

# Physique

## LA MATIERE ET SES TRANSFORMATIONS

# CORRIGÉS DES EXERCICES



REPUBLIQUE  
ET CANTON  
DE GENEVE

Dans le corrigé de chaque exercice, nous avons explicité, en italique, les critères correspondant aux diverses compétences qui doivent être mises en œuvre pour résoudre l'exercice. Pour plus d'information, consulter la page <http://bdp.ge.ch/webphys/enseigner/evaluation/conceptevacriterieeco.html>  
Pour mémoire :

*CA = connaissance et applications.*

*DS = démarche scientifique.*

*MM = manipulations et mesures.*

*CR = calculs et résultats.*

*LA = langages.*

Le critère *CA* a été choisi lorsque, dans le cadre d'une demande explicitée dans l'énoncé, il y a application de connaissances scientifiques du programme ou application d'un savoir-faire théorique en exécution de consignes.

Le critère *DS* a été choisi lorsque, sur l'initiative de l'élève, il y a mise en œuvre de connaissances scientifiques ou d'un modèle pour analyser ou prévoir un résultat.

## Corrigés des exercices relatifs à l'objectif 1

Caractériser les substances par leur masse volumique.

### Exercice 1

#### Hypothèse

*DS : Mise en oeuvre des connaissances concernant les gaz pour donner du sens à la masse.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

Cette expérience permet de vérifier l'hypothèse suivante :

« Le gaz libéré après agitation et ouverture d'une bouteille d'eau gazeuse est de la matière, au même titre qu'un liquide ou un solide. Il est donc pesant et on peut mesurer la masse de la quantité de gaz libérée à l'aide d'une balance. »

### Exercice 2

#### Que pèse un mètre cube de matière ?

*DS : Construction d'un protocole.*

*MM : Exécution d'un protocole, manipulations et mesures.*

*CR : Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.*

La méthode proposée doit reposer sur la proportionnalité entre la masse et le volume pour une substance donnée. Plusieurs variantes sont possibles. En voici une :

a) On choisit un volume  $V$  d'eau et on détermine par pesée la masse  $m$  correspondante.  
On calcule le rapport entre un mètre cube et le volume  $V$  choisi après avoir harmonisé les unités.

On multiplie par ce rapport la masse  $m$  et on obtient la masse de un mètre cube d'eau.

Matériel nécessaire : un récipient gradué et une balance.

Exemple : on choisit  $V = 2 \text{ dL} = 0,2 \text{ dm}^3$ . Par pesée on obtient  $m = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$ .

On calcule le rapport  $(1 \text{ m}^3) : (0,2 \text{ dm}^3) = (1000 \text{ dm}^3) : (0,2 \text{ dm}^3) = 5000$ .

On multiplie  $m$  (0,2 kg) par ce rapport (5000) et on obtient 1000 kg

- b) On calcule le volume  $V$  de la plaque de fer :  $V = 4 \text{ cm} \cdot 5 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 20 \text{ cm}^3 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ . On calcule le rapport entre un mètre cube et le volume  $V$  calculé :  $(1 \text{ m}^3) : (20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3) = 5 \cdot 10^4$ . On obtient la masse de un mètre cube de fer en multipliant par ce rapport la masse de la plaque de fer :  $5 \cdot 10^4 \cdot 156 \text{ g} = 7800 \text{ kg}$

**Exercice 3****Jeu de cubes**

CA : Application des règles de calcul du volume des corps.

DS : Exactitude et cohérence du raisonnement ; Mise en oeuvre des connaissances concernant la masse volumique.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

- a)  $V_{\text{petit cube}} = (5 \text{ cm})^3 = 125 \text{ cm}^3$  ;  $V_{\text{grand cube}} = (10 \text{ cm})^3 = 1\,000 \text{ cm}^3$ .  $V_{\text{grand cube}} / V_{\text{petit cube}} = 8$ .  
Le volume du grand cube est 8 fois plus grand que le volume du petit cube.
- b) On peut utiliser une balance pour vérifier ce résultat car les deux cubes sont fait avec le même bois et, dans ce cas, la masse et le volume sont des grandeurs proportionnelles. Si la masse (le poids) du grand cube est 8 fois plus grande que celle du petit, ce que l'on peut vérifier à l'aide d'une balance, alors le volume du grand cube est aussi 8 fois plus grand que celui du petit.

