          | .176       |
| D.2 Exploiter une série de mesures : évaluation de type A . . . . .   | .176       |
| D.3 Exploiter une mesure unique : évaluation de type B . . . . .      | .177       |
| <b>E Verrerie et sécurité au laboratoire</b>                          | <b>178</b> |
| E.1 Sécurité . . . . .                                                | .178       |
| E.2 Pictogrammes de sécurité . . . . .                                | .179       |
| E.3 Verrerie . . . . .                                                | .179       |

## Préambule

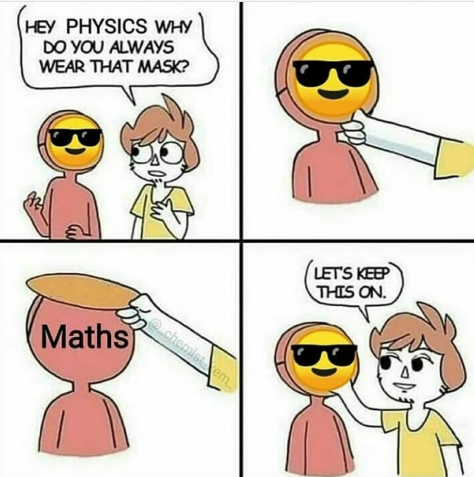
Ce document va vous accompagner pendant votre année de seconde. Il est à compléter au cours de l'année à l'aide du professeur. Ce document est inspiré de l'excellent travail de William Fortin<sup>1</sup>.

---

1. <http://physicus.free.fr/>



# Outils mathématiques pour la Physique-Chimie

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 😊 Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.1 Faire la différence entre grandeur, valeur et unité . . . . . 8<br>0.2 "Jouer" avec les équations : le calcul littéral . . . . . 8<br>0.3 Résolution de problème : la méthode des 5C . . . . . 11<br>0.4 Manipuler les unités . . . . . 12<br>Une nouvelle notation des unités!   ▪  Conversions simples   ▪<br>Puissances de 10   ▪  Conversions avec changement d'unité | <div>  <span>science_humor<br/>Manhattan, New York</span> </div>  |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                          |
| <div>🎧 Pourquoi la physique est-elle affaire de mathématiques?</div>                                                                                                                                                                                                                       | <div>✎ Exercices</div>                                                                                                                                                                                                                   |

**Introduction** Même s'il est possible de faire de la Physique-Chimie "avec les mains", l'utilisation d'équations et le traitement des données chiffrées se révèlent être une part importante de la discipline. Ce cours a donc pour objectif de présenter les attentes rédactionnelles ainsi que des notions élémentaires de mathématiques afin d'aborder les chapitres de l'année le plus sereinement possible. Nous le compléterons au fur et à mesure du premier trimestre <sup>1</sup>.

1. Chapitre basé sur les documents de [ensciences.fr](http://ensciences.fr).

## 0.1 Faire la différence entre grandeur, valeur et unité

### Définition 0.1: Grandeur physique

Une grandeur physique est une propriété d'un objet ou d'un système qui peut être mesurée et exprimée quantitativement. Elle peut également être calculée à partir d'une relation entre d'autres grandeurs. Elle est repérée et nommée par son symbole, c'est à dire la lettre utilisée pour la représenter.

### Définition 0.2: Valeur et unité

Une grandeur peut ainsi prendre différentes valeurs. On y ajoute une unité qui donne un sens mesurable à une grandeur.

On présentera alors les grandeurs de la manière suivante :

Ici, la masse est une grandeur mesurable représentée par la lettre  $m$ . L'unité utilisée est le kilogramme noté kg.

**Exercice 0.1.** Parmi les termes suivants, entourer en bleu les grandeurs et en rouge les unités : poids, volt, mètre par seconde, longueur, seconde, ampère, énergie.

## 0.2 "Jouer" avec les équations : le calcul littéral

En mathématique, une équation est une relation contenant une ou plusieurs variables. Le terme "relation" est essentiel ici, il implique que l'équation est constituée de deux parties reliées entre elles. Ainsi, on aura toujours trois composantes :

$$\begin{array}{c}
 \text{signe "égal"} \\
 \downarrow \\
 P = m \times g \\
 \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{membre de gauche}} \quad \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{membre de droite}}
 \end{array}$$

Une équation peut être vue comme une balance. Cette balance est composée de trois parties : deux plateaux et une aiguille centrale. Chacun des plateaux correspond à un côté de l'équation et l'aiguille correspond au signe ( $=$ ,  $<$ ,  $>$ ,  $\leq$ ,  $\geq$ ...).



Dans le cas présenté à gauche ci-dessus, la balance est équilibrée. Ainsi, si je rajoute 10 grammes à gauche, il faut aussi que j'en ajoute 10 à droite aussi afin que la balance reste équilibrée :

$$\frac{2 + 2 + 10}{4 + 10}$$

Cette idée permet alors l'application de deux théorèmes mathématiques essentiels :

### Propriété 0.1: Additions et soustractions dans une équation

Si on ajoute ou si on retranche aux deux membres d'une équation une même quantité on forme une nouvelle équation équivalente à la première.

#### Exemple 0.1

### Propriété 0.2: Multiplications et divisions dans une équation

Si on multiplie ou si l'on divise les deux membres d'une équation par une même quantité, on obtient une nouvelle équation équivalent à la première.

#### Exemple 0.2

En utilisant ce deux théorèmes, vous serez en mesure d'isoler la grandeur qui vous intéresse, tout en conservant l'égalité :

### Méthode 0.1: Isoler une grandeur à partir d'une expression littérale

- Faire apparaître la grandeur recherchée dans le membre de gauche ;
- Appliquer les théorèmes précédent autant de fois que nécessaire afin qu'il ne reste que la grandeur d'intérêt dans le membre de gauche ;
- Écrire l'expression littérale finale.

Exemple 0.3

Dans l’expression  $A = Z + N$ , on cherche à isoler  $Z$  :

Exemple 0.4

Dans l’expression  $v \times \Delta t = d$ , on cherche à isoler  $v$  :

Exercice 0.2. Isoler les grandeurs indiqués pour chaque expression littérale suivante :

| $U = R \times I$ , isoler $I$ | $f = \frac{1}{T}$ , isoler $T$ | $n = \frac{N}{N_A}$ , isoler $N$ |
|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|                               |                                |                                  |

Exercice 0.3. Soit l’expression littérale suivante :

$$p_B - p_A = \rho g(z_A - z_B)$$

(0.1)

Exprimer  $z_A$  en fonction des autres grandeurs.

## 0.3 Résolution de problème : la méthode des 5C

|                        | Étapes                                                                                                                                                                                | Exemple                                                                               |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Je <b>C</b> herche     | On lit attentivement tout le texte. On surligne les données du texte. On trouve dans l'énoncé ce que l'on doit chercher.                                                              | Un coureur court 30 minutes à la vitesse de 6 km/h. Quelle distance a-t-il parcourue? |
|                        | On écrit ce qu'on recherche en remplaçant la grandeur par la lettre.                                                                                                                  | On cherche :                                                                          |
| Je <b>C</b> on nais    | On indique ce qu'on sait en remplaçant les grandeurs par les lettres correspondantes et on indique la valeur avec son unité.                                                          | On sait que :                                                                         |
| Je <b>C</b> al cul e   | Si possible, on écrit le nom de la loi ou propriété utilisée. Puis, on écrit la relation mathématique littérale permettant de calculer la grandeur recherchée. On indique les unités. | On utilise la relation suivante :                                                     |
|                        | Si besoin, on isole l'inconnue devant le calcul littéral.                                                                                                                             | On en déduit que :                                                                    |
| Je <b>C</b> on vert is | On convertit si les unités des données ne conviennent pas.                                                                                                                            | On convertit :                                                                        |
|                        | On fait l'application numérique. On encadre le résultat.                                                                                                                              | On calcule :                                                                          |
| Je <b>C</b> on clus    | On fait une phrase de conclusion où on indique l'unité.                                                                                                                               | On en conclut que                                                                     |

TABLE 1 – Méthode des 5C

## 0.4 Manipuler les unités

### 0.4.1 Une nouvelle notation des unités!

Vous rencontrez de nombreuses unités avec des notations différentes (particulièrement dans le cas des unités composées) avec, par exemple, le formalisme suivant :

$$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$$

Cette unité n'est pas nouvelle pour vous! Il s'agit du "kilomètre par heure" que vous notez sûrement km/h. La partie  $\text{h}^{-1}$  se lit "par heure" car l'exposant -1 indique que l'unité h se situe au dénominateur :

$$\text{km} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

### 0.4.2 Conversions simples

On rappelle le tableau de conversion suivant, en prenant pour exemple l'unité le mètre :

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

TABLE 2 – Tableau de conversion du km au mm

#### Méthode 0.2: Conversions simples

On souhaite convertir 13,2 hg en grammes. Pour cela, on suit les étapes suivantes :

1. Placer le chiffre des unités avec la virgule dans la colonne de l'unité correspondante, ici le hg :

| kg | hg | dag | g | dg | cg | mg |
|----|----|-----|---|----|----|----|
|    |    |     |   |    |    |    |

2. Ajouter ensuite les dizaines et décimales :

| kg | hg | dag | g | dg | cg | mg |
|----|----|-----|---|----|----|----|
|    |    |     |   |    |    |    |

3. Décaler ensuite la virgule vers la droite autant de fois qu'il le faut pour atteindre les grammes. Puis, pour chaque colonne vide, on ajoute des zéros :

| kg | hg | dag | g | dg | cg | mg |
|----|----|-----|---|----|----|----|
|    |    |     |   |    |    |    |

4. Conclure : 13,2 hg = .....

**Remarque.** Lorsque l'on rencontre une grandeur à deux dimensions (comme par exemple une surface), il faudra donc remplir le tableau en plaçant deux chiffres par colonne (donc il y aura deux sous-colonnes) :

| km <sup>2</sup> | hm <sup>2</sup> | dam <sup>2</sup> | m <sup>2</sup> | dm <sup>2</sup> | cm <sup>2</sup> | mm <sup>2</sup> |
|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                 |                 |                  |                |                 |                 |                 |

De même à trois dimensions (comme par exemple pour un volume), on placera trois chiffres par colonne :

| km <sup>3</sup> | hm <sup>3</sup> | dam <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | dm <sup>3</sup> | cm <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup> |
|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                 |                 |                  |                |                 |                 |                 |
|                 |                 |                  |                |                 |                 |                 |

**Exercice 0.4.** Compléter l'espace manquant pour que l'égalité soit juste :

a)  $12 \text{ m} = \dots\dots\dots \text{ cm}$

b)  $480 \text{ m} = \dots\dots\dots \text{ mm}$

c)  $67,4 \text{ dam} = \dots\dots\dots \text{ hm}$

d)  $950 \text{ g} = \dots\dots\dots \text{ hg}$

e)  $370 \text{ ms} = \dots\dots\dots \text{ s}$

f)  $10,8 \text{ L} = \dots\dots\dots \text{ m}^3$

g)  $58,3 \text{ m}^3 = \dots\dots\dots \text{ mm}^3$

h)  $3 \text{ cm}^2 = \dots\dots\dots \text{ dam}^2$

i)  $3 \text{ mm} = \dots\dots\dots \text{ m}$

### 0.4.3 Puissances de 10

Les préfixes des unités indiquent une puissance de 10. Commençons par quelques rappels.

#### Définition 0.3: Puissance de 10

Un nombre correspondant à une puissance de 10 s'écrit sous la forme  $10^N$  où  $N$  est un nombre relatif. Deux cas particuliers :

▪  $10^4 = \dots\dots\dots$

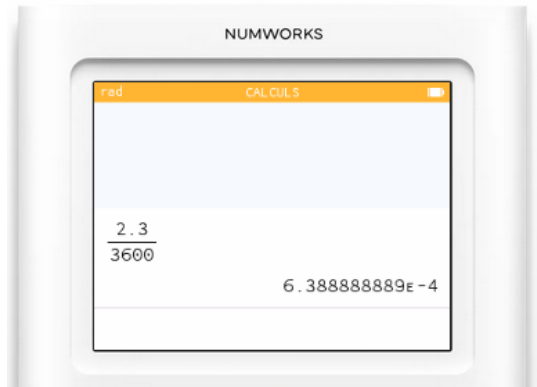
▪  $10^{-4} = \dots\dots\dots$

#### Propriété 0.3: Calculs avec les puissances de 10

Il est possible de réaliser des opérations à l'aide des puissances de 10. On retiendra particulièrement que :

$$10^a \times 10^b = \dots\dots\dots \quad \frac{10^a}{10^b} = \dots\dots\dots$$

**Remarque.** Pour saisir des puissances sur votre calculatrice, vous pouvez utiliser la touche . Lors des calculs, les résultats pourra être affiché sous forme scientifique :



Ici, le résultat affiché est 6.38888889E-4, qui se lit :  $6,38888889 \times 10^{-4}$ .

FIGURE 1 – Un exemple de résultat donné par la calculatrice.

**Exercice 0.5.** Sans calculatrice, proposer la valeur sous forme décimale des puissances de 10 suivantes :  $10^2$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^5$ ,  $10^8$ , 1,  $10^{-1}$ .

**Exercice 0.6.** Toujours sans calculatrice, proposer le résultats des calculs suivants sous forme de puissance de 10 :

|                       |                        |                      |                     |                                  |
|-----------------------|------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|
| $0,003 \times 10^2 =$ | $\frac{12}{10^{-4}} =$ | $\frac{10^6}{0,1} =$ | $\frac{10^6}{10} =$ | $3 \times 10^{-2} \times 10^9 =$ |
|                       |                        |                      |                     |                                  |

#### 0.4.4 Conversions avec changement d'unité

Un des cas les plus courants de changement d'unité en Physique-Chimie est la conversion des unités de temps :

- 1 min = 60 s
- 1 h = 60 min = 60 × 60 s
- 1 j = 24 × 60 min...

**Exercice 0.7.** Convertir 3 jours en secondes, 1 min en jour et 1 s en heure.

Vous rencontrerez aussi régulièrement des unités dites composées (par exemple  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ). La méthode à suivre est alors la suivante :

##### Méthode 0.3: Convertir les unités composées

1. Convertir séparément les différentes unités simples constituant l'unité composée de la grandeur étudiée;
2. Ne jamais convertir plusieurs unités en même temps;
3. Effectuer le produit ou le quotient des unités simples.

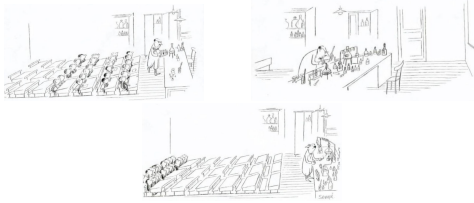
**Exemple 0.5**

On souhaite convertir  $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  :

**Exercice 0.8.** Convertir  $14,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ .



# Corps purs et mélanges

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ☺ Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1 Corps pur . . . . . 17<br>1.2 Mélange . . . . . 18<br>1.3 Identification d'espèces chimiques par des méthodes physiques . . . . . 19<br>Masse volumique   ▪  Température de changement d'état   ▪<br>Solubilité<br>1.4 Identification d'espèces chimiques par des méthodes chimiques . . . . . 20<br>Identification par des tests chimiques   ▪  Chromatographie sur<br>Couche Mince (CCM)<br>1.5 Préparation à l'évaluation . . . . . 22<br>Savoir et savoir-faire   ▪  Test de préparation au DS | Les mélanges en cours de chimie<br>(d'après Sempé) :<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <br><i>W Découverte de la chromatographie</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 6 p 24             <input type="checkbox"/> Ex. 25 p 27           </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 7 p 24             <input type="checkbox"/> Ex. 26 p 28           </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 11 p 25             <input type="checkbox"/> Ex. 17 p 26           </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 20 p 26             <input type="checkbox"/> Ex. 23 p 27           </div> |

## 1.1 Corps pur

### Définition 1.1: Corps pur

Un **corps pur** est composé d'**une seule** espèce chimique. Un corps pur possède des constantes physiques spécifiques : température de fusion, température d'ébullition, masse volumique, indice de réfraction, ... mais aussi des propriétés chimiques qui lui sont propres (tests chimiques, solubilité, ...).

### Exemple 1.1

L'eau distillée est un corps pur qui ne contient que des molécules d'eau  $H_2O$  (voir figure 1.1), le cuivre pur ne contient que les atomes de Cu, le dioxygène n'est constitué que de molécules  $O_2$ .

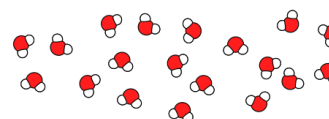


FIGURE 1.1 – L'eau distillée

## 1.2 Mélange

### Définition 1.2: Mélange

Un **mélange** contient **plusieurs** espèces chimiques. Le mélange est homogène si les espèces chimiques ne sont pas discernables. Dans le cas contraire, le mélange est hétérogène.

### Exemple 1.2

L'air, l'eau salée (voir figure 1.2) ou sucrée sont des mélanges homogènes. Le sang, le lait sont des mélanges hétérogènes.

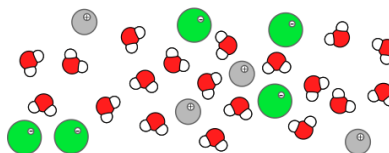


FIGURE 1.2 – L'eau de mer est un mélange constitué de molécules  $\text{H}_2\text{O}$  et d'ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ .

 S'entraîner — ☐ Ex. 6 p 24

### Définition 1.3: Proportions en masse et volume

On peut indiquer la proportion en masse ou en volume d'une espèce dans un mélange :

$$\% \text{ en masse} = \dots\dots\dots (1.1)$$

$$\% \text{ en volume} = \dots\dots\dots (1.2)$$

### Exemple 1.3

L'air est composé à 78% en volume de diazote ( $\text{N}_2$ ) et à 21% de dioxygène ( $\text{O}_2$ ). Le reste est composé d'autres gaz comme le dioxyde carbone ou l'argon.

Calculer le volume de dioxygène présent dans la salle de classe. On fera une estimation du volume total de cette dernière.

 S'entraîner — ☐ Ex. 7 p 24

## 1.3 Identification d'espèces chimiques par des méthodes physiques

### 1.3.1 Masse volumique

#### Définition 1.4: Masse volumique

Par définition, la masse volumique d'un corps est égale au quotient d'une masse  $m$  de ce corps par son volume  $V$ . La masse volumique s'exprime en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ou en  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , avec  $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  selon :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.3)$$

La masse volumique d'un corps dépend de la température et de la pression.

#### Exemple 1.4

$$\rho(\text{eau}) = 1,00 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 1,00 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 1 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}.$$

$$\rho(\text{éthanol}) = 0,79 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 0,79 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 790 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

#### Définition 1.5: Densité

La densité  $d$  d'un corps liquide ou solide, par rapport à l'eau, est égale au quotient de la masse  $m$  d'un volume  $V$  de ce corps par la masse  $m_0$  d'un même volume d'eau, ces deux volumes étant mesurés dans les mêmes conditions de température et de pression :

$$d = \frac{m}{m_0} \quad (1.4)$$

avec  $\rho$  la masse volumique du liquide ou solide en question et  $\rho(\text{eau})$  celle de l'eau.

La densité s'exprime **sans** unité. Lorsque deux liquides non miscibles sont introduits dans un même récipient, le moins dense surnage : il constitue la phase supérieure, alors que le plus dense constitue la phase inférieure.

#### Exemple 1.5

$$d(\text{Cu}) = 8.92 \text{ donc } \rho(\text{Cu}) =$$

 S'entraîner — ☐ Ex. 11 p 25 ☐ Ex. 23 p 27

### 1.3.2 Température de changement d'état

Le passage de la matière d'un état à un autre (solide, liquide ou gazeux) est appelé changement d'état. Pour un corps pur, il se produit à une température donnée, qui dépend de l'espèce chimique constituant le corps pur.

#### Définition 1.6: Température d'ébullition

On appelle **température d'ébullition** d'une espèce chimique, notée  $\theta_{eb}$ , la température de passage de l'état **liquide** à l'état **gazeux** de cette espèce chimique. L'unité est le degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) et elle se mesure avec un thermomètre.

**Définition 1.7: Température de fusion**

On appelle **température de fusion** d'une espèce chimique, notée  $\theta_f$ , la température de passage de l'état **solide** à l'état **liquide** de cette espèce chimique. L'unité est le degré Celsius : ( $^{\circ}\text{C}$ ), les instruments de mesure sont le thermomètre mais aussi le banc Kofler.

La détermination expérimentale d'une température de fusion ou d'ébullition d'une substance permet d'identifier cette substance par comparaison avec les valeurs répertoriées dans des tables de données. Elle permet aussi de vérifier si la substance est pure.

**1.3.3 Solubilité****Définition 1.8: Solubilité**

La **solubilité**  $s(E)$  d'une espèce chimique E (solide, liquide ou gaz) dans un solvant donné est égale à la **masse de soluté** que l'on peut dissoudre dans un **solvant** (en général de l'eau), pour préparer un litre de solution. Dans ce cas on dit que l'on a une solution saturée à la température considérée.

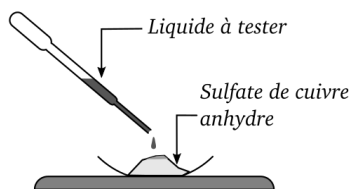
**1.4 Identification d'espèces chimiques par des méthodes chimiques****1.4.1 Identification par des tests chimiques**

FIGURE 1.3 – La présence d'eau est confirmée par la coloration en bleu du sulfate de cuivre anhydre

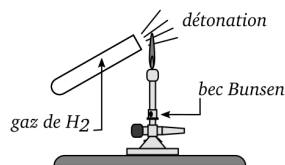


FIGURE 1.4 – La présence de dihydrogène est confirmée par une explosion. Attention, ce test doit être fait avec de très petites quantités de gaz, l'explosion étant très violente.

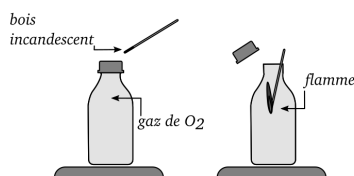


FIGURE 1.5 – La présence de dioxygène ravive une flamme à l'extrémité d'un bout de bois incandescent.

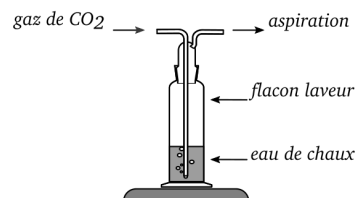


FIGURE 1.6 – La présence de dioxyde de carbone trouble l'eau de chaux où barbote le gaz à tester.

### 1.4.2 Chromatographie sur Couche Mince (CCM)

#### Principe

La chromatographie, d'abord appliquée aux substances colorées (du grec « khroma » = couleur) permet la séparation des constituants d'un mélange. Elle est basée sur la différence de solubilité d'une substance dans deux phases non miscibles :

- la phase fixe (support : alu + silice ou feuille de papier)
- la phase mobile (éluant)

La phase mobile, c'est à dire l'éluant (mélange de solvants), s'élève par capillarité le long de la couche de silice en entraînant les constituants du mélange à analyser (phénomène d'élution). Pour un éluant et un support donnés, une espèce chimique migre de la même façon qu'elle soit pure ou dans un mélange.

#### Protocole

1. Préparation de la cuve à élution. On met dans la cuve un solvant ou un mélange de solvant (hauteur du solvant 5 à 7 mm).
2. Préparation de la plaque. On trace un trait à 1 cm du bord et on dépose des microgouttes (attention : 1 pipette ou un pic en bois pour une et une seule substance).
3. Élution. On repère la position atteinte par le solvant à l'aide d'un trait de crayon très fin (front du solvant).
4. Révélation. Dans le cas où les taches sont incolores, on les met en évidence par différentes méthodes : lampe à UV, solution de permanganate de potassium, diiode etc...).

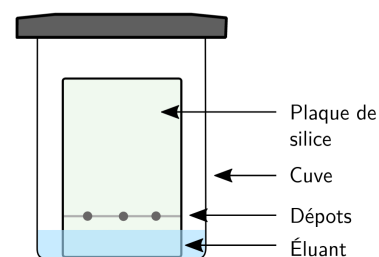


FIGURE 1.7 – Cuve à élution

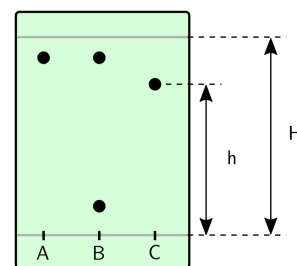


FIGURE 1.8 – Chromatogramme après révélation

#### Analyse du chromatogramme

##### Définition 1.9: Rapport frontal

Pour chaque tâche révélée on détermine le rapport frontal :

$$R_f = \frac{h}{H} \quad (1.5)$$

avec h la distance parcourue par le constituant, et H la distance parcourue par le front de l'éluant.  $R_f$  dépend du constituant, du support, et de l'éluant.

On analyse les résultats selon :

- Le chromatogramme présente autant de taches que l'échantillon étudié contient de constituants.
- Deux corps présentant le même rapport frontal  $R_f$  sur la même plaque sont identiques.
- En comparant les rapports frontaux des taches laissées par l'échantillon étudié aux rapports frontaux des taches laissées par les corps de référence (authentiques), il est possible de déterminer la composition des constituants en présence.

## 1.5 Préparation à l'évaluation

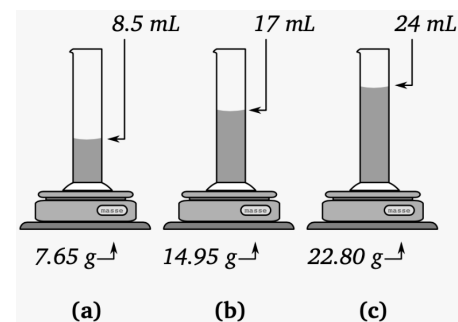
### 1.5.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                                            | OK                       | À revoir                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Espèce chimique, corps pur, mélanges d'espèces, chimiques, mélanges homogènes et hétérogènes.                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Identification d'espèces chimiques dans un échantillon de matière par des mesures physiques ou des tests chimiques.                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Composition massique d'un mélange.                                                                                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Composition volumique de l'air.                                                                                                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                                           | OK                       | À revoir                 |
| Citer des exemples courants de corps purs et de mélanges homogènes et hétérogènes.                                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Identifier, à partir de valeurs de référence, une espèce chimique par ses températures de changement d'état, sa masse volumique ou par des tests chimiques. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Citer des tests chimiques courants de présence d'eau, de dihydrogène, de dioxygène, de dioxyde de carbone.                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Citer la valeur de la masse volumique de l'eau liquide et la comparer à celles d'autres corps purs et mélanges.                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Distinguer un mélange d'un corps pur à partir de données expérimentales.                                                                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Citer la composition approchée de l'air et l'ordre de grandeur de la valeur de sa masse volumique.                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Établir la composition d'un échantillon à partir de données expérimentales.                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacités mathématiques :                                                                                                                                   |                          |                          |
| utiliser les pourcentages et les fractions.                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 1.5.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 1.1 Identification d'une huile essentielle

Trois éprouvettes contiennent chacune une huile essentielle, dont on a mesuré à chaque fois la masse et le volume de l'échantillon. Déterminer la nature de l'huile contenue dans chaque éprouvette à partir des mesures expérimentales et du tableau de valeur suivant.



| Huile essentielle                                   | Basilic | Menthol | Lavande |
|-----------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Masse volumique ( $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) | 0,95    | 0,90    | 0,88    |

#### \*\* Problème 1.2 Masse volumique du cyclohexane

Le cyclohexane est un solvant dont la masse volumique vaut  $\rho_{\text{cyclo}} = 780 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

1. Calculer la masse  $m$  d'un volume  $V = 15 \text{ mL}$  de cyclohexane.
2. L'eau et le cyclohexane n'étant pas miscibles, déterminer le liquide surnageant quand ces deux solvants sont mélangés dans un tube à essais.

---

**\*\* Problème 1.3      Information nutritionnelle d'une brioche**

L'étiquette sur l'emballage d'une brioche indique que dans deux tranches de 67 g, on trouve 8,5 g de matière grasse, 32,7 g de glucides, 5,2 g de protéines et 0,67 g de sel.

1. Calculez le pourcentage en masse pour chaque constituant présent dans une brioche.
2. Calculez la masse totale des ingrédients et expliquez d'où pourrait provenir la différence observée. Comment pourrait-on faire simplement pour se débarrasser de cet ingrédient?

---

**\*\* Problème 1.4      Composition de l'air**

Citer les deux principaux composants de l'atmosphère terrestre et donner leur composition en volume. Calculer le volume qu'occupent chacun des deux gaz pour un échantillon de  $4 \text{ m}^3$ .

---

**\*\* Problème 1.5      Identification d'espèces chimiques**

Trois flacons identiques sans étiquettes contiennent trois liquides incolores : de l'eau, de l'éthanol et de l'huile de paraffine. On donne les caractéristiques physiques de ces trois espèces chimiques dans le tableau suivant :

| Espèce chimique    | Aspect                  | Masse volumique                      | Miscibilité                                   |
|--------------------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Eau                | Incolore, inodore       | $1,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  | Miscible avec l'éthanol mais pas la paraffine |
| Éthanol            | Incolore, odeur typique | $0,79 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ | Miscible avec l'eau mais pas la paraffine     |
| Huile de paraffine | Incolore, inodore       | $0,85 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ | Non miscible avec l'eau et l'éthanol          |

---

Proposez une méthode simple pour reconnaître les trois liquides.

### Correction du problème 1.1

On calcule, pour chacune des éprouvettes, la masse volumique de l'échantillon, en utilisant la formule suivante :  $\rho = \frac{m}{V}$ . On obtient :

- Éprouvette (a) :  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{7,65\text{g}}{8,5\text{mL}} = 0,90\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ . L'éprouvette (a) contient du menthol.
- Éprouvette (b) :  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{14,95\text{g}}{17\text{mL}} = 0,88\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ . L'éprouvette (b) contient de la lavande.
- Éprouvette (c) :  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{22,80\text{g}}{24\text{mL}} = 0,95\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ . L'éprouvette (c) contient du basilic.

### Correction du problème 1.2

1. La formule de la masse volumique est  $\rho_{\text{cyclo}} = \frac{m}{V}$  et nous cherchons  $m$ . En multipliant par  $V$  à gauche et à droite de l'équation on obtient  $m = \rho_{\text{cyclo}} \times V = 780\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \times 15\text{mL} = 780\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \times 0,015\text{L} \approx 12\text{g}$ .
2. L'eau a une masse volumique de  $1\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$  soit  $1000\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ . On a donc  $\rho_{\text{eau}} > \rho_{\text{cyclo}}$  donc le cyclohexane flotte sur l'eau.

### Correction du problème 1.3

1. Pour calculer le pourcentage en masse, on utilise la formule suivant :  $\chi_m = \frac{m(\text{constituant})}{m(\text{totale})}$ . Dans le cas de la matière grasse,  $\chi_m = \frac{8,5\text{g}}{67\text{g}} = 0,13 = 13\%$ . Pour les glucides on obtient  $\chi_m = \frac{32,7\text{g}}{67\text{g}} = 0,49 = 49\%$ . Pour les protéines on obtient  $\chi_m = \frac{5,2\text{g}}{67\text{g}} = 0,08 = 8\%$  et pour le sel  $\chi_m = \frac{0,67\text{g}}{67\text{g}} = 0,01 = 1\%$ .
2. La masse totale est  $8,5 + 32,7 + 5,2 + 0,67 = 47,1\text{g}$ . Le reste provient de la l'eau nécessaire à la fabrication de tout type de pain.

### Correction du problème 1.4

L'air est composé de diazote  $\text{N}_2$  à  $\chi_V(\text{N}_2) = 78\%$  en volume et de dioxygène à  $\chi_V(\text{O}_2) = 21\%$ . On utilise ensuite la formule de la proportion en volume (ou pourcentage en volume)  $\chi_V = \frac{V(\text{espèce chimique})}{V(\text{total})}$ . On cherche  $V(\text{N}_2)$  donc on multiplie à gauche et à droite par  $V(\text{total})$  et on obtient  $V(\text{N}_2) = \chi_V(\text{N}_2) \times V(\text{total}) = 78\% \times 4\text{m}^3 = 3,12\text{m}^3$ . De la même manière on a  $V(\text{O}_2) = \chi_V(\text{O}_2) \times V(\text{total}) = 21\% \times 4\text{m}^3 = 0,84\text{m}^3$ .

### Correction du problème 1.5

Pour identifier ces trois liquides, nous pouvons mesurer leur masse volumique. Pour cela il faut mesurer la masse et le volume d'un échantillon à l'aide d'une éprouvette graduée ou mieux encore d'une pipette jaugée et d'une balance de précision. En comparant la masse volumique aux valeurs de référence, nous pouvons donc identifier les liquides.

Il n'est pas conseillé de renifler les flacons car cela pourrait se révéler dangereux. La miscibilité ne permet d'identifier que la paraffine.

|                                                                                                                |                                                                                                                                 |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce qu'un mélange ?</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>                                         | <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce qu'un mélange homogène ?</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>                                                 | <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce qu'un mélange hétérogène ?</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>                                            | <p>COURS</p> <p><b>Que sont deux liquides miscibles ?</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>                                                                                                           |
| <p>COURS</p> <p><b>Donner la composition volumique de l'air sec.</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>                     | <p>COURS</p> <p><b>Donner la formule de la proportion en masse d'une espèce <math>E</math>.</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>           | <p>COURS</p> <p><b>Donner la formule de la proportion en volume d'une espèce <math>E</math>.</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>       | <p>COURS</p> <p><b>Donner la formule de la masse volumique et les unités de chaque terme. Citer l'ordre de grandeur de la masse volumique de l'eau et de l'air.</b></p> <p>CHAPITRE 1</p> |
| <p>COURS</p> <p><b>Donner la formule de la densité et les unités de chaque terme.</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>    | <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce que la température d'ébullition et de fusion ?</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>                           | <p>COURS</p> <p><b>Comment peut-on également écrire l'unité suivante: <math>\text{kg/m}^3</math> ?</b></p> <p>CHAPITRE 1</p> | <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce que la solubilité ?</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>                                                                                                                |
| <p>COURS</p> <p><b>Décrire le test caractéristique de l'eau et celui du dihydrogène.</b></p> <p>CHAPITRE 1</p> | <p>COURS</p> <p><b>Décrire le test caractéristique du <math>\text{CO}_2</math> et celui du dioxygène.</b></p> <p>CHAPITRE 1</p> | <p>COURS</p> <p><b>Quel est l'objectif de la chromatographie sur couche mince ?</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>                    | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Que peut-on mesurer pour identifier deux poudres de couleurs grises, l'une étant du fer, l'autre de l'aluminium ?</b></p> <p>CHAPITRE 1</p>                     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Deux liquides sont miscibles s'ils forment un mélange homogène. Au contraire, deux liquides sont non-miscibles s'ils forment un mélange hétérogène.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>Un mélange est hétérogène si au moins deux des constituants sont visibles à l'œil nu.</p>                                                                                | <p>Un mélange est homogène si les espèces chimiques ne sont pas discernables.</p>                                                                                                                                                                                                             | <p>Un mélange contient plusieurs espèces chimiques.</p>                                                                                                                                                                                                                                   |
| <div> <div> masse volumique<br/>en <math>\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}</math> </div> <div> masse<br/>en kg </div> <div> <math>\rho = \frac{m}{V}</math> </div> <div> volume<br/>en <math>\text{m}^3</math> </div> </div> <p> <math>\rho(\text{eau}) = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}</math><br/> <math>= 1 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}</math><br/> <math>\rho(\text{air}) = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}</math> </p> | <p>Dans un mélange, la proportion en volume d'une espèce <math>E</math> dans un mélange de volume <math>V_{tot}</math> est:</p> $\chi_v = \frac{V(E)}{V_{tot}}$             | <p>Dans un mélange, la proportion en masse d'une espèce <math>E</math> dans un mélange de masse <math>m_{tot}</math> est:</p> $\chi_m = \frac{m(E)}{m_{tot}}$                                                                                                                                 | <p>L'air est composé de 78% de diazote, de 21% de dioxygène, et le reste d'autres gaz comme l'argon ou le dioxyde de carbone.</p>                                                                                                                                                         |
| <p>C'est la masse maximale de soluté qu'on peut dissoudre dans un solvant donné.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p><math>\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}</math><br/>En effet, les règles mathématiques donnent:</p> $\frac{a}{b^c} = a \cdot b^{-c}$                                          | <p>La température d'ébullition est la température à laquelle se fait le passage de l'état liquide à l'état gazeux d'une espèce chimique pure, alors que la température de fusion est celle de l'état solide à l'état liquide.</p>                                                             | <div> <div> densité<br/>(sans unité) </div> <div> masse volumique<br/>en <math>\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}</math> </div> <div> <math>d = \frac{\rho}{\rho(\text{eau})}</math> </div> <div> masse volumique<br/>de l'eau<br/>en <math>\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}</math> </div> </div> |
| <p>On peut mesurer la température de fusion des deux poudres et comparer avec les valeurs de références.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>Une CCM permet de séparer les composants d'un mélange homogène car chaque espèce chimique migre à une hauteur qui dépend de son affinité avec la plaque et l'éluant.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Test du <math>\text{CO}_2</math> à l'eau de chaux: l'eau de chaux se trouble au contact du <math>\text{CO}_2</math>.</li> <li>• Test du dioxygène: un pic en bois incandescent est ravivé (une flamme apparaît) en présence de dioxygène.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Test de l'eau au sulfate de cuivre anhydre: il devient bleu en présence d'eau.</li> <li>• Test du dihydrogène: on a une détonation lorsqu'on approche une flamme.</li> </ul>                                                                     |

## Solutions aqueuses

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 😊 Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1 Notion de solution . . . . . 27<br>Solution   ▪ Concentration massique $C_m$ en soluté.   ▪ Solubilité<br>2.2 Réalisation de solutions . . . . . 29<br>Préparation par dissolution d'un solide   ▪ Dilution d'une solution<br>2.3 Dosage par étalonnage . . . . . 31<br>Dosage   ▪ Dosage par étalonnage<br>2.4 Préparation à l'évaluation . . . . . 32<br>Savoir et savoir-faire   ▪ Test de préparation au DS | ▪ Deux électrodes discutent : "le courant ne passe pas entre nous" et l'autre répond "faut vite qu'on trouve une solution..."<br><br>▪ Quelle est la spécificité d'un piano dans un verre d'eau? Il est aqueux (à queue).                                                                                                                                                                                          |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ✍ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 🎧 <i>Faraday, et la conduction électrique des solutions aqueuses</i><br><br>                                                                                                                                                                                                                                                     | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 4 p 42      <input type="checkbox"/> Ex. 20 p 44<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 11 p 43    <input type="checkbox"/> Ex. 21 p 44<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 12 p 43    <input type="checkbox"/> Ex. 26 p 45<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 15 p 43         </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 36 p 48    <input type="checkbox"/> Ex. 37 p 48         </div> |

## 2.1 Notion de solution

### 2.1.1 Solution

#### Définition 2.1: Solution

Une **solution** se constitue d'un liquide, le **solvant**, dans lequel est dissout le **soluté** qui est une espèce chimique moléculaire ou ionique. Si le solvant est de l'eau, on parle de **solution aqueuse**.

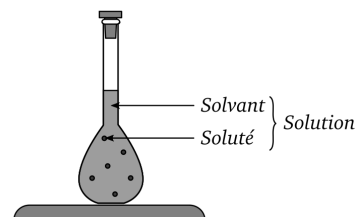


FIGURE 2.1 – Une solution se compose d'un soluté dissout dans un solvant.

2.1.2 Concentration massique  $C_m$  en soluté.

Définition 2.2: Concentration en masse

La **concentration en masse**  $C_m$  (ou concentration massique) d'une solution est le rapport entre la masse  $m$  de soluté présent et le volume  $V$  de solution :

..... (2.1)

avec :

- .....
- .....
- .....

Exemple 2.1

Si on dissout une masse  $m = 5,75 \text{ kg}$  de sucre dans un volume  $V = 0,75 \text{ m}^3$ , on peut calculer la concentration en masse  $C_m$  de cette solution.

 S'entraîner — ☐ Ex. 4 p 42 ☐ Ex. 11 p 43 ☐ Ex. 12 p 43

2.1.3 Solubilité

Définition 2.3: Solubilité

La **solubilité** d'un soluté est la quantité maximale de soluté qu'on peut dissoudre dans 1 L de solvant. On parle alors de solution saturée.

Exemple 2.2

On peut dissoudre au maximum 358 g de chlorure de sodium dans 1.00 L d'eau à 20 °C. Pour le chlorure d'argent, on peut dissoudre dans 1 L d'eau pur seulement 2,4 mg de ce sel. Pour le glucose, on peut dissoudre dans un litre d'eau environ 900 g de cristaux de glucose.

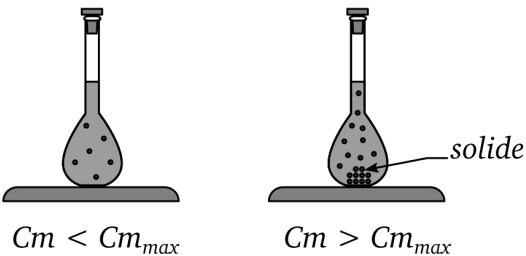


FIGURE 2.2 – Une solution de concentration en masse théorique  $C_m$  supérieure à une concentration maximale  $C_{m_{max}}$  ne sera pas réalisable, car il restera du solide impossible à dissoudre car la concentration maximale est atteinte.

## 2.2 Réalisation de solutions

### 2.2.1 Préparation par dissolution d'un solide

#### Théorie

Pour fabriquer un volume  $V$  de solution de concentration en masse  $C_m$ , on doit peser une masse  $m$  de soluté de manière à avoir une concentration en masse :

$$C_m = \frac{m}{V} \quad (2.2)$$

Ensuite, on procède à sa dissolution dans une fiole jaugée de volume  $V$ .

#### Sur la paillasse

##### Exemple 2.3

On veut fabriquer 200 mL d'une solution de glucose de concentration en masse  $5,4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . On va calculer la masse de glucose à prélever. Comme  $C_m = m/V$ , on peut isoler  $m$  et écrire :

$$m = \dots\dots\dots (2.3)$$

On sait que le volume de solution à fabriquer est  $V = 200 \text{ mL} = 0,200 \text{ L}$  et on connaît  $C_m$  donc on va prélever une masse de glucose

$$m = \dots\dots\dots (2.4)$$

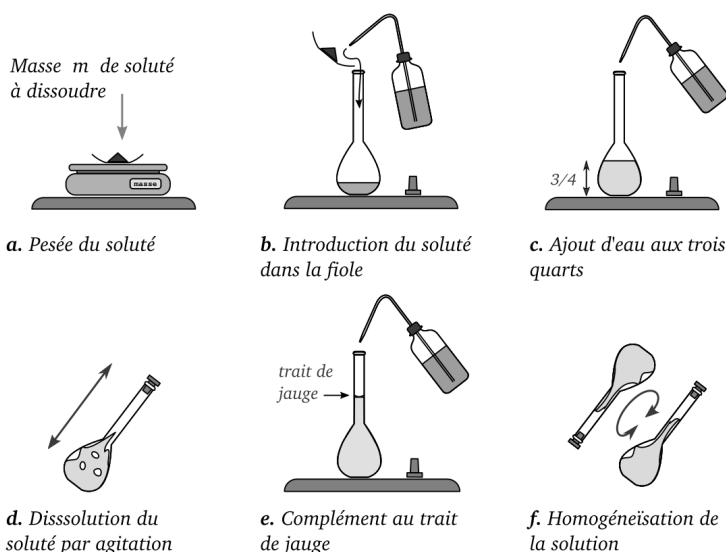


FIGURE 2.3 – Réalisation d'une solution par dissolution d'un solide.

 S'entraîner —  Ex. 15 p 43

### 2.2.2 Dilution d'une solution

#### Théorie

Si on a une solution mère de concentration en masse  $C_m$  et de volume  $V_m$  (ici l'indice  $m$  est pour indiquer qu'on parle de la solution mère), alors on peut fabriquer une solution fille de volume  $V_f$  et de concentration  $C_f$  en ajoutant du solvant.

**Propriété 2.1: Masse de soluté prélevée**

La masse de soluté prélevée dans la solution mère est égale à la masse de soluté dans la solution fille et on aura la relation :

..... = ..... (2.5)

..... = ..... (2.6)

**Définition 2.4: Facteur de dilution**

Le **facteur de dilution** correspond au nombre de fois que la solution mère a été diluée :

..... (2.7)

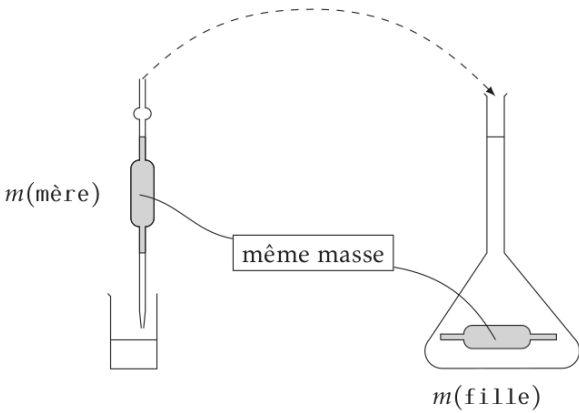


FIGURE 2.4 – Le masse de soluté dans la solution mère prélevée est égale à la masse de soluté dans la solution fille.

**Exemple 2.4**

On dispose d'un flacon contenant une solution mère de concentration en masse  $C_m = 5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . On veut fabriquer un volume de  $V_f = 250 \text{ mL}$  d'une solution fille de concentration en masse  $C_f = 0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . Quelle volume de solution mère doit-on prélever?

### Sur la paillasse

Pour préparer un volume  $V_f$  de solution fille de concentration  $C_f$  par dilution d'une solution mère de concentration  $C_m$ , il faut :

1. calculer le volume  $V_m$  de solution mère à prélever.
2. prélever ce volume à l'aide d'une pipette jaugée munie d'une propipette.
3. introduire ce volume dans une fiole jaugée de volume  $V_f$ .
4. compléter d'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Boucher, agiter pour homogénéiser. On a préparé la solution fille de concentration  $C_f$  en soluté.

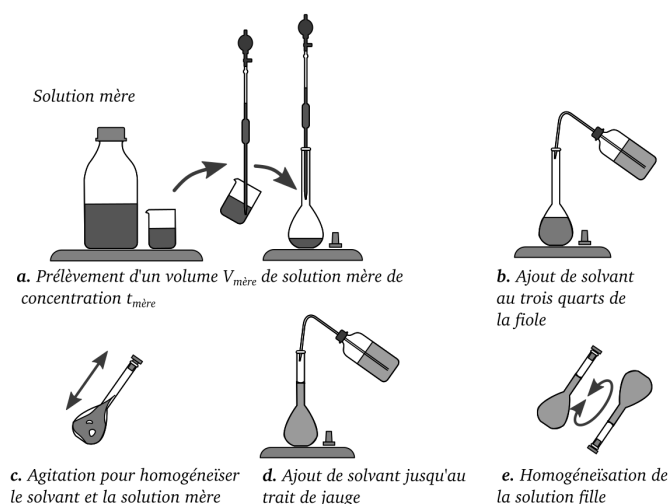


FIGURE 2.5 – Réalisation d'une solution par dilution à partir d'une solution mère.

 S'entraîner — ☐ Ex. 20 p 44 ☐ Ex. 21 p 44 ☐ Ex. 26 p 45 ☐ Ex. 36 p 48

## 2.3 Dosage par étalonnage

### 2.3.1 Dosage

#### Définition 2.5: Dosage

Faire un **dosage** en chimie, c'est mesurer la concentration d'une espèce chimique dans une solution. Pour mesurer cette concentration, on utilise des méthodes physiques ou chimiques.

#### Exemple 2.5

Les grandeurs que l'on peut utiliser pour mesurer une concentration peuvent être la masse volumique, la couleur, la conductivité électrique, le pH, ...

### 2.3.2 Dosage par étalonnage

#### Définition 2.6: Dosage par étalonnage

Pour réaliser un dosage par **étalonnage** d'une espèce chimique en solution, on fabrique des solutions étalons dont on connaît précisément la concentration et on mesure une grandeur physique correspondant à cette solution. Ensuite, après avoir tracé une courbe d'étalonnage, on mesure la même grandeur physique pour la solution inconnue et on en déduit la valeur de sa concentration par comparaison.

Exemple 2.6

Pour doser le saccharose dans 1 L de Coca Cola, on a fabriqué par dissolution quatre solutions étalons de 100 mL de concentration en masse précise dont on mesure ensuite la masse volumique  $\rho$ . On trace la masse volumique en fonction de la concentration en masse, puis après avoir mesuré la masse volumique du Coca Cola, on en déduit la concentration en masse en saccharose  $t_m(Coca\,Cola) = 106\,\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ .

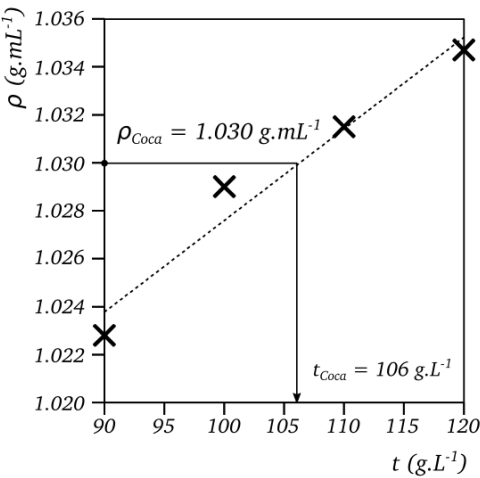


FIGURE 2.6 – Dosage par étalonnage de la concentration en masse en saccharose du Coca Cola.