**Exercice 4****La vitre et la bille de verre**

CA : Application des règles de calcul du volume des corps ; Application des connaissances concernant la masse volumique.

CR : Emploi d'unités cohérentes ; Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

- a) Masse de la vitre :  $m = 3,744 \text{ kg} = 3744 \text{ g}$   
Volume de la vitre :  $V = 120 \text{ cm} \cdot 60 \text{ cm} \cdot 0,2 \text{ cm} = 720 \text{ cm}^3$   
Masse volumique du verre :  $\rho = m : V = 3744 \text{ g} : 720 \text{ cm}^3 = 2,6 \text{ g/cm}^3$  (ou  $2\,600 \text{ kg/m}^3$ )
- b) Si la bille est formée du même verre que la vitre, sa masse volumique est  $2\,600 \text{ kg/m}^3$ . Si le verre dont est formé la bille n'est pas le même que celui de la vitre, il est impossible de trouver sa masse volumique car on ne connaît pas la masse (le poids) de la bille.

**Exercice 5****Les planches de bois**

DS : Mise en oeuvre des connaissances concernant la masse volumique pour prévoir un résultat.

CR : Emploi d'unités cohérentes ; Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

La masse volumique est une grandeur caractéristique d'une substance et non d'un objet. La masse volumique du bois dont est constituée une des planches est donc celle du bois de la poutre et elle est indépendante des dimensions des planches.

Volume de la poutre :  $V = 2 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m} = 0,18 \text{ m}^3$

Masse volumique du bois utilisé :  $\rho = m : V = 169,2 \text{ kg} : 0,18 \text{ m}^3 = 940 \text{ kg/m}^3$  (ou  $0,94 \text{ g/cm}^3$ )

**Exercice 6****Un liquide au congélateur**

*DS : Mise en oeuvre des connaissances concernant la masse volumique ; Construction et application d'un protocole ; Critique d'un modèle et détermination de ses limites.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

- Réponses des élèves à discuter.
- On peut marquer, à l'aide d'un feutre, le niveau de l'eau et de l'huile sur les côtés des récipients en plastiques pour étudier l'évolution du volume lors de la solidification. On peut peser les récipients contenant l'eau et l'huile avant et après la solidification pour étudier l'évolution des masses (poids) lors de la solidification. On constate que la masse de l'huile et de l'eau ne changent pas au cours de la solidification, aux erreurs de mesure près. On constate que le volume de l'eau augmente d'environ 10%, et que le volume de l'huile diminue très légèrement.
- Réponses des élèves à discuter. On peut ici faire observer que notre modèle ne nous permet pas de prévoir comment va évoluer le volume d'une matière lors de sa solidification.
- Puisque la masse n'a pas changé ( $m_{\text{glace}} = m_{\text{eau}}$ ) et que le volume de glace est supérieur au volume d'eau ( $V_{\text{glace}} > V_{\text{eau}}$ ), la masse volumique de la glace est inférieure à celle de l'eau :  $\rho_{\text{glace}} < \rho_{\text{eau}}$ .
- $m_{\text{huile congelée}} = m_{\text{huile liquide}}$  et  $V_{\text{huile congelée}} < V_{\text{huile liquide}}$ , par conséquent  $\rho_{\text{huile congelée}} > \rho_{\text{huile liquide}}$ .
- Lorsqu'on pose un "glaçon" d'huile de cuisine sur de l'huile de cuisine liquide, on peut constater qu'il ne flotte pas comme le ferait un glaçon d'eau sur de l'eau.

**Exercice 7****Eau liquide, eau congelée**

*DS : Identification des grandeurs pertinentes ; Mise en oeuvre des connaissances concernant la masse volumique.*

*CR : Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.*

Masse volumique de l'eau :  $\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ kg/L}$ . 1 litre d'eau pèse donc 1 kg.

1,1 L de glace pèse également 1 kg puisque la masse de l'eau ne change pas au cours de sa solidification.

Masse volumique de la glace :  $\rho_{\text{glace}} = m_{\text{glace}} : V_{\text{glace}} = 1 \text{ kg} : 1,1 \text{ L} \cong 0,91 \text{ kg/L}$  (ou  $0,91 \text{ kg/dm}^3$ , ou  $910 \text{ kg/m}^3$  ou  $0,91 \text{ g/cm}^3$ )

**Exercice 8****Un glaçon d'eau flotte-t-il toujours ?**

*DS : Identification des grandeurs pertinentes ; Mise en oeuvre des connaissances concernant la masse volumique ; Consultation de la TFVN.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

La masse volumique de la glace est plus faible que celle de l'eau :  $\rho_{\text{glace}} \cong 910 \text{ kg/m}^3$  et  $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ . Un glaçon d'eau flotte donc sur l'eau parce que la glace est moins dense que l'eau.

Masses volumiques de l'huile et de l'éthanol :  $\rho_{\text{huile}} = 880 \text{ kg/m}^3$  et  $\rho_{\text{éthanol}} = 790 \text{ kg/m}^3$

Après comparaison des masses volumiques des trois liquides, on peut prévoir qu'un glaçon d'eau coule dans l'huile et dans l'éthanol car la glace d'eau est plus dense que l'huile et que l'éthanol.

L'expérience valide cette hypothèse.

**Exercice 9****Masse, volume et masse volumique**

CA : Application des connaissances concernant la masse volumique.

1<sup>ère</sup> situation : la masse (m) ne change pas ; le volume (V) diminue ; la masse volumique ( $\rho$ ) augmente.

2<sup>e</sup> situation : la masse (m) augmente ; le volume (V) ne change pas ; la masse volumique ( $\rho$ ) augmente.

3<sup>e</sup> situation : la masse (m) ne change pas ; le volume (V) augmente ; la masse volumique ( $\rho$ ) diminue.

**Exercice 10****Comparaison de métaux**

DS : Identification des grandeurs pertinentes ; Mise en oeuvre des connaissances concernant la masse volumique.

CR : Emploi d'unités cohérentes ; Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatibles avec les données.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

Par le calcul, on obtient les masses volumiques suivantes pour les métaux dont sont faits ces deux objets :  $\rho_1 = 8\,920 \text{ kg/m}^3$  et  $\rho_2 = 19\,300 \text{ kg/m}^3$ . Ces masses volumiques étant différentes, les deux objets ne sont pas fait du même métal. Le premier a la masse volumique du cuivre et le second a la masse volumique de l'or.

**Exercice 11****Comparaison d'objets**

DS : Identification des grandeurs pertinentes ; Cohérence du raisonnement ; Mise en oeuvre des connaissances concernant la masse volumique.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

$O_1$  et  $O_2$  ne sont pas fait de la même substance car  $V_1 = V_2$  mais  $M_2 > M_1$  donc  $\rho_2 > \rho_1$ .

$O_1$  et  $O_3$  ne sont pas fait de la même substance car  $M_1 = M_3$  mais  $V_3 > V_1$  donc  $\rho_1 > \rho_3$ .

Des deux inégalités précédentes, il résulte que  $\rho_2 > \rho_1 > \rho_3$ .

On peut aussi attribuer des volumes et des masses à chaque objet en respectant les conditions données dans la consigne, calculer la  $\rho$  de chacune des substances et conclure on observant les résultats.

Par exemple :  $V_1 = V_2 = 2 \text{ cm}^3$  ;  $V_3 = 5 \text{ cm}^3$  ;  $M_1 = M_3 = 10 \text{ g}$  ;  $M_2 = 16 \text{ g}$  puis on calcule  $\rho_2 = 8 \text{ g/cm}^3$  ;  $\rho_1 = 5 \text{ g/cm}^3$  et  $\rho_3 = 2 \text{ g/cm}^3$ .

**Exercice 12****Unités de masse volumique**

CR : Consultation de la TFVN ; Construction et application d'un raisonnement mathématique ; Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités.