S'entraîner — 37 p 48

2.4 Préparation à l'évaluation

2.4.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                                         | OK                       | À revoir                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Solvant, soluté.                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Concentration en masse, concentration maximale d'un soluté.                                                                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Dosage par étalonnage.                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                                        | OK                       | À revoir                 |
| Identifier le soluté et le solvant à partir de la composition ou du mode opératoire de préparation d'une solution.                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Distinguer la masse volumique d'un échantillon et la concentration en masse d'un soluté au sein d'une solution.                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Déterminer la valeur de la concentration en masse d'un soluté à partir du mode opératoire de préparation d'une solution par dissolution ou par dilution. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Déterminer la valeur d'une concentration en masse et d'une concentration maximale à partir de résultats expérimentaux.                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacités mathématiques :                                                                                                                                |                          |                          |
| utiliser une grandeur quotient pour déterminer le numérateur ou le dénominateur (isoler un terme dans une équation).                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## 2.4.2 Test de préparation au DS

### \* Problème 2.1 Soluté ou solvant?

1. On dissout 20 g de sucre dans 500 mL d'eau. Quel est le soluté? Quel est le solvant?
2. On prélève 20 mL d'une solution aqueuse de chlorure de sodium, qu'on introduit dans une fiole de 50 mL et on ajoute de l'eau. Quel est le soluté? Quel est le solvant?
3. L'éosine est un colorant utilisé pour ses propriétés asséchantes. Les flacons de solution aqueuse disponibles en pharmacie contiennent un volume de 20 mL d'une solution d'éosine de concentration en masse en éosine de  $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . Quel est le soluté? Quel est le solvant?

### \* Problème 2.2 Masse volumique ou concentration en masse?

On considère les deux expressions suivantes :  $\frac{m_{\text{solution}}}{V_{\text{solution}}}$  et  $\frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$ . Identifier celle qui représente la concentration en masse de soluté et celle qui représente la masse volumique de la solution.

### \* Problème 2.3 Calcul de concentration en masse

On introduit 2,0 g de sel dans une fiole jaugée de 200 mL et on complète avec de l'eau jusqu'au trait de jauge. On agite jusqu'à dissolution totale. Calculer la concentration en masse du sel, l'exprimer en gramme par litre.

### \*\* Problème 2.4 Dilution d'une solution d'éosine

On verse 2,0 mL d'une solution aqueuse d'éosine de concentration en masse  $C_m = 20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  dans une fiole jaugée de 50 mL. On ajoute de l'eau jusqu'au trait de jauge et on agite. Calculer la concentration en masse en éosine, notée  $C_{m,2}$  de la solution diluée.

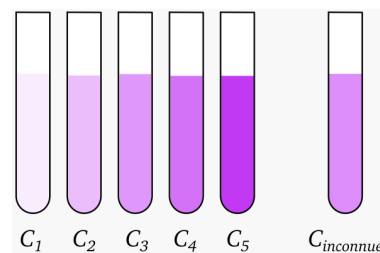
### \*\* Problème 2.5 Saturation d'une solution d'eau salée

On souhaite préparer une solution aqueuse de sel de concentration en sel de  $500 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . Mais lorsqu'on réalise la solution dans une fiole jaugée de 1 L, il reste du sel non dissout. On le pèse, il représente une masse de 140 g. Calculer la concentration en masse de la solution saturée.

### \* Problème 2.6 Échelle des teintes

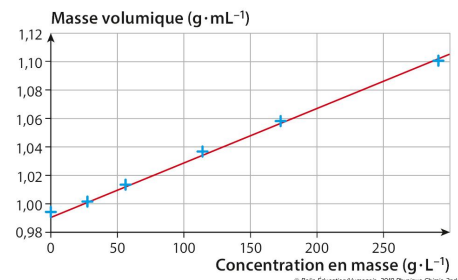
On réalise une échelle de teinte avec des solutions de permanganate de potassium de différentes concentrations en masse connues, notées  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  et  $C_5$ .

Encadrer la valeur de la concentration en permanganate de potassium de la solution sur la droite de concentration  $C_{\text{inconnue}}$ .



### \* Problème 2.7 Dosage par étalonnage du sucre

On effectue un dosage par étalonnage de la concentration en sucre d'un soda. On obtient, après la création de différentes solutions de concentrations en masse de sucre différentes et la mesure de leur masse et volume, la droite d'étalonnage ci-contre. On mesure la masse volumique de notre soda et on a  $\rho_{\text{soda}} = 1,02 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ . Quelle la concentration en sucre du soda?



---

**Correction du problème 2.1**

1. Le soluté est le sucre et le solvant l'eau.
2. Le soluté est chlorure de sodium (le sel) et le solvant l'eau.
3. Le soluté est l'éosine et le solvant l'eau.

---

**Correction du problème 2.2**

La concentration en masse est donnée par  $\frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$  alors que la masse volumique est donnée par  $\frac{m_{\text{solution}}}{V_{\text{solution}}}$ . La différence est que dans le cas de la masse volumique, on prend en compte non seulement la masse de soluté mais aussi la masse de solvant pour le calcul.

---

**Correction du problème 2.3**

$$C_m = \frac{m}{V} = \frac{2,0\text{g}}{200\text{mL}} = \frac{2,0\text{g}}{0,200\text{L}} = 10\text{g} \cdot \text{L}^{-1}.$$

---

**Correction du problème 2.4**

La solution mère a pour concentration  $C_{m,1} = 20\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  et on en prélève  $V_m = 2,0\text{mL}$ . La solution fille a pour volume celui de la fiole jaugée soit  $V_f = 50\text{mL}$ . Or, la relation reliant les solutions mère et fille est :  $C_{m,1} \times V_m = C_{m,2} \times V_f$ . On cherche  $C_{m,2}$  qu'on isole en divisant à gauche et à droite par  $V_f$ . Finalement on a :  $C_{m,2} = \frac{C_{m,1} \times V_m}{V_f} = \frac{20\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \times 2,0\text{mL}}{50\text{mL}} = 0,80\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ . La solution fille a une concentration de  $0,80\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

---

**Correction du problème 2.5**

Lorsqu'on a effectué la dissolution, on a pesé 500 g de sel qu'on a introduit dans la fiole jaugée. Or, 140 g de sel ne s'est pas dissout. Seuls  $500 - 140 = 360\text{g}$  se sont donc dissout. La solution a donc une concentration de  $360\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , si on néglige le volume occupé par ces 140 g de sel.

---

**Correction du problème 2.6**

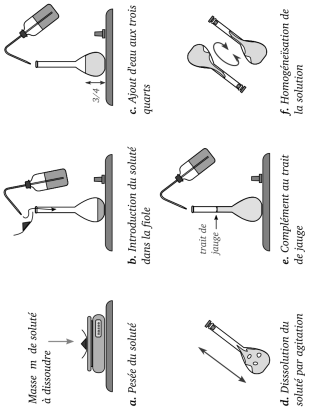
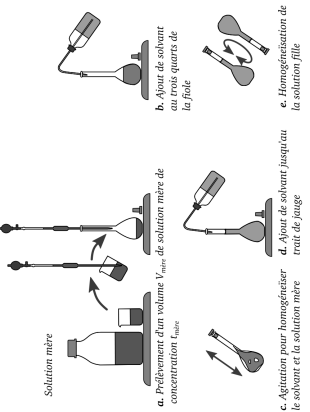
D'après l'aspect coloré de la solution inconnue, on estime que  $C_3 < C_{\text{inconnue}} < C_4$ .

---

**Correction du problème 2.7**

Par lecture graphique, pour  $\rho_{\text{soda}} = 1,02\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , on a  $C_m(\text{soda}) = 80\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

|                                                                                                     |                                                                                                                                                    |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p>Rédiger une phrase avec les mots soluté, solvant et solution.</p> <p>CHAPITRE 2</p> | <p>COURS</p> <p>Donner la formule de la concentration en masse et les unités de chaque terme.</p> <p>CHAPITRE 2</p>                                | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'une solution aqueuse a de particulier ?</p> <p>CHAPITRE 2</p>                        | <p>COURS</p> <p>Donner la définition de la solubilité.</p> <p>CHAPITRE 2</p>                                                                                                                             |
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Donner le protocole expérimental d'une dissolution.</p> <p>CHAPITRE 2</p>    | <p>COURS</p> <p>En quoi consiste une dilution ?</p> <p>CHAPITRE 2</p>                                                                              | <p>COURS</p> <p>Que sont les solutions mères et filles ?</p> <p>CHAPITRE 2</p>                                    | <p>COURS</p> <p>Donner la formule reliant concentrations et volumes des solutions mère et fille.</p> <p>CHAPITRE 2</p>                                                                                   |
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Donner le protocole expérimental d'une dilution.</p> <p>CHAPITRE 2</p>       | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Donner les formules de la concentration en masse et de la masse volumique. Quelle est la différence ?</p> <p>CHAPITRE 2</p> | <p>COURS</p> <p>Donner la formule du facteur de dilution.</p> <p>CHAPITRE 2</p>                                   | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Dans le protocole de dilution, à quoi correspond <math>V_m</math> ?</p> <p>CHAPITRE 2</p>                                                                                         |
| <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'un dosage ?</p> <p>CHAPITRE 2</p>                                      | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'une gamme étalon ?</p> <p>CHAPITRE 2</p>                                                                              | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Dans la formule de la concentration en masse, isoler <math>m</math>.</p> <p>CHAPITRE 2</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Quelle masse doit-on peser pour créer une solution de concentration en masse <math>C_m = 2 \text{ g/L}</math> et de volume <math>V = 100 \text{ mL}</math>.</p> <p>CHAPITRE 2</p> |

|                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>La solubilité d'un soluté est la quantité maximale de soluté qu'on peut dissoudre dans 1 L de solvant. On parle alors de solution saturée.</p> | <p>Dans une solution aqueuse, le solvant est de l'eau.</p>                                                                                                                                  | <p>Si une solution de volume <math>V</math> contient un soluté de masse <math>m</math> alors la concentration en masse du soluté dans la solution est:</p> $C_m = \frac{m}{V}$ <p>Concentration en masse en <math>g \cdot L^{-1}</math>      masse en g      volume en L</p> | <p>La dissolution d'un soluté dans un solvant donne un mélange homogène appelé solution.</p>              |
| $C_m \times V_m = C_f \times V_f$ <p>Volume mère      Concentration fille<br/>Concentration mère      Volume fille</p>                            | <p>La solution mère est la solution avant dilution, alors que les solutions filles sont des solutions de concentrations inférieures obtenues par dilution à partir de la solution mère.</p> | <p>Une dilution permet de diminuer la concentration en masse d'une solution appelée solution mère.</p>                                                                                                                                                                       |                        |
| <p>Le volume mère correspond au volume de solution mère prélevé à la pipette jaugée.</p>                                                          | $F = \frac{C_m}{C_f} = \frac{V_f}{V_m}$ <p>Le facteur de dilution est toujours supérieur à 1.</p>                                                                                           | $\rho = \frac{m}{V}$ <p>masse de la solution      masse de soluté</p> $C_m = \frac{m}{V}$                                                                                                                                                                                    |                      |
| $m = C_m \times V$ $= 2 \text{ g/L} \times 100 \text{ mL}$ $= 2 \text{ g/L} \times 0.1 \text{ L}$ $= 0.2 \text{ g}$                               | $m = C_m \times V$                                                                                                                                                                          | <p>Une gamme étalon est un ensemble de solution de concentrations en masse connues dont on a mesuré une grandeur physique caractéristique (couleur, masse volumique, conductivité, etc...).</p>                                                                              | <p>Faire un dosage en chimie, c'est mesurer la concentration d'une espèce chimique dans une solution.</p> |

## De l'atome à l'élément chimique

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ☺ Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.1 Du macroscopique au microscopique . . . . . 38<br>Entités chimiques   ▪  Espèce chimique   ▪  Électroneutralité de la matière<br>3.2 L'atome . . . . . 39<br>Particules élémentaires   ▪  Écriture conventionnelle du noyau<br>▪  Élément chimique<br>3.3 Préparation à l'évaluation . . . . . 42<br>Savoir et savoir-faire   ▪  Test de préparation au DS | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Deux atomes se rencontrent. L'un dit à l'autre : "Oh zut, j'ai perdu un électron!" L'autre lui répond "T'es sûr?". Le premier atome répond positivement.</li> <li>▪ Un neutron entre dans un café. - Monsieur, combien coûte une boisson? - Pour vous, il n'y aura aucune charge.</li> </ul>                                       |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ✍ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 🎧 <i>L'électron, une particule pas si élémentaire</i><br><br>                                                                                                                                                                                                               | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 3 p 60      <input type="checkbox"/> Ex. 19 p 62<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 7 p 60      <input type="checkbox"/> Ex. 26 p 63<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 10 p 61<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 22 p 62         </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 29 p 64    <input type="checkbox"/> Ex. 30 p 64         </div> |

### Introduction

À l'échelle microscopique, la matière est décrite comme étant un ensemble d'atomes constitués d'un noyau qui contient des protons et des neutrons, et qui est entouré d'un cortège électronique, dont l'organisation en couches et sous couches permet d'expliquer les propriétés chimiques des éléments du tableau de la classification périodique. Ces atomes pourront s'assembler, entre autre, en molécules. Le chimiste développera des outils théoriques pour compter rapidement ces atomes et ces molécules.

## 3.1 Du macroscopique au microscopique

Toute la matière à notre échelle se compose d'atomes de différentes natures groupés en molécules et en cristaux, puis sous formes de structures de plus en plus complexes pour aboutir aux êtres et objets de notre quotidien.

### 3.1.1 Entités chimiques

#### Définition 3.1: Entités chimiques

Une entité chimique désigne de façon générale :

- .....
- .....
- .....
- .....

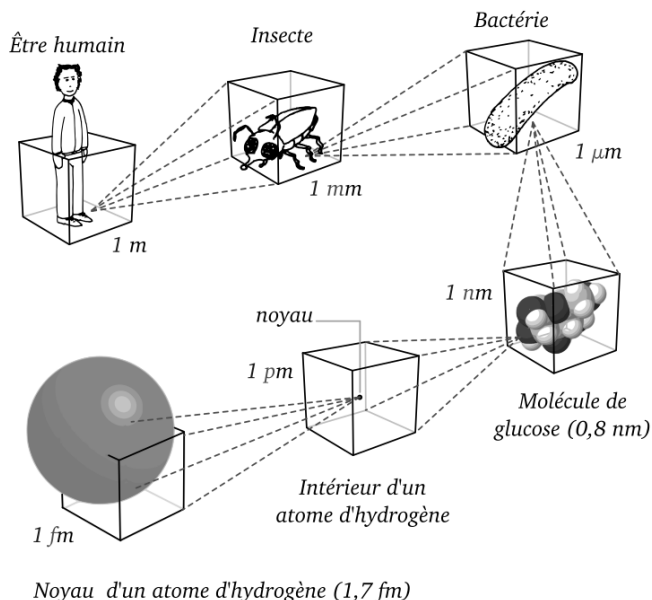


FIGURE 3.1 – Du macroscopique vers le microscopique

#### Exemple 3.1

Les atomes de cuivre Cu, de fer Fe, une molécule d'eau  $\text{H}_2\text{O}$ , une molécule d'acide éthanóïque  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , un cation  $\text{Fe}^{3+}$ , un cation  $\text{H}_3\text{O}^+$ , un anion  $\text{SO}_4^{2-}$ , et un anion  $\text{Cl}^-$  sont des entités chimiques.

### 3.1.2 Espèce chimique

#### Définition 3.2: Espèce chimique

Une espèce chimique est un ensemble d'entités chimiques identiques en très grand nombre.

#### Exemple 3.2

- L'eau liquide ou solide est une espèce chimique qui contient un grand nombre de molécules d'eau.
- Le sel de cuisine est une espèce chimique qui contient un grand nombre de cations  $\text{Na}^+$  et d'anions  $\text{Cl}^-$ .
- L'or est une espèce chimique qui contient un grand nombre d'atomes d'or Au (d'Aurum, l'or en latin).

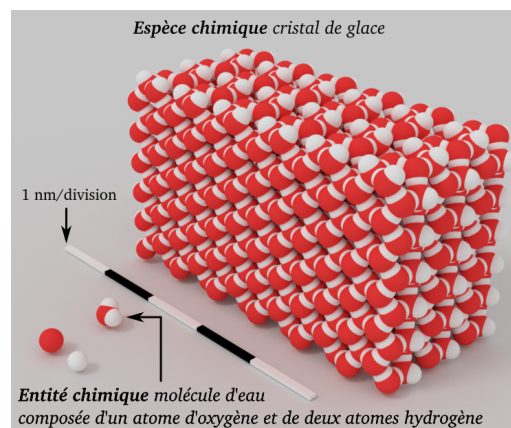


FIGURE 3.2 – La glace d'eau est une espèce chimique constituée de molécules d'eau régulièrement empilées.

### 3.1.3 Électroneutralité de la matière

#### Définition 3.3: Électroneutralité

À notre échelle, la matière est électriquement neutre, toutes les charges électriques positives se compensent avec le même nombre de charges électriques négatives. Les anions et les cations seront donc présents dans des proportions qui permettent d'assurer cette électro-neutralité. Les atomes et les molécules ont une charge électrique nulle.

#### Exemple 3.3

- La neutralité de structures ioniques comme les sels se fait de manière à ce que les charges électriques de tous les cations neutralisent celles de tous les anions.
- Le chlorure de Fer III est utilisé en faible quantité pour le traitement des eaux usées comme flocculant qui permet de décanter plus rapidement les fines particules solides dans les eaux usagées. Sa formule est  $\text{FeCl}_3$  et le cristal est un assemblage régulier de cations  $\text{Fe}^{3+}$  et d'anions  $\text{Cl}^-$ . Les trois charges positives de l'ion  $\text{Fe}^{3+}$  sont compensées par une charge négative de trois ions  $\text{Cl}^-$ .

## 3.2 L'atome

### 3.2.1 Particules élémentaires

#### Définition 3.4: Particules élémentaires

Les particules élémentaires constituant les atomes sont l'électron, le proton et le neutron.

#### Définition 3.5: Structure de l'atome

- L'atome se compose d'un noyau constitué de neutrons et de protons, autour duquel orbitent des électrons qui forment le nuage électronique.
- Un atome est neutre, il y a autant de charges positives (les protons) que de charges négatives (les électrons).
- La taille d'un atome est de l'ordre de 0,1 nm soit  $1\text{\AA} (= 1 \times 10^{-10}\text{ m})$ . Son noyau est 100000 fois plus petit, soit 1 fm.

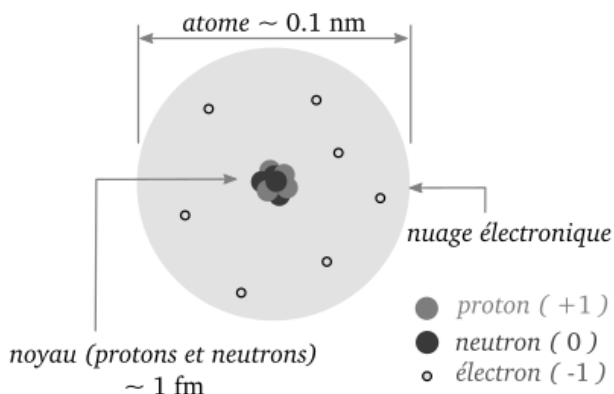


FIGURE 3.3 – Structure simplifiée de l'atome

### 3.2.2 Écriture conventionnelle du noyau

#### Définition 3.6: Écriture conventionnelle du noyau

- On appelle numéro atomique  $Z$  le nombre de protons présents dans le noyau d'un atome ou d'un ion monoatomique.
- On appelle nombre de masse atomique  $A$  le nombre de protons et de neutrons présents dans le noyau d'un atome ou d'un ion monoatomique.
- Le symbole chimique d'un élément est une lettre majuscule, parfois suivie d'une minuscule permettant de le désigner. Par exemple C représente l'élément carbone dont  $Z = 6$ , Na représente l'élément sodium où  $Z = 11$ .
- L'écriture conventionnelle d'un noyau permet d'indiquer son symbole  $X$ , son numéro atomique  $Z$  et son nombre de masse  $A$  :

$${}^A_ZX \quad (3.1)$$

#### Exemple 3.4

- ${}^{14}_6C$  .....  
.....
- ${}^{14}_7N$  .....  
.....

### 3.2.3 Élément chimique

#### Définition 3.7: Élément chimique

Un élément chimique est totalement défini par son nombre de protons  $Z$  dans son noyau qui lui donne son nom et son symbole  $X$ .

#### Exemple 3.5

- ${}^{45}_{20}Ca^{2+}$  est le cation ....., il possède ..... protons et ..... neutrons. Comme il a une charge positive ....., cela signifie que l'atome de calcium a perdu ..... électrons pour devenir le cation  $Ca^{2+}$ .
- Les entités chimiques  ${}^{12}_6C$ ,  ${}^{13}_6C$  et  ${}^{14}_6C$  correspondent au même élément, le carbone C qui a  $Z = 6$  protons dans le noyau. Ce sont des isotopes du carbone.
- Les ions  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  et l'atome Fe correspondent au même élément, le fer Fe qui possède  $Z = 26$  protons dans son noyau.

## Charge électrique

**Définition 3.8: Charge électrique élémentaire**

Un objet peut posséder une charge électrique  $q$  dont le signe est positif ou négatif. La charge s'exprime en Coulomb, dont le symbole est C. La plus petite charge qu'il est possible d'avoir est la charge élémentaire  $e$  qui a pour valeur :

$$\dots\dots\dots (3.2)$$

| Particule | Charge électrique (C) |
|-----------|-----------------------|
| électron  | .....                 |
| neutron   | .....                 |
| proton    | .....                 |

TABLE 3.1 – Charges électriques des particules élémentaires constituant l'atome

**Exemple 3.6**

On peut calculer la charge électrique totale d'un noyau composé de 5 protons et de 10 neutrons.

 S'entraîner — ☐ Ex. 26 p 63

## Masse des particules élémentaire

| Particule | Masse (kg) |
|-----------|------------|
| électron  | .....      |
| neutron   | .....      |
| proton    | .....      |

TABLE 3.2 – Masse des particules élémentaires constituant l'atome

 S'entraîner — ☐ Ex. 10 p 61 ☐ Ex. 19 p 62 ☐ Ex. 29 p 64 ☐ Ex. 30 p 64

**Exemple 3.7**

Le rapport de la masse d'un proton sur la masse d'un électron vaut :

### 3.3 Préparation à l'évaluation

#### 3.3.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                           | OK                       | À revoir                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Espèces moléculaires, espèces ioniques, électroneutralité de la matière au niveau macroscopique.                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Entités chimiques : molécules, atomes, ions.                                                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Numéro atomique, nombre de masse, écriture conventionnelle : ${}^A_ZX$ .                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Élément chimique.                                                                                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Masse et charge électrique d'un électron, d'un proton et d'un neutron, charge électrique élémentaire, neutralité de l'atome.               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                          | OK                       | À revoir                 |
| Définir une espèce chimique comme une collection d'un nombre très élevé d'entités identiques.                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Exploiter l'électroneutralité de la matière pour associer des espèces ioniques et citer des formules de composés ioniques.                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Utiliser le terme adapté parmi molécule, atome, anion et cation pour qualifier une entité chimique à partir d'une formule chimique donnée. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Citer l'ordre de grandeur de la valeur de la taille d'un atome.                                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Comparer la taille et la masse d'un atome et de son noyau.                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Établir l'écriture conventionnelle d'un noyau à partir de sa composition et inversement.                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacités mathématiques :                                                                                                                  |                          |                          |
| Effectuer le quotient de deux grandeurs pour les comparer.                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Utiliser les opérations sur les puissances de 10.                                                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Exprimer les valeurs des grandeurs en écriture scientifique.                                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

#### 3.3.2 Test de préparation au DS

##### \* Problème 3.1 Molécule, atome, cation ou anion ?

Pour chaque formule suivante, indiquer si il s'agit d'une molécule, d'un atome, d'un cation ou d'un anion.  
 Liste des formules : C, O, CO, Co, CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, HO<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sub>2</sub>, Na, Cl<sup>-</sup>, Cl, N<sub>2</sub>, B, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NaOH, CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>, CH<sub>3</sub>COOH, HCN, CN<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, U, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, HCl, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>.

**\* Problème 3.2 Du sel et des ions**

Les espèces chimiques suivantes sont des sels, c'est à dire des solides, formés par l'empilement régulier d'anions et de cations. Les sels sont neutres électriquement. Donner à chaque fois la formule statistique du cristal formé à partir des anions et cations du tableau suivant :

| Nom du sel           | Cation           | Anion              | Formule statistique |
|----------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| Chlorure de sodium   | $\text{Na}^+$    | $\text{Cl}^-$      |                     |
| Iodure de potassium  | $\text{K}^+$     | $\text{I}^-$       |                     |
| Chlorure de fer III  | $\text{Fe}^{3+}$ | $\text{Cl}^-$      |                     |
| Carbonate de sodium  | $\text{Na}^+$    | $\text{CO}_3^{2-}$ |                     |
| Sulfate de baryum    | $\text{Ba}^{2+}$ | $\text{SO}_4^{2-}$ |                     |
| Nitrate de potassium | $\text{K}^+$     | $\text{NO}_3^-$    |                     |

**\* Problème 3.3 Écriture conventionnelle des éléments**

Compléter les tableaux suivants.

| Élément   | Symbole | Protons | Neutrons | ${}_Z^AX$           | Élément | Symbole | Protons | Neutrons | ${}_Z^AX$               |
|-----------|---------|---------|----------|---------------------|---------|---------|---------|----------|-------------------------|
| Hydrogène | H       | 1       | 0        |                     |         |         |         |          | ${}_{6}^{14}\text{C}$   |
| Deutérium | H       | 1       | 1        |                     | Oxygène | O       | 8       | 8        |                         |
| Tritium   |         |         |          | ${}_1^3\text{H}$    | Oxygène | O       | 8       | 10       |                         |
| Hélium    | He      | 2       | 1        |                     | Krypton | Kr      | 36      | 48       |                         |
|           |         |         |          | ${}_2^4\text{He}$   | Chlore  | Cl      | 17      | 20       |                         |
| Béryllium | Be      | 4       | 5        |                     | Uranium |         |         |          | ${}_{92}^{235}\text{U}$ |
|           |         |         |          | ${}_6^{12}\text{C}$ | Uranium |         |         |          | ${}_{92}^{238}\text{U}$ |

**\*\* Problème 3.4 Charge d'un atome**

Un ion est porteur de la charge  $-2e$ , avec  $e$  la charge élémentaire. Les protons qui constituent son noyau portent une charge globale  $q = 2,56 \times 10^{-18} \text{ C}$ . Choisir dans la liste suivante l'élément dont il s'agit et écrire la formule de l'ion :  ${}_{18}^{40}\text{Ar}$ ,  ${}_{19}^{31}\text{K}$ ,  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$ ,  ${}_{17}^{35}\text{Cl}$ ,  ${}_{16}^{32}\text{S}$ .

**Donnée :** La charge élémentaire vaut  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

**\*\* Problème 3.5 Comparaison de la taille d'un atome**

L'atome de césium est un des plus gros atomes. **Données :** Rayon d'un atome de césium :  $r_{\text{atome}} = 260 \text{ pm}$ , Rayon du noyau de l'atome de césium :  $r_{\text{noyau}} = 7,1 \text{ fm}$ .

- Exprimer les rayons de l'atome de césium et de son noyau en mètre, puis sous forme de notation scientifique.
- Calculer le rapport  $\frac{r_{\text{atome}}}{r_{\text{noyau}}}$ . Que peut-on en conclure?

## Correction du problème 3.1

- Atomes : C, O, Co, Na, Cl, B, U.
- Molécule : CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, Cl<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NaOH, CH<sub>3</sub>COOH, HCN, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, HCl.
- Cation : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>.
- Anion : HO<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>, CN<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>.

## Correction du problème 3.2

| Nom du sel           | Cation           | Anion                         | Formule statistique             |
|----------------------|------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Chlorure de sodium   | Na <sup>+</sup>  | Cl <sup>-</sup>               | NaCl                            |
| Iodure de potassium  | K <sup>+</sup>   | I <sup>-</sup>                | KI                              |
| Chlorure de fer III  | Fe <sup>3+</sup> | Cl <sup>-</sup>               | FeCl <sub>3</sub>               |
| Carbonate de sodium  | Na <sup>+</sup>  | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> |
| Sulfate de baryum    | Ba <sup>2+</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | BaSO <sub>4</sub>               |
| Nitrate de potassium | K <sup>+</sup>   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | KNO <sub>3</sub>                |

## Correction du problème 8.4

| Élément   | Symbole | Protons | Neutrons | $\frac{A}{Z}X$      | Élément | Symbole | Protons | Neutrons | $\frac{A}{Z}X$          |
|-----------|---------|---------|----------|---------------------|---------|---------|---------|----------|-------------------------|
| Hydrogène | H       | 1       | 0        | ${}^1_1\text{H}$    | Carbone | C       | 6       | 8        | ${}^{14}_6\text{C}$     |
| Deutérium | H       | 1       | 1        | ${}^2_1\text{H}$    | Oxygène | O       | 8       | 8        | ${}^{16}_8\text{O}$     |
| Tritium   | H       | 1       | 2        | ${}^3_1\text{H}$    | Oxygène | O       | 8       | 10       | ${}^{18}_8\text{O}$     |
| Hélium    | He      | 2       | 1        | ${}^3_2\text{He}$   | Krypton | Kr      | 36      | 48       | ${}^{84}_{36}\text{Kr}$ |
| Hélium    | He      | 2       | 2        | ${}^4_2\text{He}$   | Chlore  | Cl      | 17      | 20       | ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ |
| Béryllium | Be      | 4       | 5        | ${}^9_4\text{Be}$   | Uranium | U       | 92      | 143      | ${}^{235}_{92}\text{U}$ |
| Carbone   | C       | 6       | 6        | ${}^{12}_6\text{C}$ | Uranium | U       | 92      | 146      | ${}^{238}_{92}\text{U}$ |

## Correction du problème 3.4

Pour obtenir le nombre de protons qui composent le noyau, on divise la charge totale  $q$  par la charge d'un seul proton  $e$ . On a donc  $Z = \frac{q}{e} = \frac{2,56 \times 10^{-18} \text{ C}}{1,6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 16$ . L'atome a donc  $Z = 16$  protons et correspond donc au soufre.

## Correction du problème 3.5

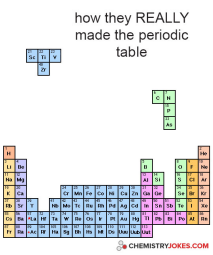
- Rayon d'un atome de césium :  $r_{\text{atome}} = 260 \text{ pm} = 260 \times 10^{-12} \text{ m} = 2,60 \times 10^{-10} \text{ m}$ .
  - Rayon du noyau de l'atome de césium :  $r_{\text{noyau}} = 7,1 \text{ fm} = 7,1 \times 10^{-15} \text{ m}$
- $\frac{r_{\text{atome}}}{r_{\text{noyau}}} = \frac{2,60 \times 10^{-10} \text{ m}}{7,1 \times 10^{-15} \text{ m}} \approx 37000$ .  $\frac{r_{\text{atome}}}{r_{\text{noyau}}} \gg 1$  donc  $r_{\text{atome}} \gg r_{\text{noyau}}$ . Le rayon de l'atome est 37000 fois plus grand que celui de son noyau.

|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p>Que représente l'atome pour la matière ?</p> <p>CHAPITRE 3</p>                                                     | <p>COURS</p> <p>De quoi est composé un atome ?</p> <p>CHAPITRE 3</p>                                                                                                                                                    | <p>COURS</p> <p>Que trouve-t-on dans le noyau d'un atome ?</p> <p>CHAPITRE 3</p>                                                                                        | <p>COURS</p> <p>Comment note-t-on l'écriture conventionnelle d'un noyau <math>X</math>, connaissant son numéro atomique <math>Z</math> et son nombre de masse <math>A</math> ?</p> <p>CHAPITRE 3</p> |
| <p>COURS</p> <p>Que représente le numéro atomique <math>Z</math> pour un noyau ?</p> <p>CHAPITRE 3</p>                             | <p>COURS</p> <p>Que représente le nombre de masse <math>A</math> pour un noyau ?</p> <p>CHAPITRE 3</p>                                                                                                                  | <p>COURS</p> <p>À quelle condition deux entités chimiques appartiennent-elles au même élément chimique ?</p> <p>CHAPITRE 3</p>                                          | <p>COURS</p> <p>Quelles sont les caractéristiques des nucléons en termes de masse et de charge électrique ?</p> <p>CHAPITRE 3</p>                                                                    |
| <p>COURS</p> <p>Quelles sont les caractéristiques des électrons en termes de masse et de charge électrique ?</p> <p>CHAPITRE 3</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Connaissant le numéro atomique <math>Z</math> d'un noyau et son nombre de masse <math>A</math>, quelle formule utilise-t-on pour calculer le nombre de neutrons présents ?</p> <p>CHAPITRE 3</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Le noyau de l'atome de carbone (C) contient 6 protons et 6 neutrons. Quelle sera l'écriture conventionnelle de son noyau ?</p> <p>CHAPITRE 3</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Un atome étant électriquement neutre, que peut-on dire du nombre d'électrons présents autour du noyau ?</p> <p>CHAPITRE 3</p>                                                 |
| <p>COURS</p> <p>Citer l'ordre de grandeur de la taille d'un atome.</p> <p>CHAPITRE 3</p>                                           | <p>COURS</p> <p>Connaissant l'ordre de grandeur de la taille d'un noyau (<math>1 \times 10^{-15}</math> m), comparer la taille d'un atome à celle de son noyau.</p> <p>CHAPITRE 3</p>                                   | <p>COURS</p> <p>Quelle est la particularité d'un cation ?</p> <p>CHAPITRE 3</p>                                                                                         | <p>COURS</p> <p>Quelle est la particularité d'un anion ?</p> <p>CHAPITRE 3</p>                                                                                                                       |

|                                                                                                                                                                                    |                                                       |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ${}^A_ZX$                                                                                                                                                                          | <p>Des nucléons (des protons et des neutrons).</p>    | <p>Un atome est constitué d'un noyau central autour duquel sont situés un ou plusieurs électrons.</p>                                                                                                   | <p>L'atome est le constituant de la matière. Un ou plusieurs atomes liés entre eux forment les molécules.</p>                                                                            |
| <p>Tous les nucléons (protons et neutrons) ont la même masse. Les protons portent une charge électrique positive <math>(+e)</math> alors que les neutrons ne sont pas chargés.</p> | <p>Si elles ont le <b>même numéro atomique Z</b>.</p> | <p><math>A</math> est le nombre de nucléons dans le noyau.</p>                                                                                                                                          | <p><math>Z</math> est le nombre de protons dans le noyau.</p>                                                                                                                            |
| <p>Il y a autant d'électrons autour du noyau que de protons dans le noyau de l'atome.</p>                                                                                          | ${}^{12}_6C$                                          | <p>Le nombre de neutrons est égal à : <math>A - Z</math></p>                                                                                                                                            | <p>La masse des électrons est négligeable par rapport à celle des nucléons. Ils portent une charge électrique négative <math>(-e)</math>. La charge est opposée à celle des protons.</p> |
| <p>Il porte une charge électrique négative.</p>                                                                                                                                    | <p>Il porte une charge électrique positive.</p>       | $\begin{aligned} \frac{d_{noyau}}{d_{atome}} &= \frac{10^{-15} \text{ m}}{10^{-10} \text{ m}} \\ &= 10^{-15-(-10)} \\ &= 10^{-5} \end{aligned}$ <p>Le noyau est 100000 fois plus petit que l'atome.</p> | $1 \times 10^{-10} \text{ m}$                                                                                                                                                            |

# CHAPITRE 4

## Vers des entités plus stables chimiquement

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ☺ Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>4.1 Le cortège électronique de l'atome . . . . . 48</p> <p>4.2 Vers des entités plus stables chimiquement . . . . . 48</p> <p>Classification périodique des éléments ■ Les entités stables chimiquement</p> <p>4.3 Préparation à l'évaluation . . . . . 53</p> <p>Savoir et savoir-faire ■ Test de préparation au DS</p> | <p>how they REALLY made the periodic table</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>🎧 <i>Lewis, le chimiste mort de ne pas avoir le prix Nobel</i></p>  <p>🎧 <i>Mendeleïev : un tableau enfin complet?</i></p>                         | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 5 p 78         <input type="checkbox"/> Ex. 16 p 79       </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 6 p 78         <input type="checkbox"/> Ex. 17 p 79       </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 9 p 78         <input type="checkbox"/> Ex. 22 p 80       </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 10 p 79         <input type="checkbox"/> Ex. 23 p 80       </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 39 p 84         <input type="checkbox"/> Ex. 40 p 84       </div> |

### Introduction

De nombreuses expériences de spectroscopie du début du XX<sup>ème</sup> siècle ont montré que les électrons des atomes semblent être rangés autour du noyau par couches successives. Ces découvertes sont à l'origine de l'organisation du tableau périodique des éléments et permettent de comprendre la stabilité des entités chimiques.

## 4.1 Le cortège électronique de l'atome

### Définition 4.1: Configuration électronique de l'atome

La configuration électronique décrit la distribution des électrons d'un atome :

- Les électrons du cortège électronique d'un atome sont répartis dans des **couches** numérotées à partir de 1, et qui contiennent des **sous-couches** désignées par des lettres *s* et *p*.
- Une sous couche *s* contient au maximum 2 électrons.
- Une sous couche *p* contient au maximum 6 électrons.
- Le remplissage des couches et sous couches se fait par énergie croissante.
- Les électrons se répartissent dans les sous-couches selon un ordre déterminé :  $1s \rightarrow 2s \rightarrow 2p \rightarrow 3s \rightarrow 3p \rightarrow$  etc.

### Définition 4.2: Électrons de valence

Les électrons de **valence** sont les électrons de la dernière couche remplie. Les électrons de valence d'un atome sont responsables de sa réactivité chimique.

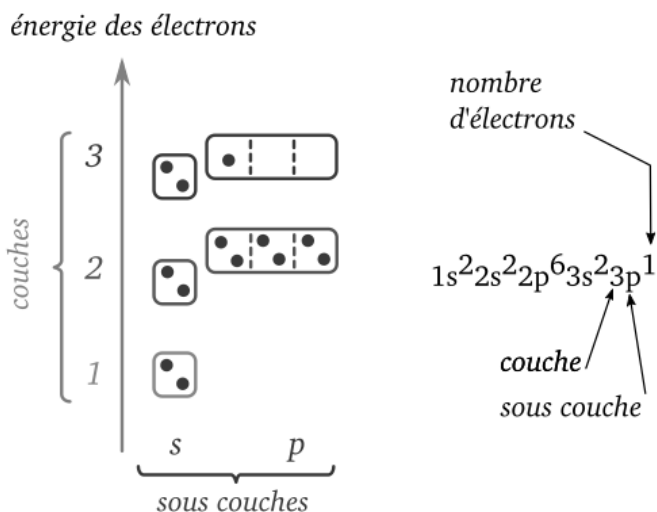


FIGURE 4.1 – Configuration électronique des 13 électrons de l'atome d'aluminium dans son état fondamental.

### Exemple 4.1

- L'atome d'hydrogène ne possède qu'un seul électron. La configuration électronique de l'atome d'hydrogène sera .....
- L'atome de carbone possède 6 électrons. La configuration électronique de l'atome de carbone sera ....., et il a 4 électrons de valence sur la couche 2 composée des sous-couches *2s* et *2p*.
- L'atome d'aluminium a pour structure électronique ....., sa dernière couche remplie est la troisième couche et il a 3 électrons de valence, dont 2 sur la sous-couche *3s* et 1 sur la sous-couche *3p*.

S'entraîner — ☐ Ex. 5 p 78 ☐ Ex. 6 p 78

## 4.2 Vers des entités plus stables chimiquement

### 4.2.1 Classification périodique des éléments

Le chimiste Mendeleïev entreprit de classer les éléments dans un tableau en vue de souligner et de prédire leurs propriétés chimiques. Il a depuis été modifié en fonction des découvertes. Il comporte actuellement 7 lignes appelées périodes, et de 18 colonnes nommées familles.

| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| H  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | He |
| Li | Be |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | B  | C  | N  | O  | F  | Ne |
| Na | Mg |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Al | Si | P  | S  | Cl | Ar |
| K  | Ca | Sc | Ti | V  | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| Rb | Sr | Y  | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I  | Xe |
| Cs | Ba | La | Hf | Ta | W  | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| Fr | Ra | Ac | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn | Nh | Fl | Mc | Lv | Ts | Og |

Ligne = période

Colonne = famille

FIGURE 4.2 – On nomme les lignes de la classification périodique des éléments "période" et ses colonnes "famille".

Le tableau périodique simplifié rassemble les 18 premiers éléments soit les 3 premières périodes.

| 1                  | 2                  | 13                      | 14                      | 15                     | 16                     | 17                      | 18                      |
|--------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| H<br>$1s^1$        |                    |                         |                         |                        |                        |                         | He<br>$1s^2$            |
| Li<br>$\dots 2s^1$ | Be<br>$\dots 2s^2$ | B<br>$\dots 2s^2 2p^1$  | C<br>$\dots 2s^2 2p^2$  | N<br>$\dots 2s^2 2p^3$ | O<br>$\dots 2s^2 2p^4$ | F<br>$\dots 2s^2 2p^5$  | Ne<br>$\dots 2s^2 2p^6$ |
| Na<br>$\dots 3s^1$ | Mg<br>$\dots 3s^2$ | Al<br>$\dots 3s^2 3p^1$ | Si<br>$\dots 3s^2 3p^2$ | P<br>$\dots 3s^2 3p^3$ | S<br>$\dots 3s^2 3p^4$ | Cl<br>$\dots 3s^2 3p^5$ | Ar<br>$\dots 3s^2 3p^6$ |

FIGURE 4.3 – Tableau périodique des éléments simplifié.

#### Propriété 4.1: Blocs s et p

Les éléments de la classification périodique se regroupent en blocs s et p en fonction du nombre de couches remplies.

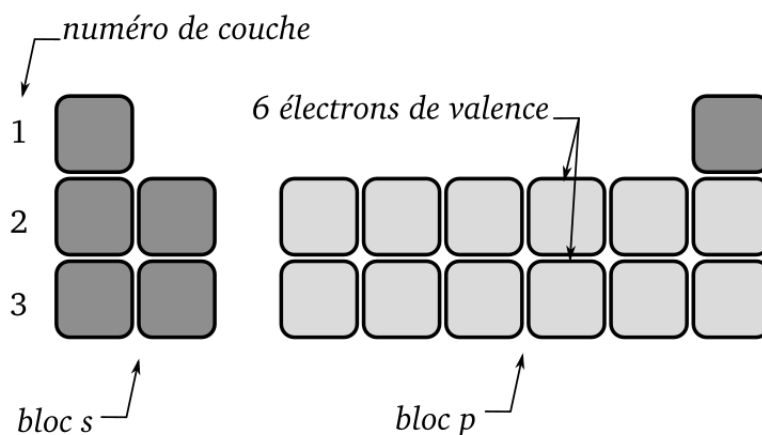


FIGURE 4.4 – Les blocs s et p dans la classification périodique des éléments pour les trois premières lignes.

#### Propriété 4.2: Famille

Les éléments d'une même colonne du tableau de la classification périodique des éléments ont le même nombre d'électrons de valence, ce qui leur octroie les mêmes propriétés chimiques : ils forment une famille chimique d'éléments. Chaque colonne correspond ainsi à une famille.

Pour déterminer la période (ligne) et la famille (colonne) d'un élément, il faut repérer le numéro de la couche de valence et le nombre d'électrons de valence.

|             |                                                                                                                             |                                                                                                                                |                                                                                                                                              |                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |                                                                                                                                          |                                                                                                                                           |                                                                                                                                          |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             | <div><div>Z=1</div><div>H</div><div>Hydrogène</div><div>1s<sup>1</sup></div></div>                                          |                                                                                                                                |                                                                                                                                              |                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |                                                                                                                                          | <div><div>Z=2</div><div>He</div><div>Hélium</div><div>1s<sup>2</sup></div></div>                                                          |                                                                                                                                          |
| Couche n° 1 |                                                                                                                             |                                                                                                                                |                                                                                                                                              |                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |                                                                                                                                          |                                                                                                                                           |                                                                                                                                          |
|             | <div><div>Z=3</div><div>Li</div><div>Lithium</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>1</sup></div></div>                             | <div><div>Z=4</div><div>Be</div><div>Béryllium</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup></div></div>                              | <div><div>Z=5</div><div>B</div><div>Bore</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>1</sup></div></div>                                    | <div><div>Z=6</div><div>C</div><div>Carbone</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>2</sup></div></div>                                | <div><div>Z=7</div><div>N</div><div>Azote</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>3</sup></div></div>                                  | <div><div>Z=8</div><div>O</div><div>Oxygène</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>4</sup></div></div>                             | <div><div>Z=9</div><div>F</div><div>Fluor</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>5</sup></div></div>                                | <div><div>Z=10</div><div>Ne</div><div>Néon</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup></div></div>                              |
| Couche n° 2 |                                                                                                                             |                                                                                                                                |                                                                                                                                              |                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |                                                                                                                                          |                                                                                                                                           |                                                                                                                                          |
|             | <div><div>Z=11</div><div>Na</div><div>Sodium</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>1</sup></div></div> | <div><div>Z=12</div><div>Mg</div><div>Magnésium</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup></div></div> | <div><div>Z=13</div><div>Al</div><div>Aluminium</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>1</sup></div></div> | <div><div>Z=14</div><div>Si</div><div>Silicium</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>2</sup></div></div> | <div><div>Z=15</div><div>P</div><div>Phosphore</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>3</sup></div></div> | <div><div>Z=16</div><div>S</div><div>Soufre</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>4</sup></div></div> | <div><div>Z=17</div><div>Cl</div><div>Chlore</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>5</sup></div></div> | <div><div>Z=18</div><div>Ar</div><div>Argon</div><div>1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>6</sup></div></div> |
| Couche n° 3 |                                                                                                                             |                                                                                                                                |                                                                                                                                              |                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |                                                                                                                                          |                                                                                                                                           |                                                                                                                                          |
|             | 1                                                                                                                           | 2                                                                                                                              | 3                                                                                                                                            | 4                                                                                                                                           | 5                                                                                                                                           | 6                                                                                                                                        | 7                                                                                                                                         | 8                                                                                                                                        |
|             | Nombre d'électrons sur la couche de valence                                                                                 |                                                                                                                                |                                                                                                                                              |                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |                                                                                                                                          |                                                                                                                                           |                                                                                                                                          |

FIGURE 4.5 – Les trois premières lignes de la classification périodique. Chaque ligne correspond au remplissage d’une couche électronique, les éléments d’une colonne ont le même nombre d’électrons de valence, les électrons de la dernière couche remplie.

Exemple 4.2

La configuration électronique de l’atome de silicium Si ( $Z = 14$ ) est : ..... Sa couche de valence est donc la numéro ..... et son nombre d’électrons de valence est ....., deux dans les deux premières familles et deux autres dans la famille 13 et 14. L’élément est donc placé dans la 3e ligne 14e colonne.

 S’entraîner — ☐ Ex. 9 p 78 ☐ Ex. 10 p 79

4.2.2 Les entités stables chimiquement

Gaz nobles

Définition 4.3: Gaz nobles

La famille des **gaz nobles** correspond à la dernière colonne du tableau de la classification périodique. Ces éléments ne forment pas de molécules ou d’ions, ils existent simplement sous forme monoatomique : ils sont dit chimiquement stables, on ne peut pas faire de réactions chimiques. On remarque que leur dernière couche électronique est saturée à 8 électrons (sauf pour l’hélium où elle est saturée à 2).

| Gaz noble | Configuration électronique |
|-----------|----------------------------|
| Hélium    | .....                      |
| Néon      | .....                      |
| Argon     | .....                      |

TABLE 4.1 – Configuration électronique des gaz nobles. Pour tous les éléments sauf l’hélium, on observe sur la dernière couche remplie qu’il y a 8 électrons : 2 sur la sous couche s et 6 sur la sous couche p.

## Ions monoatomiques

**Définition 4.4: Ions monoatomiques**

Les éléments du tableau de la classification périodique vont augmenter leur stabilité chimique en gagnant ou perdant des électrons pour avoir la configuration électronique du gaz noble le plus proche dans la classification.

**Exemple 4.3**

| Atome        | Configuration électronique | Gaz noble proche | Ion                     | Configuration électronique |
|--------------|----------------------------|------------------|-------------------------|----------------------------|
| Hydrogène H  |                            | He               | Hydronium $H^+$         |                            |
| Sodium Na    |                            | Ne               | Ion sodium $Na^+$       |                            |
| Potassium K  |                            | Ar               | Ion potassium $K^+$     |                            |
| Calcium Ca   |                            | Ar               | Ion calcium $Ca^{2+}$   |                            |
| Magnésium Mg |                            | Ne               | Ion magnésium $Mg^{2+}$ |                            |
| Chlore Cl    |                            | Ar               | Ion chlorure $Cl^-$     |                            |
| Fluor F      |                            | Ne               | Ion fluorure $F^-$      |                            |

**Exemple 4.4**

- L'atome de sodium Na a pour structure électronique ..... Le gaz noble le plus proche dans la classification périodique est le ..... de structure électronique ..... Le sodium va donc perdre un électron pour avoir la même configuration électronique que le gaz noble. On forme alors l'ion  $Na^+$  qui a comme configuration électronique .....
- L'atome de chlore Cl a pour configuration ..... et il lui manque seulement un électron pour avoir celles de ..... Il va donc facilement capturer un électron ailleurs pour former l'ion chlorure  $Cl^-$  de configuration électronique .....
- À noter que la mise en présence de sodium métallique (atomes de Na) et de gaz de dichlore ( $Cl_2$ ) produit une très vive réaction, le chlore arrachant un électron au sodium.

 S'entraîner — ☐ Ex. 16 p 79 ☐ Ex. 17 p 79 ☐ Ex. 39 p 84

## Molécules

**Définition 4.5: Molécules**

Une molécule est un ensemble d'atomes reliés entre eux par des liaisons chimiques qui sont un partage d'une ou plusieurs paires d'électrons afin que chaque atome puisse s'entourer de 8 électrons (dans le cas du dihydrogène 2 électrons) pour avoir la même configuration électronique qu'un gaz noble.

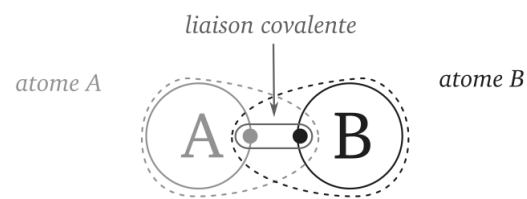


FIGURE 4.6 – Partage de deux électrons entre deux atomes pour former une liaison covalente.

**Définition 4.6: Modèle de Lewis**

En 1916, le physico-chimiste américain Gilbert Newton **Lewis** propose un modèle simplifié pour expliquer la formation des molécules par le partage de paires d'électrons. Tout atome d'une molécule sera entouré par 4 paires d'électrons lui permettant d'avoir sa couche de valence saturée à 8 électrons comme un gaz noble. L'atome d'hydrogène n'aura qu'une seule paire d'électrons dans une molécule. Les paires d'électrons servant à faire une liaison seront des doublets liants, les paires d'électrons non engagées dans une liaison seront des doublets non liants.

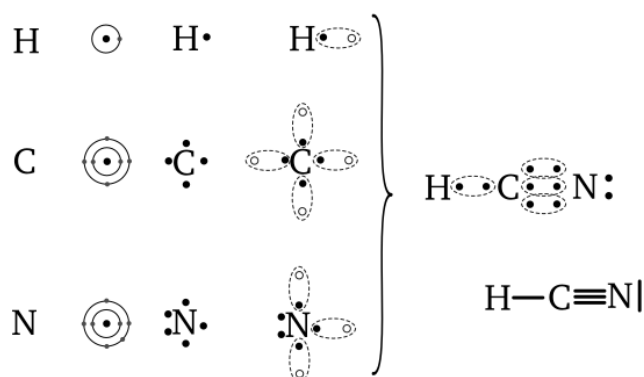


FIGURE 4.7 – Formation de liaisons covalentes dans l'acide cyanhydrique. Chaque atome s'entoure de huit électrons en formant une ou plusieurs liaisons covalentes.

**Exemple 4.5**

Dans les schémas suivants, tous les atomes sont entourés par 4 doublets, liants ou non liants, seuls les atomes d'hydrogènes sont entourés d'un seul doublet.

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
|                         | - l'éthylène            |
| - l'eau                 |                         |
|                         | - l'acide acétique      |
| - le dioxyde de carbone |                         |
|                         | - le dichlore           |
| - l'ammoniac            |                         |
|                         | - le dihydrogène        |
| - le méthane            |                         |
|                         | - le dioxygène          |
| - l'éthanol             |                         |
|                         | - l'acide chlorhydrique |

**Définition 4.7: Énergie de liaison**

L'énergie de liaison est l'énergie nécessaire pour briser cette liaison. Lors d'une réaction chimique, des liaisons se brisent et se reforment pour obtenir de nouvelles molécules à partir des atomes présents au début.

 S'entraîner — ☐ Ex. 22 p 80 ☐ Ex. 23 p 80 ☐ Ex. 40 p 84

## 4.3 Préparation à l'évaluation

### 4.3.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                                                                    | OK                       | À revoir                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Configuration électronique (1s, 2s, 2p, 3s, 3p) d'un atome à l'état fondamental et position dans le tableau périodique (blocs s et p).                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Électrons de valence.                                                                                                                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Familles chimiques.                                                                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Stabilité chimique des gaz nobles et configurations électroniques associées.                                                                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ions monoatomiques.                                                                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Molécules.                                                                                                                                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Modèle de Lewis de la liaison de valence, schéma de Lewis, doublets liants et non-liants.                                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Énergie de liaison.                                                                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                                                                   | OK                       | À revoir                 |
| Déterminer la position de l'élément dans le tableau périodique à partir de la donnée de la configuration électronique de l'atome à l'état fondamental.                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Déterminer les électrons de valence d'un atome ( $Z \leq 18$ ) à partir de sa configuration électronique à l'état fondamental ou de sa position dans le tableau périodique.         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Associer la notion de famille chimique à l'existence de propriétés communes et identifier la famille des gaz nobles.                                                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Établir le lien entre stabilité chimique et configuration électronique de valence d'un gaz noble.                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Déterminer la charge électrique d'ions monoatomiques courants à partir du tableau périodique.                                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Nommer les ions : $H^+$ , $Na^+$ , $K^+$ , $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $Cl^-$ , $F^-$ ; écrire leur formule à partir de leur nom.                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Décrire et exploiter le schéma de Lewis d'une molécule pour justifier la stabilisation de cette entité, en référence aux gaz nobles, par rapport aux atomes isolés ( $Z \leq 18$ ). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Associer qualitativement l'énergie d'une liaison entre deux atomes à l'énergie nécessaire pour rompre cette liaison.                                                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 4.3.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 4.1 Connaissances générales

1. Combien d'électrons peut contenir la couche électronique  $n = 2$ ?
2. Quelle est la configuration électronique de l'atome de Fluor  $^{19}_9\text{F}$ ?
3. Quelle est la configuration électronique de l'atome de Fluor  $^{40}_{18}\text{Ar}$ ?
4. La configuration électronique d'un atome d'azote est  $1s^2 2s^2 2p^3$ . Combien d'électrons possède cet atome sur sa couche externe? Comment appelle-t-on ces électrons?
5. Comment sont classés les différents éléments de la classification périodique des éléments dans une même période?
6. Qu'ont en commun les éléments d'une même famille?
7. Comment appelle-t-on les éléments de la dernière famille du tableau périodique? Qu'ont-ils de particulier?
8. Qu'est-ce que l'énergie de liaison?

#### \* Problème 4.2 Identifier un élément à partir de sa configuration électronique

Un atome a pour configuration électronique  $1s^2 2s^2 2p^4$ . Quelle est sa position dans la classification périodique? Identifier cet élément.

#### \*\* Problème 4.3 Ions monoatomiques

Compléter le tableau suivant en indiquant la configuration électronique de l'élément, le gaz noble le plus proche, le nom et la formule de l'ion qu'il forme ainsi que la configuration électronique de ce dernier.

| Atome        | Configuration électronique | Gaz noble proche | Nom et formule de l'ion | Configuration électronique |
|--------------|----------------------------|------------------|-------------------------|----------------------------|
| Hydrogène H  |                            |                  |                         |                            |
| Sodium Na    |                            |                  |                         |                            |
| Potassium K  |                            |                  |                         |                            |
| Calcium Ca   |                            |                  |                         |                            |
| Magnésium Mg |                            |                  |                         |                            |
| Chlore Cl    |                            |                  |                         |                            |
| Fluor F      |                            |                  |                         |                            |

#### \*\* Problème 4.4 Schéma de Lewis

Justifier le schéma de Lewis de la molécule d'acide acétique :

$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O}-\text{H} \\ \searrow \text{O} \end{array} \\ | \\ \text{H} \end{array}$$

#### \*\* Problème 4.5 Schéma de Lewis 2

Tracer les schémas de Lewis des molécules suivantes : l'eau  $\text{H}_2\text{O}$ , le dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$ , le méthane  $\text{CH}_4$ , l'ammoniac  $\text{NH}_3$  et le dichlore  $\text{Cl}_2$ .

## Correction du problème 4.1

1. La couche  $n = 2$  contient les sous-couches  $2s$  et  $2p$ , qui peuvent contenir respectivement 2 et 6 électrons. La couche  $n = 2$  peut donc contenir  $2 + 6 = 8$  électrons, le fameux "octet" d'électrons.
2.  $^{19}\text{F} : 1s^2 2s^2 2p^5$
3.  $^{40}\text{Ar} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
4.  $^{7}\text{N} : 1s^2 2s^2 2p^3$  donc l'azote a  $2 + 3 = 5$  électrons sur sa dernière couche (la numéro 2), aussi appelée couche de valence.
5. Les éléments, sur une même période du tableau périodique (ligne), sont classés par nombre d'électrons de valence croissants. Dans la première colonne, l'élément a 1 électron de valence, dans la 2<sup>ème</sup> 2 électrons de valence, 3 dans la 3<sup>ème</sup>, etc.
6. Les éléments d'une même famille ont le même nombre d'électrons de valence.
7. Les éléments de la dernière famille (ou colonne) du tableau périodique sont les gaz nobles, éléments qui ont une réactivité quasi nulle.
8. L'énergie de liaison est l'énergie nécessaire pour rompre la liaison covalente entre deux atomes.

## Correction du problème 4.2

La configuration électronique  $1s^2 2s^2 2p^4$  a deux couches, donc l'élément sera sur la deuxième ligne (ou période), et 6 électrons de valence (électrons sur la dernière couche :  $2 + 4 = 6$ ), donc il sera dans la 6<sup>ème</sup> colonne (ou famille) du tableau simplifié ou la 16<sup>ème</sup> du tableau complet. L'élément est donc l'oxygène  $^{8}\text{O}$ .

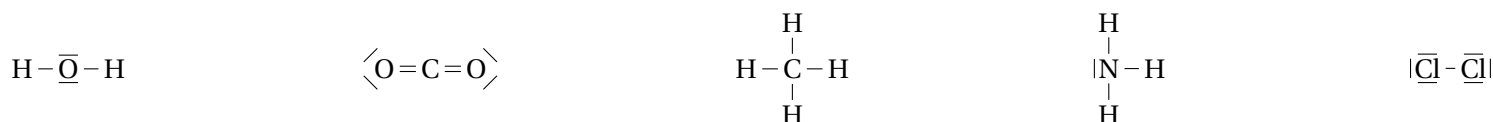
## Correction du problème 4.3

| Atome        | Configuration électronique      | Gaz noble proche | Nom et formule de l'ion           | Configuration électronique |
|--------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Hydrogène H  | $1s^1$                          | He               | Hydronium $\text{H}^+$            | pas d'électron             |
| Sodium Na    | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$           | Ne               | Ion sodium $\text{Na}^+$          | $1s^2 2s^2 2p^6$           |
| Potassium K  | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$ | Ar               | Ion potassium $\text{K}^+$        | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ |
| Calcium Ca   | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$ | Ar               | Ion calcium II $\text{Ca}^{2+}$   | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ |
| Magnésium Mg | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$           | Ne               | Ion magnésium II $\text{Mg}^{2+}$ | $1s^2 2s^2 2p^6$           |
| Chlore Cl    | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$      | Ar               | Ion chlorure $\text{Cl}^-$        | $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ |
| Fluor F      | $1s^2 2s^2 2p^5$                | Ne               | Ion fluorure $\text{F}^-$         | $1s^2 2s^2 2p^6$           |

## Correction du problème 4.4

L'hydrogène a pour configuration électronique  $1s^1$  : il doit gagner un électron pour saturer sa couche de valence et fait donc 1 liaison. Le carbone a pour configuration électronique  $1s^2 2s^2 2p^2$ . Il lui manque 4 électrons pour saturer sa couche de valence et fait donc 4 liaisons. L'oxygène quant à lui a pour configuration électronique  $1s^2 2s^2 2p^4$ . Il lui manque 2 électrons pour saturer sa couche de valence et fait donc 2 liaisons. Cependant, pour représenter tous ses électrons de valence, il faut encore 4 électrons (en plus des deux déjà utilisés pour les liaisons covalentes) soit  $4/2 = 2$  doublets non liant. Le schéma de Lewis de la molécule d'acide acétique respecte ces règles.

## Correction du problème 4.5



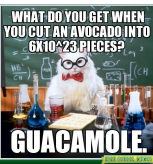


|                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Donner la configuration électronique de l'atome de néon de notation <math>^{20}_{10}\text{Ne}</math>. Cet atome est-il stable ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Donner la configuration électronique de l'atome de carbone de notation <math>^{12}_6\text{C}</math>.</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>       | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>L'argon est un gaz noble de la 3<sup>ème</sup> ligne du tableau périodique. Combien possède-t-il d'électrons de valence ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p> | <p>COURS</p> <p><b>Pour quelle raison certains atomes forment des ions monoatomiques ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>                                                 |
| <p>COURS</p> <p><b>Quelle configuration acquiert l'élément chimique une fois stabilisé sous forme ionique ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>                                               | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Quel type d'ion forment les atomes situés dans l'avant dernière colonne du tableau périodique ? Pourquoi ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Quel type d'ion forment les atomes situés dans la première colonne du tableau périodique ? Pourquoi ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>                     | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Quel type d'ion forment les atomes situés dans la 2<sup>ème</sup> colonne du tableau périodique ? Pourquoi ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p> |
| <p>COURS</p> <p><b>Comment se forme une liaison de valence entre 2 atomes ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>                                                                               | <p>COURS</p> <p><b>Comment représente-t-on une liaison de valence entre 2 atomes ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>                                                   | <p>COURS</p> <p><b>Qu'est ce qu'un doublet non liant ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>                                                                                              | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Donner le schéma de Lewis de la molécule de dioxyde de carbone.</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>                                              |
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Donner le schéma de Lewis de la molécule d'eau.</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>                                                                                 | <p>COURS</p> <p><b>Que représente l'énergie de liaison au sein d'une molécule ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>                                                      | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Le béryllium (Be) est situé dans la 2<sup>ème</sup> colonne du tableau. Quel ion formera-t-il ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>                           | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Le fluor (F) est dans l'avant dernière colonne du tableau. Quel ion formera-t-il ?</b></p> <p>CHAPITRE 4</p>                           |

|                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Lorsqu'un atome n'est pas stable, il peut gagner ou perdre des électrons pour se stabiliser: il est alors chargé et devient un ion.</p>                                                                                                                                  | <p>C'est un gaz noble, sa couche de valence est donc pleine avec 8 électrons.</p>                                                                                                                                                                                    | <p>Le carbone a 6 électrons distribués selon la configuration électronique: <math>1s^2 2s^2 2p^2</math>.</p>                                                                                                                                                               | <p>Le néon a 10 électrons distribués selon la configuration électronique: <math>1s^2 2s^2 2p^6</math>. Le néon est stable car sa couche de valence est saturée.</p>                  |
| <p>Ils forment des cations ayant deux charge positive (<math>Mg^{2+}</math> par exemple). Pour acquérir la configuration du gaz noble situé 2 cases avant dans le tableau, ces atomes doivent perdre 2 électrons de valence et portent alors 2 charge positive en plus.</p> | <p>Ils forment des cations ayant une charge positive (<math>Na^+</math> par exemple). Pour acquérir la configuration du gaz noble le plus proche dans le tableau, ces atomes doivent perdre un électron de valence et portent alors une charge positive en plus.</p> | <p>Ils forment des anions ayant une charge négative (<math>Cl^-</math> par exemple). Pour acquérir la configuration du gaz noble situé juste après dans le tableau, ces atomes doivent gagner un électron supplémentaire et portent alors une charge négative en plus.</p> | <p>L'ion a la configuration électronique stable du gaz noble le plus proche dans le tableau périodique.</p>                                                                          |
| $\langle O=C=O \rangle$                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>Un doublet non liant est formé par 2 électrons de valence d'un atome non engagés dans une liaison covalente.</p>                                                                                                                                                  | <p>Par un trait plein entre les 2 atomes</p>                                                                                                                                                                                                                               | <p>Il y a mise en commun de 2 électrons de valence, chaque atome en fournissant un. Les atomes sont ainsi liés l'un à l'autre et les 2 électrons sont partagés par les 2 atomes.</p> |
| $F^-$                                                                                                                                                                                                                                                                       | $Be^{2+}$                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>Elle représente la force de la liaison chimique. Plus elle est forte, plus la liaison sera difficile à casser. Elle est déterminée à partir de l'énergie nécessaire pour casser cette liaison.</p>                                                                      | $H-\overline{O}-H$                                                                                                                                                                   |

# CHAPITRE 5

## La quantité de matière

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                   | 😊 Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5.1 Masse d'une entité chimique . . . . . 59<br>5.2 Nombre d'entités dans un échantillon . . . . . 61<br>5.3 La mole . . . . . 61<br>5.4 Quantité de matière . . . . . 62<br>5.5 Préparation à l'évaluation . . . . . 64<br>Savoir et savoir-faire   ▪  Test de préparation au DS |                                                                                                                                                           |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                           | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  <i>De l'énormité du nombre d'Avogadro à la pollution</i><br>                                                 | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 3 p 91      <input type="checkbox"/> Ex. 8 p 92<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 4 p 91      <input type="checkbox"/> Ex. 13 p 92<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 6 p 91         </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 14 p 94    <input type="checkbox"/> Ex. 15 p 94         </div> |

### Introduction

Comme les molécules sont si petites, elles doivent vite être très nombreuses! Les chimistes ont donc besoin d'une unité de mesure à la ... mesure des molécules. Cette unité s'appelle la **mole**. Ainsi, pour pratiquer la chimie, les chimistes doivent dénombrer le nombre d'atomes, d'ions ou de molécules appelés « entités chimiques » (échelle microscopique) présentes dans les échantillons de matière qu'ils manipulent à l'échelle humaine (échelle macroscopique).

## 5.1 Masse d'une entité chimique

### Définition 5.1: Masse de l'entité

La masse  $m_{\text{entité}}$  d'une molécule ou d'un ion polyatomique est la somme des masses des atomes qui constituent cette entité. On doit donc connaître la formule brute de l'entité.

La masse des atomes des trois premières lignes de la classification périodique des éléments est donnée dans le tableau 5.1.

**Exemple 5.1**

La molécule d'eau a pour formule brute  $\text{H}_2\text{O}$ . Elle se compose de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. Sachant que la masse d'un atome d'hydrogène est  $m_H = 1,674 \times 10^{-24}$  g et celle d'un atome d'oxygène est  $m_O = 2,657 \times 10^{-23}$  g, on peut calculer la masse de la molécule d'eau :

**Exemple 5.2**

La molécule d'éthanol a pour formule brute  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ . Les masses des différents atomes sont  $m_H = 1,674 \times 10^{-24}$  g,  $m_O = 2,657 \times 10^{-23}$  g et  $m_C = 1,995 \times 10^{-23}$  g. La masse d'une molécule d'éthanol sera alors :

| Z | Symbole | Nom       | Masse (en g)            | Z  | Symbole | Nom       | Masse (en g)            |
|---|---------|-----------|-------------------------|----|---------|-----------|-------------------------|
| 1 | H       | Hydrogène | $1,674 \times 10^{-24}$ | 10 | Ne      | Néon      | $3,351 \times 10^{-23}$ |
| 2 | He      | Hélium    | $6,647 \times 10^{-24}$ | 11 | Na      | Sodium    | $3,818 \times 10^{-23}$ |
| 3 | Li      | Lithium   | $1,152 \times 10^{-23}$ | 12 | Mg      | Magnésium | $4,036 \times 10^{-23}$ |
| 4 | Be      | Béryllium | $1,497 \times 10^{-23}$ | 13 | Al      | Aluminium | $4,481 \times 10^{-23}$ |
| 5 | B       | Bore      | $1,795 \times 10^{-23}$ | 14 | Si      | Silicium  | $4,664 \times 10^{-23}$ |
| 6 | C       | Carbone   | $1,995 \times 10^{-23}$ | 15 | P       | Phosphore | $5,143 \times 10^{-23}$ |
| 7 | N       | Azote     | $2,326 \times 10^{-23}$ | 16 | S       | Souffre   | $5,324 \times 10^{-23}$ |
| 8 | O       | Oxygène   | $2,657 \times 10^{-23}$ | 17 | Cl      | Chlore    | $5,887 \times 10^{-23}$ |
| 9 | F       | Fluor     | $3,155 \times 10^{-23}$ | 18 | Ar      | Argon     | $6,634 \times 10^{-23}$ |

TABLE 5.1 – Masse des atomes des trois premières lignes du tableau de la classification périodique

## 5.2 Nombre d'entités dans un échantillon

### Définition 5.2: Masse de l'échantillon

Si on a un échantillon composé d'un nombre  $N$  d'entités identiques ayant une masse individuelle  $m_{\text{entité}}$ , alors la masse totale  $m$  de l'échantillon sera le produit du nombre d'entités par la masse d'une entité

$$\dots\dots\dots (5.1)$$

**Remarque.** Si on connaît la masse  $m$  de l'échantillon et la masse individuelle des entités  $m_{\text{entité}}$ , alors on peut calculer à partir de l'équation précédente le nombre  $N$  d'entités composant notre échantillon en isolant ce paramètre :

### Exemple 5.3

Un morceau de tube de cuivre a une masse  $m$  de 1,5 kg. Un atome de cuivre a une masse de  $m_{\text{Cu}} = 1,055 \times 10^{-22}$  g. On va déterminer le nombre d'atomes de cuivre présents dans ce tube.

 S'entraîner —  Ex. 4 p 91

## 5.3 La mole

### Définition 5.3: Mole

Pour compter plus rapidement les entités présentes dans un échantillon, on les compte par paquet contenant  $N_A = 6,022 \times 10^{23}$  entités. Ce paquet est appelé une **mole**.

### Exemple 5.4

Si j'ai 5 mol d'une espèce chimique, alors mon échantillon contient un nombre totale d'entités valant ..  
 .....

**Exemple 5.5**

Nous allons estimer le volume occupé par une mole de pop-corn, en supposant qu'un grain occupe le volume d'un cube de 2,00 cm d'arête. On convertit les distances en km puis on calcule de volume du cube en km<sup>3</sup> :

..... (5.2)

On calcule le volume occupé par la mole de pop-corn :

..... (5.3)

La superficie de la France est de  $S = 643\,801\text{ km}^2$ , il faudrait une hauteur  $h$  de pop-corn pour avoir le volume :

..... (5.4)

et donc

..... (5.5)

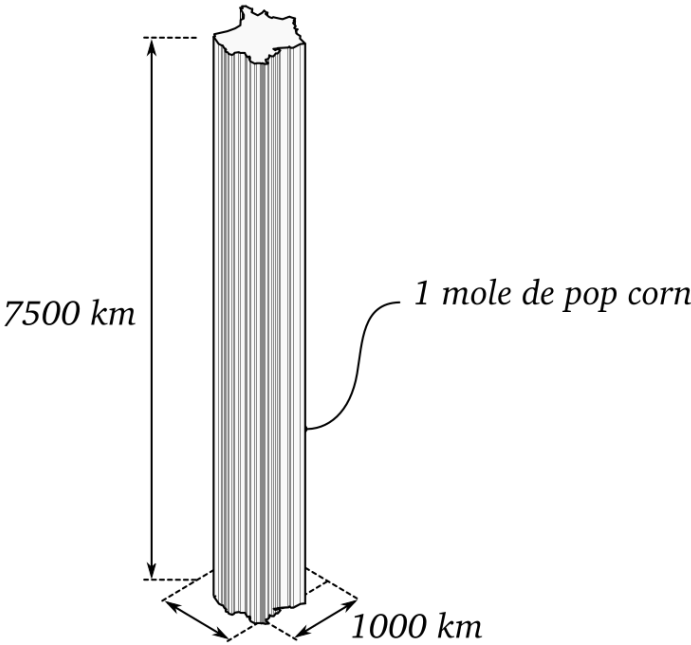


FIGURE 5.1 – Une mole de pop-corn couvrirait la France sur 7500 km de haut.

**5.4 Quantité de matière**

**Définition 5.4: Quantité de matière**

La **quantité de matière**  $n$  contenue dans un échantillon est le «nombre de paquets» contenant  $6,022 \times 10^{23}$  entités présent dans l'échantillon. Cette quantité de matière  $n$  s'exprime en mol.

Pour calculer  $n$ , il faut connaître le nombre total  $N$  d'entités de l'échantillon et on peut alors calculer  $n$  selon

$$n = \frac{N}{N_A} \tag{5.6}$$

Pour mesurer expérimentalement la quantité de matière  $n$  présente dans un échantillon, il faut connaître (i) la formule brute de l'entité chimique constituant l'espèce chimique, (ii) la masse  $m$  de notre échantillon. Ensuite, on applique les étapes de calculs de l'algorithme suivant :

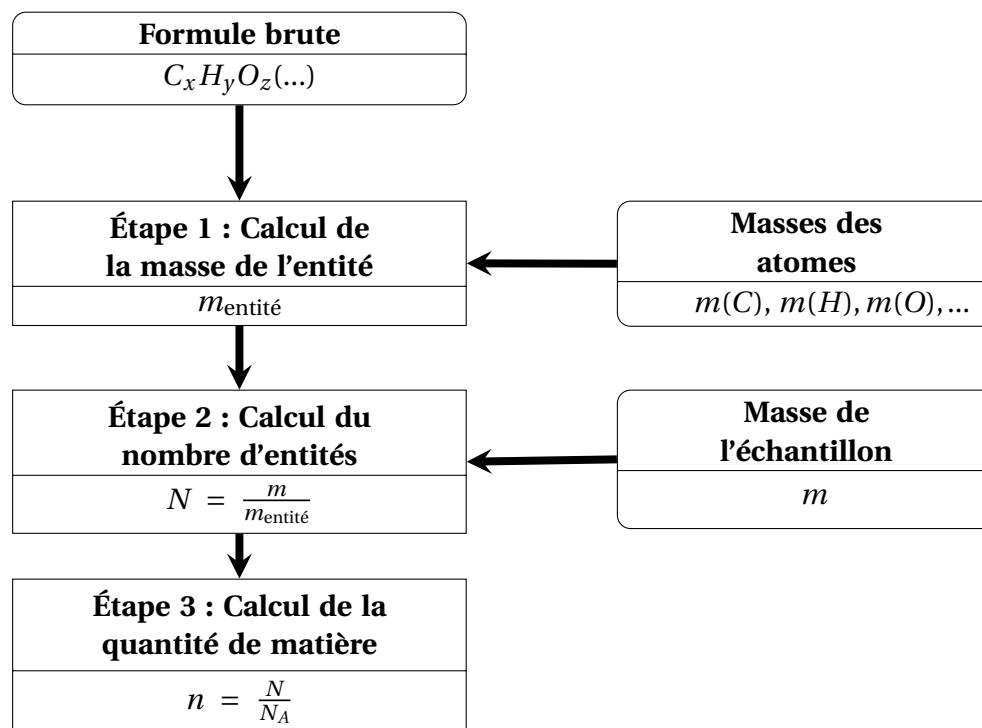


FIGURE 5.2 – Étapes du calcul d'une quantité de matière  $n$  connaissant la masse  $m$  de l'échantillon et la formule brute des entités.

### Exemple 5.6

Quelle est la quantité de matière contenue dans 25 g d'eau? On applique les étapes de la figure 5.2 et les valeurs du tableau 5.1.

- .....
- .....
- .....
- .....
- .....

## 5.5 Préparation à l'évaluation

### 5.5.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                             | OK                       | À revoir                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Nombre d'entités dans un échantillon.                                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Définition de la mole.                                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Quantité de matière dans un échantillon.                                                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                            | OK                       | À revoir                 |
| Déterminer la masse d'une entité à partir de sa formule brute et de la masse des atomes qui la composent.    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Déterminer le nombre d'entités et la quantité de matière (en mol) d'une espèce dans une masse d'échantillon. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 5.5.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 5.1 Masse d'une molécule

Calculer la masse de la molécule d'acide acétique  $\text{CH}_3\text{COOH}$  connaissant la masse individuelle des atomes suivants :  $m_C = 2,00 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ,  $m_O = 2,67 \times 10^{-26} \text{ kg}$  et  $m_H = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .

#### \* Problème 5.2 Masse d'un noyau

Le noyau de l'atome d'uranium possède un nombre total de neutrons et de protons égal à 238. Les neutrons et les protons ont une masse individuelle de environ  $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ . Calculer la masse d'un atome d'uranium en négligeant la masse des électrons.

#### \* Problème 5.3 Masse et quantité de matière d'un bloc de sodium

On a un bloc métallique de 1,00 kg de sodium. Un seul atome de sodium a une masse de  $3,82 \times 10^{-26} \text{ kg}$ .

1. Combien y-a-t-il d'atomes de sodium dans ce bloc?

2. Quelle quantité de matière est contenue dans ce bloc?

**Données :** La constante d'Avogadro est  $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

#### \*\* Problème 5.4 Le briquet comme contenant

On remplit une cuve de volume  $V = 500 \text{ mL}$  avec du butane gazeux,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , provenant d'un briquet. La quantité de matière de butane dans la cuve vaut  $n = 2,16 \times 10^{-2} \text{ mol}$ . La masse initiale du briquet est 55,0 g.

1. Définir la quantité de matière  $n$ .

2. Combien de molécule de butane ont été transférées?

3. Quelle est la masse du briquet après le transfert?

4. Quel volume occupe une mole d'espèce gazeuse?

**Données :** Masse de l'atome de carbone :

$m(C) = 2,00 \times 10^{-23} \text{ g}$ .

Masse de l'atome d'hydrogène :

$m(H) = 1,67 \times 10^{-24} \text{ g}$ .

La constante d'Avogadro est  $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

**Correction du problème 5.1**

D'après la formule semi-développée  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , et sachant que la masse de la molécule est la somme des masses de chaque atome la composant, on a :

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2 \times m_{\text{C}} + 2 \times m_{\text{O}} + 4 \times m_{\text{H}} = 2 \times 2,00 \times 10^{-26} \text{ kg} + 2 \times 2,67 \times 10^{-26} \text{ kg} + 4 \times 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,00 \times 10^{-25} \text{ kg}.$$

La masse de la molécule d'acide acétique est  $1,00 \times 10^{-25} \text{ kg}$ .

**Correction du problème 5.2**

La masse de l'atome étant approximativement celle de son noyau, sachant que les neutrons et les protons ont quasiment la même masse et que le nombre total des neutrons et des protons est de 238, la masse est donc le produit entre la masse individuelle d'un neutron ou d'un proton par le nombre total de particules (neutron ou proton) du noyau  $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} \times 238 = 3,97 \times 10^{-25} \text{ kg}$ .

**Correction du problème 5.3**

$$1. N = \frac{m_{\text{échantillon}}}{m_{\text{entité}}} = \frac{1,00 \text{ kg}}{3,82 \times 10^{-26} \text{ kg}} = 2,62 \times 10^{25}. \text{ L'échantillon a } 2,62 \times 10^{25} \text{ atomes de sodium.}$$

$$2. n = \frac{N}{N_A} = \frac{2,62 \times 10^{25}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 44,0 \text{ mol. Ce bloc est constitué de 44 mol d'atomes de sodium.}$$

**Correction du problème 5.4**

1. La quantité de matière  $n$  contenue dans un échantillon est le « nombre de paquets » contenant  $6,022 \times 10^{23}$  entités présent dans l'échantillon.

$$2. N = n \times N_A = 2,16 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 1,30 \times 10^{22}.$$

Il y a  $1,30 \times 10^{22}$  molécules de butane.

3. Il faut calculer la masse de méthane qui a été évacuée.

$$m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 4m(\text{C}) + 10m(\text{H}) = 9,67 \times 10^{-24} \text{ g. Donc la masse de l'échantillon de gaz est } m = N \times m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 1,30 \times 10^{22} \times 9,67 \times 10^{-24} \text{ g} = 1,26 \text{ g.}$$

Le briquet a donc perdu 1,26 g, sa masse est alors  $m(\text{briquet}) 55,0 - 1,26 = 53,74 \text{ g}$ .

$$4. \text{ Les } n \text{ moles occupent } 500 \text{ mL donc } 1 \text{ mole occupera } V(1 \text{ mole}) = \frac{V(n \text{ moles})}{n} = \frac{500}{2,16 \times 10^{-2}} \approx 23\,100 \text{ mL} = 23,1 \text{ L.}$$

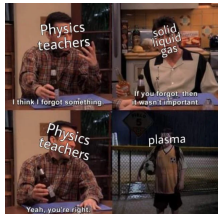


|                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p>Qu'est ce que la quantité de matière?</p> <p>CHAPITRE 5</p>                                                                                                                                                   | <p>COURS</p> <p>Quelle notation/symbole est utilisé pour la quantité de matière?</p> <p>CHAPITRE 5</p>                                                                                                                         | <p>COURS</p> <p>Quelle est l'unité de la quantité de matière?</p> <p>CHAPITRE 5</p>                                                                                                       | <p>COURS</p> <p>Que signifie 1 mole?</p> <p>CHAPITRE 5</p>                                                                                                                                               |
| <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce que la constante d'Avogadro ?</p> <p>CHAPITRE 5</p>                                                                                                                                                 | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Comment déterminer la masse d'une molécule?</p> <p>CHAPITRE 5</p>                                                                                                                                       | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Déterminer la masse d'une molécule d'eau:<br/> <math>m(\text{H}_2\text{O}) = ?</math></p> <p>CHAPITRE 5</p>                                                        | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Quelle est la masse de l'ion polyatomique de sulfate de cuivre <math>\text{CuSO}_4</math> ?</p> <p>CHAPITRE 5</p>                                                                 |
| <p>COURS</p> <p>Donner la relation mathématique entre la masse <math>m</math> d'un échantillon constitué d'entités de masse <math>m_e</math>, et le nombre <math>N</math> d'entités dans l'échantillon.</p> <p>CHAPITRE 5</p> | <p>COURS</p> <p>Donner la relation mathématique entre la quantité de matière <math>n</math> contenue dans un échantillon possédant <math>N</math> molécules et la constante d'Avogadro <math>N_A</math>.</p> <p>CHAPITRE 5</p> | <p>COURS</p> <p>Quelle est l'unité du nombre <math>N</math> d'entités chimiques contenues dans un échantillon de matière ?</p> <p>CHAPITRE 5</p>                                          | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>La masse d'une molécule de sucre est <math>5.7 \times 10^{-13} \text{ ng}</math> (nanogramme). Calculer le nombre de molécules de sucre dans 1 ng de sucre.</p> <p>CHAPITRE 5</p> |
| <p>COURS</p> <p>Quelle est l'unité de la constante d'Avogadro ?</p> <p>CHAPITRE 5</p>                                                                                                                                         | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Dénombrer le nombre d'atomes dans la molécule suivante:<br/> <math>\text{C}_4\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2</math></p> <p>CHAPITRE 5</p>                                                                | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>On détient un échantillon de <math>3 \times 10^{24}</math> molécules de protoxyde d'azote. À quelle quantité de matière cela correspond-il ?</p> <p>CHAPITRE 5</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Combien de molécules de sucre sont contenues dans 3 mol de sucre?</p> <p>CHAPITRE 5</p>                                                                                           |

|                                                                                                                                    |                                                                                                            |                                                                              |                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Une mole correspond à un paquet de <math>6.02 \times 10^{23}</math> entités.</p>                                                | <p>La quantité de matière s'exprime en moles (mol).</p>                                                    | <p>n</p>                                                                     | <p>La quantité de matière est la grandeur utilisée en chimie pour dénombrer les entités microscopiques (atomes, molécules, ions, ...) contenues dans un échantillon de matière.</p> |
| <p><math>m(\text{CuSO}_4) = m(\text{Cu}) + m(\text{S}) + 4 \times m(\text{O})</math></p>                                           | <p><math>m(\text{H}_2\text{O}) = 2 \times m(\text{H}) + m(\text{O})</math></p>                             | <p>Il faut additionner les masses de tous les atomes qui la constitue.</p>   | <p>Le nombre d'Avogadro est une constante universelle, notée <math>N_A</math>, dont la valeur correspond à 1 mole d'entités chimiques.</p>                                          |
| <p><math>N = \frac{m}{m_e} = \frac{1}{5.7 \times 10^{-13}} \approx 1.8 \times 10^{12}</math> soit 1800 milliards de molécules.</p> | <p>Ce nombre est sans unité.</p>                                                                           | <p><math>n = \frac{N}{N_A}</math></p>                                        | <p><math>N = \frac{m}{m_e}</math></p>                                                                                                                                               |
| <p><math>N = n \times N_A = 3 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.8 \times 10^{24}</math> molécules.</p>                                | <p><math>n = \frac{N}{N_A} = \frac{3 \times 10^{24}}{6.02 \times 10^{23}} \approx 5 \text{ mol}</math></p> | <p>Il y a 4 atomes de carbone, 9 d'hydrogène, 3 d'azote, et 2 d'oxygène.</p> | <p>La constante d'Avogadro s'exprime en <math>\text{mol}^{-1}</math>.</p>                                                                                                           |

# CHAPITRE 6

## Transformation physique

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                         | 😊 Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6.1 Changement d'état . . . . . 69<br>6.2 Modélisation microscopique . . . . . 70<br>6.3 Transfert thermique . . . . . 71<br>6.4 Applications des changements d'états . . . . . 71<br>6.5 Préparation à l'évaluation . . . . . 72<br>Savoir et savoir-faire ■ Test de préparation au DS |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                 | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 🎧 <i>La matière dans tous ses états</i><br>                                                                                                                                                          | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 6 p 104           <input type="checkbox"/> Ex. 12 p 105         </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 7 p 104           <input type="checkbox"/> Ex. 14 p 105         </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 8 p 105           <input type="checkbox"/> Ex. 16 p 106         </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 22 p 108           <input type="checkbox"/> Ex. 23 p 108         </div> |

### Introduction

La matière peut se transformer en libérant ou absorbant de l'énergie. Une transformation physique n'est qu'un changement de phase, solide, liquide ou gazeux, durant lequel les molécules de la matière restent intactes.

## 6.1 Changement d'état

### Définition 6.1: États physique de la matière

Un corps pur peut être dans trois états physiques en fonction de sa température et de la pression : solide, liquide et gazeux.

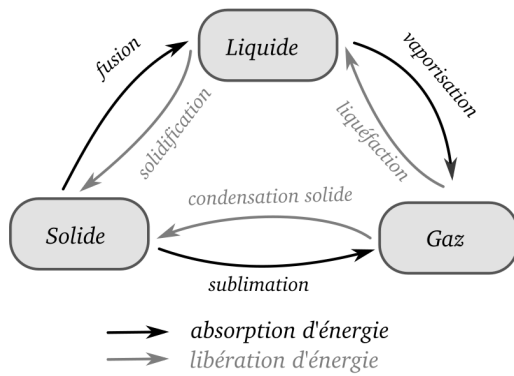


FIGURE 6.1 – Noms des différents types de changements d'états.

Le passage d'un état à l'autre se fait à des températures précises selon le corps étudié, appelées températures de changement de phase.

**Remarque.** La vaporisation est une évaporation avec ébullition du corps.

#### Exemple 6.1

On peut décrire un changement d'état par son équation de changement d'état, comme pour l'exemple suivant et le passage de l'eau à l'état solide à l'eau à l'état gazeux :

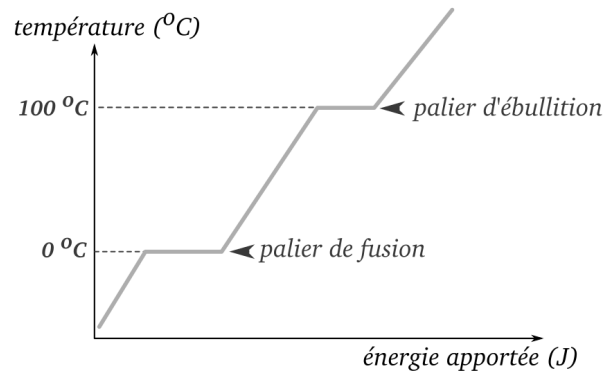


FIGURE 6.2 – L'eau peut être sous forme liquide, solide (glace, neige, givre) ou à l'état de vapeur, la fusion et l'ébullition se produisent à température constante.

## 6.2 Modélisation microscopique

### Définition 6.2: Échelle microscopique des états

On peut modéliser les trois phases de la matière de la façon suivante :

- Dans un corps pur solide, les atomes, ions ou molécules qui le constituent sont organisés dans une structure cristalline qui est très ordonnée et régulière.
- Dans un corps pur liquide, les atomes, ions ou molécules qui le constituent sont dans une structure désorganisée, ils peuvent se déplacer les uns par rapport aux autres, en restant très proches.
- Dans un corps pur gazeux, les atomes, ions ou molécules qui le constituent sont dans une structure désorganisée, ils se déplacent à des vitesses importantes et sont éloignés les uns des autres.

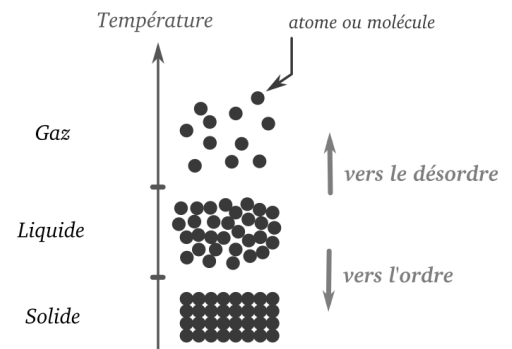


FIGURE 6.3 – Structure de la matière dans les phases solide, liquide et gaz.

**Définition 6.3: Structure de la matière**

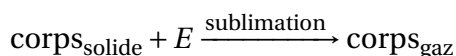
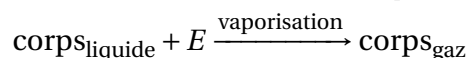
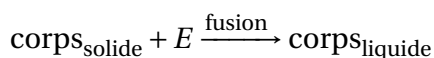
Pour un changement d'état, lors du passage solide  $\rightarrow$  liquide  $\rightarrow$  gaz, la structure de la matière est de plus en plus désordonnée. Le passage gaz  $\rightarrow$  liquide  $\rightarrow$  solide se caractérise par un état de plus en plus ordonné de la matière.

 S'entraîner — ☐ Ex. 6 p 104 ☐ Ex. 7 p 104 ☐ Ex. 8 p 105

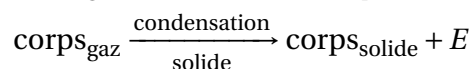
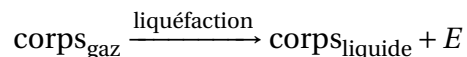
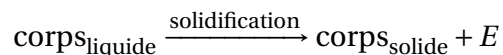
## 6.3 Transfert thermique

**Définition 6.4: Transfo. endothermique**

Une transformation **endothermique** absorbe de l'énergie  $E$  quand elle se produit :

**Définition 6.5: Transfo. exothermique**

Une transformation **exothermique** libère de l'énergie  $E$  quand elle se produit :

**Définition 6.6: Énergie de fusion**

L'**énergie de fusion**  $E_f$  (en J, souvent notée  $Q$ ) est l'énergie nécessaire pour faire fondre une masse  $m$  (en kg) d'un corps pur d'énergie massique de fusion  $L_f$  (en  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , elle est aussi appelée chaleur latente) :

$$E_f = m \times L_f \quad (6.1)$$

Quand le corps se solidifie, il va libérer la même énergie.

**Définition 6.7: Énergie de vaporisation**

L'**énergie de vaporisation**  $E_v$  (en J, souvent notée  $Q$ ) est l'énergie nécessaire pour vaporiser une masse  $m$  (en kg) d'un corps pur d'énergie massique de vaporisation  $L_v$  (en  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , elle est aussi appelée chaleur latente).

$$E_v = m \times L_v \quad (6.2)$$

Quand le corps se liquéfie, il va libérer la même énergie.

## 6.4 Applications des changements d'états

- Quand on utilise une glacière, on y place des blocs de glace qui absorbent l'énergie thermique entrant dans la glacière. Tant que la glace se transforme en eau, cette énergie ne peut pas augmenter la température des objets dans la glacière.
- Les petites chauffeuses qui se déclenchent par un choc et où l'on observe un liquide devenant solide utilisent une espèce chimique en surfusion, et quand elle change de phase, elle libère l'énergie sous forme thermique.
- Certains mammifères transpirent, l'eau en s'évaporant absorbe l'énergie thermique du corps et permet de le refroidir.
- Dans les années 1970 les sondes russes VENERA qui atterrissaient à la surface de Vénus où la température est de  $400^\circ\text{C}$ , utilisaient la sublimation de nitrate de lithium tri-hydraté pour absorber l'énergie thermique qui entrainait dans la sonde.

- Les sondes spatiales utilisent un bouclier thermique pour entrer dans une atmosphère, le bouclier se sublime, ce qui permet d'évacuer une partie de l'énergie thermique due au frottement avec l'atmosphère, la sonde perd ainsi de l'énergie cinétique et est ralentie, passant à une vitesse de quelques kilomètres par seconde à quelques centaines de mètre par seconde.

 **S'entraîner** — ☐ Ex. 12 p 105 ☐ Ex. 14 p 105 ☐ Ex. 16 p 106 ☐ Ex. 22 p 108 ☐ Ex. 23 p 108

## 6.5 Préparation à l'évaluation

### 6.5.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                     | OK                       | À revoir                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Écriture symbolique d'un changement d'état.                                                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Modélisation microscopique d'un changement d'état.                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Transformations physiques endothermiques et exothermiques.                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Énergie de changement d'état et applications.                                                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                    | OK                       | À revoir                 |
| Citer des exemples de changements d'état physique de la vie courante et dans l'environnement.                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Établir l'écriture d'une équation pour un changement d'état.                                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Distinguer fusion et dissolution.                                                                                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Identifier le sens du transfert thermique lors d'un changement d'état et le relier au terme exothermique ou endothermique.           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Exploiter la relation entre l'énergie transférée lors d'un changement d'état et l'énergie massique de changement d'état de l'espèce. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 6.5.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 6.1 Changement d'état d'un gaz

Un gaz peut-il devenir solide ou liquide? Donner des exemples.

#### \* Problème 6.2 Fusion ou dissolution?

Si on chauffe doucement du saccharose (sucre alimentaire), on obtient une pâte visqueuse (du caramel). Si on met du saccharose dans de l'eau, il se dissout. Dans quel cas a-t-on une fusion et dans quel cas une dissolution?

#### \* Problème 6.3 Équations de changement d'états

Traduire les changements d'état suivants par la transformation physique associée, sous forme d'une équation bilan. Dire pour chacune si elle dégage ou absorbe de l'énergie et les qualifier de transformation endothermique ou exothermique.

1. Ébullition de l'eau.
2. Formation d'un glaçon.

3. Fusion de l'or (symbole Au).
  4. Sublimation du diiode I<sub>2</sub>.
- 

**\* Problème 6.4 Ébullition de l'ammoniac**

La température d'ébullition de l'ammoniac NH<sub>3</sub> est égale à  $-33,3^{\circ}\text{C}$  à la pression de 1013 hPa.

1. Lorsque l'ammoniac se vaporise, reçoit-il ou libère-t-il de l'énergie?
  2. Calculer l'énergie  $Q$  transférée lors de la vaporisation de 2,5 kg d'ammoniac. On donne pour l'ammoniac  $L_{\text{vaporisation}} = 1,37 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- 

**\*\* Problème 6.5 Énergie absorbée dans une glacière**

Pour faire fondre 1 g de glace d'eau à  $0^{\circ}\text{C}$ , il faut apporter une énergie de 334 J. Un pain de glace a une masse de 1,5 kg. Combien d'énergie va-t-il pouvoir absorber dans une glacière?

---

### Correction du problème 6.1

Si on refroidit suffisamment un gaz il peut devenir liquide puis solide. La neige carbonique sortant d'un extincteur est du gaz carbonique solidifié. On utilise l'azote liquide et l'hélium liquide pour refroidir certains instruments scientifiques et médicaux. Dans les bouteilles de gaz, le butane et le propane sont sous forme liquide.

---

### Correction du problème 6.2

La fusion est le premier cas, on apporte de l'énergie et le saccharose change de phase, passant du solide au liquide. Dans le deuxième cas, on a une dissolution, on mélange deux espèces chimiques, un soluté dans un solvant.