- a) eau :  $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$ .  
 plomb :  $\rho = 11\,300 \text{ kg/m}^3 = 11,3 \text{ kg/dm}^3 = 11,3 \text{ g/cm}^3$ .  
 mercure :  $\rho = 13\,600 \text{ kg/m}^3 = 13,6 \text{ kg/dm}^3 = 13,6 \text{ g/cm}^3$ .  
 air :  $\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3 = 0,001\,29 \text{ kg/dm}^3 = 0,001\,29 \text{ g/cm}^3$ .
- b) Entre  $\text{kg/m}^3$  et  $\text{kg/dm}^3$  l'opérateur de proportionnalité est 1000.  
 Entre  $\text{kg/m}^3$  et  $\text{g/cm}^3$  l'opérateur de proportionnalité est 1000.  
 Entre  $\text{kg/dm}^3$  et  $\text{g/cm}^3$  l'opérateur de proportionnalité est 1.

**Exercice 13****Classement d'échantillons**

CA : Application des connaissances concernant la masse volumique ; Consultation de la TFVN.

CR : Emploi d'unités cohérentes ; Exposé des calculs.

a) et b)

$$\rho_1 = 0,714 \text{ kg/L} = \mathbf{714 \text{ kg/m}^3} = 0,714 \text{ g/cm}^3. \text{ (Ether ou bois de chêne ou essence)}$$

$$\rho_2 = \mathbf{0,72 \text{ kg/m}^3} = 0,000 72 \text{ kg/L} = 0,000 72 \text{ g/cm}^3. \text{ (Méthane)}$$

$$\rho_3 = 7,14 \text{ g/cm}^3 = \mathbf{7 140 \text{ kg/m}^3} = 7,14 \text{ kg/L. (Zinc ou fonte grise)}$$

Classement  $\rho_2 < \rho_1 < \rho_3$ .

**Exercice 14****Boulette d'aluminium**

DS : Mise en oeuvre des connaissances concernant la masse volumique ; Construction et application d'un protocole.

MM : Exécution d'un protocole, manipulations et mesures.

CR : Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

- a) La boulette n'est pas en aluminium massif. Elle contient de l'aluminium et de l'air. Comme l'air est beaucoup moins dense que l'aluminium, la masse volumique de ce mélange d'air et d'aluminium est nettement inférieure à celle de l'aluminium. Elle est même inférieure à celle de l'eau, puisque la boulette flotte sur l'eau.
- b) Méthode proposée :
- On mesure la longueur et la largeur de la feuille.
- On plie à plusieurs reprises la feuille (par exemple 6 pliages font 64 épaisseurs).
- On mesure l'épaisseur des x couches avec un pied à coulisse et on en déduit l'épaisseur de la feuille.
- Connaissant maintenant les dimensions de la feuille, on peut calculer le volume d'aluminium.
- On pèse la feuille sur une balance de précision.
- On calcule pour terminer la masse volumique de l'aluminium.

**Exercice 15****Masse et volume d'huile**

CA : Application des connaissances concernant la masse volumique ; Consultation de la TFVN.

DS : Construction d'un protocole.

CR : ; Emploi d'unités cohérentes ; Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

- a)  $V_{\text{huile}} = 20 \text{ ml} = 20 \text{ cm}^3$   $\rho_{\text{huile}} = 880 \text{ kg/m}^3 = 0,88 \text{ g/cm}^3$   $m_{\text{huile}} = \rho_{\text{huile}} \cdot V_{\text{huile}} = 17,6 \text{ g}$ .  
20 mL d'huile pèsent donc 17,6 g.  
Vérification expérimentale : Peser un tube gradué. Y verser 20 mL d'huile.  
Peser le tube avec les 20 mL d'huile.  
La masse (le poids) d'huile est la différence des masses.
- b)  $m_{\text{huile}} = 50 \text{ g}$   $\rho_{\text{huile}} = 880 \text{ kg/m}^3 = 0,88 \text{ g/cm}^3$   $V_{\text{huile}} = m_{\text{huile}} : \rho_{\text{huile}} = 56,8 \text{ cm}^3$  (ou mL)  
50 g d'huile ont donc un volume d'environ 56,8 cm<sup>3</sup> (ou mL).  
Vérification expérimentale : Poser un tube gradué sur une balance et noter sa masse.  
Y verser de l'huile jusqu'à ce que la balance indique 50 g de plus.  
Lire le volume d'huile sur la graduation du tube.

**Exercice 16****De quel bois s'agit-il ?**

CA : Application des règles de calcul du volume des corps ; Application des connaissances concernant la masse volumique ; Consultation de la TFVN.

CR : Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.