---

### Correction du problème 6.3

1.  $\text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{E} \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_{(g)}$ . La transformation absorbe de l'énergie, c'est donc une transformation endothermique.
  2.  $\text{H}_2\text{O}_{(l)} \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_{(s)} + \text{E}$ . La transformation dégage de l'énergie, c'est donc une transformation exothermique.
  3.  $\text{Au}_{(s)} + \text{E} \longrightarrow \text{Au}_{(l)}$ . La transformation absorbe de l'énergie, c'est donc une transformation endothermique.
  4.  $\text{I}_{2(s)} + \text{E} \longrightarrow \text{I}_{2(g)}$ . La transformation absorbe de l'énergie, c'est donc une transformation endothermique.
- 

### Correction du problème 6.4

1. La vaporisation est endothermique, l'ammoniac doit recevoir de l'énergie.
  2. On utilise la formule :  $Q = m \times L_{\text{vaporisation}} = 2,5 \text{ kg} \times 1,37 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 3425 \text{ kJ}$ . L'ammoniac reçoit donc 3425 kJ pour se vaporiser entièrement.
- 

### Correction du problème 6.5

D'après la définition de l'énergie massique de fusion, on a  $E_{\text{fusion}} = m \times L_{\text{fusion}}$ . On connaît la masse  $m = 1 \text{ g}$  et l'énergie nécessaire pour cette fusion  $E_{\text{fusion}} = 334 \text{ J}$ , on calcule alors que :

$$L_{\text{fusion}} = \frac{E_{\text{fusion}}}{m} = \frac{334 \text{ J}}{1 \text{ g}} = 334 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}.$$

On utilise ensuite cette formule pour calculer l'énergie qu'un pain de glace de  $m = 1,5 \text{ kg} = 1500 \text{ g}$  peut absorber :

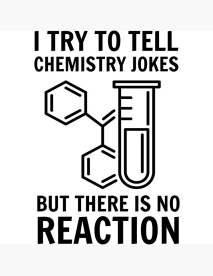
$$E_{\text{absorbée}} = m \times L_{\text{fusion}} = 1500 \text{ g} \times 334 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} = 500\,000 \text{ J} = 500 \text{ kJ}$$

La pain de glace peut absorber 500 kJ d'énergie.

|                                                                                                                |                                                                                                                                            |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p>Décrire la structure d'un gaz à l'échelle microscopique.</p> <p>CHAPITRE 6</p>                 | <p>COURS</p> <p>Décrire la structure d'un liquide à l'échelle microscopique.</p> <p>CHAPITRE 6</p>                                         | <p>COURS</p> <p>Décrire la structure d'un solide à l'échelle microscopique.</p> <p>CHAPITRE 6</p>                                    | <p>COURS</p> <p>Quel est le nom du changement d'état de solide à liquide et inversement ?</p> <p>CHAPITRE 6</p>                                                                                 |
| <p>COURS</p> <p>Quel est le nom du changement d'état de solide à gazeux et inversement ?</p> <p>CHAPITRE 6</p> | <p>COURS</p> <p>Quel est le nom du changement d'état de liquide à gazeux et inversement ?</p> <p>CHAPITRE 6</p>                            | <p>COURS</p> <p>Quelle grandeur physique reste constante lors du changement d'état ?</p> <p>CHAPITRE 6</p>                           | <p>COURS</p> <p>Lors du changement d'état d'un corps pur, comment évolue la température ?</p> <p>CHAPITRE 6</p>                                                                                 |
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Donner l'écriture symbolique de la vaporisation de l'eau.</p> <p>CHAPITRE 6</p>         | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Donner l'écriture symbolique de la sublimation du saccharose <math>C_{12}H_{22}O_{11}</math>.</p> <p>CHAPITRE 6</p> | <p>COURS</p> <p>Quelle est la différence entre la fusion et la dissolution ?</p> <p>CHAPITRE 6</p>                                   | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'une transformation exothermique ?</p> <p>CHAPITRE 6</p>                                                                                                            |
| <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'une transformation endothermique ?</p> <p>CHAPITRE 6</p>                          | <p>COURS</p> <p>Quelle est la formule reliant l'énergie massique de fusion à l'énergie de fusion ?</p> <p>CHAPITRE 6</p>                   | <p>COURS</p> <p>Quelle est la formule reliant l'énergie massique de vaporisation à l'énergie de vaporisation ?</p> <p>CHAPITRE 6</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>L'énergie recue par 2 kg de chocolat pour le faire fondre est <math>E = 240 \text{ kJ}</math>. Que vaut l'énergie massique de fusion du chocolat ?</p> <p>CHAPITRE 6</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Solide à liquide: fusion</p> <p>Liquide à solide: solidification.</p>                                                                                                                                                                |  <p>Les molécules ou atomes sont ordonnés en une structure cristalline régulière.</p>                                        |  <p>Les molécules ou atomes sont désordonnés, peuvent se déplacer les uns par rapport aux autres et restent proches les uns des autres.</p> |  <p>Les molécules ou atomes sont désordonnés, se déplacent à des vitesses importantes et sont éloignés les uns des autres.</p> |
| <p>La température d'un corps pur reste constante lors d'un changement d'état d'un corps pur. Ce n'est pas le cas pour un mélange.</p>                                                                                                   | <p>La masse.</p>                                                                                                                                                                                              | <p>Liquide à gazeux: vaporisation,</p> <p>Gazeux à liquide: liquéfaction.</p>                                                                                                                                                 | <p>Solide à gazeux: sublimation,</p> <p>Gazeux à solide: condensation solide.</p>                                                                                                                                 |
| <p>Un changement d'état d'un système est exothermique si le système étudié cède de l'énergie.</p>                                                                                                                                       | <p>Lors d'une fusion, il y a changement d'état de solide à liquide. Lors d'une dissolution, qui est également une transformation physique, il y a intervention d'une seconde espèce chimique: le solvant.</p> | <p><math>C_{12}H_{22}O_{11(s)} \rightarrow C_{12}H_{22}O_{11(g)}</math></p>                                                                                                                                                   | <p><math>H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(g)}</math></p>                                                                                                                                                             |
| <p><math>E_f = m \times L_f</math> donc <math>L_f = \frac{E_f}{m} = \frac{240\text{ kJ}}{2\text{ kg}} = \frac{240\,000\text{ J}}{2\text{ kg}} = 120\,000\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 120\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}.</math></p> | <p><math>E_v = m \times L_v</math></p>                                                                                                                                                                        | <p><math>E_f = m \times L_f</math></p>                                                                                                                                                                                        | <p>Un changement d'état d'un système est endothermique si le système étudié reçoit de l'énergie.</p>                                                                                                              |

# Transformation chimique

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 😊 Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7.1 Réaction chimique . . . . . 77<br>7.2 Équation de réaction chimique . . . . . 78<br>7.3 Recherche du réactif limitant . . . . . 79<br>7.4 Réactions exothermiques et endothermiques . . . . . 80<br>7.5 Synthèse d'une espèce chimique . . . . . 81<br>7.6 Préparation à l'évaluation . . . . . 82<br>Savoir et savoir-faire   ▪  Test de préparation au DS |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p>🎧 Avec Lavoisier «Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme»</p>  <p>🎧 Madame de Lavoisier</p>                                                                              | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 6 p 122      <input type="checkbox"/> Ex. 10 p 123<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 8 p 123      <input type="checkbox"/> Ex. 12 p 123<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 26 p 126<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 29 p 127         </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 32 p 128    <input type="checkbox"/> Ex. 33 p 128         </div> |

## Introduction

Une transformation chimique transforme les molécules en modifiant la répartition des atomes entre diverses molécules.

## 7.1 Réaction chimique

### Définition 7.1: Transformation chimique

Une **transformation chimique** est le passage d'un système d'un **état initial** à un **état final** avec formation de nouvelles espèces chimiques.

**Exemple 7.1**

Lors de la combustion complète du méthane dans le dioxygène de l'air, le méthane et le dioxygène sont consommés et il se forme de l'eau et du dioxyde de carbone. Le diazote, présent dans l'air, intervient pas dans la réaction chimique : on dit qu'il est une espèce **spectatrice** et sera donc présent à l'état final.

**Définition 7.2**

Lors d'une **réaction chimique**, les **réactifs** disparaissent pour former les **produits** qui apparaissent :



Il y a **conservation** de la matière, de la masse et de la charge électrique.

On aura donc les égalités suivantes :

- nombre d'atome de chaque élément des réactifs = nombre d'atome de chaque élément des produits
- masse des réactifs = masse des produits
- somme des charges électriques des réactifs = somme des charges électriques des produits

**Exemple 7.2**

Dans l'exemple précédent, le méthane et le dioxygène sont les réactifs, l'eau et le dioxyde de carbone les produits.

## 7.2 Équation de réaction chimique

**Définition 7.3**

Une **équation de réaction chimique** indique comment les atomes se réorganisent quand des réactifs réagissent pour former des produits. Cette équation respecte la conservation de la masse (tous les atomes présents dans les réactifs se retrouvent dans les produits) et la conservation de la charge électrique (la charge électrique totale de tous les réactifs est identique à la charge totale de tous les produits). L'équation de réaction chimique est donc **équilibrée**. Les **coefficients stœchiométriques** indiquent en quelles proportions les réactifs réagissent entre eux et les produits apparaissent.

**Exemple 7.3**

- Combustion du carbone :  
.....
- Combustion du méthane :  
.....
- Corrosion d'un métal par un acide :  
.....
- Action d'un acide sur le calcaire :  
.....

- Action de l'acide chlorhydrique sur l'hydroxyde de sodium :

.....  
 .....sont des espèces spectatrices.

On pourra d'ailleurs écrire : .....

 S'entraîner — ☐ Ex. 6 p 122 ☐ Ex. 8 p 123

## 7.3 Recherche du réactif limitant

### Définition 7.4: Réactif limitant

Le **réactif limitant** est le réactif qui va disparaître en premier lors d'une réaction chimique, et c'est donc lui qui va arrêter la réaction.

### Méthode 7.1: Trouver un réactif limitant

Pour rechercher le réactif limitant d'une réaction dont on connaît l'équation de réaction équilibrée, il faut :

1. calculer le nombre de moles de chaque réactif présent au début de la réaction
2. diviser ce nombre de mole par le coefficient stœchiométrique correspondant au réactif
3. le réactif ayant le plus petit rapport sera le réactif limitant la réaction, les autres seront en excès

### Exemple 7.4

On a une réaction de combustion entre le dioxygène  $O_2$  et le butane  $C_4H_{10}$ , dont l'équation de réaction est :



Initialement, on a 0,42 mol de butane et 0,23 mol de dioxygène. On recherche le réactif limitant en appliquant la méthode décrite ci-dessus.

**Exemple 7.5**

On peut utiliser une autre méthode basée sur la proportionnalité. Si 2 molécules de butane réagit avec 13 molécules de dioxygène, alors si au départ on a 0.42 mol de butane, pour avoir une consommation complète de ce réactif, il faudrait donc une quantité de dioxygène égale à :

 S'entraîner — ☐ Ex. 10 p 123 ☐ Ex. 12 p 123

## 7.4 Réactions exothermiques et endothermiques

**Définition 7.5: Réactions exothermiques et endothermiques**

Si lors d'une réaction chimique, de l'énergie est dégagée (lumière, chaleur) alors la réaction est **exothermique**.

Si lors d'une réaction chimique, de l'énergie est absorbée (diminution de la température) alors la réaction est **endothermique**.

**Exemple 7.6**

Les réactions de combustion sont exothermiques, elles sont utilisées depuis longtemps par les Hommes pour se chauffer, s'éclairer et cuire des aliments.

## 7.5 Synthèse d'une espèce chimique

### Définition 7.6: Synthèse

**Synthétiser** une espèce chimique, c'est fabriquer cette espèce par une suite de réactions chimiques, de méthode de purification, de séparation, d'extractions et de caractérisations. L'espèce chimique peut être une copie d'une espèce naturelle ou une création de l'Humain. On peut utiliser un système de chauffage à reflux pour faire une synthèse.

FIGURE 7.1 – Montage d'un chauffage à reflux. Le chauffage à reflux permet : d'accélérer une transformation chimique en chauffant le milieu réactionnel, et d'éviter les pertes de matière lors de l'ébullition grâce au réfrigérant qui liquéfie les vapeurs formées.

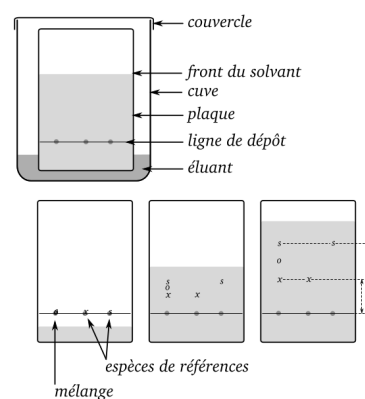


FIGURE 7.2 – Caractérisation par chromatographie sur couche mince. On sépare les constituants d'un mélange grâce à l'entraînement par un éluant des différentes espèces à des vitesses différentes et on compare à des espèces pures.

### Définition 7.7: CCM

La chromatographie sur couche mince est une technique de séparation des composants dans un but d'analyse ou de purification. Elle comprend une phase stationnaire (usuellement du gel de silice, de l'oxyde d'aluminium ou de la cellulose) et une phase liquide, dite phase mobile ou éluant qui est un solvant ou un mélange de solvants qui va entraîner les composés à se séparer le long de la phase stationnaire.

## 7.6 Préparation à l'évaluation

### 7.6.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                                                                                                                                  | OK                       | À revoir                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Modélisation macroscopique d'une transformation par une réaction chimique.                                                                                                                                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Écriture symbolique d'une réaction chimique.                                                                                                                                                                                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Notion d'espèce spectatrice.                                                                                                                                                                                                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Stœchiométrie, réactif limitant.                                                                                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Transformations chimiques endothermiques et exothermiques.                                                                                                                                                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Synthèse d'une espèce chimique présente dans la nature.                                                                                                                                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                                                                                                                                 | OK                       | À revoir                 |
| Modéliser, à partir de données expérimentales, une transformation par une réaction, établir l'équation de réaction associée et l'ajuster.                                                                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Identifier le réactif limitant à partir des quantités de matière des réactifs et de l'équation de réaction.                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Modéliser, par l'écriture d'une équation de réaction, la combustion du carbone et du méthane, la corrosion d'un métal par un acide, l'action d'un acide sur le calcaire, l'action de l'acide chlorhydrique sur l'hydroxyde de sodium en solution. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Établir, à partir de données expérimentales, qu'une espèce chimique synthétisée au laboratoire peut être identique à une espèce chimique synthétisée dans la nature.                                                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Réaliser le schéma légendé d'un montage à reflux et d'une chromatographie sur couche mince.                                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacités mathématiques :                                                                                                                                                                                                                         |                          |                          |
| Utiliser la proportionnalité.                                                                                                                                                                                                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 7.6.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 7.1 Équations de réaction

Équilibrer les équations chimiques ci-dessous :

- $\text{C}_5\text{H}_{12} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{C}_3\text{H}_6 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-} \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$
- $\text{N}_2 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{NH}_3$
- $\text{Al} + \text{H}^+ \longrightarrow \text{Al}^{3+} + \text{H}_2$

#### \* Problème 7.2 Réactif limitant

Soit la réaction d'équation  $4 \text{Fe}_{(\text{s})} + 3 \text{O}_{2(\text{g})} \longrightarrow 2 \text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{s})}$ . On fait réagir une quantité  $n_0(\text{Fe}) = 8 \text{ mol}$  de fer avec une quantité  $n_0(\text{O}_2) = 9 \text{ mol}$  de dioxygène.

- Définir le réactif limitant.
- Identifier le réactif limitant de cette réaction.

#### \*\* Problème 7.3 Synthèse de l'acétate de linalyle

L'acétate de linalyle est une espèce chimique liquide, incolore et aromatique qui se trouve en quantité importante dans l'huile essentielle de lavande, la sauge et l'huile de bergamote. Il peut être synthétisé au laboratoire par réaction chimique entre le linalol et l'anhydride acétique :



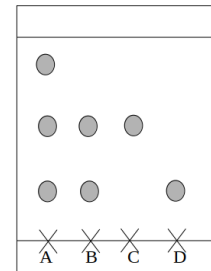
| Données                  | Linalol | Anhydride acétique                                  | Acétate de linalyle | Acide acétique |
|--------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------------------|----------------|
| Densité                  | 0,87    | 1,08                                                | 0,89                | 1,18           |
| Température d'ébullition | 199 °C  | 139,5 °C                                            | 220 °C              | 85 °C          |
| Solubilité dans l'eau    | Faible  | Se transforme en acide acétique au contact de l'eau | Très faible         | Très soluble   |

1. Quels sont les réactifs de la synthèse, et quels sont les produits?
2. Pourquoi chauffe-t-on les réactifs?
3. Schématiser le montage utilisé, et le légender.
4. Au bout de 30 minutes on verse le mélange réactionnel dans une ampoule à décanter, et on ajoute de l'eau. On observe deux phases, la phase aqueuse et la phase organique. Que trouve-t-on dans chaque phase? Justifier.

On isole alors la phase organique, et on réalise une chromatographie sur couche mince en plaçant :

- en A, une goutte d'huile essentielle de lavande;
- en B, une goutte de la phase contenant l'ester obtenu par synthèse;
- en C, une goutte d'acétate de linalyle de référence dilué;
- en D, une goutte de linalol de référence dilué.

On obtient le résultat ci-contre.



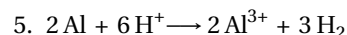
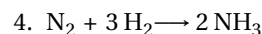
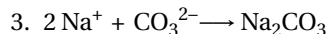
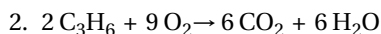
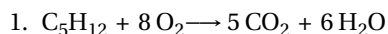
5. Que peut-on dire à propos de l'huile essentielle de lavande? Justifier.
6. Doit-on être satisfait du produit de synthèse?

#### \*\* Problème 7.4 Corrosion du fer

De la poudre de fer et de l'acide chlorhydrique, contenant l'ion hydrogène  $H^+$  et l'ion chlorure  $Cl^-$  sont introduits dans un tube à essai. Un gaz se forme. Une flamme est approchée de l'entrée du tube : une légère détonation se produit, attestant la présence de  $H_{2(g)}$ . Une fois le dégagement gazeux terminé, de la poudre de fer reste au fond du tube. La solution restante est versée dans un autre tube à essais dans lequel sont ajoutées quelques gouttes d'une solution contenant l'ion hydroxyde  $HO^-$ . Un précipité vert, caractéristique de la présence de l'ion fer II ( $Fe^{2+}$ ) apparaît. L'état initial est constitué de 30 mmol de poudre de fer et de 20 mmol d'ion  $H^+$ .

1. Écrire l'équation de réaction modélisant la transformation décrite (rappeler les règles utilisées).
2. Rappeler à quoi correspond une espèce spectatrice et l'identifier dans cette expérience.
3. Identifier le réactif limitant à partir des quantités initiales de réactifs. Justifier. Ce résultat est-il cohérent avec les observations faites?
4. En déduire le nombre de moles restants en réactifs. Justifier.

### Correction du problème 7.1



### Correction du problème 7.2

1. Le réactif limitant est le réactif qui disparaît et donc arrête la réaction lorsque sa quantité arrive à 0.

2.  $\frac{n_0(\text{Fe})}{4} = \frac{8}{4} = 2$  et  $\frac{n_0(\text{O}_2)}{3} = \frac{9}{3} = 3$ . On a donc  $\frac{n_0(\text{Fe})}{4} < \frac{n_0(\text{O}_2)}{3}$ . Le réactif limitant est donc le fer.

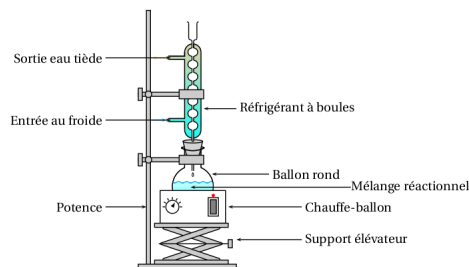
Alternative : D'après l'équation 4 moles de fer réagissent avec 3 moles de dioxygène, soit 8 moles de fer réagiront avec 6 moles de dioxygène. Le réactif limitant est donc le fer qui nécessite 6 moles de dioxygène, il restera un excès de 3 moles de dioxygène.

### Correction du problème 7.3

1. Les réactifs sont le linalol et l'anhydride acétique, les produits sont l'acétate de linalyle et l'acide acétique.

2. On chauffe les réactifs pour accélérer la réaction.

3.



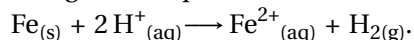
4. La phase du haut contient l'acétate de linalyle non miscible avec l'eau, et moins dense que l'eau, ainsi qu'éventuellement du linalol (non miscible avec l'eau et moins dense que l'eau). La phase aqueuse en bas, contient l'eau, l'acide acétique et éventuellement des restes de réactifs.

5. L'huile essentielle contient du linalol, et de l'acétate de linalyle car les tâches sont à la même hauteur. Elles ont le même rapport frontal. Elle contient aussi une autre espèce inconnue.

6. On a réussi à synthétiser de l'acétate de linalyle, mais il n'est pas pur. Le rendement n'est pas de 100% car tout le linalol n'a pas été transformé.

### Correction du problème 7.4

1. On utilise les lois de conservation de la masse et de la charge électrique :



2. Une espèce spectatrice est présente en dans le milieu réactionnel mais ne participe pas à la transformation chimique. Ici, c'est le cas des ions chlorure  $\text{Cl}^-$ .

3.  $\frac{n_0(\text{Fe})}{1} = \frac{30 \text{ mmol}}{1} = 30 \text{ mmol}$  et  $\frac{n_0(\text{H}^+)}{2} = \frac{20 \text{ mmol}}{2} =$

10 mmol. On a donc  $\frac{n_0(\text{Fe})}{1} > \frac{n_0(\text{H}^+)}{2}$ . Le réactif limitant est donc les ions  $\text{H}^+$ . Effectivement, de la poudre de fer est observée à la fin du dégagement gazeux : le fer est en excès.

4. Il ne reste donc plus de  $\text{H}^+$ . Par contre, pour chaque mole de  $\text{H}^+$  consommée, la moitié est consommée pour le fer. À la fin de la réaction, la quantité de fer consommée sera  $\frac{20}{2} = 10 \text{ mmol}$ . Il restera donc 20 mmol de fer.

|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'une transformation chimique ?</p> <p>CHAPITRE 7</p>                                                   | <p>COURS</p> <p>Que sont les coefficients stoechiométriques ?</p> <p>CHAPITRE 7</p>                                                                                                                                                             | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qui se conserve lors d'une transformation chimique ?</p> <p>CHAPITRE 7</p>                                                                                                                         | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce que le réactif limitant ?</p> <p>CHAPITRE 7</p>                                                                                                                                                                                                |
| <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'une espèce spectatrice ?</p> <p>CHAPITRE 7</p>                                                        | <p>COURS</p> <p>Dans un milieu réactionnel isolé de l'extérieur, comment évolue la température si la réaction est exothermique ?</p> <p>CHAPITRE 7</p>                                                                                          | <p>COURS</p> <p>Dans un milieu réactionnel isolé de l'extérieur, comment évolue la température si la réaction est endothermique ?</p> <p>CHAPITRE 7</p>                                                                      | <p>COURS</p> <p>Comment appelle-t-on la modélisation à l'échelle microscopique d'une transformation chimique ?</p> <p>CHAPITRE 7</p>                                                                                                                                     |
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Lors d'une synthèse, quel est l'intérêt d'utiliser un montage à reflux ?</p> <p>CHAPITRE 7</p>              | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Équilibrer l'équation de la réaction de la combustion du méthane. Réactifs: <math>\text{CH}_4</math>, <math>\text{O}_2</math>. Produits: <math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{H}_2\text{O}</math></p> <p>CHAPITRE 7</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Équilibrer l'équation de la réaction de la combustion du calcium. Réactifs: <math>\text{Ca}_{(s)}</math>, <math>\text{O}_{2(g)}</math>. Produits: <math>\text{CaO}_{(s)}</math></p> <p>CHAPITRE 7</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>De l'oxyde de calcium est introduite dans de l'eau à <math>19^\circ\text{C}</math>. Après agitation la température est de <math>23^\circ\text{C}</math>. Comment qualifie-t-on cette réaction ?</p> <p>CHAPITRE 7</p>                             |
| <p>COURS</p> <p>Lors d'un chauffage à reflux, quel élément de verrerie permet d'éviter la perte de matière ?</p> <p>CHAPITRE 7</p> | <p>COURS</p> <p>Qu'est qu'une synthèse en chimie ?</p> <p>CHAPITRE 7</p>                                                                                                                                                                        | <p>COURS</p> <p>Citer une technique de séparation des composants d'un mélange.</p> <p>CHAPITRE 7</p>                                                                                                                         | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>L'équation de la combustion du carbone est: <math>\text{C}_{(s)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)}</math>. Initialement il y a une mole de carbone et deux moles de dioxygène. Quel sera le réactif limitant ?</p> <p>CHAPITRE 7</p> |

|                                                                                                                                                                         |                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Lors d'une réaction chimique, un réactif qui est entièrement consommé à la fin de la réaction est appelé réactif limitant.</p>                                       | <p>Les éléments (atomes) ainsi que les charges électriques se conservent.</p>                                            | <p>Dans une équation de réactions, les coefficients devant les molécules sont appelés coefficients stoechiométriques. Ils donnent le nombre de molécules qui réagissent ensemble ainsi que le nombre de molécules formées.</p> | <p>Lors d'une transformation chimique, il y a redistribution des atomes des réactifs pour former de nouvelles molécules: les produits.</p> |
| <p>Il s'agit d'une réaction chimique.</p>                                                                                                                               | <p>La température diminue.</p>                                                                                           | <p>La température augmente.</p>                                                                                                                                                                                                | <p>Une espèce chimique présente dans le milieu réactionnel qui ne participe pas à la réaction est appelée espèce spectatrice.</p>          |
| <p>La température augmente donc la réaction est exothermique.</p>                                                                                                       | $2 \text{Ca}_{(s)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2 \text{CaO}_{(s)}$                                                     | $\text{CH}_{4(g)} + 2 \text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(l)}$                                                                                                                               | <p>Un montage à reflux permet de diminuer la durée de la synthèse sans perte de réactifs et produits.</p>                                  |
| <p>Pour chaque molécule de carbone consommée, une de dioxygène l'est également. Comme il y a plus de dioxygène que de carbone, le carbone sera le réactif limitant.</p> | <p>La chromatographie sur couche mince permet de séparer les composants d'un mélange afin d'analyser sa composition.</p> | <p>Une synthèse permet de fabriquer une espèce chimique par une suite de réactions chimiques, de méthode de purification, de séparation, d'extraction et de caractérisation.</p>                                               | <p>Le réfrigérant à air ou à eau permet d'éviter les pertes de matière.</p>                                                                |

## Transformation nucléaire

| ☰ Plan du cours                                                                           | 😊 Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8.1 Isotope . . . . . 87                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 8.2 Réaction nucléaire . . . . . 88                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 8.3 Écriture symbolique d'une réaction nucléaire . . . . . 88                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 8.4 Réaction de fusion nucléaire . . . . . 89                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 8.5 Réaction de fission nucléaire . . . . . 89                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 8.6 Reconnaître le type de transformation à partir de l'équation de réaction . . . . . 90 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 8.7 Préparation à l'évaluation . . . . . 91                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Savoir et savoir-faire ■ Test de préparation au DS                                        | ✍ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| ◀ Histoire des sciences                                                                   | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 5 p 138         <input type="checkbox"/> Ex. 13 p 139       </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 8 p 138         <input type="checkbox"/> Ex. 19 p 140       </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 11 p 139         <input type="checkbox"/> Ex. 23 p 141       </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 15 p 139       </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 24 p 142       </div> |
| 🎧 Cohésion du noyau atomique :<br>que l'interaction forte soit avec toi                   | 🎧 La nucléaire est-il encore une<br>énergie d'avenir?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

### Introduction

Une transformation nucléaire modifie le noyau même de l'atome.

## 8.1 Isotope

### Définition 8.1: Isotope

Les isotopes sont des noyaux d'atomes possédant le même nombre de proton  $Z$  mais un nombre de neutrons différents. Ils ont donc les mêmes propriétés chimiques (car ils ont leur cortège électronique identiques), mais des masses très légèrement différentes.

**Exemple 8.1**

Quelques isotopes de l'élément Titane ( $Z = 22$ ) :

- .....
- .....
- .....

**Exemple 8.2**

L'argon 40 ( ${}^{40}_{18}\text{Ar}$ ) et le calcium 40 ( ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ ) ne sont pas des isotopes, car leur nombre de protons  $Z$  est différent :  $Z = 18$  pour l'argon et  $Z = 20$  pour le calcium.

 S'entraîner —  Ex. 5 p 138

## 8.2 Réaction nucléaire

**Définition 8.2: Réaction nucléaire**

Lors d'une transformation nucléaire :

- un ou plusieurs noyaux se transforment en de nouveaux noyaux,
- les éléments chimiques ne sont pas conservés,
- un rayonnement, dit "gamma" ( $\gamma$ ) est émis.

Une réaction nucléaire va modifier le noyau de l'atome, son nombre de protons  $Z$  et son nombre de nucléons  $A$  vont être modifiés. L'élément va changer puisque  $Z$  change.

## 8.3 Écriture symbolique d'une réaction nucléaire

**Définition 8.3: Écriture symbolique**

On peut décrire une réaction nucléaire par une équation de réaction qui explicite la manière dont les noyaux atomiques changent :



tout en respectant des règles de conservations (règles de Soddy) :

- conservation de la masse : .....
- conservation de la charge électrique : .....

**Exemple 8.3**

Désintégration du carbone 14 pour former de l'azote et éjecter un électron  $e^-$  :

$$\dots\dots\dots (8.2)$$

**Remarque.** Dans les réactions nucléaires, des particules peuvent être éjectées (neutron, proton, électron et positron). On va utiliser les notations suivantes pour tenir compte de leur charge et leur masse :

| Nom      | A | Z  | Notation          |
|----------|---|----|-------------------|
| Proton   | 1 | 1  | $^1_1\text{p}$    |
| Neutron  | 1 | 0  | $^1_0\text{n}$    |
| Électron | 0 | -1 | $^0_{-1}\text{e}$ |
| Positron | 0 | 1  | $^0_1\text{e}$    |

TABLE 8.1 – Particules intervenant dans des réactions nucléaires.

 S'entraîner — ☐ Ex. 8 p 138 ☐ Ex. 11 p 139 ☐ Ex. 13 p 139

## 8.4 Réaction de fusion nucléaire

**Définition 8.4: Fusion nucléaire**

Au cœur du Soleil se produisent des réactions de **fusion nucléaire** qui dégagent une énorme énergie. Elles fusionnent des noyaux d’atomes pour former des noyaux plus lourds.

**Exemple 8.4**

Quelques réactions de fusions nucléaires se produisant dans le Soleil :

- .....
- .....
- .....
- .....
- .....

## 8.5 Réaction de fission nucléaire

**Définition 8.5: Fission nucléaire**

Au cœur d’une centrale nucléaire, des réactions de fission permettent de casser des noyaux atomiques pour former des noyaux plus légers, et elles dégagent beaucoup d’énergie, utilisée pour fabriquer de la vapeur permettant de faire tourner des turbines reliées à des alternateurs qui transforment le mouvement en énergie électrique.

**Exemple 8.5**

Un neutron  ${}_0^1\text{n}$  vient frapper le noyau d'un atome d'Uranium  ${}_{92}^{235}\text{U}$  qui va se briser pour former des noyaux plus légers de krypton et de baryum et en éjectant 3 neutrons :

$$\dots\dots\dots (8.3)$$

## 8.6 Reconnaître le type de transformation à partir de l'équation de réaction

**Définition 8.6**

- une transformation physique ne change pas les molécules, elles restent identiques :

$$\dots\dots\dots (8.4)$$

- une transformation chimique change les molécules mais pas les atomes, ils sont ré-arrangés différemment dans de nouvelles molécules :

$$\dots\dots\dots (8.5)$$

- une transformation nucléaire modifie le noyau des atomes, la nature chimique de l'élément change :

$$\dots\dots\dots (8.6)$$

**Remarque.** Les énergies libérées lors des différents types de transformations sont très différentes, voici quelques ordres de grandeurs :

- transformation physique de  $10^2$  à  $10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- transformation chimique de  $10^4$  à  $10^5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- transformation nucléaire de l'ordre de  $10^{11} \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

**Exemple 8.6**

- 1 g de pétrole libère  $4 \times 10^4 \text{ J}$  lors de sa combustion, soit  $10^4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- la fusion d'1 g d'hydrogène dans le Soleil libère  $6 \times 10^{11} \text{ J}$  soit  $10^{12} \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

## 8.7 Préparation à l'évaluation

### 8.7.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                                                | OK                       | À revoir                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Isotopes.                                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Écriture symbolique d'une réaction nucléaire.                                                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Aspects énergétiques des transformations nucléaires : Soleil, centrales nucléaires.                                                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                                               | OK                       | À revoir                 |
| Identifier des isotopes.                                                                                                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Relier l'énergie convertie dans le Soleil et dans une centrale nucléaire à des réactions nucléaires.                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Identifier la nature physique, chimique ou nucléaire d'une transformation à partir de sa description ou d'une écriture symbolique modélisant la transformation. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 8.7.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 8.1 Isotopes de l'hydrogène

L'élément hydrogène correspond aux atomes ayant un seul proton. Il possède trois isotopes, de nombre de masse  $A$  valant 1, 2 et 3.

1. Écrire sous la forme  ${}^A_ZX$  les trois isotopes.
2. Donner la composition en protons et en neutrons de ces trois isotopes.

#### \* Problème 8.2 Isotopes

Parmi la liste suivante, regrouper les isotopes des mêmes éléments : Hélium 4, lithium 9, bore 8, hydrogène 2, protactinium 233, actinium 230, thorium 234, uranium 234,  ${}^8_3\text{Li}$ ,  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^7_4\text{B}$ ,  ${}^9_5\text{B}$ ,  ${}^7_2\text{He}$ ,  ${}^3_2\text{He}$ ,  ${}^3_1\text{H}$ ,  ${}^{233}_{92}\text{U}$ ,  ${}^{230}_{91}\text{Pa}$ ,  ${}^{231}_{90}\text{Th}$ ,  ${}^{230}_{90}\text{Pa}$ .

#### \* Problème 8.3 Quel type de transformation ?

Déterminer la nature chimique, physique ou nucléaire des transformations suivantes :

1. Carbone (graphite)  $\longrightarrow$  Carbone (graphite)
2.  $\text{C}_{(\text{g})} + \text{O}_{2(\text{g})} \longrightarrow \text{CO}_{2(\text{g})}$
3.  ${}^2_1\text{H}_{(\text{g})} + {}^1_1\text{H}_{(\text{g})} \longrightarrow {}^3_2\text{He}_{(\text{g})}$
4.  $\text{CH}_{4(\text{g})} + 2 \text{O}_{2(\text{g})} \longrightarrow \text{CO}_{2(\text{g})} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$
5.  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$
6.  ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{140}_{54}\text{Xe} + {}^{94}_{38}\text{Sr} + 2 {}^1_0\text{n}$

#### \* Problème 8.4 Écriture symbolique d'une transformation nucléaire

Recopier et compléter les équations des réactions nucléaires en déterminant les valeurs de  $A$ ,  $Z$  et  $X$  :

1.  ${}^{212}_{83}\text{Bi} \longrightarrow {}^A_Z\text{Tl} + {}^4_2\text{He}$
2.  ${}^{123}_{53}\text{I} \longrightarrow {}^{123}_{52}\text{Te} + {}^A_ZX$
3.  ${}^1_0\text{n} + {}^A_ZX \longrightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{139}_{54}\text{Xe} + 3 {}^1_0\text{n}$
4.  ${}^4_2\text{He} + {}^A_ZX \longrightarrow {}^8_4\text{Be}$

#### \* Problème 8.5 Énergie des transformations

Classer les transformations suivantes par ordre croissant d'énergies impliquées : combustion du butane, fission de l'uranium, fusion de l'hydrogène, fusion d'un glaçon.

### Correction du problème 8.1

1. Les trois isotopes de l'hydrogène sont  ${}^1_1\text{H}$ , le deutérium  ${}^2_1\text{H}$  et le tritium  ${}^3_1\text{H}$ .
2.  ${}^1_1\text{H}$  a un noyau qui ne contient qu'un seul proton, le deutérium  ${}^2_1\text{H}$  a un noyau qui contient un proton et un neutron, et le tritium  ${}^3_1\text{H}$  a un noyau qui contient un proton et deux neutrons.

### Correction du problème 8.2

Les isotopes sont :

- |                                                    |                                                                         |                                                                    |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| – Hélium 4, ${}^7_2\text{He}$ , ${}^3_2\text{He}$  | – Hydrogène 2, ${}^1_1\text{H}$ , ${}^3_1\text{H}$                      | – Thorium 234, ${}^{230}_{90}\text{Th}$ , ${}^{231}_{90}\text{Th}$ |
| – Lithium 9, ${}^8_3\text{Li}$ , ${}^7_3\text{Li}$ | – Protactinium 233, ${}^{231}_{91}\text{Pa}$ , ${}^{230}_{91}\text{Pa}$ | – Uranium 234, ${}^{233}_{92}\text{U}$                             |
| – Bore 8, ${}^7_5\text{B}$ , ${}^9_5\text{B}$      | – Actinium 230                                                          |                                                                    |

### Correction du problème 8.3

1. Transformation physique, seule la structure change (organisation des atomes dans l'espace).
2. Transformation chimique, les éléments sont conservés, et on les réarrange différemment dans de nouvelles molécules.
3. Transformation nucléaire, on change les éléments, deux hydrogènes fusionnent pour donner l'élément hélium.
4. Transformation chimique, les éléments sont conservés, et on les réarrange différemment dans de nouvelles molécules.
5. Transformation physique, on passe de l'état liquide à l'état gaz, mais la molécule reste inchangée.
6. Transformation nucléaire, on change les éléments, un noyau d'uranium est cassé par un neutron pour former deux noyaux plus petits, les éléments xénon et strontium, et deux neutrons.

### Correction du problème 8.4

1.  ${}^{212}_{83}\text{Bi} \longrightarrow {}^{208}_{81}\text{Tl} + {}^4_2\text{He}$
2.  ${}^{123}_{53}\text{I} \longrightarrow {}^{123}_{52}\text{Te} + {}^0_1\text{e}$
3.  ${}^1_0\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{139}_{54}\text{Xe} + 3 {}^1_0\text{n}$
4.  ${}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^8_4\text{Be}$

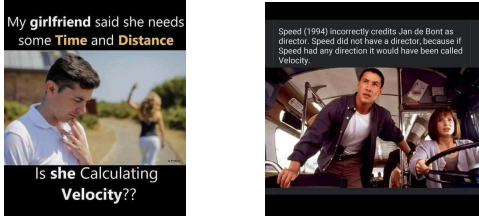
### Correction du problème 8.5

Du moins énergétique au plus énergétique : fusion d'un glaçon (changement d'état de l'eau, transformation physique), combustion du butane (transformation chimique), fission de l'uranium (transformation nucléaire, fission type bombe A ou centrale nucléaire), et la fusion de l'hydrogène (transformation nucléaire, fusion comme dans le Soleil et les bombes H).

|                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>L'écriture conventionnelle de l'atome de carbone-14 est: <math>^{14}_6\text{C}</math>. Donner la composition du noyau de carbone-14.</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                                                  | <p>COURS</p> <p><b>Que sont des isotopes ?</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>COURS</p> <p><b>Quel est le lien entre le carbone-13 <math>^{13}_6\text{C}</math> et le carbone-12 <math>^{12}_6\text{C}</math> ?</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>COURS</p> <p><b>Indiquer la différence entre transformation chimique, transformation physique et transformation nucléaire.</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                                                                                                     |
| <p>COURS</p> <p><b>Donner les charges et masses du proton <math>^1_1\text{p}</math>, de l'électron <math>^0_{-1}\text{e}</math>, du neutron <math>^1_0\text{n}</math> et du positron <math>^0_1\text{e}</math>.</b></p> <p>CHAPITRE 8</p> | <p>COURS</p> <p><b>Une transformation nucléaire peut être modélisée par une réaction nucléaire d'équation:</b><br/> <math display="block">^{A_1}_{Z_1}\text{X}_1 + ^{A_2}_{Z_2}\text{X}_2 \rightarrow ^{A_3}_{Z_3}\text{X}_3 + ^{A_4}_{Z_4}\text{X}_4</math> <b>Quelle(s) équation(s) relie les nombres de masse <math>A_i</math> et les nombres de protons <math>Z_i</math> ?</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                          | <p>COURS</p> <p><b>Quelle est la différence entre réaction spontanée et réaction provoquée ?</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>COURS</p> <p><b>Comparée à l'énergie mise en jeu lors d'une transformation physique ou chimique, comment qualifier les transferts d'énergie lors d'une transformation nucléaire ?</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                                              |
| <p>COURS</p> <p><b>Quelle application courante est-il fait des transformations nucléaires dans le Monde ?</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                                                                                                       | <p>COURS</p> <p><b>Dans quels astres trouve-t-on des transformations nucléaires ?</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Quelle est la différence entre fusion nucléaire et fission nucléaire ?</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>La transformation du carbone-14 en azote-13 est une transformation...</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                                                                                                                                   |
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>La transformation <math>\text{Ga}_{(s)} \rightarrow \text{Ga}_{(l)}</math> est une transformation...</b></p> <p>CHAPITRE 8</p>                                                                                  | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>La transformation nucléaire de l'arsenic-72 en germanium-72 a pour équation ?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\text{As}_{(s)} \rightarrow \text{Ge}_{(s)}</math></li> <li><math>^{72}_{33}\text{As} \rightarrow ^{72}_{32}\text{Ge} + ^0_1\text{e}</math></li> <li><math>^{72}_{32}\text{Ge} \rightarrow ^{72}_{33}\text{As} + ^0_{-1}\text{e}</math></li> </ul> <p>CHAPITRE 8</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>L'énergie lumineuse du Soleil provient, entre autres, de la réaction d'équation:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>2\text{H}_2\text{O}_{(g)} \rightarrow 2\text{H}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)}</math></li> <li><math>\text{H}_{2(l)} \rightarrow \text{H}_{2(g)}</math></li> <li><math>^1_1\text{H} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^2_1\text{H} + ^0_1\text{e}</math></li> </ul> <p>CHAPITRE 8</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p><b>Équilibrer l'équation de fission de l'uranium-235 suivante:</b><br/> <math display="block">^1_0\text{n} + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{92}_{36}\text{Kr} + ^{141}_{56}\text{Ba} + 3^0_1\text{e}</math></p> <p>CHAPITRE 8</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Lors d'une transformation chimique, les éléments chimiques se conservent mais il y a modification des espèces chimiques.</p> <p>Lors d'une transformation physique, il y a conservation des espèces chimiques mais modification de l'état physique. Lors d'une transformation nucléaire, il y a modification de la composition des noyaux.</p> | <p>Ce sont des isotopes car ils ont le même nombre de protons mais pas le même nombre de neutrons.</p>                                                                                                                                       | <p>Deux noyaux isotopes ont le même nombre de protons mais pas le même nombre de neutrons. Ils appartiennent au même élément chimique mais n'ont pas la même masse.</p> | <p>On a <math>Z = 6</math> donc le carbone-14 a 6 protons. Le nombre de neutrons est donné par <math>A - Z = 14 - 6 = 8</math>. Il y a 8 neutrons.</p>                                                                                  |
| <p>L'énergie mise en jeu lors d'une transformation physique ou chimique est faible/négligeable comparée à celle des transformations nucléaires.</p>                                                                                                                                                                                               | <p>Une réaction spontanée a lieu lorsqu'un noyau est instable alors qu'une réaction provoquée a lieu lors d'une collision entre deux noyaux ou un noyau et une particule.</p>                                                                | <p>Les lois de conservation donnent:</p> $A_1 + A_2 = A_3 + A_4 \quad (1)$ $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 \quad (2)$                                                            | <p>Un proton a une charge positive et la masse d'un nucléon, un neutron n'a pas de charge et a la masse d'un nucléon, un électron a une charge négative et une masse faible, un positron a une charge positive et une masse faible.</p> |
| <p>...nucléaire car il n'y a pas conservation des éléments chimiques, il y a modification du noyau.</p>                                                                                                                                                                                                                                           | <p>Durant une fusion nucléaire, deux noyaux atomiques légers s'assemblent pour former un noyau plus lourd.</p> <p>Durant une fission nucléaire, un noyau lourd instable se transforme en deux noyaux plus légers et quelques particules.</p> | <p>Des transformations nucléaires ont lieu dans les étoiles: il y a fusion des noyaux (d'hydrogène), production de chaleur et émission de lumière.</p>                  | <p>L'énergie libérée dans les centrales nucléaires est convertie en énergie électrique.</p>                                                                                                                                             |
| ${}_{92}^{235}\text{H} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{36}^{92}\text{Kr} + {}_{56}^{141}\text{Ba} + 3{}_0^1\text{e}$                                                                                                                                                                                                                             | ${}_1^1\text{H} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_1^2\text{H} + {}_1^0\text{e}$                                                                                                                                                                | ${}_{33}^{72}\text{As} \rightarrow {}_{32}^{72}\text{Ge} + {}_{-1}^0\text{e}$                                                                                           | <p>... physique car il y a conservation des espèces chimiques, seul leur état change.</p>                                                                                                                                               |

## Description des mouvements

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ☺ Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9.1 Système et référentiel . . . . . 95<br>Système étudié   ▪  Référentiels<br>9.2 Description du mouvement. . . . . 97<br>Trajectoire   ▪  Vecteur déplacement   ▪  Vecteur vitesse   ▪<br>Types de mouvements<br>9.3 Préparation à l'évaluation . . . . . 100<br>Savoir et savoir-faire   ▪  Test de préparation au DS |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p>🎧 <i>Mesure du temps : l'histoire sans fin ?</i></p>                                                                                                                                                                               | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 2 p 160             <input type="checkbox"/> Ex. 17 p 162           </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 5 p 160             <input type="checkbox"/> Ex. 21 p 162           </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 9 p 161             <input type="checkbox"/> Ex. 23 p 163           </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 13 p 161           </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 32 p 166           </div> |

### Introduction

La dynamique est l'étude de la modification du mouvement d'un objet du fait de l'interaction de ce dernier avec le reste de l'Univers. Les interactions seront décrites par des forces, l'étude du mouvement s'appelle la cinématique, on y décrit la trajectoire de l'objet ainsi que l'évolution de sa vitesse.

## 9.1 Système et référentiel

### 9.1.1 Système étudié

#### Définition 9.1: Système

Le **système** est l'objet dont on veut étudier le mouvement.

Le système subit l'influence du reste de l'Univers. Le mouvement d'un système est souvent complexe, notamment s'il se déforme pendant le mouvement. Pour simplifier son étude, on le modélise souvent par un point. Cela entraîne inévitablement une perte d'informations. Cette modélisation du système par un point est assez souvent pertinente lorsque les dimensions de l'objet sont petites devant le déplacement global du système.

**Exemple 9.1**

FIGURE 9.1 – Exemples de chronophotographies. Le système étudié est le skieur à gauche et le parapentiste à droite.

### 9.1.2 Référentiels

**Définition 9.2: Référentiels**

On appelle **référentiel** tout objet servant de référence pour décrire un mouvement.

Pour décrire un mouvement, on doit pouvoir mesurer la position du système à chaque instant. On doit donc choisir un autre objet de référence par rapport au quel on pourra mesurer la position de notre système. Mathématiquement, on choisira un repère orthonormé associé à une origine fixé sur le référentiel.

**Exemple 9.2**

- ..... : c'est un repère fixé au sol de la Terre.
- ..... : c'est un repère dont l'origine est fixée au centre de la Terre et dont les trois axes sont dirigés vers trois étoiles fixes.
- ..... : c'est un repère dont l'origine est fixée au centre du Soleil et dont les trois axes sont dirigés vers trois étoiles fixes.

**Exemple 9.3**

Nous allons étudier une fusée au décollage. Le système étudié sera donc la ..... Elle subira l'action de la ..... et au décollage, l'action de l'air qui s'oppose à son mouvement et l'action du moteur qui exerce une poussée.

Dans notre exemple de la fusée, au décollage, on a choisi un référentiel lié au sol, c'est un référentiel ..  
..... Mais ensuite, quand elle est en orbite, il est plus simple pour décrire son mouvement d'utiliser un référentiel lié au centre de la Terre, un référentiel ..... Enfin, dans le cas d'une fusée interplanétaire, on préférera utiliser un référentiel lié au centre du Soleil, un référentiel .....

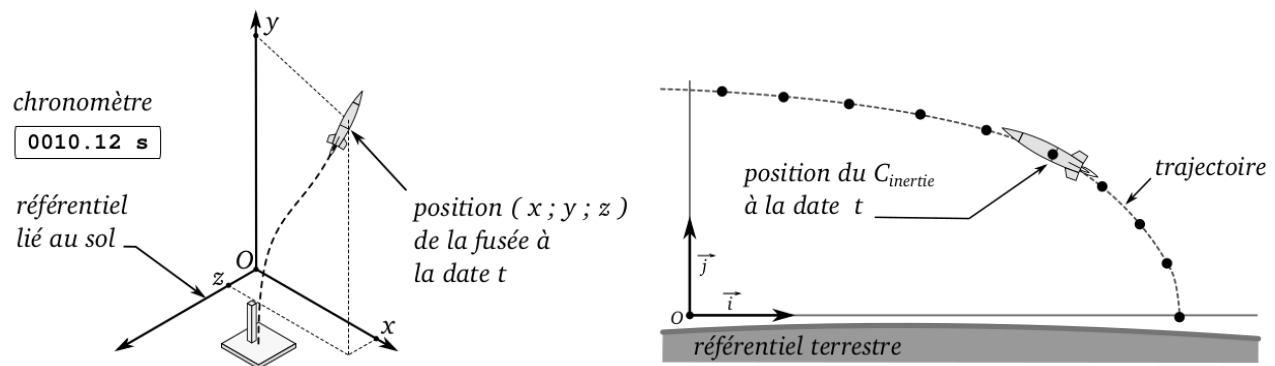


FIGURE 9.2

☰ S'entraîner — ☐ Ex. 2 p 160 ☐ Ex. 5 p 160 ☐ Ex. 9 p 161

## 9.2 Description du mouvement

### 9.2.1 Trajectoire

#### Définition 9.3: Trajectoire

Dans un référentiel donné, les positions successives dans l'espace du centre d'inertie de l'objet décrit une courbe appelée une **trajectoire**. On y indique des positions  $(x; y; z)$  à des dates précises  $t$ .

### 9.2.2 Vecteur déplacement

#### Définition 9.4: Vecteur déplacement

Soient deux points consécutifs  $M_1(x_1; y_1)$  et  $M_2(x_2; y_2)$  sur une trajectoire. On appelle vecteur déplacement le vecteur :

.....

(9.1)

Exemple 9.4

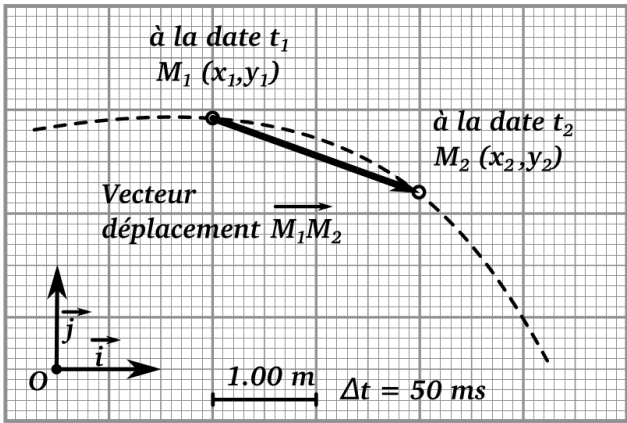


FIGURE 9.3

9.2.3 Vecteur vitesse

Définition 9.5: Vecteur vitesse

Le vecteur vitesse moyenne  $\vec{V}$  peut se calculer entre deux points séparés d’une durée  $\Delta t$  à partir du vecteur déplacement.

Le vecteur vitesse moyenne est le rapport du vecteur déplacement avec la durée du déplacement.

.....

(9.2)

Les caractéristiques du vecteur vitesse sont :

- Origine : point  $M_1$
- Direction : tangent à la trajectoire
- Norme :  $\sqrt{\left(\frac{x_2-x_1}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{y_2-y_1}{\Delta t}\right)^2}$

Exemple 9.5

Sur la figure 9.3, on peut mesurer le vecteur déplacement  $\overrightarrow{M_1M_2} = (2.0; -0.7)$  et on connaît la durée qui sépare deux positions successives sur la trajectoire  $\Delta t = 50\text{ ms} = 50 \times 10^{-3}\text{ s}$ . On peut alors calculer les coordonnées du vecteur vitesse moyenne :

.....

(9.3)

.....

(9.4)

donc

.....

(9.5)

et

.....

(9.6)

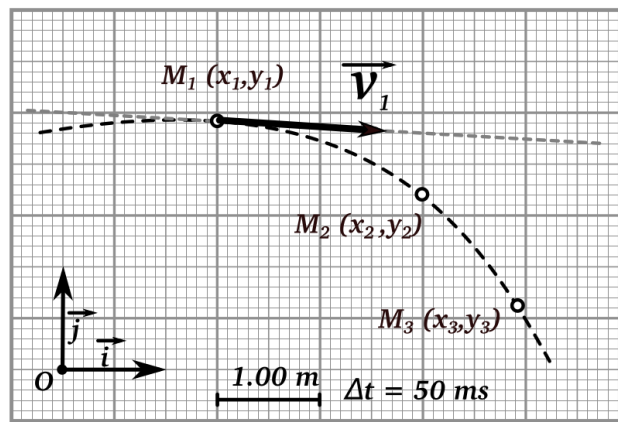


FIGURE 9.4 – Le vecteur vitesse au point  $M_1$  se calcule à partir de la vitesse moyenne entre les points  $M_1$  et  $M_2$  et se dessine au point  $M_1$  tangent à la trajectoire, dans le sens du mouvement

### 9.2.4 Types de mouvements

Un mouvement peut être :

- Rectiligne ou non.
- À vitesse constante ou pas.

Deux qualificatifs sont donc nécessaires pour décrire le mouvement d'un objet dans un référentiel.

#### Exemple 9.6

Dans les exemples suivants, la durée s'écoulant entre deux points successifs est constante.



FIGURE 9.5 – Le vecteur vitesse  $\vec{v}$  se conserve au cours du temps et la distance entre deux points successifs est identique.



FIGURE 9.6 – La valeur du vecteur vitesse  $\vec{v}$  augmente au cours du temps, mais sa direction est conservée. L'écart entre deux points successifs augmente.

.....

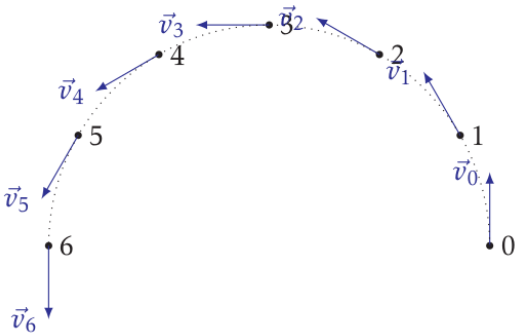


FIGURE 9.7 – La valeur (longueur) du vecteur vitesse reste constante, mais sa direction change.

.....

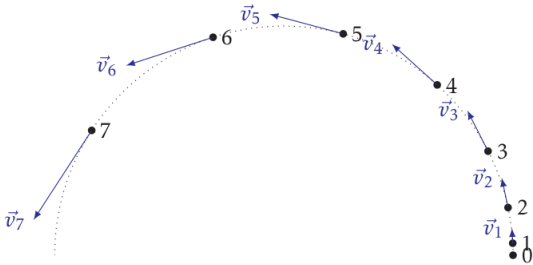


FIGURE 9.8 – La valeur de la vitesse varie ainsi que sa direction.

S'entraîner — ☐ Ex. 13 p 161 ☐ Ex. 17 p 162 ☐ Ex. 21 p 162 ☐ Ex. 23 p 163 ☐ Ex. 32 p 166

9.3 Préparation à l'évaluation

9.3.1 Savoir et savoir-faire

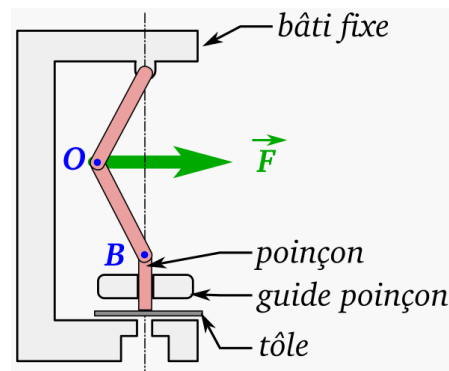
| Je dois savoir :                                                                                                                                                                                              | OK                       | À revoir                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Vecteur déplacement d'un point.                                                                                                                                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Vecteur vitesse moyenne d'un point.                                                                                                                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Vecteur vitesse d'un point.                                                                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Mouvement rectiligne.                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                                                                                             | OK                       | À revoir                 |
| Définir le vecteur vitesse moyenne d'un point.                                                                                                                                                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Approcher le vecteur vitesse d'un point à l'aide du vecteur déplacement $\overrightarrow{MM'}$ , où $M$ et $M'$ sont les positions successives à des instants voisins séparés de $\Delta t$ ; le représenter. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacités mathématiques :                                                                                                                                                                                     |                          |                          |
| Représenter des vecteurs.                                                                                                                                                                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Utiliser des grandeurs algébriques.                                                                                                                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 9.3.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 9.1 Une poinçonneuse

Le schéma ci-contre représente une poinçonneuse destinée à percer des tôles. Pour effectuer ce travail, on exerce en O un effort symbolisé par  $\vec{F}$ .

1. Quelle est la trajectoire décrite par le point O par rapport au bâti fixe?
2. Quelle est la trajectoire décrite par le point B par rapport au bâti fixe?



#### \* Problème 9.2 Course cycliste

Lors d'une course cycliste, une caméra embarquée sur une moto filme un coureur qui roule sur une route en ligne droite à vitesse constante. La moto roule à la même vitesse que le coureur.

1. Quel est le mouvement du cycliste dans le référentiel lié à la route? Et dans le référentiel lié à la moto?
2. Décrire le mouvement d'un point du cadre du vélo par rapport au spectateur immobile sur le bord de la route.
3. Décrire le mouvement de la valve de la roue avant du vélo par rapport à la moto.

#### \* Problème 9.3 Vitesse moyenne d'un automobiliste

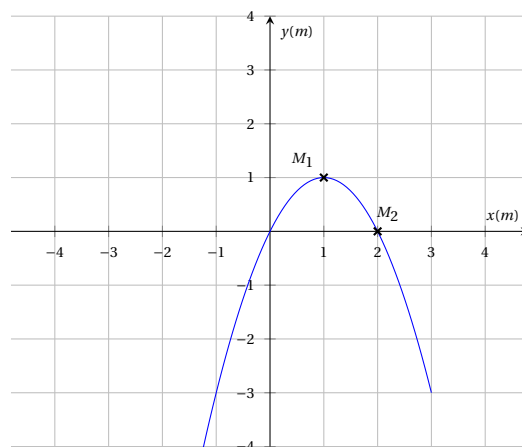
Un automobiliste parcourt la distance Nantes-Rennes (106 km) en 1 heure 30 minutes. Déterminer sa vitesse moyenne en  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  puis en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### \* Problème 9.4 Vitesse d'un satellite

Un satellite artificiel décrit une trajectoire circulaire autour de la Terre à l'altitude de 200 km. Sa période de révolution est 1 h 30 min. Décrire quel est le système et le référentiel adapté à l'étude de ce satellite puis calculer sa vitesse, si on admet que le rayon de la Terre est de 6400 km. La période de révolution est le temps que met le satellite pour accomplir un tour complet.

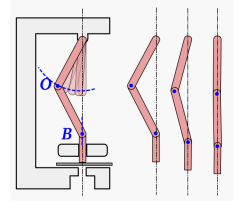
#### \*\* Problème 9.5 Tracé du vecteur vitesse

Dans la figure ci-dessous, la trajectoire d'un lancer de balle est affichée. Donner les coordonnées des points  $M_1$  et  $M_2$  puis donner les coordonnées du vecteur déplacement  $\vec{M_1M_2}$  et finalement la norme du vecteur vitesse  $\vec{V_1}$  au point  $M_1$  sachant que les deux points ont été mesurés avec un intervalle de temps de 100 ms de différence. Dessiner le vecteur vitesse  $\vec{V_1}$  en indiquant l'échelle choisie.



## Correction du problème 9.1

1. Le point O décrit un arc de cercle.
2. Le point B décrit une trajectoire rectiligne verticale.



## Correction du problème 9.2

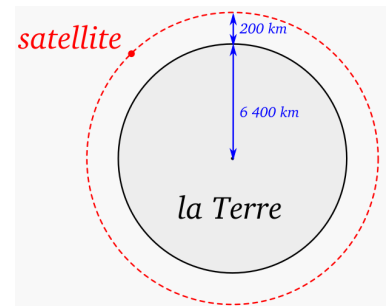
1. Le cycliste décrit un mouvement rectiligne uniforme par rapport à la route (droite) car il roule à vitesse constante. Le cycliste est immobile par rapport à la moto car elle roule à la même vitesse que lui.
2. Le cadre du vélo décrit un mouvement rectiligne uniforme par rapport au spectateur car le spectateur le voit passer à vitesse constante sur une route droite.
3. La valve de la roue avant décrit un mouvement circulaire uniforme par rapport à la moto.

## Correction du problème 9.3

La distance parcourue est  $d = 106 \text{ km}$ , la durée du parcours est  $\Delta t = 1 \text{ h } 30 \text{ min} = 1,5 \text{ h}$ . Donc la vitesse moyenne est  $v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{106 \text{ km}}{1,5 \text{ h}} = 71 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . On convertit en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  :  $v = 71 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{71 \times 1 \times 10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 19,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

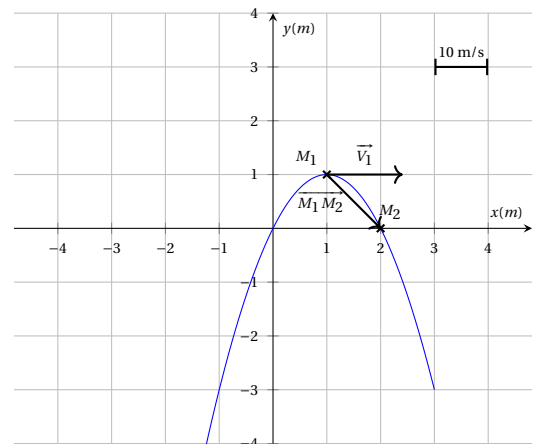
## Correction du problème 9.4

Le système est le satellite et l'étude se fait dans le référentiel géocentrique, dont l'origine est le centre de la Terre. Le satellite parcourt une trajectoire circulaire centrée sur la Terre dont le rayon est  $R = 6400 \text{ km} + 200 \text{ km} = 6600 \text{ km}$ . La distance ainsi parcourue en un tour est le périmètre de ce cercle est  $d = 2\pi R = 2\pi \times 6600 \text{ km} = 41500 \text{ km}$ . Cette distance est parcourue en une durée  $\Delta t = 1,5 \text{ h}$  donc la vitesse moyenne de révolution est  $v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{41500 \text{ km}}{1,5 \text{ h}} \approx 27700 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .



## Correction du problème 9.5

Les points ont pour coordonnées  $M_1(1, 1)$  et  $M_2(2, 0)$ . Le vecteur déplacement a pour coordonnées  $\overrightarrow{M_1 M_2} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1) = (2 - 1, 0 - 1) = (1, -1) \text{ m}$ . Le vecteur vitesse a donc pour coordonnées  $\vec{V}_1 = \frac{\overrightarrow{M_1 M_2}}{\Delta t} = (\frac{1}{0,1}, \frac{-1}{0,1}) = (10, -10) \text{ m/s}$ . Finalement, on calcule la norme du vecteur vitesse selon :  $\|\vec{V}_1\| = \sqrt{V_{1x}^2 + V_{1y}^2} = \sqrt{10^2 + (-10)^2} = \sqrt{200} = 14,142 \text{ m/s}$ .



|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p>Lors de l'étude du mouvement d'un objet, qu'est-ce que le système ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>                                                                                                          | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce que le référentiel ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>                                                                                                                        | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'une trajectoire ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>                                                              | <p>COURS</p> <p>Quelle est la formule du vecteur déplacement entre deux points consécutifs <math>M_1(x_1; y_1)</math> et <math>M_2(x_2; y_2)</math> ?</p> <p>CHAPITRE 9</p> |
| <p>COURS</p> <p>Quelle est la formule du vecteur vitesse entre deux points consécutifs <math>M_1(x_1; y_1)</math> et <math>M_2(x_2; y_2)</math> séparés par la durée <math>\Delta t</math> ?</p> <p>CHAPITRE 9</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Quel référentiel est adapté à l'étude du mouvement des satellites de la Terre ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>                                                                | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Quel référentiel est adapté à l'étude du mouvement d'un train ou d'une voiture ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>     | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Quel référentiel est adapté à l'étude du mouvement des planètes du système solaire ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>                                           |
| <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'un mouvement rectiligne uniforme ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>                                                                                                                              | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'un mouvement rectiligne accéléré ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>                                                                                                       | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'un mouvement rectiligne ralenti ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>                                              | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'un mouvement rectiligne ralenti ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>                                                                                        |
| <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'un mouvement circulaire uniforme ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>                                                                                                                              | <p>COURS</p> <p>Sachant qu'un objet s'est déplacé d'une distance <math>d</math> pendant une durée <math>\Delta t</math>, quelle est la vitesse moyenne de cet objet ?</p> <p>CHAPITRE 9</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>En modélisant le mouvement d'un boomerang par un point, quelle information perd-on ?</p> <p>CHAPITRE 9</p> | <p>COURS</p> <p>Quelles sont les caractéristiques d'un vecteur ?</p> <p>CHAPITRE 9</p>                                                                                      |

|                                                                                                                                                    |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\overrightarrow{M_1 M_2} = (x_2 - x_1; y_2 - y_1)$                                                                                                | <p>Une trajectoire est la position du système au cours du temps et dans un référentiel donné.</p>                                       | <p>On appelle référentiel tout objet servant de référence pour décrire le mouvement.</p>                                                                                        | <p>Le système est l'objet dont on veut étudier le mouvement.</p>                                                                                         |
| <p>On choisira le référentiel héliocentrique, dont l'origine est le centre du Soleil, et les trois axes sont dirigés vers trois étoiles fixes.</p> | <p>On choisira le référentiel terrestre qui est fixé au sol de la Terre.</p>                                                            | <p>On choisira le référentiel géocentrique dont l'origine est le centre de la Terre et les axes pointent en directions de trois étoiles lointaines considérées comme fixes.</p> | $\vec{v} = \frac{\overrightarrow{M_1 M_2}}{\Delta t} = \left( \frac{x_2 - x_1}{\Delta t}; \frac{y_2 - y_1}{\Delta t} \right)$                            |
| <p>Un mouvement rectiligne ralenti s'effectue en ligne droite et la vitesse du système diminue.</p>                                                | <p>Un mouvement rectiligne ralenti s'effectue en ligne droite et la vitesse du système diminue.</p>                                     | <p>Un mouvement rectiligne accéléré s'effectue en ligne droite et la vitesse du système augmente.</p>                                                                           | <p>Un mouvement rectiligne uniforme s'effectue en ligne droite et à vitesse constante.</p>                                                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direction</li> <li>• Sens</li> <li>• Intensité/Norme</li> <li>• Point d'application</li> </ul>            | <p>On perd l'information sur la rotation du boomerang sur lui-même alors que la durée du vol ou la distance parcourue sont connues.</p> | $v = \frac{d}{\Delta t}$                                                                                                                                                        | <p>Un mouvement circulaire s'effectue le long d'un cercle et est uniforme car la norme de la vitesse est constante. Attention, la direction change !</p> |

# CHAPITRE 10

## Modéliser une action mécanique sur un système

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ☺ Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10.1 Action sur un système . . . . . 106<br>10.2 Principe des actions réciproques - 3 <sup>ème</sup> loi de Newton . . . 107<br>10.3 Interactions de contact . . . . . 107<br>10.4 Interactions à distance . . . . . 108<br>Attraction gravitationnelle ■ Poids<br>10.5 Préparation à l'évaluation . . . . . 111<br>Savoir et savoir-faire ■ Test de préparation au DS | <i>Découverte de la gravitation universelle d'après Gotlib</i><br><br><small>Rubrique à Grac © Gotlib - Dargaud</small>                                                                                                                                                                                                             |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 🎧 <i>Et Isaac Newton éclaira les sciences</i><br>                                                                                                                                                                                                                                   | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 3 p 178<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 6 p 178<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 8 p 178 </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 12 p 179<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 14 p 179<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 16 p 179<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 17 p 179<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 26 p 181 </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 27 p 182 </div> |

### Introduction

Les actions mécaniques sont présentes partout : l'action d'une raquette sur une balle de tennis, l'action de la Terre sur l'homme, le réacteur d'une fusée qui lui permet de décoller. On se propose dans ce chapitre de modéliser ces actions.

## 10.1 Action sur un système

### Définition 10.1

On définit en premier le **système** étudié. Il va subir l'action d'un autre système. Les systèmes sont des objets dont on veut étudier la dynamique, c'est à dire la façon dont leur mouvement va changer sous l'action d'autres objets.

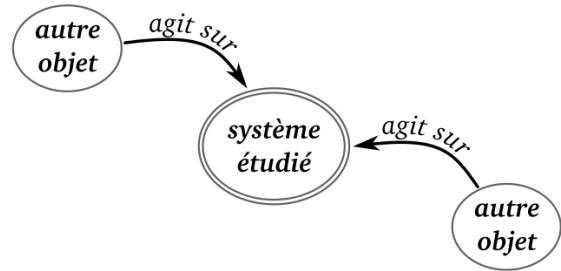


FIGURE 10.1 – Le système étudié va subir des actions de la part des autres objets de l'Univers.

### Définition 10.2: Force

Une action sur un système va être modélisée mathématiquement par un vecteur **force**  $\vec{F}$  dont on doit préciser :

- la **direction**,
- le **sens**,
- la **norme**  $F$  qui s'exprimera en Newton N.

Comme nous considérons que le système se résume à un point matériel, le point d'application de la force  $\vec{F}$  sera ce point.

### Méthode 10.1: Modéliser une action mécanique

Pour modéliser les actions, il faut suivre les étapes suivantes :

1. Définir précisément le système étudié qui va subir de la part de l'extérieur des actions qui seront modélisées par des vecteurs forces.
2. Faire l'inventaire de l'ensemble des actions extérieures appliquées au système étudié.
3. Pour chaque action, définir précisément le vecteur force, c'est à dire qu'il faut donner son sens, sa direction et sa norme, la norme étant exprimée en Newton (N).
4. Sur un schéma simplifié du système étudié (modèle du point matériel), dessiner précisément l'ensemble des forces, en respectant leur sens, leur direction et leur norme, on indiquera alors une échelle pour dessiner des vecteurs forces.

**Exemple 10.1**

Le système étudié est une boîte de masse  $m = 500\text{ g}$  posée sur une table, elle subit l'action de la Terre modélisée par le vecteur force poids  $\vec{P}$  et l'action de la table modélisée par le vecteur réaction de la table  $\vec{R}$ .

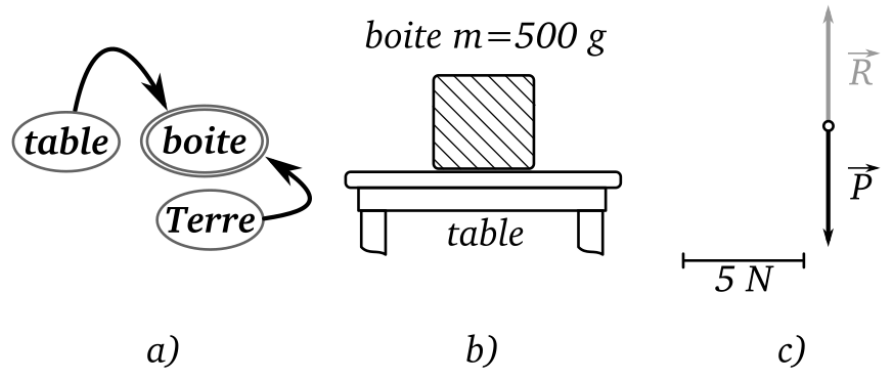


FIGURE 10.2 – Le système étudié est une boîte posée sur une table et sous l'influence de la Terre (figures a et b). On modélise la boîte par un objet ponctuel soumis aux forces  $\vec{P}$  et  $\vec{R}$  (figure c).

S'entraîner — ☐ Ex. 3 p 178 ☐ Ex. 6 p 178

## 10.2 Principe des actions réciproques - 3<sup>ème</sup> loi de Newton

**Propriété 10.1: Principe des actions réciproques - 3<sup>ème</sup> loi de Newton**

On étudie un système A qui subit une force  $\vec{F}_{B/A}$  de la part d'un système B. Si on considère le système B, il subit de la part du système A une force  $\vec{F}_{A/B}$ . Le **principe des actions réciproque** (ou 3<sup>ème</sup> loi de Newton) dit alors que

$$\dots\dots\dots (10.1)$$

S'entraîner — ☐ Ex. 8 p 178

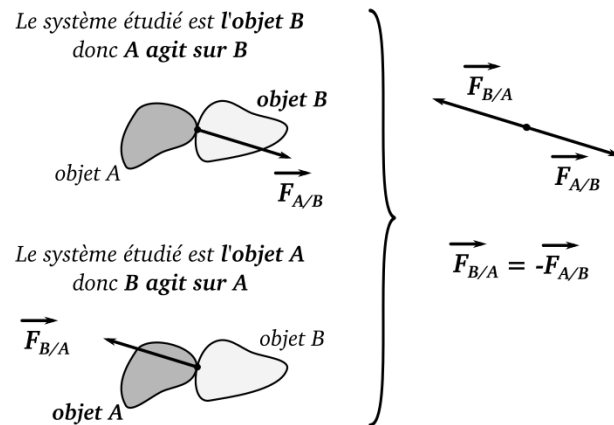


FIGURE 10.3 – Si le système étudié est l'objet B alors l'objet A exerce une force sur l'objet B  $\vec{F}_{A/B}$ . Si le système étudié est l'objet A alors l'objet B exerce une force sur l'objet A  $\vec{F}_{B/A}$ . D'après le principe des actions réciproques  $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$ .

## 10.3 Interactions de contact

**Définition 10.3: Interaction de contact**

Une **interaction de contact** nécessite que les deux systèmes soient en contact.

**Exemple 10.2**

- Une brique est suspendue à un fil. Elle subit de la part du fil une force de traction  $\vec{T}$  dirigée le long du fil, orientée vers le fil.
- Une brique est posée sur une table. Elle subit de la part de la surface une force de réaction  $\vec{R}$  dirigée perpendiculairement à la surface, orientée vers l'objet posé.

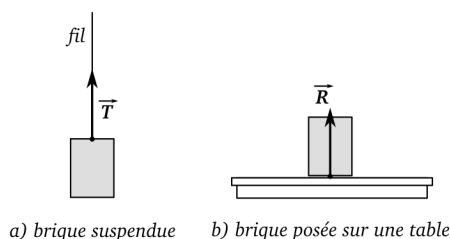


FIGURE 10.4 – Les interactions de contact nécessitent que les objets interagissants se touchent. Le système étudié est la brique.

S'entraîner — Ex. 17 p 179

## 10.4 Interactions à distance

### Définition 10.4: Interaction à distance

Une **interaction à distance** ne nécessite pas que les deux systèmes soient en contact.

### 10.4.1 Attraction gravitationnelle

#### Définition 10.5: Attraction gravitationnelle

Un objet A de masse  $m_A$ , placé à une distance  $d$  d'un autre objet B de masse  $m_B$  subit une force d'attraction gravitationnelle  $\vec{F}_{B/A}$  :

- dont la direction est la droite passant par les centres d'inertie des deux objets,
- orientée de l'objet de masse  $m_A$  vers l'objet de masse  $m_B$  (force attractive),
- dont la norme est donnée par la formule :

$$\dots\dots\dots (10.2)$$

Les unités à respecter sont :

- $F$  en .....
- $m_A$  et  $m_B$  en .....
- $d$  en .....
- $\mathcal{G}$  est la constante universelle de gravitation avec ...

**Exemple 10.3**

Soit deux objets de masse  $M = 10000$  g et  $m = 1$  kg disposés à  $d = 0.2$  dam l'un de l'autre. On peut calculer la valeur de la force d'attraction gravitationnelle entre les deux corps massifs :

**Exemple 10.4**

Soit un satellite de masse  $m = 1$  t situé à une distance  $d = 100000$  km de la Terre qui a une masse  $M_T = 5,972 \times 10^{24}$  kg. On peut calculer la valeur de la force d'attraction gravitationnelle que subit ce satellite. Pour faire ce calcul, il faudra convertir les masses en kilogramme, et les distances en mètre.

**Remarque.** Si on considère un petit objet de masse  $m$  à proximité de la surface d'une planète de masse  $M$  et de rayon  $R$ , le petit objet subit une force d'attraction gravitationnelle  $\vec{F}$  dont l'intensité peut s'écrire :

$$\|\vec{F}\| = \frac{\mathcal{G} \times m \times M}{R^2} \quad (10.3)$$

Appliqué à la Terre de rayon  $R = 6400$  km et de masse  $M = 5,972 \times 10^{24}$  kg, on peut écrire :

### 10.4.2 Poids

#### Définition 10.6: Poids

Un objet de masse  $m$  placé à proximité de la surface d'une planète subit une force  $\vec{P}$  appelée le poids qui est une force verticale, dirigée vers le centre de la planète. La norme du poids se calcule par la relation :

$$\dots\dots\dots (10.4)$$

avec

- .....
- .....
- .....

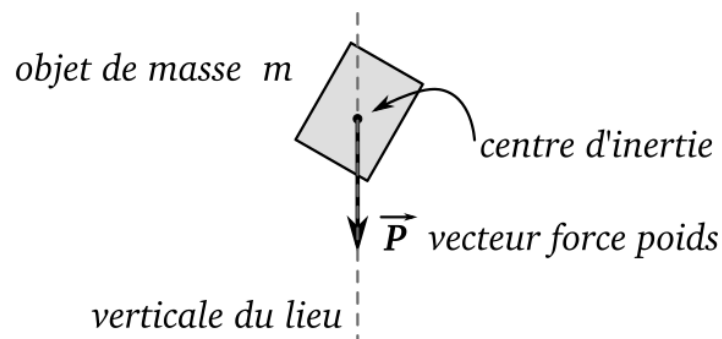


FIGURE 10.5 – Le poids d'un objet de masse  $m$  est une force d'interaction à distance que l'objet subit à proximité de la surface d'une planète.

**Exemple 10.5**

Un objet possède une masse  $m = 500$  g. On peut calculer son poids à la surface de différentes planètes connaissant la valeur de l'accélération de pesanteur  $g$  sur ces planètes. Il faudra faire attention lors du calcul aux unités à respecter et donc convertir la masse de l'objet en kilogrammes.

| Planète | $g$ ( $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | $P$ (N) |
|---------|-----------------------------------------|---------|
| Terre   | 9,81                                    | .....   |
| Mars    | 3,7                                     | .....   |
| Lune    | 1,6                                     | .....   |
| Comète  | $5 \times 10^{-4}$                      | .....   |

TABLE 10.1 – Valeurs du poids d'un objet de 500 g à la surface de différents astres

 S'entraîner — ☐ Ex. 12 p 179 ☐ Ex. 14 p 179 ☐ Ex. 16 p 179 ☐ Ex. 26 p 181 ☐ Ex. 27 p 182

## 10.5 Préparation à l'évaluation

### 10.5.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                                                 | OK                       | À revoir                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Modélisation d'une action par une force.                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Principe des actions réciproques (troisième loi de Newton).                                                                                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Caractéristiques d'une force.                                                                                                                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Exemples de forces : force d'interaction gravitationnelle; poids; force exercée par un support et par un fil.                                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                                                | OK                       | À revoir                 |
| Modéliser l'action d'un système extérieur sur le système étudié par une force. Représenter une force par un vecteur ayant une norme, une direction, un sens.     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Exploiter le principe des actions réciproques (troisième loi de Newton).                                                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Distinguer actions à distance et actions de contact.                                                                                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Identifier les actions modélisées par des forces dont les expressions mathématiques sont connues a priori.                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Utiliser l'expression vectorielle de la force d'interaction gravitationnelle.                                                                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Utiliser l'expression vectorielle du poids d'un objet, approché par la force d'interaction gravitationnelle s'exerçant sur cet objet à la surface d'une planète. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Représenter qualitativement la force modélisant l'action d'un support dans des cas simples relevant de la statique.                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## 10.5.2 Test de préparation au DS

### \* Problème 10.1 Intérêt du mur en natation

Baptiste est à la piscine. Il participe à une compétition de 100 mètres nage libre. Au bout de 50 mètres, il fait demi-tour en poussant sur le mur avec ses pieds.

Expliquer à l'aide du principe des actions réciproques l'intérêt pour Baptiste d'utiliser le mur pour faire son demi-tour.

### \* Problème 10.2 L'attraction gravitationnelle

Calculer la force d'attraction exercée par le Soleil sur la Terre. On donne les valeurs numériques suivantes :

- Masse de la Terre :  $M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$ ,
- Masse du Soleil :  $M_S = 2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$ ,
- Distance Terre-Soleil :  $D = 150 \times 10^6 \text{ km}$ ,
- Constante de gravitation universelle :  $\mathcal{G} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ u} \cdot \text{s} \cdot \text{i}$ .

### \*\* Problème 10.3 La masse de la Lune

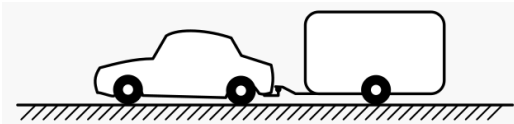
La force d'attraction entre la Terre et la Lune est de  $2,0 \times 10^{20} \text{ N}$ . Sachant que ces planètes sont distantes de 382 000 km, calculer la masse de la Lune  $M_L$ , sachant que la masse de la Terre est  $M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$  et que la constante de gravitation universelle vaut  $\mathcal{G} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ u} \cdot \text{s} \cdot \text{i}$ .

### \*\* Problème 10.4 Intensité de la pesanteur

Démontrer que l'intensité de la pesanteur au niveau du sol est  $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ , sachant que la masse de la Terre est  $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$  et que le rayon  $R_T = 6376 \text{ km}$ . La constante de gravitation universelle vaut  $\mathcal{G} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ u} \cdot \text{s} \cdot \text{i}$ .

### \*\* Problème 10.5 Faire un bilan de force

Une caravane est accrochée à une voiture.

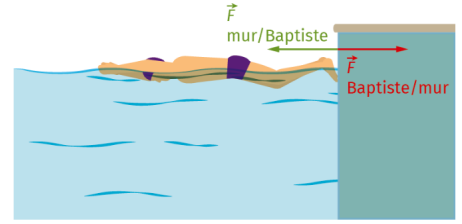


Les deux véhicules sont immobiles sur la route horizontale. Faire le bilan des forces qui s'exercent sur les systèmes suivants :

- la voiture,
- la caravane,
- l'ensemble voiture et caravane.

### Correction du problème 10.1

La troisième loi de Newton (également appelée principe des actions réciproques) s'énonce comme suit : lorsqu'un corps A exerce sur un corps B une force  $\vec{F}_{A/B}$ , alors B exerce sur A une force  $\vec{F}_{B/A}$  telle que :  $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$ . Dans la situation considérée, en poussant sur le mur avec ses pieds, Baptiste exerce une action (de contact) sur le mur, que l'on peut modéliser par une force  $\vec{F}_{Baptiste/mur}$ . D'après la troisième loi de Newton, le mur exerce sur Baptiste une force  $\vec{F}_{mur/Baptiste}$  de même intensité mais de sens contraire. C'est cette force qui permet à Baptiste d'effectuer son demi-tour plus facilement.



### Correction du problème 10.2

On va utiliser la formule donnant l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle, en faisant attention aux unités à utiliser dans cette formule. Dans le cas de l'exercice, la distance doit être convertie en mètre, les masses sont déjà exprimées en kilogramme.  $D = 150 \times 10^6 \text{ km} = 150 \times 10^6 \times 10^3 = 150 \times 10^9 \text{ m}$  donc

$$\begin{aligned} F &= \mathcal{G} \frac{M_T \times M_S}{D^2} \\ &= 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{6,0 \times 10^{24} \times 2,0 \times 10^{30}}{(150 \times 10^9)^2} \\ &\approx 3,6 \times 10^{22} \text{ N} \end{aligned}$$

La force d'attraction gravitationnelle entre la Terre et le Soleil a pour valeur  $F = 3,6 \times 10^{22} \text{ N}$ .

### Correction du problème 10.3

Dans cet exercice, on utilise la formule permettant de calculer la force d'attraction gravitationnelle entre la Terre et la Lune :

$$F = \mathcal{G} \frac{M_T \times M_L}{D^2}$$

Tous les paramètres sont connus, à l'exception de la masse de la Lune  $M_L$  qui doit être calculée. On va isoler ce paramètre dans l'équation. On multiplie à gauche et à droite par  $D^2$  et on simplifie à droite :

$$F \times D^2 = \mathcal{G} \frac{M_T \times M_L}{D^2} \times D^2$$

Puis on divise à gauche et à droite par  $\mathcal{G} \times M_T$  et on simplifie à droite :

$$\frac{F \times D^2}{\mathcal{G} \times M_T} = \frac{M_T \times M_L}{\mathcal{G} \times M_T} \text{ donc finalement}$$

$$\begin{aligned} M_L &= \frac{F \times D^2}{\mathcal{G} \times M_T} \\ &= \frac{2,0 \times 10^{20} \text{ N} \times (383\,000 \times 10^3 \text{ m})^2}{6,67 \times 10^{-11} \text{ u} \cdot \text{s} \cdot \text{i} \times 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}} \\ &\approx 7,3 \times 10^{22} \text{ kg} \end{aligned}$$

La lune a une masse  $M_L = 7,3 \times 10^{22} \text{ kg}$ .

### Correction du problème 10.4

On va calculer l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle qu'exerce la Terre sur un objet de masse  $m$  à la surface de la planète.

La distance séparant le centre de l'objet au centre de la Terre est le rayon terrestre  $R_T$ , on écrit donc que

$$F = \mathcal{G} \frac{M_T \times m}{R_T^2} \quad (10.5)$$

Sur Terre, la force du poids est environ égale à la force d'attraction. On a donc

$$F \approx P \quad (10.6)$$

donc

$$F \approx m \times g \quad (10.7)$$

et

$$\mathcal{G} \frac{M_T \times \cancel{\mathcal{M}}}{R_T^2} \approx \cancel{\mathcal{M}} \times g \quad (10.8)$$

Finalement

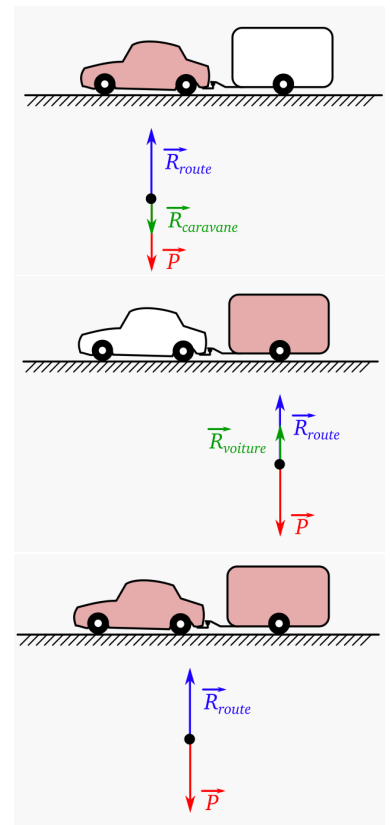
$$\begin{aligned} g &= \mathcal{G} \frac{M_T}{R_T^2} \\ &= 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{6,0 \times 10^{24}}{(6376 \times 10^3)^2} \\ &= 9,84 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \approx 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

### Correction du problème 10.5

Pour le système de la voiture, elle subit l'action de la Terre, via son poids qui sera une force verticale vers le bas, la réaction de la chaussée, verticale vers le haut, ainsi que l'action de la caravane sur le crochet de remorquage, verticale vers le bas.

Pour le système caravane, elle subit l'action de la Terre, son poids vertical vers le bas, l'a réaction de la route, verticale vers le haut, et l'action du crochet de remorquage de la voiture, vertical vert le haut.

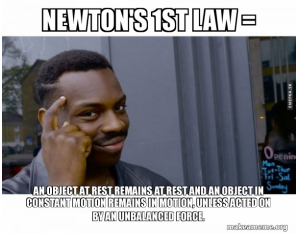
Pour l'attelage complet, il subit l'action de la Terre via son poids vertical vers le bas, et l'action de la chaussée, verticale vers le haut.



|                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p>Quelle est la différence entre interaction à distance et de contact ?</p> <p>CHAPITRE 10</p>                                                                                                                             | <p>COURS</p> <p>Comment définie-t-on un vecteur force ?</p> <p>CHAPITRE 10</p>                         | <p>COURS</p> <p>Énoncer le principe des actions réciproques aussi appelé troisième loi de Newton.</p> <p>CHAPITRE 10</p>                                                                                                                                   | <p>COURS</p> <p>Donner la formule de l'attraction gravitationnelle entre deux objets de masses <math>m_A</math> et <math>m_B</math> séparés par une distance <math>d</math>. Donner les unités de chaque terme.</p> <p>CHAPITRE 10</p>                    |
| <p>COURS</p> <p>Donner la formule du poids et les unités de chaque terme.</p> <p>CHAPITRE 10</p>                                                                                                                                         | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'une force de réaction ?</p> <p>CHAPITRE 10</p>                            | <p>COURS</p> <p>Quelles sont les caractéristiques du poids ?</p> <p>CHAPITRE 10</p>                                                                                                                                                                        | <p>COURS</p> <p>Quelles sont les caractéristiques de la force d'interaction gravitationnelle ?</p> <p>CHAPITRE 10</p>                                                                                                                                     |
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>La valeur de l'intensité de la pesanteur sur Terre est <math>9.81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}</math>. Quelle est la masse d'une pierre dont le poids vaut <math>98.1 \text{ N}</math> ?</p> <p>CHAPITRE 10</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Quelles forces s'appliquent sur une fusée au décollage ?</p> <p>CHAPITRE 10</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Parmi les forces suivantes, lesquelles sont de contacts et à distance ? Le poids, la force d'un élastique lors d'un saut à l'élastique, les forces de frottement, la réaction d'une table sur une assiette .</p> <p>CHAPITRE 10</p> | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Si la distance entre deux points A et B de masses <math>m_A</math> et <math>m_B</math> double, comment évolue la norme de la force d'interaction gravitationnelle modélisant l'action exercée par A sur B ?</p> <p>CHAPITRE 10</p> |
| <p>COURS</p> <p>Quelles sont les caractéristiques du vecteur réaction d'un support ?</p> <p>CHAPITRE 10</p>                                                                                                                              | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce que faire un bilan de forces ?</p> <p>CHAPITRE 10</p>                        | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Sachant que le poids d'un objet sur mars vaut <math>37 \text{ N}</math>, quelle est l'intensité de la pesanteur sur cette planète sachant que la masse de l'objet est <math>10 \text{ kg}</math> ?</p> <p>CHAPITRE 10</p>           | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Si on applique sur Terre la formule de la force de gravitation universelle, quelle valeur obtient-on environ ?</p> <p>CHAPITRE 10</p>                                                                                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $F = \mathcal{G} \frac{m_A m_B}{d^2}$ <p>avec <math>F</math> en Newton (N), les masses en kilogramme (kg), la distance en mètre (m) et <math>\mathcal{G}</math> en <math>\text{N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2</math>.</p>                    | <p>Si on a deux systèmes A et B en interaction, alors:</p> $\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$                                                                             | <p>Il faut donner:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sa direction,</li> <li>• son sens,</li> <li>• sa norme,</li> <li>• son point d'application.</li> </ul>                                     | <p>Une interaction à distance ne nécessite pas que les deux systèmes soient en contact.</p>                                                                                                                                               |
| <p>L'interaction gravitationnelle d'un objet A sur un objet B est une force dont la direction est la droite (AB), de sens B vers A, de norme <math>F = \mathcal{G} \frac{m_A m_B}{d^2}</math> et de point d'application le centre de gravité de B.</p> | <p>Le poids est une force dont la direction est verticale, dirigée vers le bas, dont le point d'application est le centre de gravité de l'objet et dont la norme est <math>P = mg</math>.</p> | <p>Il s'agit de la force qu'exerce un support (une table par exemple) et qui compense le poids d'un objet, permettant à celui-ci de rester fixe.</p>                                                       | $P = mg$ <p>avec <math>P</math> en Newton (N), <math>m</math> en kilogramme (kg) et <math>g</math> en <math>\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}</math>.</p>                                                                                     |
| <p>La force d'interaction gravitationnelle est inversement proportionnelle à la distance au carré, donc si la distance double la force est divisée par 4.</p>                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• poids: à distance,</li> <li>• élastique: de contact,</li> <li>• frottement: de contact,</li> <li>• réaction de la table: de contact.</li> </ul>      | <p>Les forces sont:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le poids de la fusée,</li> <li>• La force de poussée des propulseurs,</li> <li>• La force de frottement de l'air sur la fusée.</li> </ul> | $P = mg \text{ donc } m = \frac{P}{g} = \frac{98.1}{9.81} = 10 \text{ kg}$                                                                                                                                                                |
| <p>À la surface de la Terre, on obtient la valeur du poids environ.</p>                                                                                                                                                                                | $P = mg \text{ donc } g = \frac{P}{m} = \frac{37}{10} = 3.7 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$                                                                                                   | <p>Faire un bilan de forces, c'est énumérer toutes les forces qui s'appliquent sur le système.</p>                                                                                                         | <p>Le vecteur force de réaction d'un support est perpendiculaire au support, dans le sens support vers objet, et la norme dépend de la situation étudiée. Si le support est horizontal, la réaction a pour norme le poids de l'objet.</p> |

## Principe d'inertie

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ☺ Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 11.1 Énoncé . . . . . 117<br>11.2 Cas du point immobile . . . . . 118<br>11.3 Cas du point en mouvement rectiligne uniforme . . . . . 118<br>11.4 Cas du point en chute libre à une dimension . . . . . 119<br>11.5 Préparation à l'évaluation . . . . . 119<br>Savoir et savoir-faire   ▪  Test de préparation au DS |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <div> <div> 🎧 <i>Les bizarreries du principe d'inertie</i><br/>  </div> <div> 🎧 <i>Histoire d'un principe physique</i><br/>  </div> </div>      | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 3 p 192<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 4 p 192<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 5 p 192<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 7 p 192         </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 11 p 193<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 13 p 193<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 15 p 193<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 21 p 195         </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 22 p 196         </div> |

### 11.1 Énoncé

#### Propriété 11.1: Principe d'inertie

Dans un référentiel galiléen, si la **somme des forces extérieures** que subit un objet est **nulle**, alors ce corps garde un **vecteur vitesse constant**.

#### Propriété 11.2: Contraposée du principe d'inertie

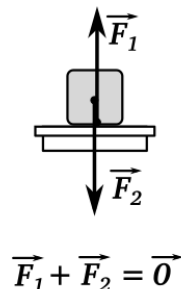
Si un corps a un vecteur vitesse qui varie, alors cela signifie que la somme des forces extérieures qu'il subit n'est pas nulle.

## 11.2 Cas du point immobile

Pour le cas d'un point immobile, le principe d'inertie donne :

- la somme des forces extérieures est nulle,
- le vecteur vitesse reste nul  $\vec{V} = \vec{0}$ .

Bilan des forces



Trajectoire

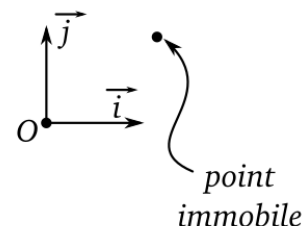


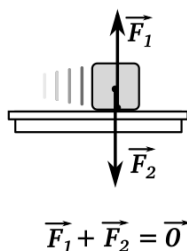
FIGURE 11.1 – Un objet sur lequel les forces se compensent peut rester immobile. Un objet immobile est soumis à des forces qui doivent se compenser.

## 11.3 Cas du point en mouvement rectiligne uniforme

Pour un point en mouvement rectiligne uniforme, le principe d'inertie donne :

- la somme des forces extérieures est nulle,
- le vecteur vitesse reste constante :  $\vec{V} = \text{constant}$ .

Bilan des forces



Trajectoire

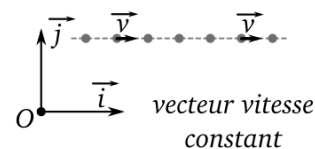


FIGURE 11.2 – Un objet sur lequel les forces se compensent peut avoir un mouvement rectiligne et uniforme. Un objet en mouvement rectiligne et uniforme est soumis à des forces qui doivent se compenser.

# 11.4 Cas du point en chute libre à une dimension

**Définition 11.1: Chute libre**

Un système est en chute libre lorsqu'il n'est soumis qu'à son poids  $\vec{P}$ .

Pour un point en mouvement de chute libre à une dimension, le principe d'inertie donne :

- la somme des forces extérieures est non-nulle,
- le vecteur vitesse varie linéairement avec le temps  $\vec{V} = (at + b) \vec{i}$ .

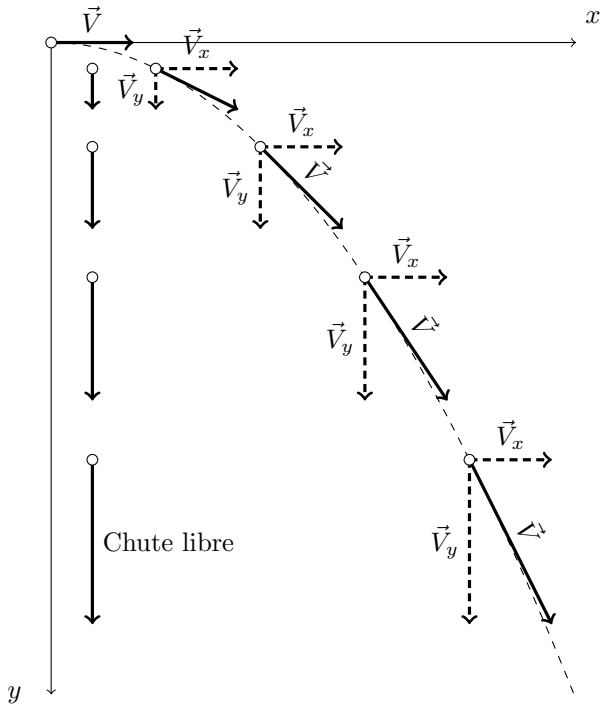


FIGURE 11.3 – Un objet en chute libre sans frottement a un mouvement rectiligne accéléré. Les forces ne se compensent pas, le vecteur vitesse change.

S'entraîner — ☐ Ex. 11 p 193 ☐ Ex. 15 p 193 ☐ Ex. 21 p 195 ☐ Ex. 22 p 196

## 11.5 Préparation à l'évaluation

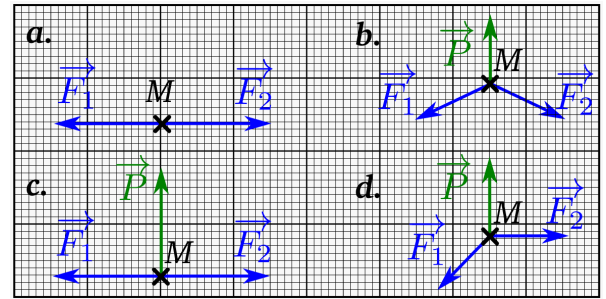
### 11.5.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | OK                       | À revoir                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Modèle du point matériel.                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Principe d'inertie.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Cas de situations d'immobilité et de mouvements rectilignes uniformes.                                                                                                                                                                                                                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | OK                       | À revoir                 |
| Exploiter le principe d'inertie ou sa contraposée pour en déduire des informations soit sur la nature du mouvement d'un système modélisé par un point matériel, soit sur les forces.                                                                                                                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Relier la variation entre deux instants voisins du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel à l'existence d'actions extérieures modélisées par des forces dont la somme est non nulle, en particulier dans le cas d'un mouvement de chute libre à une dimension (avec ou sans vitesse initiale). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 11.5.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 11.1 Des modélisations

On considère les quatre modélisations suivantes d'un objet ponctuel de masse  $m$  placé au point  $M$ . Indiquer si le mouvement de  $M$  sous l'effet de l'ensemble des forces représentées peut être rectiligne uniforme.



#### \* Problème 11.2 La mêlée au rugby

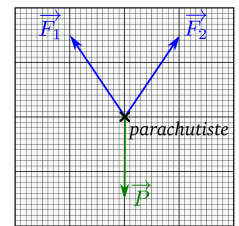
Lors d'une mêlée au rugby, l'équipe bleue exerce une force de poussée  $\vec{F}_1$  et l'équipe verte une force de poussée  $\vec{F}_2$ .

1. Les deux équipes se neutralisent et restent immobiles. Déterminer les caractéristiques des deux forces de poussée.
2. L'équipe bleue exerce maintenant une force de poussée  $F_1 = 1,5 \times 10^4 \text{ N}$  et l'équipe verte une force de poussée  $F_2 = 1,0 \times 10^4 \text{ N}$ . Calculer le vecteur  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ . La mêlée est-elle immobile ou en mouvement rectiligne uniforme?

#### \* Problème 11.3 Le parachutiste

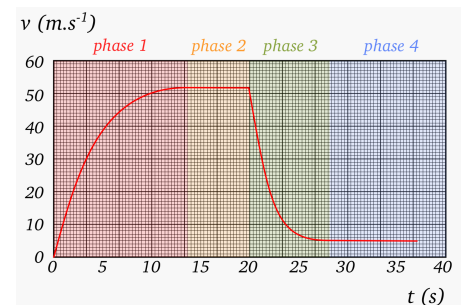
On a modélisé la chute d'un parachutiste à l'aide des forces  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  et  $\vec{P}$ .