- a)  $V = (8 \text{ cm})^3 = 512 \text{ cm}^3$  ;  $\rho = 358,4 \text{ g} : 512 \text{ cm}^3 = 0,7 \text{ g/cm}^3 = 700 \text{ kg/m}^3$ .  
 b) Il pourrait s'agir de bois de chêne.

**Exercice 17****De quel métal s'agit-il ?**

DS : Mise en oeuvre des règles de calcul du volume des corps ; Mise en oeuvre des connaissances concernant la masse volumique.

CR : Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données ; Consultation de la TFVN.

$$V = \pi \cdot (0,75 \text{ cm})^2 \cdot 16 \text{ cm} \cong 28,274 \text{ cm}^3 ;$$

$$\rho = 297 \text{ g} : 28,274 \text{ cm}^3 \cong 10,504 \text{ g/cm}^3 \cong 10\,504 \text{ kg/m}^3.$$

Ce métal pourrait être de l'argent.

**Exercice 18****Capacité d'un récipient et masse de liquide qu'il contient**

CA : Application des connaissances concernant la masse volumique ; Consultation de la TFVN.

CR : Emploi d'unités cohérentes ; Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.

- a)  $V = 3 \text{ dL} = 300 \text{ mL}$  ou  $\text{cm}^3$  ;  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$  ;  $M = 300 \text{ cm}^3 \cdot 1 \text{ g/cm}^3 = 300 \text{ g}$ .  
 b)  $V = 3 \text{ dL} = 300 \text{ mL}$  ou  $\text{cm}^3$  ;  $\rho = 0,88 \text{ g/cm}^3$  ;  $M = 300 \text{ cm}^3 \cdot 0,88 \text{ g/cm}^3 = 264 \text{ g}$ .  
 c)  $V \cong 1,136 \text{ L}$  (ou  $\text{dm}^3$ )  $\cong 1\,136 \text{ mL}$  (ou  $\text{cm}^3$ ).

**Exercice 19****Masse de l'air de la salle**

DS : Identification et évaluation des grandeurs pertinentes ; Mise en œuvre des règles de calcul du volume des corps ; Mise en œuvre des connaissances concernant la masse volumique.

CR : Consultation de la TFVN ; Emploi d'unités cohérentes ; Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.

Admettons que les dimensions d'une classe soient d'environ 8m x 6m x 3m.

$$V \cong 144 \text{ m}^3 ; \rho = 1,29 \text{ kg/m}^3 ; M \cong 144 \text{ m}^3 \cdot 1,29 \text{ kg/m}^3 \cong 186 \text{ kg}.$$

**Exercice 20****Du sagex qui pèse**

CA : Application des règles de calcul du volume des corps ; Application des connaissances concernant la masse volumique ; Consultation de la TFVN.

CR : Emploi d'unités cohérentes ; Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.

$$15 \text{ kg/m}^3 < \rho < 20 \text{ kg/m}^3 ; V = 110 \text{ m}^2 \cdot 0,03 \text{ m} = 3,3 \text{ m}^3 ; M = V \cdot \rho ;$$

donc :  $49,5 \text{ kg} \leq M \leq 66 \text{ kg}$ .

La masse du sagex utilisé est comprise entre 49,5 kg et 66 kg, selon sa densité.

**Exercice 21****L'espace que j'occupe**

*DS : Identification et évaluation des grandeurs pertinentes ; Mise en œuvre des connaissances concernant la masse volumique.*

*CR : Consultation de la TFVN ; Emploi d'unités cohérentes ; Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.*

Un(e) élève pesant environ 50 kg a un volume d'environ 50 dm<sup>3</sup>, car 1 dm<sup>3</sup> d'eau pèse 1 kg.

**Exercice 22****Le lingot d'or**

*CA : Application des règles de calcul du volume des corps ; Application des connaissances concernant la masse volumique.*

*CR : Consultation de la TFVN ; Emploi d'unités cohérentes ; Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données.*

- a)  $M = 1 \text{ kg} = 1\,000 \text{ g}$  ;  $\rho = 19,3 \text{ g/cm}^3$  ;  $V = 1\,000 \text{ g} : 19,3 \text{ g/cm}^3 \cong 52 \text{ cm}^3$ .
- b) Épaisseur  $\cong 52 \text{ cm}^3 : (11,5 \text{ cm} \cdot 5,1 \text{ cm}) \cong 0,9 \text{ cm}$ .