1. Construire la somme des vecteurs  $\Sigma \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{P}$ .
2. Si les forces ne se compensent pas, en déduire la direction et le sens du vecteur somme des forces  $\Sigma \vec{F}$ .



#### \*\*\* Problème 11.4 Un autre saut en parachute

Un parachutiste de masse  $m = 100 \text{ kg}$  avec son équipement a effectué un saut depuis un ballon à 1200 m d'altitude. On considère que la trajectoire est rectiligne verticale dans le référentiel terrestre galiléen. Le saut a été enregistré sur le graphique ci-contre. On repère quatre phases lors du saut. L'accélération de pesanteur vaut  $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .



1. Déterminer à quelle date le parachute s'ouvre.
2. Pour chaque phase du mouvement, déterminer comment évolue le vecteur vitesse du système parachutiste.
3. Indiquer dans quelle(s) phase(s) le parachutiste a un mouvement rectiligne et uniforme.
4. Calculer le poids  $P$  du parachutiste.
5. Pour chaque phase, lister les forces appliquées au parachutiste. Les représenter sur un schéma en faisant apparaître le vecteur  $\vec{P} - \vec{F}$ .

### Correction du problème 11.1

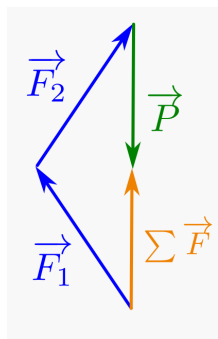
D'après le Principe d'inertie, pour que le mouvement soit rectiligne et uniforme, il faut que la somme des forces qui s'exercent sur le système soit nulle. On construit donc dans chaque cas la somme des vecteurs forces et seuls les cas où cette somme est nulle seront des mouvements rectilignes et uniformes. Les figures a et b correspondent à des mouvements rectilignes et uniformes.

### Correction du problème 11.2

1. D'après le principe d'inertie, si les équipes sont immobiles, la résultante des forces est nulle, on a  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$  et donc on a  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ . Les deux forces ont même norme, même direction mais des sens opposés.
2. La force  $\vec{F}_1$  est plus intense, la résultante des deux forces ne sera pas nulle, mais dans le même sens que  $\vec{F}_1$  et elle aura pour norme  $1,5 \times 10^4 \text{ N} - 1,0 \times 10^4 \text{ N} = 0,5 \times 10^4 \text{ N}$ . La résultante des forces n'est pas nulle donc d'après le principe d'inertie la mêlée n'a pas de mouvement rectiligne uniforme et n'est pas non plus immobile.

### Correction du problème 11.3

1.



2. La somme des forces ne se compensent pas, donc le vecteur  $\Sigma \vec{F}$  est vertical et orienté vers le haut. Son point d'application est le parachutiste et sa norme est la norme de la somme  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{P}$ .

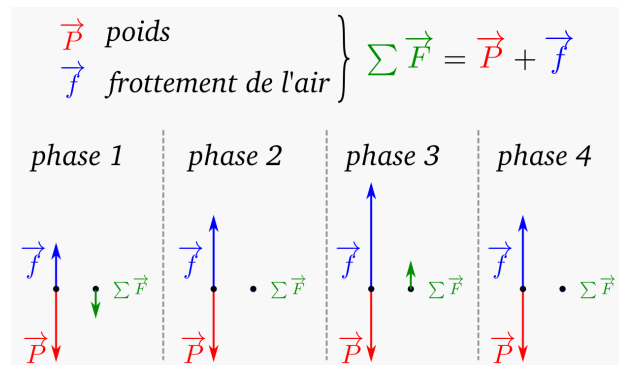
### Correction du problème 11.4

1. Dans la phase 1, le parachutiste tombe de plus en plus vite, son poids et les frottements avec l'air ne se compensent pas. Puis dans la phase 2, la vitesse se stabilise, car le poids et les frottements sont compensés. Au début de la phase 3, vers  $t = 20 \text{ s}$ , le parachute s'ouvre et ralentit la chute du parachute, et la vitesse se stabilise à  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en entrant dans la phase 4.
2.
  - phase 1 : la vitesse augmente de  $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  à  $52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
  - phase 2 : la vitesse est stable à  $52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
  - phase 3 : la vitesse décroît de  $52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  à  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
  - phase 4 : la vitesse est stable à  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
3. Le mouvement du parachutiste est rectiligne durant

les quatre phases. Mais il est aussi uniforme durant les phases 2 et 3 quand sa vitesse est constante.

4.  $P = m \times g = 100 \times 9,81 = 981 \text{ N}$ .

5.





|                                                                                   |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>COURS</div> <div>Énoncer le principe d'inertie.</div> <div>CHAPITRE 11</div> | <div>COURS</div> <div>Énoncer la contraposée du principe d'inertie.</div> <div>CHAPITRE 11</div>                                      | <div>SAVOIR-FAIRE</div> <div>Pour un système immobile, que donne le principe d'inertie ?</div> <div>CHAPITRE 11</div>                                                | <div>SAVOIR-FAIRE</div> <div>Pour un système en mouvement rectiligne uniforme, que donne le principe d'inertie ?</div> <div>CHAPITRE 11</div>                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <div>COURS</div> <div>Définir la chute libre.</div> <div>CHAPITRE 11</div>        | <div>SAVOIR-FAIRE</div> <div>Que donne le principe d'inertie dans le cas d'un mouvement de chute libre ?</div> <div>CHAPITRE 11</div> | <div>COURS</div> <div>En mathématiques, si on a une implication tel que "Si A est vérifié alors on a B", quelle serait sa contraposée ?</div> <div>CHAPITRE 11</div> | <div>SAVOIR-FAIRE</div> <div>Choisir la bonne réponse. Un système, modélisé par un point matériel, qui décrit un mouvement rectiligne uniforme dans le référentiel terrestre:</div> <div><ul style="list-style-type: none"><li>• peut être soumis à une seule force.</li><li>• est obligatoirement soumis à deux forces.</li><li>• est soumis à des forces qui se compensent.</li></ul></div> <div>CHAPITRE 11</div> |
|                                                                                   |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                                                                   |                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Si un système est en mouvement rectiligne uniforme alors la somme des forces extérieures est nulle et le vecteur vitesse <math>\vec{v}</math> est <u>constant</u>.<br/><math>\vec{v} = \text{constante}</math>.</p> | <p>Si un système est immobile alors la somme des forces extérieures est nulle et le vecteur vitesse est nul <math>\vec{v} = \vec{0}</math>.</p> | <p>Si un corps a un vecteur vitesse qui varie, alors cela signifie que la somme des forces extérieures qu'il subit n'est pas nulle.</p>                                                                                            | <p>Si la somme des forces extérieures que subit un objet est nulle, alors ce corps garde un vecteur vitesse constant.</p> |
| <p>est soumis à des forces qui se compensent.</p>                                                                                                                                                                      | <p>Si on n'a pas B de vérifié, alors on n'a pas A.</p>                                                                                          | <p>Si un système est en mouvement de chute libre alors la somme des forces extérieures est non-nulle et le vecteur vitesse n'est pas constant: il variera linéairement avec le temps: <math>\vec{v} = (at + b) \vec{i}</math>.</p> | <p>Un système est en chute libre s'il n'est soumis qu'à son poids.</p>                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                           |

## Émission et perception d'un son

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ☺ Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12.1 Émission et propagation d'un signal sonore . . . . . 125<br>12.2 Vitesse de propagation du son . . . . . 126<br>12.3 Signal sonore périodique . . . . . 127<br>12.4 Perception du son . . . . . 128<br>12.5 Hauteur et timbre d'un son . . . . . 128<br>12.6 Intensité sonore et niveau d'intensité sonore . . . . . 129<br>12.7 Préparation à l'évaluation . . . . . 130<br>Savoir et savoir-faire ■ Test de préparation au DS | <ul style="list-style-type: none"> <li>La vitesse de la lumière étant supérieure à celle du son, bien des gens ont l'air brillant jusqu'à ce qu'ils ouvrent la bouche...</li> <li>What sound does a subatomic duck make? Quark...</li> </ul>                                                                                                                          |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 🔊 <i>Les vaisseaux spatiaux font du bruit dans l'espace</i><br>                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 5 p 216<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 6 p 217<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 11 p 217<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 12 p 217<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 13 p 217 </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 16 p 218<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 27 p 218<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 29 p 222 </div> |
| 🔊 <i>Peut-on expliquer la musique?</i><br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

### 12.1 Émission et propagation d'un signal sonore

#### Définition 12.1: Son

Le **son** est une **perturbation** de la pression dans un milieu qui se **propage** de proche en proche. Pour créer un son, il faut donc créer une surpression, en utilisant par exemple un objet qui vibre comme un diapason ou un fil raide tendu.

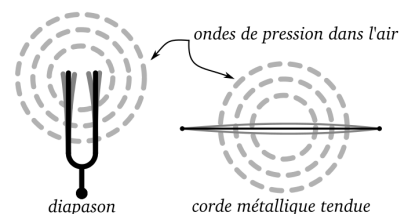


FIGURE 12.1 – Un diapason ou une corde en acier tendue peuvent produire une onde de pression (son) lors de leur mouvement de vibration.

**Remarque.** Pour que la vibration soit bien transmise à l'air, on peut utiliser une caisse de résonance.

**Exemple 12.1**

Pour bien rendre audible le son émis par un diapason, on le pose sur une surface dure (table en bois) ou sur une boîte creuse. Un instrument à corde (violon, guitare) utilise une caisse en bois qui amplifie le son par résonance.

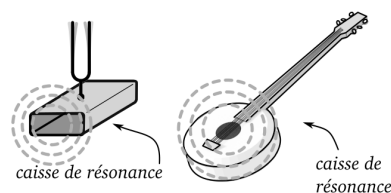


FIGURE 12.2 – Le son du diapason est amplifié grâce à une caisse de résonance. La corde métallique d'un instrument de musique est fixée sur une caisse en bois pour que le son émis soit plus fort.

**Définition 12.2: Propagation du son**

Pour que le son puisse se propager, il faut la présence d'un **milieu matériel** (un gaz, un liquide, un solide). Dans le vide, le son ne peut pas se propager.

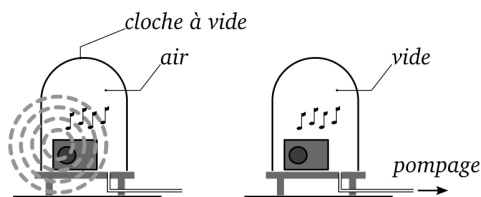


FIGURE 12.3 – La musique émise par un appareil sous la cloche à vide est perceptible tant que l'air est présent dans la cloche. Dès le pompage mis en route, ce son est de moins en moins audible car l'air ne le transmet plus.

## 12.2 Vitesse de propagation du son

**Définition 12.3: Vitesse du son**

Dans l'air qui nous entoure, la vitesse du son est d'environ  $343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Cette vitesse varie légèrement en fonction de la température, de l'humidité et de la pression atmosphérique.

**Exemple 12.2**

La vitesse du son dans l'air  $343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  correspond à une vitesse de ....., la vitesse de certains avions militaires.

**Exemple 12.3**

Pendant un orage, on peut facilement remarquer un décalage entre le flash de l'éclair dû à la foudre et l'arrivée du son du tonnerre. La lumière se propage à  $3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , sa perception est quasi instantanée, alors que le son va mettre une seconde pour parcourir 343 mètres. En comptant les secondes de décalage et en multipliant par 343, on a la distance entre l'éclair et nos oreilles.

## 12.3 Signal sonore périodique

### Définition 12.4: Période

Un signal sonore est **périodique** quand il se répète identique à lui même au bout d'une durée  $T$  appelée **période**, elle s'exprime en seconde (s).

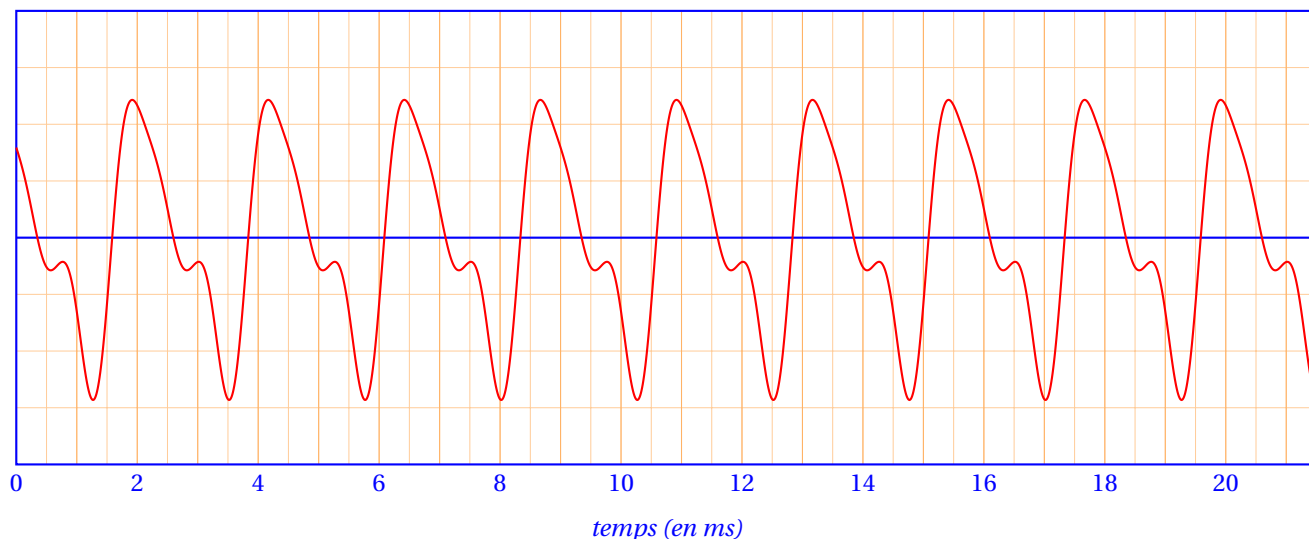


FIGURE 12.4 – Note d'un instrument de musique. On observe la présence d'un motif périodique.

### Exemple 12.4

Sur l'enregistrement d'un son de la figure 12.4, on mesure que la durée totale de huit motifs périodique est

..... (12.1)

Donc pour un seul motif, sa durée est

..... (12.2)

### Définition 12.5: Fréquence

La **fréquence** d'un son  $f$  est le nombre de fois que le signal se répète à l'identique par seconde, elle s'exprime en Hertz (Hz). Elle est l'inverse de la période  $T$

..... (12.3)

### Exemple 12.5

La fréquence de la note de piano de la fi-

gure 12.4 est de

..... (12.4)

ce qui correspond approximativement à la note La 3 environ.

### Exemple 12.6

Un son de période  $T = 1,4\text{ ms}$  correspond à un signal sonore de fréquence

..... (12.5)

Une onde radio de fréquence  $f = 108\text{ MHz}$  correspond à un signal périodique de période

..... (12.6)

## 12.4 Perception du son

### Définition 12.6: Spectre du son

Le spectre audible par un être humain s'étend de 20 Hz à 20 kHz. Les fréquences inférieures à 20 Hz correspondent aux infrasons, les fréquences supérieures à 20 kHz aux ultrasons.

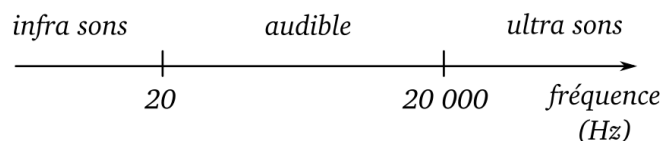


FIGURE 12.5 – Chez l'être humain, le spectre audible s'étend d'environ 20 Hz à 20 kHz. Certains animaux ont des spectres auditifs allant des infrasons aux ultrasons.

## 12.5 Hauteur et timbre d'un son

### Définition 12.7: Hauteur

En acoustique, la hauteur d'un son correspond à sa fréquence  $f$  : un son haut a une fréquence élevée, un son bas a une fréquence faible.

### Définition 12.8: Timbre

En acoustique, la forme du signal périodique va donner un timbre différent à des sons ayant même hauteur (ou fréquence).

| Note  | Fréquence (Hz) |
|-------|----------------|
| Do3   | 262            |
| Do#3  | 277            |
| Ré3   | 294            |
| Ré#3  | 311            |
| Mi3   | 330            |
| Fa3   | 349            |
| Fa#3  | 370            |
| Sol3  | 392            |
| Sol#3 | 415            |
| La3   | 440            |
| La#3  | 466            |
| Si3   | 494            |

TABLE 12.1 – Fréquence de quelques notes

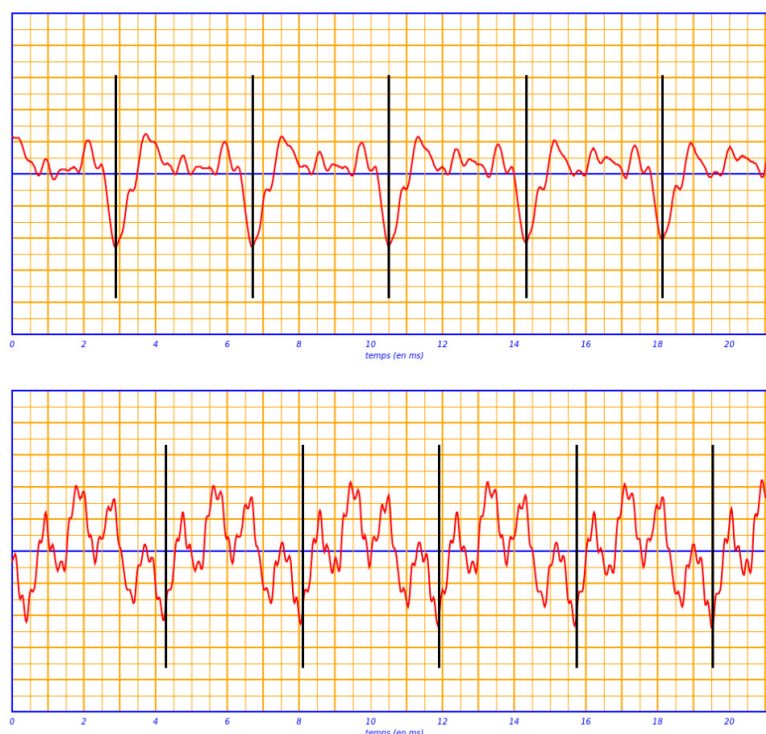


FIGURE 12.6 – Deux instruments différents jouent la même note, elles ont donc la même période, mais la forme des motifs périodiques est différente, le timbre de chaque l'instrument sera différent

## 12.6 Intensité sonore et niveau d'intensité sonore

### Définition 12.9: Intensité sonore

L'onde de pression d'un son transporte une certaine puissance, proportionnelle au carré de cette pression. L'intensité du son correspond à la puissance reçue sur une surface de  $1 \text{ m}^2$ .

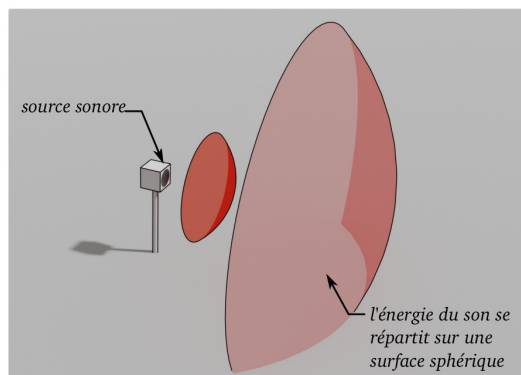


FIGURE 12.7 – La puissance transportée par une onde sonore (une énergie par seconde) se répartit sur une surface de plus en plus grande en s'éloignant de la source. L'intensité du son décroît.

### Définition 12.10: Niveau d'intensité sonore

Le niveau d'intensité sonore est une échelle non linéaire qui permet de comparer la puissance d'un son par rapport à la puissance d'un son à peine audible :

- Si on multiplie par 2 l'intensité acoustique, on ajoute 3 dB au niveau d'intensité acoustique,
- Si on multiplie par 10 l'intensité acoustique, on ajoute 10 dB au niveau d'intensité acoustique.

**Remarque.** Le niveau d'intensité sonore doit être contrôlé dans l'environnement des humains car il peut induire à terme des risques de surdité totale ou partielle. C'est également un facteur accidentogène à cause de la fatigue induite par un environnement bruyant.

**Remarque.** Vous pouvez visiter le site de l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et de maladies professionnelles)<sup>a</sup> qui explique la réglementation française concernant les niveaux d'exposition au bruit.

a. <http://www.inrs.fr/risques/bruit/ce-qu-il-faut-retenir.html>

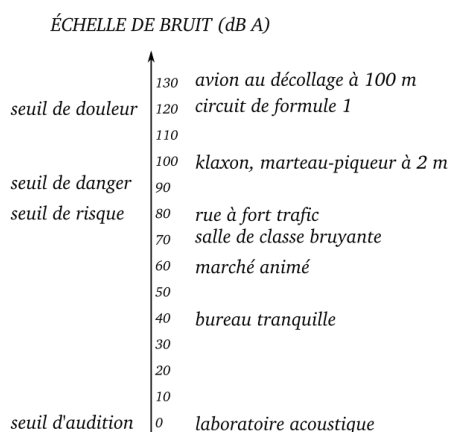


FIGURE 12.8 – L'échelle de niveaux sonores est exprimée en décibel acoustiques, c'est une échelle non linéaire, si on augmente le niveau de 10 dB, on multiplie par 10 la puissance acoustique émise.

## 12.7 Préparation à l'évaluation

### 12.7.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                                                             | OK                       | À revoir                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Émission et propagation d'un signal sonore.                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Vitesse de propagation d'un signal sonore.                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Signal sonore périodique, fréquence et période. Relation entre période et fréquence.                                                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Perception du son : lien entre fréquence et hauteur ; lien entre forme du signal et timbre ; lien qualitatif entre amplitude, intensité sonore et niveau d'intensité sonore. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Échelle de niveaux d'intensité sonore.                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                                                            | OK                       | À revoir                 |
| Décrire le principe de l'émission d'un signal sonore par la mise en vibration d'un objet et l'intérêt de la présence d'une caisse de résonance.                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Expliquer le rôle joué par le milieu matériel dans le phénomène de propagation d'un signal sonore.                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Citer une valeur approchée de la vitesse de propagation d'un signal sonore dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées.                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Définir et déterminer la période et la fréquence d'un signal sonore notamment à partir de sa représentation temporelle.                                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Citer les domaines de fréquences des sons audibles, des infrasons et des ultrasons.                                                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Relier qualitativement la fréquence à la hauteur d'un son audible.                                                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Relier qualitativement intensité sonore et niveau d'intensité sonore.                                                                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Exploiter une échelle de niveau d'intensité sonore et citer les dangers inhérents à l'exposition sonore.                                                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacités mathématiques :                                                                                                                                                    |                          |                          |
| Identifier une fonction périodique et déterminer sa période.                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 12.7.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 12.1 Une flamme qui vacille

Une flamme de bougie vibre lorsqu'elle est placée devant le haut-parleur d'une enceinte qui émet de la musique. Comment peut-on expliquer ce phénomène ?

#### \* Problème 12.2 Généralités sur le son

1. Quel est l'intervalle de fréquence pour lequel l'oreille humaine est sensible ?
2. À quoi correspond la hauteur d'un son ?
3. Quelle est l'unité du niveau sonore ?
4. Qu'est-ce le timbre d'un signal sonore ?

#### \*\* Problème 12.3 Distance entre un émetteur et un récepteur

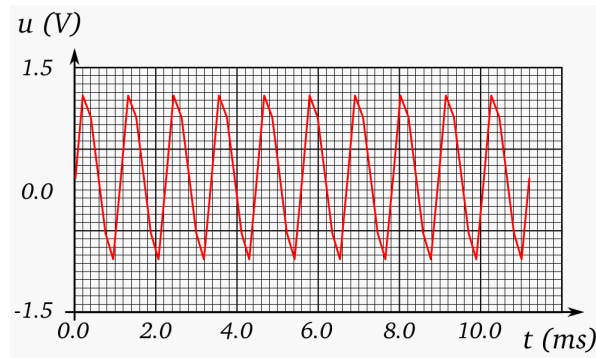
Dans une salle à 20 °C, des ultrasons parcourent la distance qui sépare un émetteur d'un récepteur d'ultrasons en 2,2 ms.

1. Rappeler la vitesse de propagation d'un signal sonore dans l'air.
2. Calculer la distance  $d$  entre l'émetteur et le récepteur.

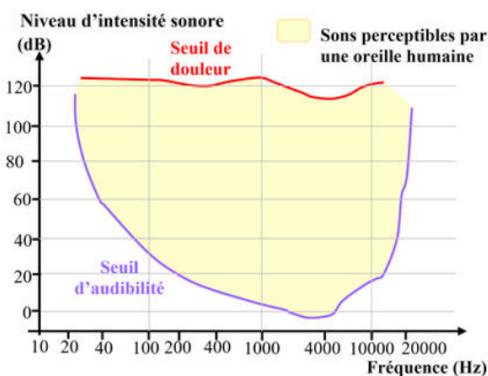
**\*\* Problème 12.4 Une note de flûte**

Un musicien joue une note avec sa flûte. La représentation temporelle de la note est donnée sur la figure ci-contre.

1. Indiquer si la note peut être considérée comme périodique.
2. Si oui, mesurer la période  $T$  de la note.
3. Vérifier que la note est un la 4 de fréquence 880 Hz.

**\*\* Problème 12.5 L'oreille humaine**

Le graphique ci-contre représente, dans la zone jaune, les niveaux d'intensité sonore des sons audibles en fonction de la fréquence du son perçu par l'oreille humaine.



1. Estimer la fréquence pour laquelle la sensibilité de l'oreille humaine est la plus grande.
2. Dans quel domaine de fréquences l'oreille humaine entend-elle des sons dont le niveau d'intensité sonore est de 40 dB?
3. À partir de quel niveau d'intensité sonore l'oreille humaine peut-elle entendre un son de 40 Hz?
4. L'oreille humaine entend des sons dont les fréquences sont comprises entre 20 Hz et 20 kHz. Cette information est-elle complète?
5. Indiquer si la hauteur des sons est un facteur de risque?
6. Localiser sur le diagramme le domaine des ultrasons.

### Correction du problème 12.1

Le son est une mise en vibration de l'air, le haut-parleur possède une membrane qui avance et recule pour faire vibrer l'air. La flamme composée de gaz chaud se déplace au rythme de ses vibrations de l'air.

### Correction du problème 12.2

1. L'oreille humaine est sensible aux fréquences entre 20 Hz et 20 kHz.
2. La hauteur d'un son dépend de la fréquence d'un son.
3. Le niveau sonore a pour unité le décibel (dB).
4. En acoustique, la forme du signal périodique va donner un timbre différent à des sons ayant même hauteur (ou fréquence).

### Correction du problème 12.3

1. La vitesse de propagation du son dans l'air est environ  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
2. Comme une vitesse est le rapport entre la distance parcourue et la durée du parcours on a la formule  $v = \frac{d}{\Delta t}$ . On cherche  $d$  qu'on isole en multipliant à gauche et à droite par  $\Delta t$ . On a donc  $d = v \times \Delta t = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \times 2,2 \text{ ms} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \times 2,2 \times 10^{-3} \text{ s} = 0,75 \text{ m}$ . La distance entre l'émetteur et le récepteur est de 0,75 m.

### Correction du problème 12.4

1. La note est périodique, on peut identifier un motif qui se répète identique à lui même dans le temps, à intervalle régulier.
2. Pour améliorer la précision de la mesure de la période, on mesure la durée de dix périodes :  $10 \times T = 11,2 \text{ ms}$  donc  $\frac{10 \times T}{10} = \frac{11,2 \text{ ms}}{10}$  et  $T = \frac{11,2}{10} = 1,12 \text{ ms}$ .
3. La fréquence se calcule selon :  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,12 \text{ ms}} = \frac{1}{1,12 \times 10^{-3} \text{ s}} = 893 \text{ Hz}$ . Cette note correspond donc bien environ à la note La 4 de fréquence 880 Hz.

### Correction du problème 12.5

1. La sensibilité de l'oreille humaine est la plus grande pour un signal sonore de 4000 Hz environ, soit pour le seuil d'audibilité le plus bas.
2. Pour un niveau d'intensité sonore  $L = 40 \text{ dB}$ , le domaine de fréquences audible est compris entre 80 Hz et 18000 Hz environ ( $\triangle$  L'échelle horizontale n'est pas linéaire).
3. Un son de fréquence  $f = 40 \text{ Hz}$  est perceptible si le niveau d'intensité sonore  $L \geq 58 \text{ dB}$ .
4. Pour que l'information soit complète, il faut préciser le niveau d'intensité sonore  $L$ . Pour être audible, les sons compris entre 20 Hz et 20 kHz doivent être à des niveaux sonores  $L$  élevés. Supérieur à 70 dB pour les sons proches de 20 kHz et supérieur à 110 dB pour les sons proches de 20 Hz.
5. Le seuil de la douleur est pratiquement constant sur le domaine 20 Hz à 20 kHz. La fréquence d'un son ou sa hauteur n'a donc pas beaucoup d'influence sur la dangerosité. La hauteur d'un son n'est pas un facteur à risque.
6. Les ultrasons sont les sons dont la fréquence est supérieure à 20 kHz.

|                                                                                                |                                                                                                |                                                                                                      |                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p><b>En quoi le son est-il une onde ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>                 | <p>COURS</p> <p><b>Que peut-on utiliser pour amplifier un son ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>     | <p>COURS</p> <p><b>Le son peut-il se propager dans le vide ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>              | <p>COURS</p> <p><b>Quelle est la vitesse de propagation du son dans l'air ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>                       |
| <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce que la période d'un signal sonore ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>    | <p>COURS</p> <p><b>Quelle est l'unité usuelle de la période ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>       | <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce que la fréquence d'un signal sonore ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>        | <p>COURS</p> <p><b>Quelle est l'unité de la fréquence ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>                                           |
| <p>COURS</p> <p><b>Quel est le domaine de fréquence des infrasons ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p> | <p>COURS</p> <p><b>Quel est le domaine de fréquence des ultrasons ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p> | <p>COURS</p> <p><b>Quel est le spectre sonore audible par l'être humain ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p> | <p>COURS</p> <p><b>Quel est la hauteur d'un son ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>                                                 |
| <p>COURS</p> <p><b>Quel est le timbre d'un son ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>                    | <p>COURS</p> <p><b>Quel est le lien entre période et fréquence ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>    | <p>COURS</p> <p><b>Comment définit-on l'intensité sonore ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p>                | <p>COURS</p> <p><b>Quelle est la différence entre intensité sonore et niveau d'intensité sonore ?</b></p> <p>CHAPITRE 12</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                       |                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>Pour que le son puisse se propager, il faut la présence d'un milieu matériel (un gaz, un liquide, un solide). Dans le vide, le son ne peut pas se propager.</p>   | <p>Une caisse de résonance.</p>                                                                                       | <p>Le son est une perturbation de la pression dans un milieu qui se propage de proche en proche.</p> |
| <p>Le hertz (Hz) qui correspond à des <math>\text{s}^{-1}</math>.</p>                                                                                                                                                                                                                                        | <p>La fréquence est le nombre de fois que se répète un signal à l'identique <b>par seconde</b>.</p>                                                                  | <p>La seconde s.</p>                                                                                                  | <p>La période d'un signal sonore est la durée au bout de laquelle le signal se répète.</p>           |
| <p>La hauteur d'un son correspond à sa fréquence (un son haut est un son de fréquence élevée et donc aigu).</p>                                                                                                                                                                                              | <p>De 20 Hz à 20 kHz.</p>                                                                                                                                            | <p>Les ultrasons sont les sons ayant une fréquence supérieure à <math>20\,000 \text{ Hz} = 20 \text{ kHz}</math>.</p> | <p>Les infrasons sont les sons ayant une fréquence inférieure à 20 Hz.</p>                           |
| <p>Si on multiplie par 2 l'intensité sonore, alors le niveau d'intensité sonore est augmenté de 3. Si on multiplie par 10 l'intensité sonore, alors le niveau d'intensité sonore est augmenté de 10. Les intensités sonores s'additionnent mais ce n'est PAS le cas pour les niveaux d'intensité sonore.</p> | <p>L'intensité sonore est la puissance reçue sur une surface de <math>1 \text{ m}^2</math>. Elle a donc pour unité le <math>\text{W} \cdot \text{m}^{-2}</math>.</p> | $f = \frac{1}{T}$                                                                                                     | <p>Le timbre est la forme que prend le signal périodique.</p>                                        |

# Spectres d'émission

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ☺ Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13.1 Nature de la lumière blanche . . . . . 135<br>Propagation rectiligne de la lumière ■ Décomposition de la<br>lumière blanche par un prisme ■ Le laser ■ Longueur d'onde<br>13.2 Les spectres d'émission . . . . . 137<br>Spectres d'émission continus ■ Les spectres d'émission<br>discontinus<br>13.3 Préparation à l'évaluation . . . . . 140<br>Savoir et savoir-faire ■ Test de préparation au DS |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <div> <div> 🎧 <i>Savons-nous ce qu'est la lumière?</i><br/> </div> <div> 🎧 <i>Astronomie, un regard vers le passé</i><br/> </div> <div> 🎧 <i>Comment Newton en a vu de toutes les couleurs</i><br/> </div> </div>                                                                                                                                                                                         | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 5 p 234<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 10 p 235<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 11 p 235         </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 22 p 237<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 23 p 237<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 25 p 238         </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 31 p 240         </div> |

## Introduction

Pour communiquer, l'être humain émet et perçoit différents types d'ondes qui pourront transporter des informations : les ondes sonores et les ondes électromagnétiques, dont font partie les ondes lumineuses. La lumière apporte ainsi des informations sur les objets qui nous entourent et en physique, l'optique et la spectroscopie sont les disciplines qui étudient la lumière.

## 13.1 Nature de la lumière blanche

### 13.1.1 Propagation rectiligne de la lumière

En 1674, en étudiant les éclipses de la planète Jupiter sur son satellite Io, Le Danois Römer donne une première estimation de la vitesse de la lumière dans le vide.

**Définition 13.1: Propagation de la lumière**

La lumière se propage en **ligne droite** dans un milieu homogène. Dans l'air ou dans le vide, sa vitesse de propagation est .....

☰ S'entraîner — ☐ Ex. 5 p 234 ☐ Ex. 23 p 237

**13.1.2 Décomposition de la lumière blanche par un prisme**

C'est à Newton qu'est attribuée la décomposition de la lumière du soleil par un prisme en 1666, prouvant que la lumière est une onde! Et, il obtint le spectre de la lumière blanche, si connu aujourd'hui et si poétique quand il se fait arc en ciel. En cherchant bien, il y trouva sept couleurs principales... rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet! Pourquoi sept? À l'époque, on pensait qu'il devait exister une cohérence dans la création du monde par Dieu. Or il y avait sept planètes (connues) gravitant autour du Soleil : sept était donc un nombre extraordinaire, d'où les sept couleurs de l'arc en ciel, la création du monde en sept jours, ou les sept notes de la musique...



FIGURE 13.1 – Décomposition de la lumière par Newton

**Définition 13.2: Spectre**

On appelle **spectre**, le résultat de la décomposition de la lumière par un dispositif **dispersif** tel qu'un prisme ou un réseau.

Le prisme est un système optique, taillé dans un milieu transparent comme le verre ou le plexiglas. Il est constitué de 3 faces planes rectangulaires et de deux faces planes triangulaires. On le représente par un triangle. En passant à travers le prisme, la lumière blanche est déviée et décomposée en lumières colorées. On dit que le prisme décompose la lumière blanche.

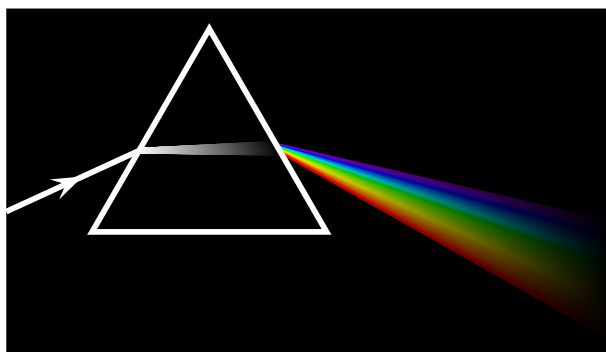


FIGURE 13.2 – Le prisme décompose la lumière blanche.

**Remarque.** Les gouttes d'eau se comportent comme un prisme. Elles décomposent la lumière du Soleil pour donner les couleurs de l'arc-en-ciel.

La figure colorée obtenue est appelée spectre. La lumière blanche est constituée de plusieurs lumières (ou radiations) colorées. C'est une lumière **polychromatique**.

### 13.1.3 Le laser

Contrairement à la lumière blanche, la lumière du laser, en traversant un prisme, n'est pas décomposée en un spectre mais en une seule radiation lumineuse. Le laser est constitué d'une seule radiation : c'est une lumière **monochromatique**.

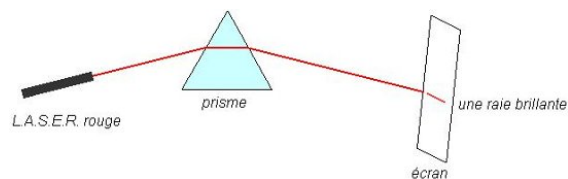


FIGURE 13.3 – Décomposition de la lumière d'un laser par un prisme : on observe seulement une longueur d'onde.

### 13.1.4 Longueur d'onde

#### Définition 13.3: Longueur d'onde

Chaque onde électromagnétique est caractérisée, dans le vide, par une grandeur appelée **longueur d'onde**, notée  $\lambda$  ("lambda"). Elle s'exprime en mètre ou plus souvent en nanomètre (nm) avec .....

L'œil humain n'est sensible qu'aux radiations dont les longueurs d'onde sont comprises entre 390 nm et 770 nm. A chaque couleur correspond une longueur d'onde.

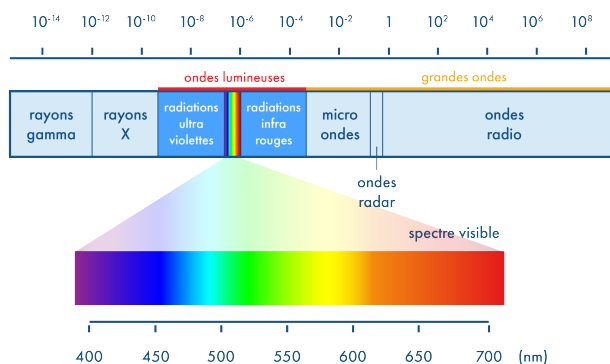


FIGURE 13.4 – Spectre de la lumière blanche en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$ .

## 13.2 Les spectres d'émission

#### Définition 13.4: Source lumineuse primaire

Un corps émettant de la lumière par lui-même est appelé **source lumineuse primaire**.

#### Définition 13.5: Spectre d'émission

On appelle spectre d'émission, le résultat de la décomposition de la lumière d'une source lumineuse (étoile, feu, lampe...).

### 13.2.1 Spectres d'émission continus

#### Propriété 13.1

Un objet chauffé à haute température va émettre de la lumière dont le spectre est **continu**.



(a)



(b)



(c)

FIGURE 13.5 – La lave en fusion, une lampe à filament ou encore du verre chauffé au point de fusion sont trois exemples de corps émettant de la lumière.

#### Propriété 13.2: Spectre d'un corps chaud

Plus un corps est chaud, plus son spectre s'enrichit en couleurs du rouge au bleu (de l'infrarouge à l'ultra-violet).

La couleur émise par un corps chauffé ne dépend pas de sa composition chimique, mais uniquement de sa température.

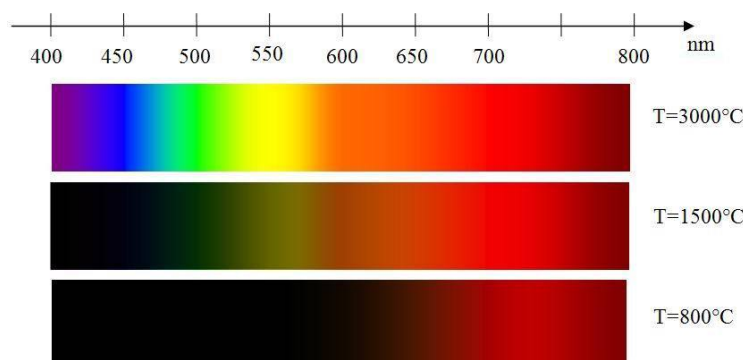


FIGURE 13.6 – Les spectres d'émission dépendent de la température du corps émetteur.

#### Exemple 13.1

On peut appliquer ces principes à l'astrophysique. En étudiant les spectres de la lumière des étoiles qui nous arrivent sur Terre, on peut en connaître la température de ces étoiles. Plus le spectre est riche en couleurs, plus l'étoile est chaude.

### 13.2.2 Les spectres d'émission discontinus

Lorsqu'on excite par une tension électrique un gaz enfermé dans une enceinte sous basse pression, il émet une lumière que l'on peut décomposer grâce à un prisme. Le résultat de cette décomposition est un spectre d'émission discontinu. Un spectre d'émission discontinu est constitué de raies fines et colorées entrecoupées de bandes noires. A chaque élément chimique correspond un spectre d'émission.

**Exemple 13.2**

Le spectre d'émission produit par une lampe à vapeur de mercure ou une lampe à vapeur de sodium est discontinu. La lumière émise par ces lampes est composée d'un nombre limité de radiations.

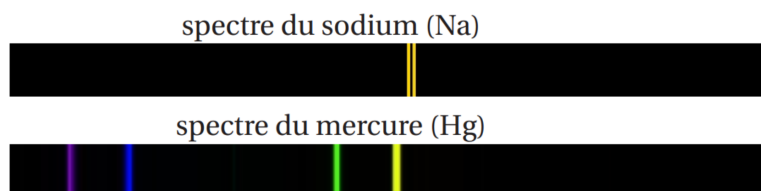


FIGURE 13.7 – Spectres du sodium et du mercure

**Propriété 13.3**

Un gaz sous faible pression, traversé par une décharge électrique, émet de la lumière. C'est le principe de la lampe à vapeur de néon (les fameux... néons) ou autres gaz pour d'autres couleurs.

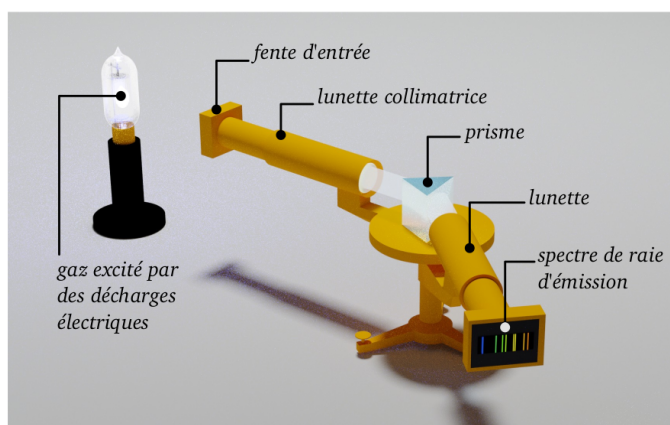


FIGURE 13.8 – Montage expérimental permettant l'observation du spectre émis par un gaz.

## 13.3 Préparation à l'évaluation

### 13.3.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                             | OK                       | À revoir                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Propagation rectiligne de la lumière.                                                                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Vitesse de propagation de la lumière dans le vide ou dans l'air.                                                                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Lumière blanche, lumière colorée.                                                                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Spectres d'émission : spectres continus d'origine thermique, spectres de raies.                                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.                                                                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                            | OK                       | À revoir                 |
| Citer la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Caractériser le spectre du rayonnement émis par un corps chaud.                                                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Caractériser un rayonnement monochromatique par sa longueur d'onde dans le vide ou dans l'air.                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Exploiter un spectre de raies.                                                                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 13.3.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 13.1 Généralités sur la lumière

1. Comment appelle-t-on la lumière qui nous éclaire en plein jour?
2. À quelle vitesse se propage la lumière?
3. Pourquoi dit-on qu'on peut la « décomposer »?
4. Ordonner les longueurs d'ondes des radiations bleue, verte et rouge qui la compose.

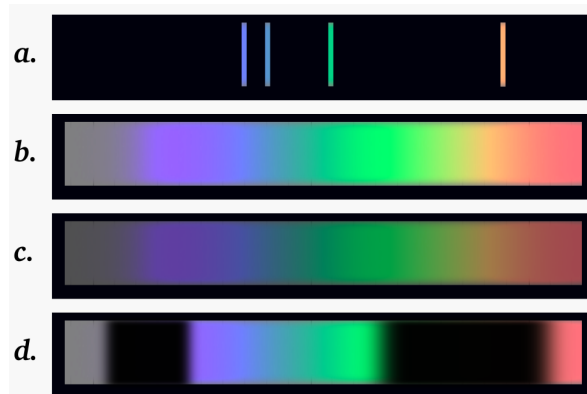
#### \* Problème 13.2 Des longueurs d'onde particulières

1. La longueur d'onde d'une radiation lumineuse est de  $4,30 \times 10^{-7}$  m. La convertir en nanomètre. Cette radiation se trouve-t-elle dans le domaine du visible?
2. Un laser a pour longueur d'onde  $\lambda = 1200$  nm. Cette radiation se trouve-t-elle dans le domaine du visible?
3. Convertir cette longueur d'onde en mètre, et écrire le résultat en notation scientifique.

#### \*\* Problème 13.3 Différences entre les spectres

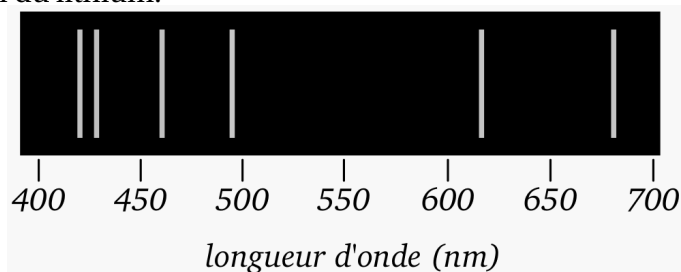
Parmi les quatre spectres de la figure ci-contre,

1. lesquels sont des spectres continus?
2. lesquels sont des spectres de raie d'émission?
3. lequel est émis par un corps chaud?
4. lequel est émis par un corps très chaud?
5. lequel est émis par une lampe spectrale?



**\*\* Problème 13.4 Couleurs d'un spectre inconnu**

La figure ci-dessous présente un spectre en niveau de gris des raies d'émission du lithium.

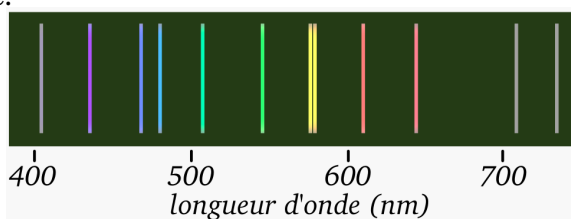


| Longueur d'onde (nm) | Couleur |
|----------------------|---------|
| 400-440 nm           | Violet  |
| 440-510 nm           | Bleu    |
| 510-570 nm           | Vert    |
| 570-590 nm           | Jaune   |
| 590-610 nm           | Orange  |
| 610-750 nm           | Rouge   |

Déterminer la valeur de la longueur d'onde des six radiations présentes sur ce spectre. Puis, en vous aidant du tableau ci-contre, préciser la couleur de chaque radiation.

**\*\* Problème 13.5 Identifier les éléments composant un gaz**

La figure ci-dessous représente le spectre d'émission d'une lampe spectrale. On donne les longueurs d'ondes en nanomètre des principales raies d'émission de quelques éléments ci-contre.



| Élément | Longueur d'onde (nm)              |
|---------|-----------------------------------|
| Mercure | 404 - 435 - 546 - 577 - 579 - 708 |
| Zinc    | 481 - 468 - 472 - 518 - 636       |
| Hélium  | 587 - 668 - 706                   |
| Cadmium | 468 - 480 - 508 - 610 - 644 - 734 |

1. Ce spectre correspond-il à une lumière polychromatique ou monochromatique?
2. Ce spectre est-il continu ou discontinu?
3. Associer à chacune des raies du spectre à un élément chimique de la liste.
4. En déduire la nature des éléments présents dans cette lampe.

**Correction du problème 13.1**

1. La lumière qui nous parvient est de la lumière blanche.
2. La lumière se propage à  $300\,000\text{ km}\cdot/\text{s}$ .
3. La lumière blanche peut se décomposer car on peut montrer qu'elle est un mélange de toutes les couleurs de l'arc en ciel.
4. De la longueur d'onde la plus courte à la plus longue : bleu - vert - rouge.

**Correction du problème 13.2**

1.  $\lambda = 4,30 \times 10^{-7}\text{ m} = 430 \times 10^{-9}\text{ m} = 430\text{ nm}$ . L'ordre de grandeur de l'intervalle des longueurs d'onde du spectre visible est de 400 nm à 800 nm donc cette longueur d'onde est visible.
2. Cette radiation est plus grande que 800 nm, elle se situe dans l'infrarouge, elle n'est pas visible.
3.  $\lambda = 1200\text{ nm} = 1200 \times 10^{-9}\text{ m} = 1,200 \times 10^{-6}\text{ m}$ .

**Correction du problème 13.3**

1. Les spectres b et c sont continus.
2. Le spectre a est un spectre de raie d'émission.
3. Le spectre c est émis par un corps chaud puisque les longueurs d'onde du bleu au rouge sont présentes.
4. Le spectre b vient d'un corps encore plus chaud car l'intensité du bleu est plus intense.
5. Le spectre a est émis par une lampe spectrale.