## Corrigés des exercices relatifs à l'objectif 2

Représenter les états solide, liquide et gazeux de la matière par un modèle déclinée à l'échelle moléculaire.

### Exercice 23

### Le grain de sable

CA : Application des connaissances mathématiques.

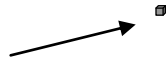
CR : Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Consultation de la TFVN.

Indications et conseils :

- A la page 10 de la TFVN on trouve ce qu'est un trillion et ce qu'est un "nano".
- Pour faciliter les calculs à l'aide de la calculette, il est conseillé d'utiliser la notation à l'aide des puissances de 10 (touche  $\boxed{EE}$  sur la calculette "TI 34 II"). La touche  $\boxed{\wedge}$  permet d'écrire aisément les autres puissances.

- a) Cent vingt-cinq trillions = 125 000 000 000 000 000 000.
- b) Cent vingt-cinq trillions =  $125 \cdot 10^{18}$  ou  $1,25 \cdot 10^{20}$ .
- c) Volume du cube de sable =  $(1 \text{ mm})^3 = (10^{-3} \text{ m})^3 = 10^{-9} \text{ m}^3$  (ou  $1 \text{ mm}^3$ )  
 Volume d'une molécule de silice =  $(0,2 \text{ nm})^3 = (2 \cdot 10^{-10} \text{ m})^3 = 8 \cdot 10^{-30} \text{ m}^3$ .  
 Nombre de molécules dans le grain de sable =  $(10^{-9} \text{ m}^3) : (8 \cdot 10^{-30} \text{ m}^3) = 1,25 \cdot 10^{20}$  ou  $125 \cdot 10^{18}$ .

d)



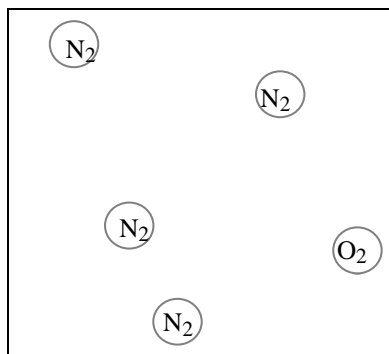
Ce grain de sable est formé de 125 trillions de molécules de silice.

### Exercice 24

### Représentation à l'échelle moléculaire

CA : Connaissance du modèle moléculaire et de la composition de l'air.

LA : Utilisation d'un langage schématique.

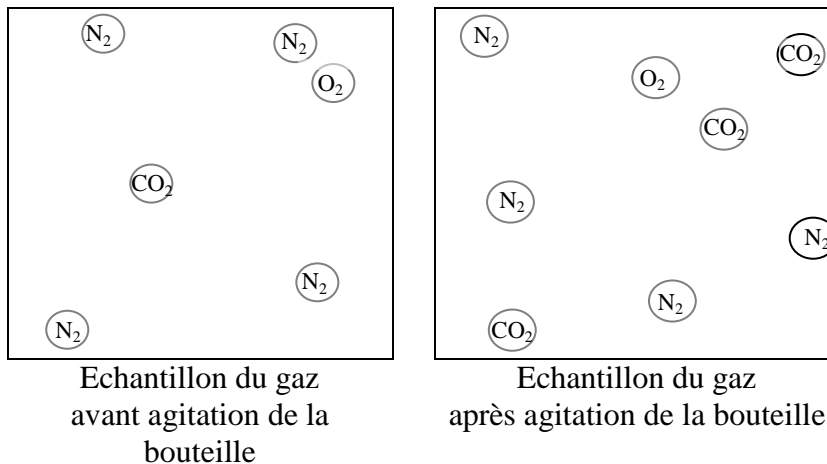


Les deux principales espèces chimiques sont le diazote  $\text{N}_2$ , dans la proportion de environ 4 molécules sur 5 (soit environ 80% des molécules) et le dioxygène  $\text{O}_2$ , dans la proportion de environ 1 molécule sur 5 (soit environ 20% des molécules). Remarquons que, selon la loi d'Avogadro, la proportion en volumes des différentes espèces chimiques est égale à la proportion en nombres de molécules de ces espèces

**Exercice 25****La bouteille d'eau gazeuse**

CA : Connaissance du modèle moléculaire.