**Correction du problème 13.4**

| Longueur d'onde (nm) | Couleur de la raie |
|----------------------|--------------------|
| 420                  | Violette           |
| 430                  | Violette           |
| 460                  | Bleue              |
| 495                  | Bleue              |
| 618                  | Rouge              |
| 682                  | Rouge              |

**Correction du problème 13.5**

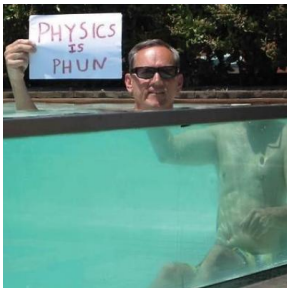
1. C'est une lumière polychromatique, il y a plusieurs couleurs présentes.
2. Le spectre est discontinu, il manque de la lumière pour certaines longueurs d'ondes.
3. On retrouve les raies d'émission du mercure et du cadmium. De gauche à droite et en nm : Hg - 404, Hg - 435, Cd - 468, Cd - 480, Cd - 508, Hg - 546, Hg - 577, Hg - 579, Cd - 610, Cd - 644, Hg - 708, Cd - 734.
4. Les éléments présents dans la lampe sont le mercure et le cadmium.

|                                                                                                                                             |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p>Comment se propage la lumière dans le vide ou les milieux matériels transparents et homogènes ?</p> <p>CHAPITRE 13</p>      | <p>COURS</p> <p>Quelle est la vitesse de propagation de la lumière dans le vide ?</p> <p>CHAPITRE 13</p>                                           | <p>COURS</p> <p>Quelle formule relie la distance <math>d</math> parcourue par la lumière, le temps <math>\Delta t</math> parcouru par celle-ci et la vitesse de propagation <math>c</math> de la lumière ?</p> <p>CHAPITRE 13</p> | <p>COURS</p> <p>Qu'est ce qu'une lumière monochromatique ?</p> <p>CHAPITRE 13</p>                                                                   |
| <p>COURS</p> <p>Comment appelle-t-on une lumière composée de rayonnements de couleurs différentes ?</p> <p>CHAPITRE 13</p>                  | <p>COURS</p> <p>Définir un spectre continu.</p> <p>CHAPITRE 13</p>                                                                                 | <p>COURS</p> <p>Définir un spectre de raies d'émission.</p> <p>CHAPITRE 13</p>                                                                                                                                                    | <p>COURS</p> <p>Quel est le spectre de la lumière émise par un gaz sous faible pression excité par une décharge électrique ?</p> <p>CHAPITRE 13</p> |
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Un spectre de raies est-il composé d'une infinité de radiations colorées ?</p> <p>CHAPITRE 13</p>                    | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Lorsque la température augmente, comment évolue le spectre de la lumière émise par un corps chaud ?</p> <p>CHAPITRE 13</p>  | <p>COURS</p> <p>La lumière est une onde...</p> <p>CHAPITRE 13</p>                                                                                                                                                                 | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Quels instruments de laboratoire nous permet d'obtenir le spectre d'une lumière ?</p> <p>CHAPITRE 13</p>                     |
| <p>COURS</p> <p>Quelle est l'unité usuelle pour exprimer les longueurs d'onde des radiations de la lumière blanche ?</p> <p>CHAPITRE 13</p> | <p>COURS</p> <p>Que signifie l'adjectif "caractéristique" dans l'expression spectre caractéristique d'une entité chimique ?</p> <p>CHAPITRE 13</p> | <p>COURS</p> <p>Donner un encadrement des longueurs d'ondes des radiations de la lumière visible par l'Homme.</p> <p>CHAPITRE 13</p>                                                                                              | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'un système dispersif ?</p> <p>CHAPITRE 13</p>                                                                          |

|                                                                                                               |                                                                                                                      |                                                                                                                                           |                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Il s'agit d'une lumière composée d'une seule radiation (une seule couleur) de longueur d'onde précise.</p> | $c = \frac{d}{\Delta t}$                                                                                             | $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$                                                                                      | <p>Dans ces milieux, la lumière se propage en ligne droite.</p>                 |
| <p>Il s'agit d'un spectre de raies.</p>                                                                       | <p>Un spectre de raies d'émissions présente une suite de raies colorées distinctes. C'est un spectre discontinu.</p> | <p>Un spectre continu est constitué d'une bande colorée unique qui contient une infinité de rayonnements monochromatiques différents.</p> | <p>Il s'agit d'une lumière polychromatique.</p>                                 |
| <p>On peut utiliser un prisme ou un réseau.</p>                                                               | <p>... électromagnétique.</p>                                                                                        | <p>Il s'enrichit vers le violet.</p>                                                                                                      | <p>Un spectre de raie n'est composé que d'un nombre fini de raies colorées.</p> |
| <p>Un système dispersif est capable de décomposer la lumière incidente en lumières colorées.</p>              | <p>La lumière visible est comprise entre les longueurs d'onde de 400 nm à 750 nm.</p>                                | <p>Il souligne le fait que les raies sont propres à l'entité chimique considérée.</p>                                                     | <p>On utilise le nanomètre nm.</p>                                              |

# CHAPITRE 14

## Réfraction et réflexion de la lumière

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                   | ☺ Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14.1 Réflexion de la lumière . . . . . 146<br>14.2 Réfraction de la lumière . . . . . 146<br>14.3 Dispersion de la lumière . . . . . 148<br>14.4 Préparation à l'évaluation . . . . . 148<br>Savoir et savoir-faire ■ Test de préparation au DS                   |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                           | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 🎧 <i>René Descartes (1596-1650)</i> 🎧 <i>La lumière se propage en ligne droite</i><br><br>  | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 5 p 252    <input type="checkbox"/> Ex. 19 p 254<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 8 p 253    <input type="checkbox"/> Ex. 27 p 256<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 10 p 253<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 12 p 253 </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 32 p 258    <input type="checkbox"/> Ex. 33 p 258 </div> |

## 14.1 Réflexion de la lumière

### Définition 14.1: Réflexion de la lumière

La **réflexion** d'un rayon lumineux sur une surface se fait avec le **même** angle que l'angle d'incidence.

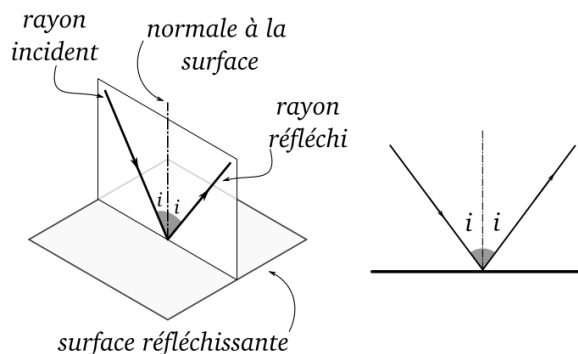


FIGURE 14.1 – L'angle de réflexion et l'angle d'incidence sont identiques. Ils se mesurent par rapport à la normale à la surface réfléchissante.

S'entraîner — Ex. 10 p 253

## 14.2 Réfraction de la lumière

### Définition 14.2: Réfraction de la lumière

Quand un rayon lumineux traverse une surface qui sépare deux milieux différents, il y a un **changement de direction** du rayon lumineux, c'est le phénomène de **réfraction** de la lumière. Il est décrit par la loi de Snell-Descartes :

..... (14.1)

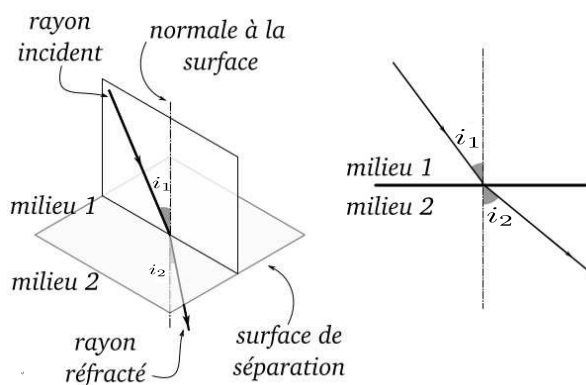


FIGURE 14.2 – La réfraction est le changement de direction de propagation d'un rayon lumineux quand il change de milieu. Les angles d'incidence  $i_1$  et de réfraction  $i_2$  sont liés aux indices optiques  $n_1$  et  $n_2$  des deux milieux grâce à la loi de Snell-Descartes.

### Exemple 14.1

On donne quelques valeurs approchées d'indices de réfraction de milieux transparents.

| Milieu           | Indice (sans unité) |
|------------------|---------------------|
| vide             | 1,00000             |
| air              | 1,00003             |
| eau              | 1,33                |
| éthanol          | 1,36                |
| verre (Flint)    | 1,62                |
| verre (Crown)    | 1,52                |
| silice (quartz)  | 1,46                |
| PMMA (plastique) | 1,49                |
| diamant          | 2,42                |

TABLE 14.1 – Indices de réfraction de quelques milieux

**Exemple 14.2**

Un rayon lumineux passe de l'eau à l'air. L'angle d'incidence est  $i = 23^\circ$ . Calculons l'angle de réfraction  $r$  avec lequel le rayon lumineux émerge de l'eau.

14.3 Dispersion de la lumière

Définition 14.3: Dispersion de la lumière

Un **prisme** est un objet en verre qui utilise le phénomène de réfraction de la lumière pour **décomposer** un mélange de radiation lumineuses, car le phénomène dépend de la **longueur d'onde** de la lumière traversant le prisme. La lumière bleue est la plus déviée par un prisme, la déviation se faisant du côté de la base du prisme.

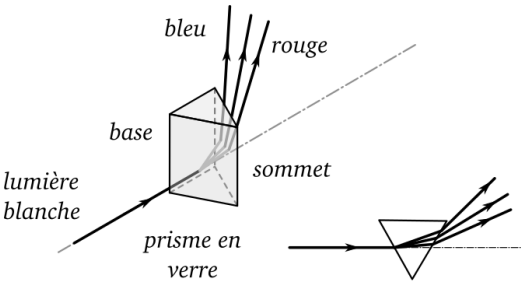


FIGURE 14.3 – Un prisme décompose la lumière en déviant les rayons lumineux selon leur couleur. La lumière bleue est plus déviée que la lumière rouge. La déviation se fait du côté de la base du prisme. L'ordre des couleurs est celui de l'arc en ciel.

**Remarque.** La spectroscopie permet d’avoir des informations notamment sur la composition chimique de la source émettrice de lumière. C’est une technique d’analyse fondamentale en science.

 S'entraîner —

☐ Ex. 5 p 252

☐ Ex. 8 p 253

☐ Ex. 12 p 253

☐ Ex. 19 p 254

☐ Ex. 27 p 256

☐ Ex. 32 p 258

☐ Ex. 33 p 258

14.4 Préparation à l'évaluation

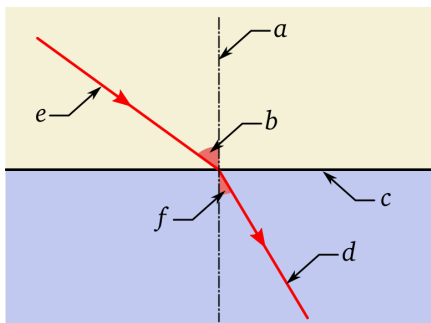
14.4.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                 | OK                       | À revoir                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Propagation rectiligne de la lumière.                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction. Indice optique d'un milieu matériel. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Dispersion de la lumière blanche par un prisme ou un réseau.                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                | OK                       | À revoir                 |
| Exploiter les lois de Snell-Descartes pour la réflexion et la réfraction.                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Décrire et expliquer qualitativement le phénomène de dispersion de la lumière par un prisme.     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacités mathématiques :                                                                        |                          |                          |
| Utiliser la fonction sinus et sa fonction inverse (arcsin).                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 14.4.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 14.1 Un schéma à connaître par cœur

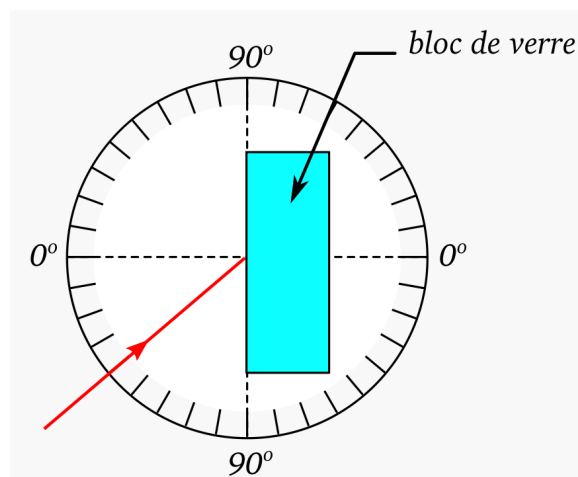
Reproduire le schéma de la figure ci-dessous et le légender.



#### \* Problème 14.3 Un bloc de verre

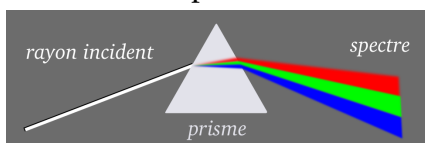
Un rayon lumineux provenant d'un laser arrive à la surface d'un bloc de verre.

1. Lire la mesure de l'angle d'incidence.
2. Déterminer l'angle de réflexion et tracer le rayon réfléchi.



#### \* Problème 14.4 Rôle du prisme

On réalise une expérience en dirigeant un faisceau de lumière blanche vers un prisme en verre.



1. Quelle propriété du prisme est à l'origine de la décomposition d'une lumière.

#### \*\* Problème 14.2 Retrouver un angle d'incidence

Un rayon lumineux se propageant dans l'air arrive sur une face plane d'un bloc de verre. On précise les indices optiques suivants :  $n_{\text{air}} = 1,00$  et  $n_{\text{verre}} = 1,50$ .

1. Schématiser la situation illustrant le phénomène de réfraction en faisant apparaître les rayons incident et réfracté.
2. Calculer la valeur de l'angle d'incidence permettant d'obtenir un angle de réfraction de  $35^\circ$ .

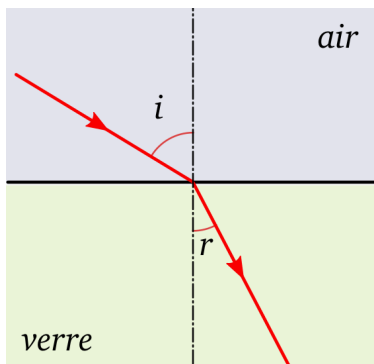
2. Justifier que la lumière du Soleil (la lumière blanche) n'est pas une lumière monochromatique.
3. Quelles sont les radiations les plus déviées par le prisme?
4. On remplace le faisceau de lumière solaire par un faisceau monochromatique rouge. Qu'observe-t-on?

### Correction du problème 14.1

a : Normale, b : angle d'incidence, c : interface entre les milieux, d : rayon réfracté, e : rayon incident, f : angle de réfraction.

### Correction du problème 14.2

1.



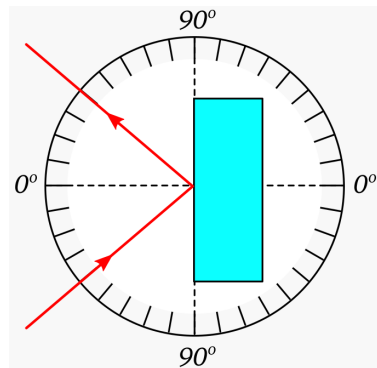
2. D'après la loi de Snell-Descartes,

$$\begin{aligned}
 n_{air} \times \sin(i) &= n_{verre} \times \sin(r) \\
 \frac{n_{air} \times \sin(i)}{n_{air}} &= \frac{n_{verre} \times \sin(r)}{n_{air}} \\
 \sin(i) &= \frac{n_{verre} \times \sin(r)}{n_{air}} \\
 i &= \sin^{-1} \left( \frac{n_{verre} \times \sin(r)}{n_{air}} \right) \\
 i &= \sin^{-1} \left( \frac{1.5 \times \sin(35)}{1} \right) \\
 i &\approx 59^\circ
 \end{aligned}$$

### Correction du problème 14.3

1. On lit  $i = 40^\circ$  par rapport à la normale à la surface du verre.

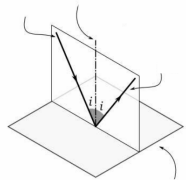
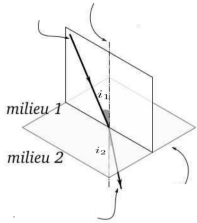
2.

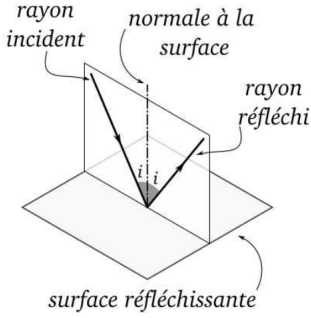
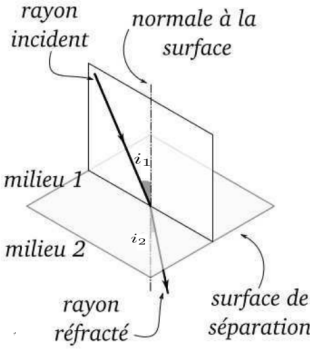


### Correction du problème 14.4

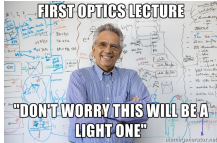
1. Le prisme disperse la lumière, il sépare les différentes composantes colorées.
2. La lumière du Soleil n'est pas monochromatique car on peut disperser cette lumière en plusieurs faisceaux de couleurs différentes à l'aide d'un prisme.

3. La radiation bleue est la plus déviée par un prisme.
4. On constate que le faisceau rouge sort du prisme sans être dispersé, car c'est une radiation monochromatique.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p>Comment est représentée la lumière dans le modèle du rayon lumineux ?</p> <p>CHAPITRE 14</p>                                                                                                                                                                                          | <p>COURS</p> <p>Comment se propage la lumière dans le vide ou les milieux matériels transparents et homogènes ?</p> <p>CHAPITRE 14</p> | <p>COURS</p> <p>Quel phénomène est décrit par un changement de direction de la lumière lorsque celle-ci change de milieu de propagation ?</p> <p>CHAPITRE 14</p>                     | <p>COURS</p> <p>Compléter la légende:</p>  <p>CHAPITRE 14</p> |
| <p>COURS</p> <p>Compléter la légende:</p>  <p>CHAPITRE 14</p>                                                                                                                                                        | <p>COURS</p> <p>Définir l'angle de réflexion.</p> <p>CHAPITRE 14</p>                                                                   | <p>COURS</p> <p>Comment se réfléchit un rayon lumineux sur une surface si celui-ci arrive avec un angle d'incidence <math>i</math> par rapport à la normale ?</p> <p>CHAPITRE 14</p> | <p>COURS</p> <p>Donner la loi de Snell-Descartes.</p> <p>CHAPITRE 14</p>                                                                         |
| <p>COURS</p> <p>Comment se nomme la principale loi de la réfraction ?</p> <p>CHAPITRE 14</p>                                                                                                                                                                                                          | <p>COURS</p> <p>De quoi dépendent les indices optiques (de réfraction) des milieux ?</p> <p>CHAPITRE 14</p>                            | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>On a l'équation suivante:</p> $\sin(i_2) = \frac{n_1 \sin(i_1)}{n_2}$ <p>Comment isoler <math>i_2</math> ?</p> <p>CHAPITRE 14</p>                             | <p>COURS</p> <p>Décrire pourquoi un prisme est capable de disperser la lumière.</p> <p>CHAPITRE 14</p>                                           |
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Dans quel cas le rayon est réfracté avec un grand angle ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lorsque les deux indices optiques de milieu ont une valeur similaire,</li> <li>• Quand les deux indices ont des valeurs très différentes.</li> </ul> <p>CHAPITRE 14</p> | <p>COURS</p> <p>Dans quel plan se situe le rayon réfléchi ou réfracté ?</p> <p>CHAPITRE 14</p>                                         | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Isoler le terme <math>n_1</math> dans la loi de Snell-Descartes.</p> <p>CHAPITRE 14</p>                                                                       |                                                                                                                                                  |

|                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                        | <p>Il s'agit de la réfraction.</p>                                                                                                                                                                                                                      | <p>Dans ces milieux, la lumière se propage en ligne droite.</p>                                                                                 | <p>La lumière est représentée par une demi-droite dont l'origine est la source de lumière.</p>                        |
| $n_1 \times \sin(i_1) = n_2 \times \sin(i_2)$                                                                                                                                                                                          | <p>Le rayon réfléchi repart avec un angle <math>i</math> par rapport à la normale.</p>                                                                                                                                                                  | <p>L'angle de réflexion est l'angle formé par le rayon incident et la normale à l'interface.</p>                                                |                                    |
| <p>Un prisme permet de décomposer la lumière blanche car le phénomène de réfraction dépend de la longueur d'onde de la lumière incidente. Ainsi, les rayons ne sont pas déviés de la même manière s'ils n'ont pas la même couleur.</p> | <p>On applique la fonction sinus inverse (aussi nommée arcsinus) à gauche et à droite de l'équation et on obtient:</p> $\sin^{-1}(\sin(i_2)) = \sin^{-1}\left(\frac{n_1 \sin(i_1)}{n_2}\right)$ $i_2 = \sin^{-1}\left(\frac{n_1 \sin(i_1)}{n_2}\right)$ | <p>L'indice du milieu dépend évidemment du milieu (air, eau, verre, etc...) mais aussi de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse.</p> | <p>La loi de Snell-Descartes.</p>                                                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                        | $n_1 \times \sin(i_1) = n_2 \times \sin(i_2)$ $n_1 = \frac{n_2 \times \sin(i_2)}{\sin(i_1)}$                                                                                                                                                            | <p>Le rayon réfléchi ou réfracté se situe dans le plan du rayon incident et de la normale.</p>                                                  | <p>Lorsque les indices sont proches, alors la déviation est moindre que lorsque les indices sont très différents.</p> |

## Lentilles minces convergentes

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                            | ☺ Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15.1 Lentille mince convergente . . . . . 153<br>15.2 Modèle simplifié de l'œil . . . . . 156<br>15.3 Préparation à l'évaluation . . . . . 156<br>Savoir et savoir-faire    ■    Test de préparation au DS |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                    | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 🎧 <i>Télescopes géants : toujours plus grands, toujours plus loin</i><br><br>                                           | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 2 p 270             <input type="checkbox"/> Ex. 16 p 272           </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 5 p 270             <input type="checkbox"/> Ex. 18 p 273           </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 6 p 270           </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 8 p 271           </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 21 p 274           </div> |

### 15.1 Lentille mince convergente

#### Définition 15.1: Lentille mince convergente

- Les lentilles minces sont des milieux transparents délimités par deux surfaces, dont l'une au moins n'est pas plane.
- Les lentilles convergentes sont plus minces aux bords qu'au centre.

**Définition 15.2: Distance focale et foyers**

Une lentille mince convergente est caractérisée par sa distance focale  $f$  qui permet de définir la position des foyers images  $F$  et foyer objet  $F'$ .

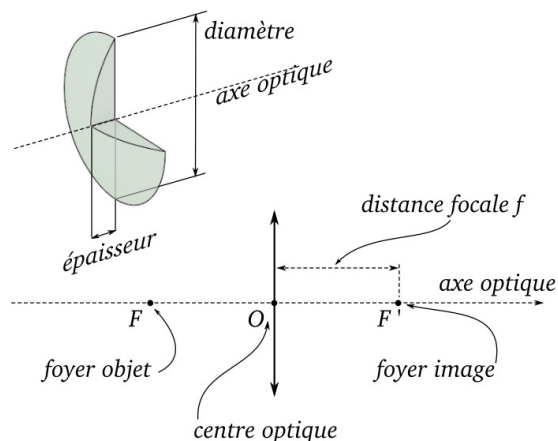


FIGURE 15.1 – Une lentille mince convergente est un objet qui permet de concentrer les rayons lumineux. Elle est caractérisée par son axe optique, sa distance focale  $f$  qui permet de placer ses foyers objet  $F$  et image  $F'$  par rapport à son centre optique  $O$ .

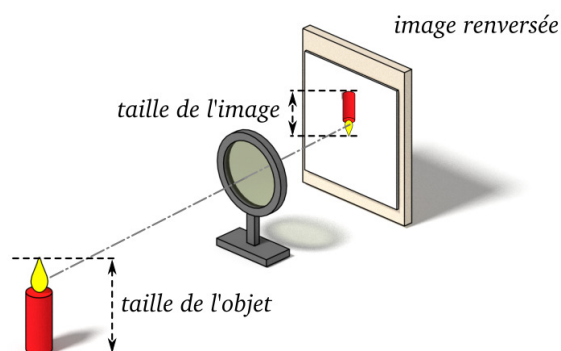
**Propriété 15.1: Tracé des rayons particuliers**

Une lentille mince convergente possède les propriétés optiques suivantes :

- Tout rayon incident passant par le centre optique  $O$  de la lentille n'est pas dévié en la traversant.
- Tout rayon incident parallèle à l'axe optique de la lentille ressort en passant par le foyer image  $F'$ .
- Tout rayon incident passant par le foyer objet  $F$  émerge de la lentille parallèle à l'axe optique.
- Le foyer objet  $F$  et le foyer image  $F'$  sont symétriques par rapport au centre optique  $O$ .

**Remarque.** On peut prédire la position de l'image connaissant les caractéristiques géométriques de la lentille et la position de l'objet grâce à une construction géométrique (voir l'exercice à la fin du chapitre).

S'entraîner — ☐ Ex. 2 p 270 ☐ Ex. 5 p 270

**Définition 15.3: Agrandissement**

Une lentille mince peut former une image réelle d'un objet en la projetant sur un écran. Cette image sera inversée et plus ou moins grande. On précisera alors le grandissement

$$\dots\dots\dots (15.1)$$

FIGURE 15.2 – Le grandissement est le rapport entre la taille de l'image et la taille de l'objet. Le grandissement est négatif si l'image est renversée.

S'entraîner — ☐ Ex. 6 p 270 ☐ Ex. Ex. 16 p 272 ☐ Ex. 18 p 273 ☐ Ex. Ex. 21 p 274

**Exercice 15.1.** Tracer sur le papier millimétré l'image d'un objet en respectant les différentes étapes.

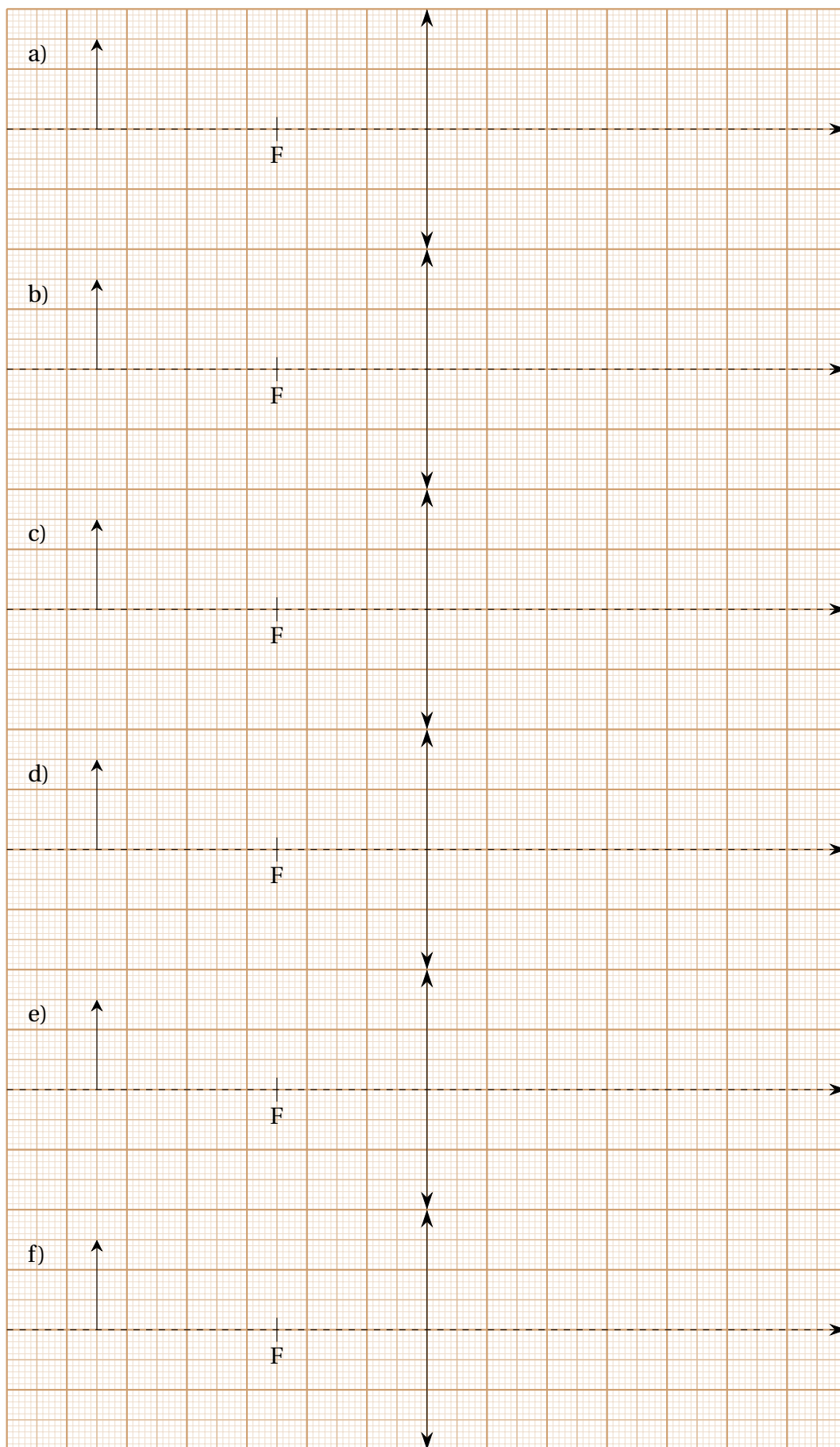


FIGURE 15.3 – (a) On considère un point  $B$  sur un objet dont on veut construire l'image.

(b) Depuis ce point, on trace un rayon parallèle à l'axe optique qui passe ensuite par le foyer image  $F'$  après traversée de la lentille.

(c) Puis on trace un rayon passant par le centre optique  $O$  qui n'est pas dévié.

(d) On trace un rayon passant par le foyer objet  $F$  et qui sort de la lentille parallèle à l'axe optique.

(e) Ces trois rayons se croisent en un point  $B'$  image de  $B$ .

(f) Tous les rayons quittant le point objet  $B$  et traversant la lentille convergeront vers le point image  $B'$ , voir la zone grise sur.

15.2 Modèle simplifié de l'œil

Définition 15.4: Modèle de l'œil

On modélise le fonctionnement optique de l'œil comme étant une lentille de focale variable qui projette l'image d'un objet sur la rétine, il est équipé d'un diaphragme (l'iris) qui laisse entrer plus ou moins de lumière pour éviter l'éblouissement. L'œil ne se déforme pas, pour accommoder, c'est le cristallin qui se déforme pour modifier sa focale.

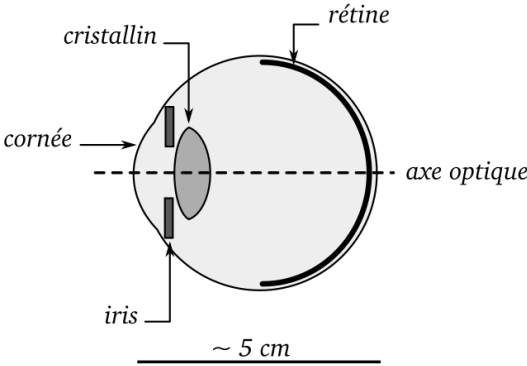


FIGURE 15.4 – L'œil simplifié est composé d'un iris qui laisse plus ou moins la lumière entrer dans l'œil, puis d'un cristallin qui est une lentille déformable, elle a une focale variable qui permet l'accommodation, et d'une rétine couverte de cellules nerveuses sensibles à la lumière (cônes et bâtonnets) sur laquelle se projette l'image des objets observés.

S'entraîner — Ex. 8 p 271

15.3 Préparation à l'évaluation

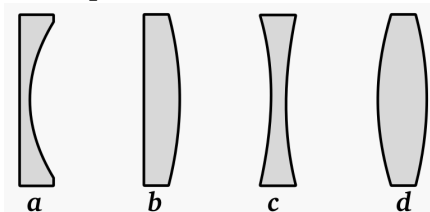
15.3.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                                                                       | OK                       | À revoir                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Lentilles, modèle de la lentille mince convergente : foyers, distance focale.                                                                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Image réelle d'un objet réel à travers une lentille mince convergente.                                                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Grandissement.                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| L'œil, modèle de l'œil réduit.                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                                                                      | OK                       | À revoir                 |
| Caractériser les foyers d'une lentille mince convergente à l'aide du modèle du rayon lumineux.                                                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Utiliser le modèle du rayon lumineux pour déterminer graphiquement la position, la taille et le sens de l'image réelle d'un objet plan réel donnée par une lentille mince convergente. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Définir et déterminer géométriquement un grandissement.                                                                                                                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Modéliser l'œil.                                                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacités mathématiques :                                                                                                                                                              |                          |                          |
| Utiliser le théorème de Thalès.                                                                                                                                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 15.3.2 Test de préparation au DS

#### \* Problème 15.1 Un schéma à connaître par cœur

Parmi les lentilles de la figure ci-dessous, indiquer celles qui sont des lentilles minces convergentes en justifiant votre réponse.



#### \*\* Problème 15.2 Tracer une image

Un objet  $AB$  de taille 1,0 cm est placé à 5,0 cm avant le centre optique  $O$  d'une lentille convergente, de distance focale  $f_0 = 2,0$  cm,  $AB$  est perpendiculaire à l'axe optique.

1. Construire l'image  $A'B'$  de  $AB$  en utilisant les trois rayons utiles. On prendra pour échelle que 1 cm sur le schéma correspond à 0,5 cm dans la réalité.
2. Calculer le grandissement  $\gamma$ .

#### \* Problème 15.3 Modèle de l'œil

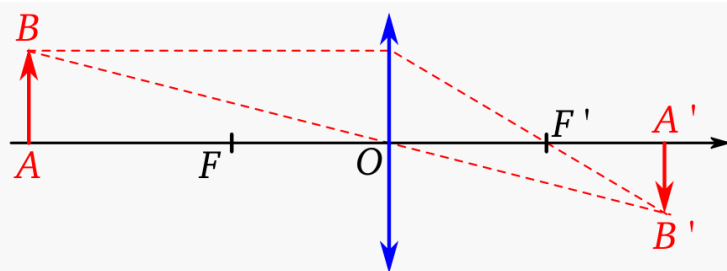
L'œil réel peut être modélisé par trois éléments optiques.

1. Citer ces trois éléments optiques.
2. Indiquer à quelles parties anatomique de l'œil réel correspondent ces éléments.
3. Indiquer leur rôle.
4. Schématiser le modèle de l'œil réduit.

#### \*\* Problème 15.4 Un problème de géométrie

Sur le schéma de la figure ci-contre, l'objet à une taille de 2 cm,  $OA = 15$  cm et  $OA' = 20$  cm.

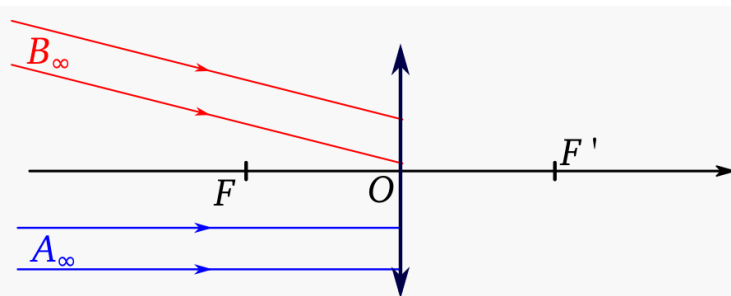
1. Expliquer comment on peut déterminer le grandissement  $\gamma$  à l'aide du théorème de Thalès.
2. En déduire la taille de l'image  $A'B'$ .



#### \*\* Problème 15.5 Un problème de géométrie

Une lentille mince convergente forme l'image  $A'B'$  d'un objet  $AB$  situé à l'infini. Le point  $A$  est sur l'axe optique, les rayons lumineux en rouge indiquent la direction du point  $B$ .

1. Où se situe l'image  $A'B'$ ?
2. Reproduire le schéma et tracer le rayon lumineux qui permet de construire l'image.
3. Construire l'image  $A'B'$ .

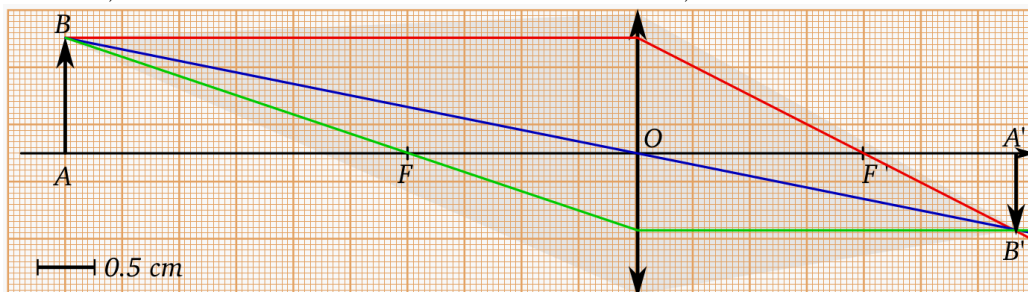


## Correction du problème 15.1

Réponses b et d. Une lentille mince convergente doit avoir son centre plus épais que ces bords.

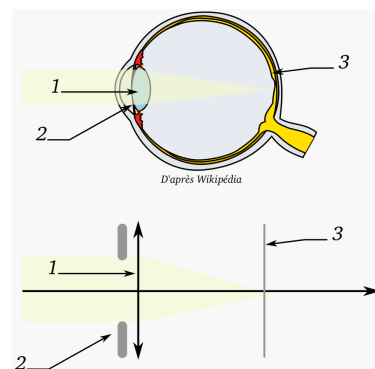
## Correction du problème 15.2

On construit un rayon parallèle à l'axe optique venant de  $B$  qui sort de la lentille en passant par  $F'$ , en rouge. On construit un rayon passant par  $F$  venant de  $B$  qui sort de la lentille parallèle à l'axe optique, en vert. On construit un rayon issu de  $B$ , passant par  $O$  qui n'est pas dévié, en bleu. Tous les rayons partant de  $B$  et qui traversent la lentille, convergent en  $B'$ , fond en gris. Le point d'intersection des rayons dessinés en rouge, bleu et vert est l'image  $B'$  de  $B$ . Grâce à l'échelle, on peut faire une lecture graphique des dimensions sur le schéma et on mesure que  $A'B' = 0,65 \text{ cm}$  et  $OA' = 3,3 \text{ cm}$ . On calcule alors le grandissement  $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{0,65}{1,0} = 0,65$ . On peut également utiliser  $\gamma = \frac{OA'}{OA} = \frac{3,3}{5,0} = 0,66$ .



## Correction du problème 15.3

Le fonctionnement optique de l'œil peut être modélisé comme étant formé d'un diaphragme (l'iris) (numéro 2 sur le schéma ci-contre) qui laisse passer plus ou moins de lumière, suivi d'une lentille (le cristallin) (numéro 1) dont la focale peut changer, le cristallin peut se déformer sous l'action de muscles, et d'un écran (numéro 3) tapissé de cellules nerveuses sensibles à la lumière, appelé rétine.

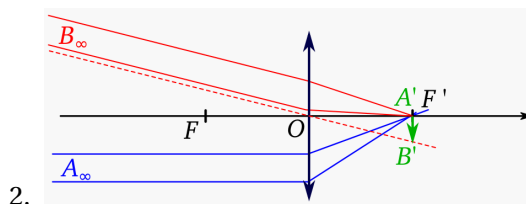


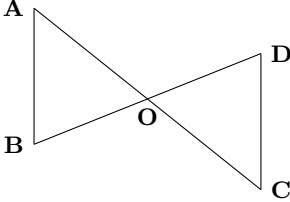
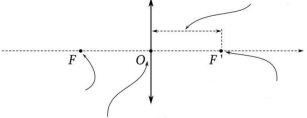
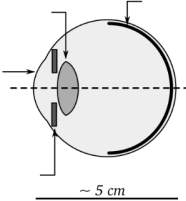
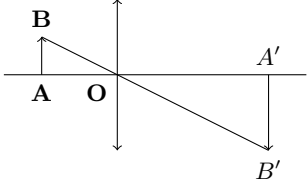
## Correction du problème 15.4

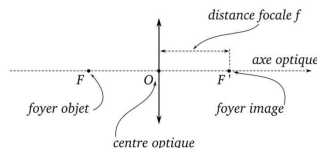
- On applique le théorème de Thalès en considérant les droites  $(BB')$  et  $(AA')$  qui se coupent en  $O$ , ainsi que les deux droites parallèles  $(AB)$  et  $(A'B')$ . On a alors la relation suivante :  $\frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{AB} = \gamma$ .
- On a  $\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$  donc pour isoler  $A'B'$  on multiplie par  $AB$  à gauche et à droite de l'équation :  $\frac{A'B'}{AB} \times AB = \frac{OA'}{OA} \times AB$  et finalement  $A'B' = \frac{OA'}{OA} \times AB = \frac{20}{15} \times 2 \approx 2,7 \text{ cm}$ .

## Correction du problème 15.5

- Le plan image se situe dans le plan contenant le foyer image. Le point  $A'$  est au point  $F'$ . Pour trouver le point  $B'$ , on prend un rayon parallèle aux rayons rouges, mais passant par le centre de la lentille  $O$ . Ce rayon coupe le plan du foyer image au point  $B'$ .



|                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p>Pourquoi la lumière est-elle déviée par les lentilles minces convergentes ?</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                                                 | <p>COURS</p> <p>Dans la figure ci-dessous, appliquer le théorème de Thalès.</p>  <p>CHAPITRE 15</p> | <p>COURS</p> <p>Qu'est-ce qu'une lentille mince convergente ?</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                                                                                             | <p>COURS</p> <p>Compléter le schéma suivant avec le vocabulaire adapté:</p>  <p>CHAPITRE 15</p> |
| <p>COURS</p> <p>Comment ressort d'une lentille mince convergente un rayon passant par le foyer objet ?</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                                      | <p>COURS</p> <p>Comment ressort d'une lentille mince convergente un rayon passant par le centre optique ?</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                                     | <p>COURS</p> <p>Comment ressort d'une lentille mince convergente un rayon parallèle à l'axe optique ?</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                                                     | <p>COURS</p> <p>Donner la formule du grandissement.</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                                                                                         |
| <p>COURS</p> <p>Compléter le schéma suivant avec le vocabulaire adapté:</p>  <p>CHAPITRE 15</p> | <p>COURS</p> <p>Associer à chaque élément de l'œil un instrument d'optique: iris, cristallin, rétine.</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                                         | <p>COURS</p> <p>Quel est le rôle de la rétine ?</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                                                                                                           | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Isoler le terme la taille de l'image <math>A'B'</math> dans la formule du grandissement.</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                             |
| <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Si le grandissement <math>\gamma</math> est plus grand que 1 alors...</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                                                | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Comment qualifie-t-on l'image si celle-ci est vers le bas alors que l'objet est dirigé vers le haut ?</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                  | <p>SAVOIR-FAIRE</p> <p>Quelle égalité peut-on écrire d'après le théorème de Thalès ?</p>  <p>CHAPITRE 15</p> | <p>COURS</p> <p>Que se passe-t-il lorsque l'œil accommode ?</p> <p>CHAPITRE 15</p>                                                                                                 |



Une lentille mince convergente sont des milieux transparents délimités par deux surfaces dont l'une au moins n'est pas plane. Elle est convergente si elle est plus mince aux bords qu'au centre.

(AB) et (CD) sont parallèles, (AC) et (BD) sont sécantes en O, alors d'après le théorème de Thalès:

$$\frac{OA}{OC} = \frac{OB}{OD} = \frac{AB}{CD}$$

La lumière est déviée car elle traverse différents milieux, selon les lois de la réfraction.

$$\gamma = \frac{\text{taille de l'image}}{\text{taille de l'objet}} = \frac{A'B'}{AB}$$

Il ressort en passant par le foyer image de la lentille.

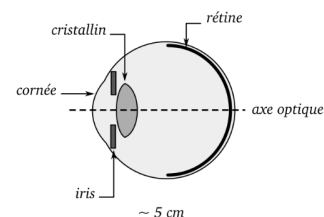
Le rayon n'est pas dévié par la lentille.

Il ressort parallèle à l'axe optique.

$$A'B' = \gamma \times AB$$

La rétine transforme un signal lumineux en signal électrique que le cerveau pourra interpréter.

- iris: diaphragme,
- cristallin: lentille mince convergente,
- rétine: écran.



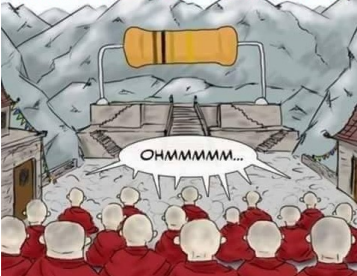
Lorsque l'œil accommode, la géométrie du cristallin change ce qui implique que la distance focale de ce dernier va également être modifiée, ceci afin d'avoir toujours l'image qui se forme sur la rétine.

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

On dit que l'image est renversée.

... l'image est plus grande que l'objet.

## Lois de l'électricité

| ☰ Plan du cours                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 😊 Humour de physicien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>16.1 Circuit électrique et potentiel électrique . . . . . 162</p> <p>16.2 Mesures électriques. . . . . 163</p> <p>16.3 Loi des nœuds. . . . . 163</p> <p>16.4 Loi des mailles . . . . . 164</p> <p>16.5 Caractéristique tension <math>U</math> et courant <math>I</math> d'un dipôle . . . . . 164</p> <p>16.6 Capteurs électriques . . . . . 165</p> <p>16.7 Préparation à l'évaluation . . . . . 166</p> <p>Savoir et savoir-faire ■ Test de préparation au DS</p> | <p><b>REJOIGNEZ LA RÉSISTANCE</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| ◀ Histoire des sciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ✎ Exercices                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p>🎧 <i>Électricité : une histoire à contre-courant</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <div> <input type="checkbox"/> Ex. 2 p 286<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 5 p 286<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 9 p 287<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 10 p 287<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 13 p 287<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 15 p 287 </div> <div> <input type="checkbox"/> Ex. 6 p 286<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 7 p 286<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 20 p 288<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 22 p 289<br/> <input type="checkbox"/> Ex. 31 p 292 </div> |

### Introduction

Les signaux électriques sont très présents dans la vie quotidienne. Les champs d'application peuvent relever des transports, de l'environnement, de la météorologie, de la santé, de la bioélectricité, etc., où de nombreux capteurs associés à des circuits électriques sont mis en œuvre pour mesurer des grandeurs physiques et chimiques. On s'attachera dans ce chapitre à rappeler un certain nombre de lois telles que la loi des mailles ou des nœuds puis nous donnerons la caractéristique tension-intensité d'un dipôle pour finalement appliquer nos connaissances aux capteurs électriques.

## 16.1 Circuit électrique et potentiel électrique

### Définition 16.1: Circuit électrique

Un circuit électrique contient en général :

- un ou plusieurs générateurs de courant ou de tension,
- des récepteurs (lampe, moteur électrique, appareil électronique),
- ces dispositifs sont obligatoirement reliés par au moins deux câbles électriques.

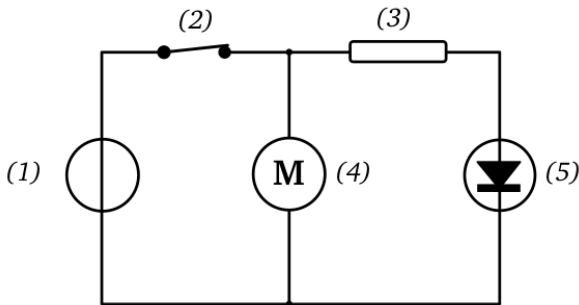


FIGURE 16.1 – Ce circuit électrique se compose d'une source de tension (1), qui alimente un moteur (4) quand on ferme l'interrupteur (2). Quand le moteur est sous tension, une diode lumineuse s'allume (5) et le courant dans cette diode est limité par une résistance électrique (3).

### Définition 16.2: Potentiel électrique

La différence de potentiel entre deux bornes du générateur va mettre en mouvement les charges électriques présentes dans le circuit :

- de la borne + vers la borne - pour les charges positives,
- de la borne - vers la borne + pour les charges négatives.

En traversant un dipôle du circuit, il y a une perte de potentiel, qui est plus faible à la sortie du dipôle. On symbolise la différence de potentiel  $U_{AB} = V_A - V_B$  à l'aide d'une flèche dessinée à côté du dipôle.

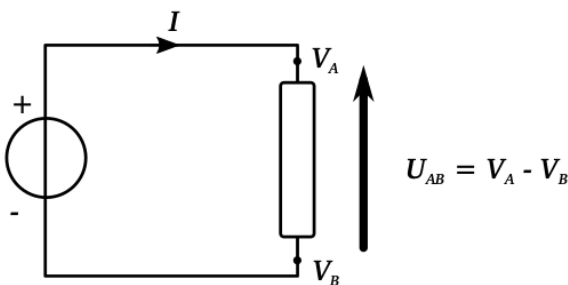


FIGURE 16.2 – Aux bornes A et B d'un dipôle, les potentiels  $V_A$  et  $V_B$  peuvent être différents et il y a une différence de potentiel  $U_{AB} = V_A - V_B$  schématisée par une flèche à côté du dipôle. Le courant électrique  $I$  circule de la borne + du générateur vers la borne -. Il représente le déplacement des charges électriques positives.

⚠ Faire attention aux conventions (la tension aux bornes de la résistance est orientée dans le sens opposé à celui du courant) ⚠

### Définition 16.3: Courant électrique

Le courant électrique est le déplacement des charges électriques positives et négatives dans le circuit. Par convention, on indique seulement le déplacement des charges positives dans le circuit à l'aide d'une flèche dessinée sur une branche du circuit.

## 16.2 Mesures électriques

**Mesure de l'intensité du courant :** L'intensité du courant se mesure en ..... à l'aide d'un ..... .. qui doit être traversé par le courant : il est donc branché ..... Les contrôleurs universels possèdent ainsi deux bornes, l'une pour l'entrée du courant (rouge, avec le symbole  $A$ ) et une pour la sortie du courant (noire) avec le symbole  $COM$ . Pour placer un ampèremètre dans un circuit, il faut ouvrir le circuit pour brancher cet appareil, cela doit se faire avec l'alimentation électrique coupée.

**Mesure de la différence de potentiel ou tension :** La différence de potentiel se mesure en ..... à l'aide d'un ..... muni de deux câbles, l'un relié à une borne de référence ( $COM$ ), l'autre relié à la borne  $V$  (rouge). On mesure la différence de potentiel entre ces deux bornes. Le voltmètre est branché .....

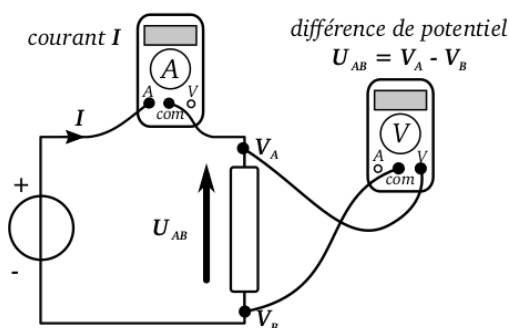


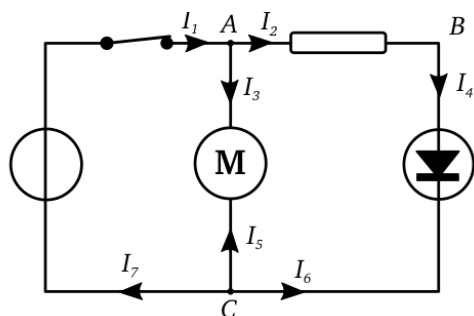
FIGURE 16.3 – Un contrôleur universel mesure l'intensité  $I$  du courant électrique, un autre contrôleur universel mesure la différence de potentiel  $U_{AB}$  aux bornes d'un dipôle.

S'entraîner — ☐ Ex. 2 p 286 ☐ Ex. 9 p 287

## 16.3 Loi des nœuds

### Définition 16.4: Loi des nœuds

Dans un circuit électrique, le courant doit se conserver c'est-à-dire que la somme des courants qui entrent dans un nœud doit être égal à la somme de tous les courants qui quittent ce nœud.



### Exemple 16.1

Dans le circuit de la figure 16.4, d'après la loi des nœuds, on pourra écrire :

- au nœud A, on a .....
- au nœud C, on a .....
- au nœud B, on a .....
- dans la branche ABC, on a .....
- dans la branche du générateur, on a .....

FIGURE 16.4 – La loi des nœuds signifie que le courant doit se conserver dans un circuit électrique.

S'entraîner — ☐ Ex. 10 p 287 ☐ Ex. 13 p 287

# 16.4 Loi des mailles

## Définition 16.5: Loi des mailles

Dans une maille (ou boucle) d'un circuit électrique, après avoir défini arbitrairement un sens de parcours de la boucle, la somme des différences de potentiel est nulle. On comptera positivement une différence de potentiels dont la flèche est dans le sens du parcours, négativement dans le cas contraire.

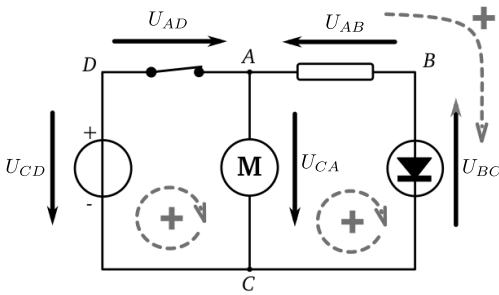


FIGURE 16.5 – La loi des mailles signifie que la somme des différences de potentiels dans une maille est nulle.

## Exemple 16.2

Dans le circuit de la figure 16.5, en choisissant de tourner dans les boucles dans le sens des aiguilles d'une montre, d'après la loi des mailles, on pourra écrire :

- pour la maille DACD on écrit .....
- pour la maille DABCD on écrit .....
- pour la maille ABCA on écrit .....

S'entraîner — ☐ Ex. 5 p 286 ☐ Ex. 6 p 286 ☐ Ex. 7 p 286

# 16.5 Caractéristique tension $U$ et courant $I$ d'un dipôle

## Définition 16.6: Caractéristique courant-tension

La caractéristique courant-tension d'un dipôle est un graphique expérimental qui représente la relation entre l'intensité du courant traversant le dipôle et la tension aux bornes de ce dipôle.

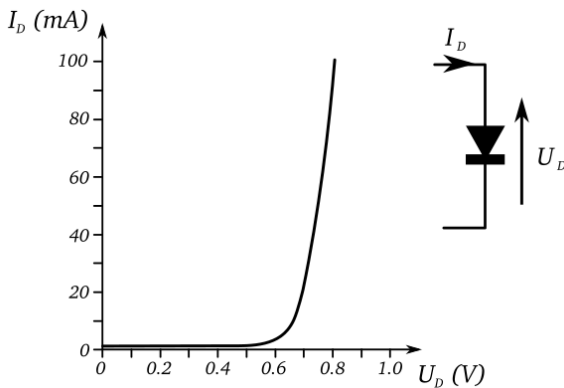


FIGURE 16.6 – Caractéristique courant-tension d'une diode. C'est un dipôle qui ne laisse circuler le courant que dans un seul sens. Il peut émettre de la lumière (LED) ou la détecter (photodiode).

**Remarque.** Si on dispose de la caractéristique courant-tension d'un dipôle, on peut trouver son point de fonctionnement, c'est-à-dire la valeur de  $I$  qui le traversera pour une tension  $U$  à ses bornes.

**Définition 16.7: Loi d'Ohm**

La caractéristique d'un dipôle ohmique est donnée par la loi d'Ohm :

$$U_{AB} = R \cdot I \quad (16.1)$$

avec :

- .....
- .....
- .....

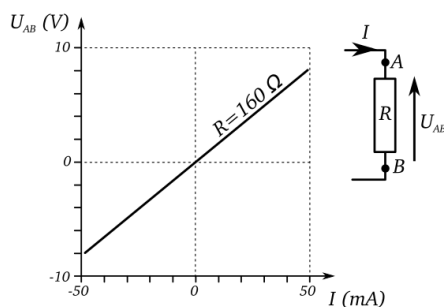


FIGURE 16.7 – Caractéristique courant-tension d'une résistance, la tension  $U_{AB}$  est proportionnelle au courant  $I$  par le facteur  $R$ . On ne peut pas cependant avoir n'importe quelle valeur pour les tensions et les courants, la résistance chauffe et peut être détruite.

## 16.6 Capteurs électriques

**Définition 16.8: Capteur électrique**

Un capteur électrique fournit une tension électrique ou un courant dont la valeur dépend d'une grandeur physique que l'on cherche à mesurer, comme la température, la pression, l'intensité lumineuse. On retrouve ces capteurs dans des thermostats, des détecteurs de lumière, des jauges de déformation (sciences de l'ingénieur),...

**Exemple 16.3**

- La photorésistance (LDR light-dependent resistor) a une résistance électrique qui décroît avec l'augmentation de l'intensité lumineuse reçue.
- La thermistance a une résistance électrique qui décroît ou croît avec l'augmentation de la température du composant (il existe deux types de thermistances).
- La sonde au platine (PT100 ou PT1000) a une résistance électrique qui dépend de la température du composant.

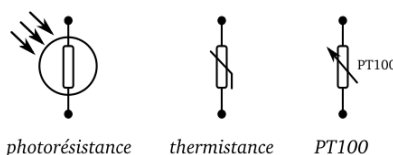


FIGURE 16.8 – Symboles électriques de différents capteurs résistifs.

## 16.7 Préparation à l'évaluation

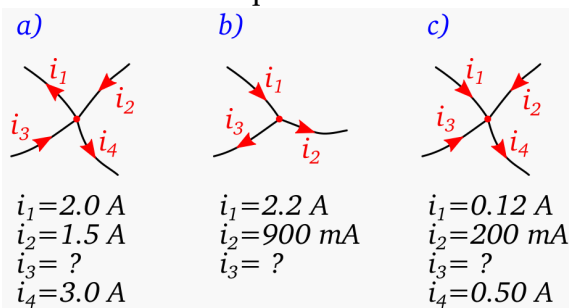
### 16.7.1 Savoir et savoir-faire

| Je dois savoir :                                                                                                                        | OK                       | À revoir                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Loi des nœuds. Loi des mailles.                                                                                                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Caractéristique tension-courant d'un dipôle.                                                                                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Résistance et systèmes à comportement de type ohmique. Loi d'Ohm.                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capteurs électriques.                                                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je dois pouvoir :                                                                                                                       | OK                       | À revoir                 |
| Exploiter la loi des mailles et la loi des nœuds dans un circuit électrique comportant au plus deux mailles.                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Exploiter la caractéristique d'un dipôle électrique : point de fonctionnement, modélisation par une relation $U = f(I)$ ou $I = g(U)$ . | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Utiliser la loi d'Ohm.                                                                                                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Citer des exemples de capteurs présents dans les objets de la vie quotidienne.                                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Capacités mathématiques :                                                                                                               |                          |                          |
| Identifier une situation de proportionnalité.                                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### 16.7.2 Test de préparation au DS

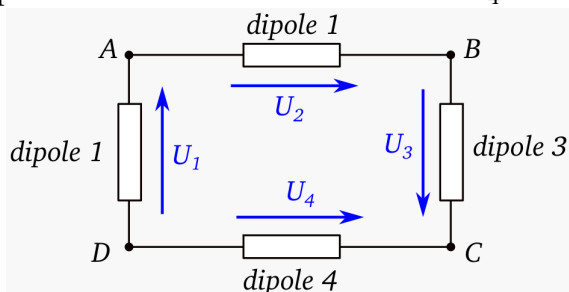
#### \* Problème 16.1 Appliquer la loi des nœuds

Pour chaque schéma de la figure suivante, écrire la relation liant les intensités des courants électriques et calculer l'intensité manquante.



#### \* Problème 16.2 Appliquer la loi des mailles

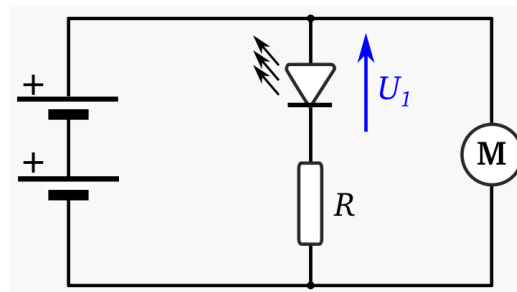
Soit la maille présentée sur la figure ci-dessous. Sachant que  $U_1 = 1,6 \text{ V}$ ,  $U_2 = 2,2 \text{ V}$  et  $U_3 = -9,0 \text{ V}$ , exprimer puis calculer la valeur de la tension  $U_4$ .



#### \*\* Problème 16.3 Fonctionnement d'un ventilateur de poche

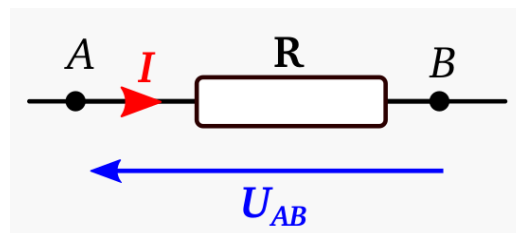
Un ventilateur de poche fonctionne avec deux piles de  $1,5 \text{ V}$ . Lorsqu'il est en marche, une diode électroluminescente (DEL) est allumée.

- Recopier le schéma électrique de la figure ci-dessus puis représenter la tension  $U_2$  aux bornes de la résistance  $R$  et la tension  $U_3$  aux bornes du moteur  $M$  du ventilateur.
- Sachant que la tension aux bornes de la DEL vaut  $U_1 = 1,2 \text{ V}$ , calculer les valeurs des tensions  $U_2$  et  $U_3$ .

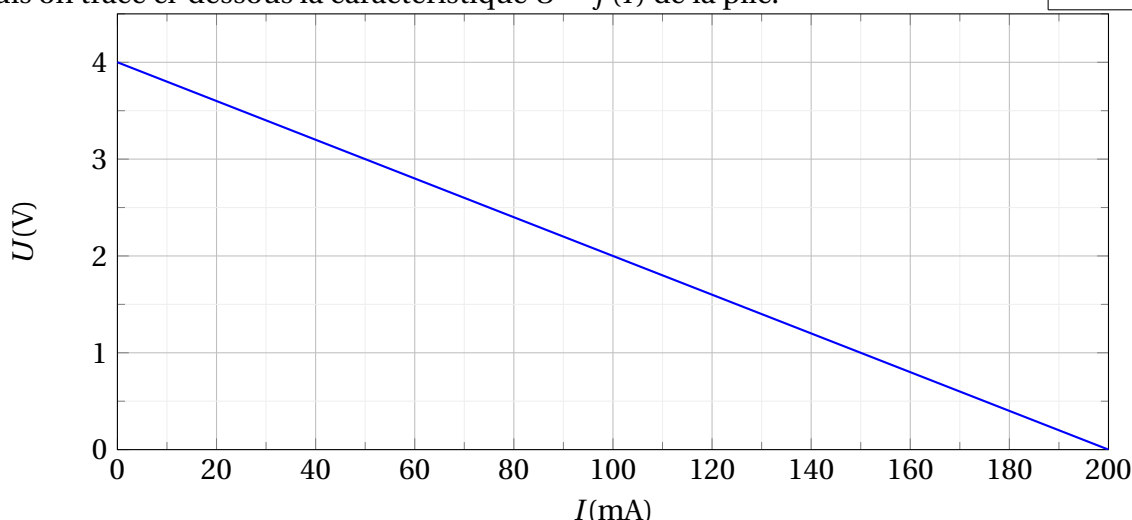
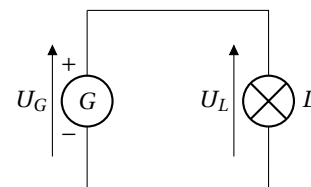


**\*\* Problème 16.4 Appliquer la loi d'Ohm**

1. Pour un conducteur ohmique de la figure ci-dessus, indiquer la relation entre  $U_{AB}$  et  $I$  en précisant le nom et les unités des différentes grandeurs.
2. Calculer  $U_{AB}$  lorsque  $I = 20\text{ mA}$  sachant qu'elle est égale à  $1,0\text{ V}$  lorsque  $I = 10\text{ mA}$ .

**\*\*\* Problème 16.5 Point de fonctionnement d'un circuit**

On souhaite déterminer le point de fonctionnement du circuit d'alimentation d'une lampe de poche alimenté par une pile de tension à vide  $U = 4\text{ V}$  et de résistance interne  $R = 20\Omega$ . Le circuit pour déterminer la caractéristique de la lampe est schématisé ci-contre (on utilise un générateur de tension continue variable). Puis on trace ci-dessous la caractéristique  $U = f(I)$  de la pile.



1. Afin de tracer la caractéristique d'une lampe de poche, on a relevé les mesures suivantes :

| U (V)  | 0 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,9 | 1,5 | 2   | 2,5 | 4   |
|--------|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I (mA) | 0 | 24   | 36  | 61  | 81  | 100 | 132 | 155 | 175 | 227 |

- a) Sur le schéma du circuit, placer le sens du courant, les instruments de mesure permettant d'obtenir cette caractéristique (indiquez les bornes des instruments).
  - b) Sur le graphique, tracer la caractéristique de la lampe.
2. Déterminer graphiquement le point de fonctionnement de la lampe.

## Correction du problème 16.1

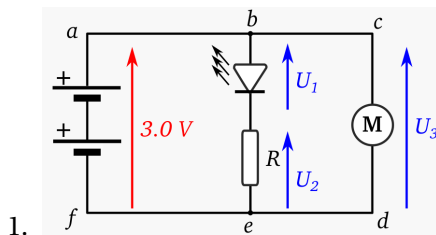
- a. D'après la loi des nœuds, la somme des courants qui entrent dans le nœud est égal à la somme des courants qui en ressortent. Donc on a  $i_2 + i_3 = i_1 + i_4$ .  $i_3$  est l'inconnue qu'on isole :  $i_3 = i_1 + i_4 - i_2 = 2,0 + 3,0 - 1,5 = 3,5\text{A}$ .
- b. De la même manière,  $i_1 = i_2 + i_3$  donc  $i_3 = i_1 - i_2 = 2,2\text{A} - 900\text{mA} = 2,2\text{A} - 0,900\text{A} = 1,3\text{A}$ .
- c. De la même manière,  $i_1 + i_2 + i_3 = i_4$  donc  $i_3 = i_4 - i_1 - i_2 = 0,50\text{A} - 0,12\text{A} - 200\text{mA} = 0,50\text{A} - 0,12\text{A} - 0,200\text{A} = 0,18\text{A}$ .

## Correction du problème 16.2

On choisit un sens dans lequel on va parcourir la maille. On a le choix entre aller dans le sens *ABCD* (sens horaire) ou le sens *ADCBA* (sens antihoraire). Si on choisit *ADCBA*, on écrit que la somme des tensions est nulle dans une maille, et en respectant le sens des flèches sur le schéma on a :

$$\begin{aligned} -U_1 + U_4 - U_3 - U_2 &= 0 \\ U_4 &= U_1 + U_2 + U_3 \\ &= 1,6 + 2,2 - 9 \\ &= -5,2\text{V} \end{aligned}$$

## Correction du problème 16.3

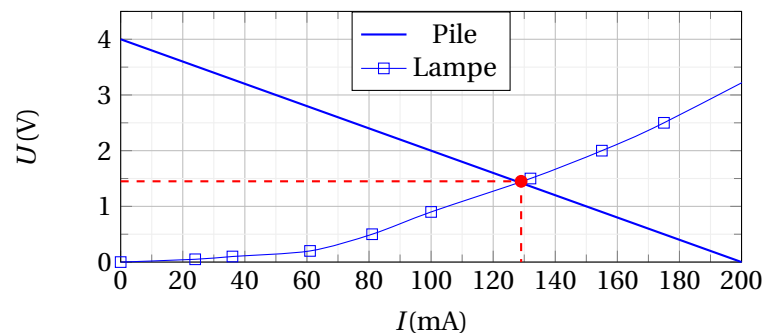
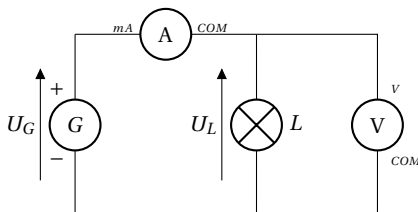


2. Loi des mailles pour *acdfa* (sens horaire) :  $U_{af} - U_3 = 0$  donc  $U_3 = U_{af} = 3,0\text{V}$ .
- Loi des mailles pour *bcdeb* (sens horaire) :  $-U_3 + U_2 + U_1 = 0$  donc  $U_2 = U_3 - U_1 = 3,0 - 1,2 = 1,8\text{V}$ . La tension aux bornes du moteur est de 1,8V.

## Correction du problème 16.4

1. La loi d'Ohm donne :  $U_{AB} = R \times I$  avec  $U_{AB}$  en volts (V),  $R$  en Ohms ( $\Omega$ ) et  $I$  en ampères (A).
2. On va calculer la valeur de la résistance connaissant la tension et l'intensité :  $R = \frac{U_{AB}}{I} = \frac{1,0\text{V}}{10\text{mA}} = \frac{1,0\text{V}}{0,010\text{A}} = 100\Omega$ . La résistance est de  $100\Omega$ . La tension  $U_{AB}$ , quand l'intensité vaut 20 mA, est donc  $U_{AB} = R \times I = 100\Omega \times 20\text{mA} = 100\Omega \times 0,020\text{A} = 2\text{V}$ .

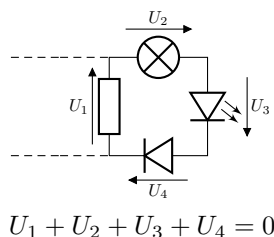
## Correction du problème 16.5



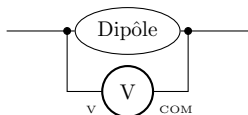
L'ampèremètre se branche en série tandis que le voltmètre se branche en dérivation. Le point de fonctionnement correspond à l'intersection entre la caractéristique de la pile et celle de la lampe, soit ( $U = 1,45\text{V}$ ,  $I = 128\text{mA}$ ).

|                                                                                                                          |                                                                                              |                                                                                                                                |                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>COURS</p> <p><b>Donner la définition de la tension électrique.</b></p> <p>CHAPITRE 16</p>                             | <p>COURS</p> <p><b>Quelle est l'unité de la tension électrique ?</b></p> <p>CHAPITRE 16</p>  | <p>COURS</p> <p><b>Comment doit-on placer un voltmètre afin de mesurer une tension ?</b></p> <p>CHAPITRE 16</p>                | <p>COURS</p> <p><b>Donner la loi des mailles.</b></p> <p>CHAPITRE 16</p>                              |
| <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce que l'intensité du courant ?</b></p> <p>CHAPITRE 16</p>                                     | <p>COURS</p> <p><b>Quelle est l'unité de l'intensité du courant ?</b></p> <p>CHAPITRE 16</p> | <p>COURS</p> <p><b>Comment doit-on placer un ampèremètre afin de mesurer une intensité du courant ?</b></p> <p>CHAPITRE 16</p> | <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce qu'un noeud ? Qu'est-ce qu'une branche ?</b></p> <p>CHAPITRE 16</p>      |
| <p>COURS</p> <p><b>Dans un circuit en série, quelle est la valeur de l'intensité du courant ?</b></p> <p>CHAPITRE 16</p> | <p>COURS</p> <p><b>Donner la loi des noeuds.</b></p> <p>CHAPITRE 16</p>                      | <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce que la résistance électrique ?</b></p> <p>CHAPITRE 16</p>                                         | <p>COURS</p> <p><b>Quelle est l'unité de la résistance électrique ?</b></p> <p>CHAPITRE 16</p>        |
| <p>COURS</p> <p><b>Donner la loi d'Ohm.</b></p> <p>CHAPITRE 16</p>                                                       | <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce que la caractéristique d'un dipôle ?</b></p> <p>CHAPITRE 16</p> | <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce qu'un capteur électrique ? Donner deux exemples.</b></p> <p>CHAPITRE 16</p>                       | <p>COURS</p> <p><b>Qu'est-ce que le point de fonctionnement d'un circuit ?</b></p> <p>CHAPITRE 16</p> |

Dans une maille, la somme des différences de potentiel (tensions) algébriques est nulle. Attention au sens de parcours !

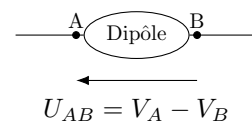


Le voltmètre se branche toujours en dérivation.



On mesure une tension électrique en volts (V).

La tension électrique est la différence de potentiel électrique entre deux points d'un circuit électrique.



Un noeud est le point d'interconnexion relié à au moins trois dipôles. Une branche est la portion d'un circuit située entre deux noeuds.

L'ampèremètre se branche toujours en série.



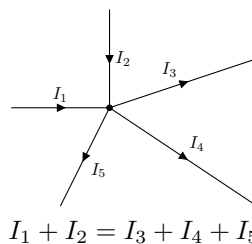
L'intensité du courant se mesure en ampères (A).

L'intensité du courant est le débit de courant électrique, c'est à dire le nombre d'électrons traversant une section du fil en une seconde.

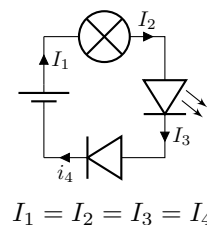
La résistance électrique se mesure en ohms ( $\Omega$ ).

La résistance électrique s'oppose au passage du courant, limitant l'intensité du courant. Les résistances dissipent l'énergie électrique sous forme d'énergie thermique (chaleur).

La somme des intensités du courant qui "entrent" dans le noeud est égale à la somme des intensités du courant qui en ressortent.



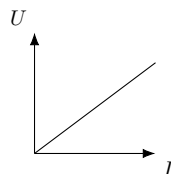
Dans un circuit en série, l'intensité du courant est la même partout.



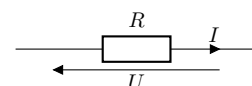
Le point de fonctionnement d'un circuit est le couple de valeurs ( $U_0, I_0$ ) qui vérifie simultanément la caractéristique des deux dipôles. Il se situe donc à l'intersection des deux courbes caractéristiques des deux dipôles.

Un capteur électrique fournit une tension électrique ou un courant qui dépend d'une grandeur physique (température, lumière, pression...). Ex: la thermistance (température) et la photorésistance (lumière).

La caractéristique d'un dipôle est la représentation graphique de la tension aux bornes du dipôle en fonction de l'intensité qui le traverse:  $U = f(I)$ .



Aux bornes d'un dipôle ohmique ou d'une résistance, la tension  $U$  est proportionnelle à l'intensité du courant  $I$  qui la traverse, et le coefficient de proportionnalité est la valeur de la résistance  $R$ :  $U = RI$



## Les lettres grecques et leur utilisation

### ◀ Histoire des sciences

À l'origine de l'alphabet grec : une révolution en 24 signes



| Nom     | Lettre grecque | Utilisation en Physique-Chimie                                                                                           |
|---------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alpha   | $\alpha$       | Angle entre deux droites                                                                                                 |
| Beta    | $\beta$        |                                                                                                                          |
| Gamma   | $\gamma$       | Grandissement (optique)                                                                                                  |
| Delta   | $\delta$       | Dioptrie : unité de la vergence (optique)<br>Charge partielle $\delta^+$ , $\delta^-$ (chimie)                           |
|         | $\Delta$       | Axe optique (optique)<br>Variation d'une quantité                                                                        |
| Epsilon | $\epsilon$     | Coefficient d'extinction molaire dans la loi de Beer-Lambert (en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) |
| Zeta    | $\zeta$        |                                                                                                                          |
| Êta     | $\eta$         | Rendement d'une synthèse                                                                                                 |
| Thêta   | $\theta$       | Température (en $^{\circ}\text{C}$ )                                                                                     |
| Iota    | $\iota$        |                                                                                                                          |
| Kappa   | $\kappa$       |                                                                                                                          |
| Lambda  | $\lambda$      | Longueur d'onde (en m)                                                                                                   |
| Mu      | $\mu$          | Préfixe : micro. $1\mu\text{m} = 1 \times 10^{-6}\text{m}$                                                               |
| Nu      | $\nu$          | Fréquence (en Hz)                                                                                                        |
| Xi      | $\xi$          |                                                                                                                          |
| Omicron | $o$            |                                                                                                                          |
| Pi      | $\pi$          | $\pi = 3,14157...$                                                                                                       |
| Rhô     | $\rho$         | Masse volumique (en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ par exemple)                                                         |
| Sigma   | $\sigma$       | Nombre d'onde (en $\text{cm}^{-1}$ )                                                                                     |
|         | $\Sigma$       | somme                                                                                                                    |
| Tau     | $\tau$         | Retard d'une onde (en s)                                                                                                 |
| Upsilon | $\upsilon$     |                                                                                                                          |
| Phi     | $\phi$         |                                                                                                                          |
| Chi     | $\chi$         | Électronégativité (chimie), proportion en masse ou volume                                                                |
| Psi     | $\psi$         |                                                                                                                          |
| Omega   | $\omega$       |                                                                                                                          |

**Exercice A.1.** Réécrire chacune des lettres suivantes trois fois :

|                  |                  |                   |                  |                    |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| $\alpha$ : ..... | $\gamma$ : ..... | $\delta$ : .....  | $\Delta$ : ..... | $\epsilon$ : ..... |
| $\eta$ : .....   | $\theta$ : ..... | $\lambda$ : ..... | $\mu$ : .....    | $\nu$ : .....      |
| $\chi$ : .....   | $\rho$ : .....   | $\sigma$ : .....  | $\Sigma$ : ..... | $\tau$ : .....     |

## Grandeurs physiques, unités et conversions

### ◀ Histoire des sciences

🎧 *Les unités de mesure*



🎧 *Système d'unités : une réforme sur mesures*



### B.1 Unités de base du Système International S.I.

| Grandeur             | Symbole de la grandeur | Unité S.I. | Symbole associé à l'unité |
|----------------------|------------------------|------------|---------------------------|
| Masse                | .....                  | .....      | .....                     |
| Temps                | .....                  | .....      | .....                     |
| Longueur             | .....                  | .....      | .....                     |
| Température          | .....                  | .....      | .....                     |
| Intensité électrique | .....                  | .....      | .....                     |
| Quantité de matière  | .....                  | .....      | .....                     |
| Intensité lumineuse  | .....                  | .....      | .....                     |

B.2 Préfixe des unités

|                       |                  |                 |                 |                 |                 |                 |   |                  |                  |                  |                  |                  |                   |                   |
|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Préfixe               | .....            | .....           | .....           | .....           | .....           | .....           | - | .....            | .....            | .....            | .....            | .....            | .....             | .....             |
| Symbole               | .....            | .....           | .....           | .....           | .....           | .....           | - | .....            | .....            | .....            | .....            | .....            | .....             | .....             |
| Facteur de conversion | 10 <sup>12</sup> | 10 <sup>9</sup> | 10 <sup>6</sup> | 10 <sup>3</sup> | 10 <sup>2</sup> | 10 <sup>1</sup> | 1 | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-6</sup> | 10 <sup>-9</sup> | 10 <sup>-12</sup> | 10 <sup>-15</sup> |

B.2.1 Exemples de tableaux de conversion

|    |    |     |   |    |    |    |    |    |     |   |    |    |    |    |    |     |   |    |    |    |
|----|----|-----|---|----|----|----|----|----|-----|---|----|----|----|----|----|-----|---|----|----|----|
| km | hm | dam | m | dm | cm | mm | kg | hg | dag | g | dg | cg | mg | ks | hs | das | s | ds | cs | ms |
|    |    |     |   |    |    |    |    |    |     |   |    |    |    |    |    |     |   |    |    |    |

Pour passer d’une colonne à une autre on multiplie ou on divise par 10.

B.2.2 Cas des aires

|                 |                 |                  |                |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| km <sup>2</sup> | hm <sup>2</sup> | dam <sup>2</sup> | m <sup>2</sup> | dm <sup>2</sup> | cm <sup>2</sup> | mm <sup>2</sup> |
|                 |                 |                  |                |                 |                 |                 |

Pour passer d’une colonne à une autre on multiplie ou on divise par 100, ou alors par 10 dans le cas des sous-colonnes.

B.2.3 Cas des volumes et contenances

| km <sup>3</sup> |  |  | hm <sup>3</sup> |  |  | dam <sup>3</sup> |  |  | m <sup>3</sup> |    | dm <sup>3</sup> |     |   | cm <sup>3</sup> |    |    | mm <sup>3</sup> |  |  |
|-----------------|--|--|-----------------|--|--|------------------|--|--|----------------|----|-----------------|-----|---|-----------------|----|----|-----------------|--|--|
|                 |  |  |                 |  |  |                  |  |  |                | kL | hL              | daL | L | dL              | cL | mL |                 |  |  |
|                 |  |  |                 |  |  |                  |  |  |                |    |                 |     |   |                 |    |    |                 |  |  |

Pour passer d’une colonne à une autre on multiplie ou on divise par 1000, ou alors par 10 dans le cas des sous-colonnes. Retenir que :  
1 L = 1 dm<sup>3</sup>

## Les chiffres significatifs

### C.1 Définition

Le nombre de chiffres significatifs (CS en abrégé) d'une mesure traduit la précision de la mesure : plus le nombre de CS est grand, plus la mesure est précise. Une masse de 5,00 g a été mesurée avec une balance plus précise (à 0,01 g près) qu'une masse de 5 g (balance précise à 1 g près). Ces deux masses ont donc une signification différente en Physique-Chimie.

#### Définition C.1: CS

Le nombre de chiffres significatifs d'une mesure correspond au nombre de chiffres de la mesure, en partant de la gauche, à partir du premier chiffre différent de zéro.

Tous les chiffres comptent, sauf les zéros situés à gauche et ceux contenus dans une puissance de 10.

#### Exemple C.1

- 2,000 a ..... chiffres significatifs;
- 5,6 × 10<sup>5</sup> a ..... chiffres significatifs;
- 7,04 a ..... chiffres significatifs;
- 0,002 a ..... chiffre significatif.

#### Exercice C.1.

Complétez le tableau :

|              |       |       |       |          |                        |
|--------------|-------|-------|-------|----------|------------------------|
| Mesure       | 56    | 9600  | 75,2  | 0,006 70 | 8,54 × 10 <sup>5</sup> |
| Nombre de CS | ..... | ..... | ..... | .....    | .....                  |

### C.2 Exprimer le résultat d'une opération

#### C.2.1 Arrondir un résultat

Afin de respecter un nombre cohérent de chiffres significatifs pour exprimer un résultat, il va parfois falloir arrondir la valeur obtenue sur la calculatrice. Pour ce faire, une fois que l'on a déterminé le nombre de chiffres à utiliser pour exprimer le résultat, on observe le chiffre qui suit le dernier chiffre pris en compte :

- Si le chiffre qui suit est compris entre 0 et 4, on ne change pas le dernier chiffre pris en compte ;
- Si le chiffre qui suit est compris entre 5 et 9, on arrondit le dernier chiffre "au-dessus" c'est-à-dire en ajoutant 1 ;
- Si le résultat est entier mais qu'il comporte trop de chiffres, on doit utiliser une écriture scientifique.

#### Exemple C.2

1,37859 s'écrit ..... avec 4 CS, 7980 s'écrit ..... avec 3 CS.

## C.2.2 Cas des additions et soustractions

### Définition C.2: Exprimer le résultat d'une addition ou d'une soustraction

Pour une addition ou une soustraction, le résultat ne doit pas avoir plus de décimales que la donnée qui en a le moins.

### Exemple C.3

Calcul du périmètre d'un rectangle de longueur  $L = 29,7$  cm et de largeur  $l = 21$  cm :

## C.2.3 Exprimer le résultat d'une multiplication ou d'une division

### Définition C.3

Le résultat d'une multiplication ou d'une division a autant de chiffres significatifs qu'en a la mesure la moins précise utilisée dans le calcul.

### Exemple C.4

Calcul de la surface d'un rectangle de longueur  $L = 8,6$  cm et de largeur  $l = 4,12$  cm.

### Exercice C.2.

Exprimer le résultat des opérations suivantes avec le bon nombre de chiffres significatifs :

$$- 1,26 \times 12,53 = \dots\dots\dots;$$

$$- 42,18 \times 1,23 = \dots\dots\dots;$$

$$- \frac{234,45}{42,3} \times 2,3 = \dots\dots\dots;$$

$$- \frac{454,2 \times 56,121}{820} = \dots\dots\dots$$

## Incertitudes de mesure

*Cette fiche est basée sur le travail du lycée Clémenceau<sup>1</sup>.*

Une valeur trouvée dépend des conditions de l'expérience, du matériel. Il faut alors accompagner notre résultat d'incertitudes. Il en existe de 2 types : Incertitudes de type A et Incertitude de type B. Ces incertitudes dépendent du type d'expériences.

### D.1 Écrire un résultat d'une mesure

#### D.1.1 Variabilité d'une mesure physique

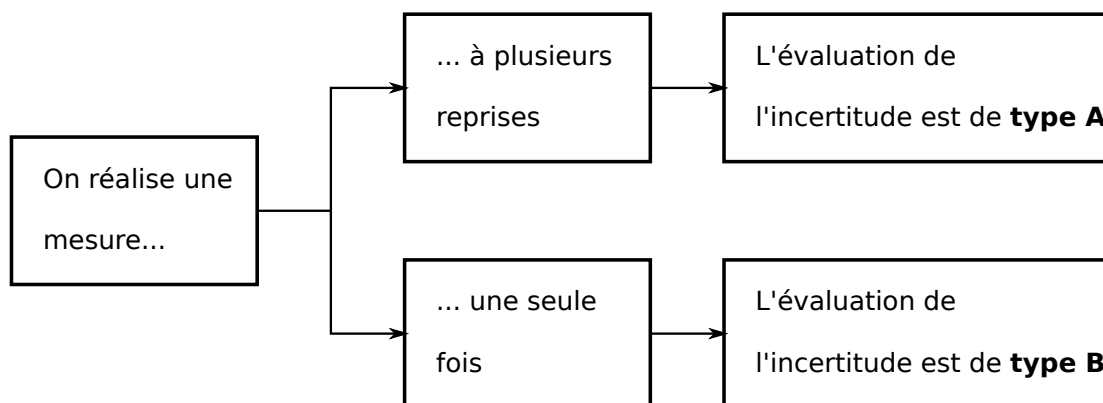
Une mesure ne peut jamais conduire à une valeur vraie, rigoureusement certaine, mais seulement à des **valeurs approchées**.

On parle de **variabilité** ou **dispersion** d'une mesure.

Pour évaluer la dispersion d'une mesure, on utilise une grandeur appelée **incertitude-type**.

L'incertitude-type définit un intervalle dans lequel la "vraie" valeur se trouve probablement.

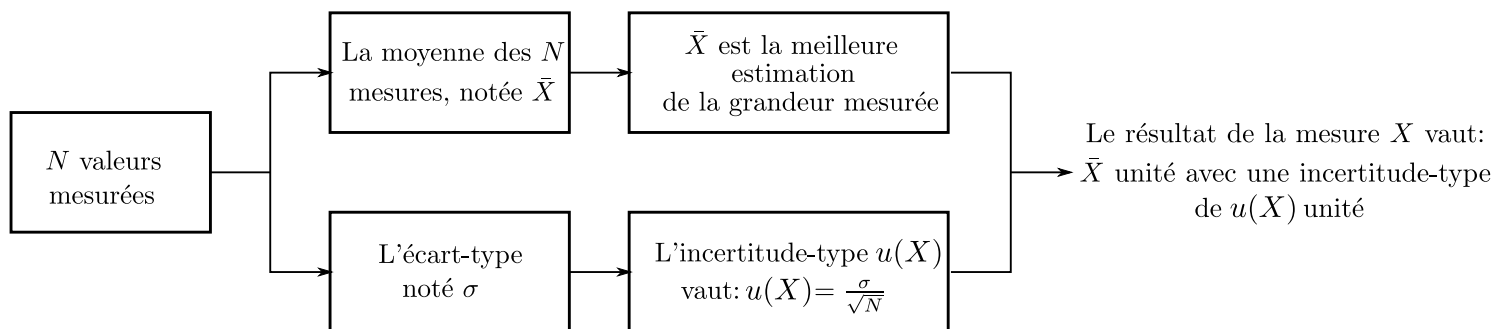
#### D.1.2 Deux méthodes d'évaluation



### D.2 Exploiter une série de mesures : évaluation de type A

Lorsqu'on réalise plusieurs mesures d'une même grandeur  $X$ , il est possible de calculer la meilleure estimation du résultat, ainsi que la valeur de l'incertitude-type associée notée  $u_x$ . Pour cela, on utilise des outils statistiques des calculatrices scientifiques de la façon suivante :

1. <https://sites.google.com/view/spc-clemenceau/sp%C3%A9cialit%C3%A9-physique-chimie/premi%C3%A8re/fiches-de-cours/incertitudes-de-mesure>



Au lycée, on écrit l'écart-type  $u(X)$  :

- avec un seul chiffre significatif,
- arrondi à la même décimale que la valeur mesurée.

On pourra donc écrire le résultat de la mesure selon :

$$X = \bar{X} \pm u(X) \quad (\text{D.1})$$

### Exemple D.1

| Mesure    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|-----------|------|------|------|------|------|
| Masse (g) | 57,1 | 57,3 | 56,8 | 57,4 | 57,0 |

## D.3 Exploiter une mesure unique : évaluation de type B

Lors de nombreuses activités expérimentales, il n'est pas possible de réaliser plusieurs fois la mesure d'une grandeur pour observer sa variabilité.

Dans ce cas, il faut se contenter d'une mesure unique de la grandeur étudiée.

L'incertitude-type  $u(X)$  peut être estimée à partir d'une formule fournie ou à l'aide d'un logiciel.

En pratique, plusieurs cas peuvent se présenter :

- Le constructeur fournit l'incertitude-type (cas très rare). Dans ce cas, on utilise directement son incertitude.
- Pour un appareil de mesure analogique (appareil à cadran, lecture d'un réglelet...), l'incertitude de lecture est estimée à partir de la valeur d'une graduation. On peut montrer que :  $u_{\text{lecture}} = \frac{1 \text{ graduation}}{\sqrt{12}}$
- Le constructeur fournit une indication de type  $\Delta X$  sans autre information. Dans ce cas, on prendra pour incertitude-type :  $u = \frac{\Delta X}{\sqrt{3}}$ .
- Si le constructeur ne fournit rien, il faut procéder à l'évaluation expérimentale de l'appareil.

## Verrerie et sécurité au laboratoire

### E.1 Sécurité

#### PROTECTION DU CORPS

- Port obligatoire d'une blouse en coton toujours boutonnée.
- Éviter les chaussures trop ouvertes, les collants ou les mi-bas en nylon.
- Les cheveux longs doivent être attachés.

#### PROTECTION DES YEUX

- Port des lunettes de protection obligatoire pour toute manipulation.
- Les lunettes de vue doivent être munies de protections latérales ou surmontées de lunettes de protection.
- Le port des lentilles de contact est déconseillé.

EN CAS D'INCIDENT, RINCER ABONDAMMENT A L'EAU FROIDE PENDANT 20 MINUTES.

#### PROTECTION DES MAINS

- Utiliser des gants appropriés si la manipulation le nécessite.
- Protéger les plaies éventuelles avec du sparadrap.
- Laver les gants puis les mains avant de sortir de la salle de travaux pratiques et régulièrement si nécessaire.

EN CAS D'INCIDENT, RINCER ABONDAMMENT A L'EAU FROIDE PENDANT 20 MINUTES.

#### PROTECTION DES VOIES INTERNES

- Manipuler tous les produits susceptibles de dégager des vapeurs nocives sous les points

ventilés.

- Ne jamais pipeter à la bouche mais utiliser une propipette.

#### PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

- Aucun produit organique, aucun métal lourd, aucun solide ne doivent être jetés à l'évier ; ils seront collectés dans des flacons de recyclage adéquats et correctement étiquetés.
- Le pH des solutions acido-basiques sera rectifié entre 6-8 avant de les jeter.

#### QUELQUES RÈGLES PLUS GÉNÉRALES

- Le sac doit être déposer dans la pailleasse.
- Ne pas boire, ne pas manger.
- Ne pas courir dans le laboratoire.
- Ne pas lancer d'objets.
- Manipuler debout.
- Ne pas encombrer les passages, les abords immédiats des sorties ainsi que les accès aux moyens de sécurité.
- Manipuler les produits inflammables hors d'une flamme.
- Étiqueter convenablement tout récipient contenant des produits chimiques.
- Fermer systématiquement tout flacon.
- Verser les produits du coté opposé à l'étiquette.
- Ne pas remettre dans le flacon le produit restant inutilisé sans avis de l'enseignant.
- Le port des bijoux est déconseillé.

E.2 Pictogrammes de sécurité

|                                                                                  |                           |                                                                                   |                                        |                                                                                     |                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|  | <p>.....</p> <p>.....</p> |  | <p>.....</p>                           |  | <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> |
|  | <p>.....</p> <p>.....</p> |  | <p>.....</p> <p>.....</p>              |  | <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> |
|  | <p>.....</p>              |  | <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> |  | <p>.....</p>                           |

TABLE E.1 – Pictogrammes de sécurité

E.3 Verrerie

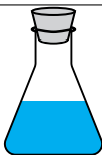
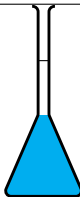
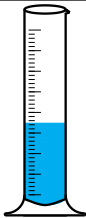
|                                                                                     |                           |                                                                                      |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|   | <p>.....</p>              |  | <p>.....</p> |
|  | <p>.....</p>              |  | <p>.....</p> |
|  | <p>.....</p>              |  | <p>.....</p> |
|  | <p>.....</p> <p>.....</p> |  | <p>.....</p> |

TABLE E.2 – Verrerie qui sera utilisée lors des TP.

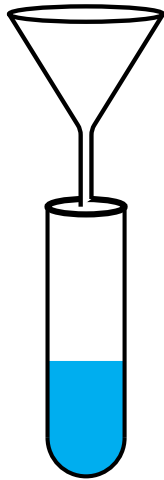
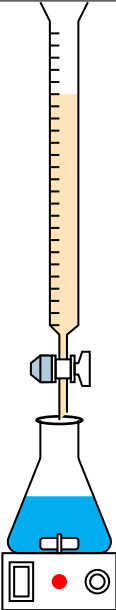
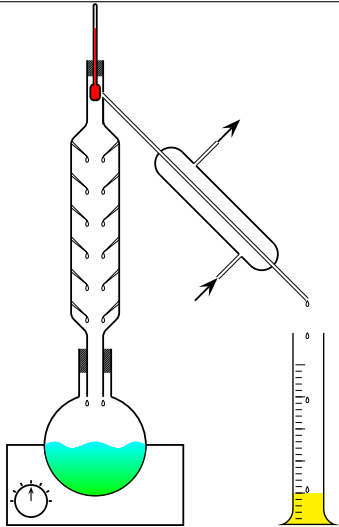
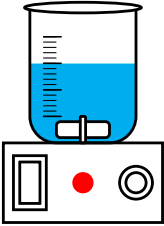
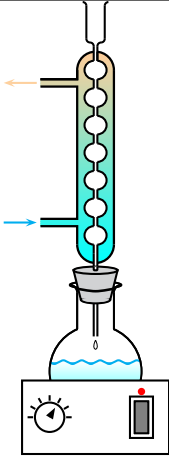
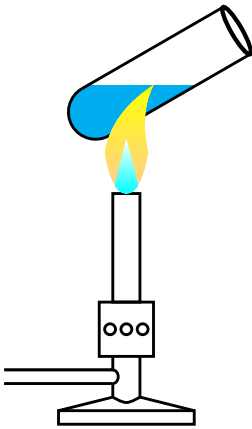
|                                                                                     |              |                                                                                      |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|    | <p>.....</p> |    | <p>.....</p> <p>.....</p> |
|    | <p>.....</p> |   | <p>.....</p> <p>.....</p> |
|  | <p>.....</p> |  | <p>.....</p>              |

TABLE E.3 – Verrerie qui sera utilisée lors des TP.

Mais aussi : spatule, coupelle, balance, pince en bois, agitateur, gants, lunettes de protection, filtre, verre à pied, pissette, cristalliseur...



# Tableau périodique

1

1.0079

H

Hydrogène

3

6.941

Li

Lithium

11

22.990

Na

Sodium

4

9.0122

Be

Béryllium

12

24.305

Mg

Magnésium

19

39.098

K

Potassium

20

40.078

Ca

Calcium

21

44.956

Sc

Scandium

22

47.867

Ti

Titane

23

50.942

V

Vanadium

24

51.996

Cr

Chrome

25

54.938

Mn

Manganèse

26

55.845

Fe

Fer

27

58.933

Co

Cobalt

28

58.693

Ni

Nickel

29

63.546

Cu

Cuivre

30

65.39

Zn

Zinc

31

69.723

Ga

Gallium

32

72.64

Ge

Germanium

33

74.922

As

Arsenic

34

78.96

Se

Sélénium

35

79.904

Br

Brome

36

83.8

Kr

Krypton

37

85.468

Rb

Rubidium

38

87.62

Sr

Strontium

39

88.906

Y

Yttrium

40

91.224

Zr

Zirconium

41

92.906

Nb

Niobium

42

95.94

Mo

Molybdène

43

96

Tc

Technétium

44

101.07

Ru

Ruthénium

45

102.91

Rh

Rhodium

46

106.42

Pd

Palladium

47

107.87

Ag

Argent

48

112.41

Cd

Cadmium

49

114.82

In

Indium

50

118.71

Sn

Étain

51

121.76

Sb

Antimoine

52

127.6

Te

Tellure

53

126.9

I

Iode

54

131.29

Xe

Xénon

55

132.91

Cs

Césium

56

137.33

Ba

Baryum

57-71

La..

Lanthanides

72

178.49

Hf

Hafnium

73

180.95

Ta

Tantale

74

183.84

W

Tungstène

75

186.21

Re

Rhénium

76

190.23

Os

Osmium

77

192.22

Ir

Iridium

78

195.08

Pt

Platine

79

196.97

Au

Or

80

200.59

Hg

Mercure

81

204.38

Tl

Thallium

82

207.2

Pb

Plomb

83

208.98

Bi

Bismuth

84

209

Po

Polonium

85

210

At

Astate

86

222

Rn

Radon

87

223

Fr

Francium

88

226

Ra

Radium

89-103

Ac..

Actinides

104

261

Rf

Rutherfordium

105

262

Db

Dubnium

106

266

Sg

Seaborgium

107

264

Bh

Bohrium

108

277

Hs

Hassium

109

268

Mt

Meitnérium

110

281

Ds

Darmstadtium

111

280

Rg

Roentgenium

112

285

Cn

Copernicium

113

284

Nh

Nihonium

114

289

Fl

Flérovium

115

288

Mc

Moscovium

116

293

Lv

Livermorium

117

292

Ts

Tennessine

118

294

Og

Oganesson

Z

masse

Symbole

Nom

89

227

Ac

Actinium

90

232.04

Th

Thorium

91

231.04

Pa

Protactinium

92

238.03

U

Uranium

93

237

Np

Neptunium

94

244

Pu

Plutonium

95

243

Am

Américium

96

247

Cm

Curium

97

247

Bk

Berkélium

98

251

Cf

Californium

99

252

Es

Einsteinium

100

257

Fm

Fermium

101

258

Md

Mendélévium

102

259

No

Nobélium

103

262

Lr

Lawrencium

57

138.91

La

Lanthane

58

140.12

Ce

Cérium

59

140.91

Pr

Praséodyme

60

144.24

Nd

Néodyme

61

145

Pm

Prométhium

62

150.36

Sm

Samarium

63

151.96

Eu

Europium

64

157.25

Gd

Gadolinium

65

158.93

Tb

Terbium

66

162.50

Dy

Dysprosium

67

164.93

Ho

Holmium

68

167.26

Er

Erbium

69

168.93

Tm

Thulium

70

173.04

Yb

Ytterbium

71

174.97

Lu

Lutécium

Tableau périodique

## Tableau périodique des éléments