LA : Utilisation de la langue française, du vocabulaire scientifique et d'un langage schématique.

**Exercice 26****Du vide dans un grain de sable**

CA : Application des connaissances mathématiques.

CR : Exposé des calculs ; Exactitude des résultats et des unités ; Expression des résultats avec le nombre de chiffres significatifs compatible avec les données ; Consultation de la TFDN..

Indications et conseils :

- A la page 10 de la TFDN on trouve ce qu'est un trillion et ce qu'est un "nano".
- Pour faciliter les calculs à l'aide de la calculatrice, il est conseillé d'utiliser la notation à l'aide des puissances de 10 (touche **EE** sur la calculatrice "TI 34 II"). La touche **^** permet d'écrire aisément les autres puissances.
- La règle de calcul du volume de la sphère se trouve à la page 90 de la TFDN.
- Attention ! 0,2 nm est le diamètre de la sphère, pas son rayon.

- a) Volume du grain de sable :  $V_1 = (1 \text{ mm})^3 = (10^{-3} \text{ m})^3 = 10^{-9} \text{ m}^3$  (ou  $1 \text{ mm}^3$ )
- Volume d'une molécule de silice :  $V_2 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (1 \text{ nm})^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (10^{-10} \text{ m})^3 \cong 4,2 \cdot 10^{-30} \text{ m}^3$
- Volume de 125 trillions de molécules :  $V_3 = 125 \cdot 10^{18} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (10^{-10} \text{ m})^3 \cong 5,2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3$   
(ou  $0,52 \text{ mm}^3$ )
- Volume d'espace vide ( $V_1 - V_3$ ) :  $10^{-9} \text{ m}^3 - 5,2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3 = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3 = 0,48 \text{ mm}^3$ .
- b) Le rapport du volume d'espace vide entre les molécules de silice au volume du grain de sable est  $0,48 \text{ mm}^3 / 1 \text{ mm}^3 = 0,48 = 48 \%$ .  
Ceci signifie que d'après le modèle moléculaire adopté, environ 48 % du volume du grain de sable est de l'espace vide (sans matière).

**Exercice 27****Des molécules, et à part ça ?**

CA : Connaissance du modèle moléculaire.

D'après le modèle moléculaire, l'espace est vide (sans matière) entre les molécules de l'air.

**Exercice 28****Des durs et des tendres**

*DS : Mise en œuvre du modèle moléculaire pour donner du sens aux liaisons entre les molécules.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

On peut donner à l'aide du modèle moléculaire l'explication suivante :

Les molécules sont plus fortement liées dans l'acier (alliage de carbone et de fer) que dans le cuivre. Au passage d'une pointe d'acier sur une plaque de cuivre, les molécules de cuivre sont écartées et déplacées malgré les liaisons qui les maintiennent. Dans la pointe d'acier les liaisons très fortes entre molécules empêchent la déformation. Pour les mêmes raisons, une pointe de cuivre se déformera sur une plaque d'acier sans rayer celle-ci.

**Exercice 29****Traînées de gouttes**

*DS : Mise en œuvre du modèle moléculaire pour donner du sens aux liaisons entre les molécules.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

- a) Lorsqu'une goutte d'eau coule sur une vitre, une fine pellicule d'eau adhère au verre car les molécules d'eau peuvent se lier, faiblement, avec les molécules du verre.
- b) Les liaisons entre les molécules du détergent et les molécules du verre sont plus fortes que les liaisons entre les molécules d'eau et les molécules du verre. Par conséquent, l'écoulement de la goutte de détergent sera davantage ralenti que celui de la goutte d'eau.

**Exercice 30****Des solides déformables**

*DS : Mise en œuvre du modèle moléculaire.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

Si un objet métallique subit des forces suffisantes, les liaisons entre les molécules du métal peuvent être vaincues et des molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres. Lorsqu'ils sont importants, ces déplacements de molécules se manifestent par une déformation de l'objet.

**Exercice 31****Les règles du modèle moléculaire**

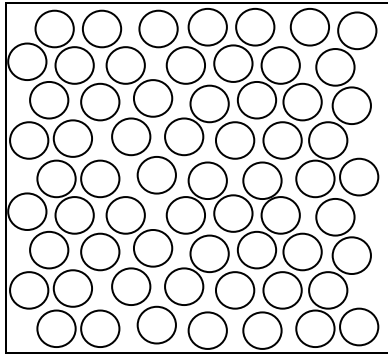
*CA : Connaissance du modèle moléculaire.*

- a) On l'appelle état liquide. Dans cet état, les molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres en se bousculant les unes les autres.
- b) On l'appelle état gazeux. Dans cet état, les molécules se déplacent librement à grande vitesse (de l'ordre de 500 m/s dans l'air ambiant) les unes par rapport aux autres, mais entrent fréquemment en collision les unes avec les autres (des centaines de fois par molécule et par seconde), ce qui modifie leur vitesse et leur direction.
- c) On l'appelle état solide. Dans cet état, les molécules vibrent sur place en conservant leur position par rapport aux molécules voisines avec lesquelles elles sont liées.

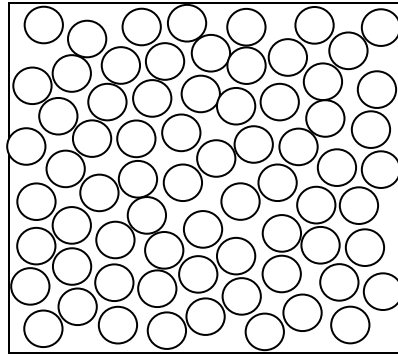
**Exercice 32****L'eau dans tous ses états**

CA : Connaissance du schéma formel de représentation d'un échantillon à l'échelle moléculaire.

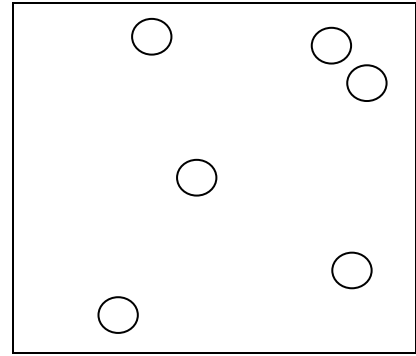
LA : Utilisation d'un langage schématique.



Eau solide



Eau liquide



Vapeur d'eau

## Corrigés des exercices relatifs à l'objectif 3

Utiliser le modèle moléculaire pour donner du sens aux phénomènes et grandeurs physiques retenues.

### Exercice 33

### Comparaisons

*DS : Mise en oeuvre des connaissances concernant les gaz pour donner du sens à la masse.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

Lorsqu'un échantillon de butane se vaporise, le nombre et la nature de ses molécules, donc de ses atomes, ne changent pas. Par conséquent, la masse des 239 litres de butane gazeux libéré est égale à la masse de 1 litre de butane liquide.

### Exercice 34

### Avec ou sans forme propre

*CA : Connaissance du modèle moléculaire.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

Selon le modèle moléculaire, les molécules sont fortement liées dans l'état solide et ne se déplacent pas les unes par rapport aux autres. Un corps solide a donc une forme invariable, appelée forme propre. De la glace est de l'eau solide et a donc une forme propre.

### Exercice 35

### La main dans l'eau

*DS : Mise en oeuvre du modèle moléculaire pour donner du sens aux liaisons entre les molécules.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

Dans un liquide, les liaisons entre les molécules sont beaucoup moins fortes que dans un solide et les molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres. Elles peuvent en particulier s'écarter au passage d'un objet solide.

### Exercice 36

### Gaz ou liquide: quelle différence ?

*DS : Mise en oeuvre du modèle moléculaire.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

- En comprimant le butane gazeux, les molécules de butane se rapprochent. Lorsqu'elles sont suffisamment proches, elles se lient, faiblement, et le butane devient liquide.
- Dans l'état gazeux, les molécules sont beaucoup plus espacées que dans l'état liquide. En l'occurrence, une molécule dispose d'un espace en moyenne 200 fois plus volumineux dans l'état gazeux que dans l'état liquide.
- D'après le modèle moléculaire, les molécules ne changent ni de forme, ni de volume. La différence de volume correspond donc à de l'espace vide supplémentaire entre les molécules.

### Exercice 37

### La seringue

*CA : Connaissance du modèle moléculaire.*

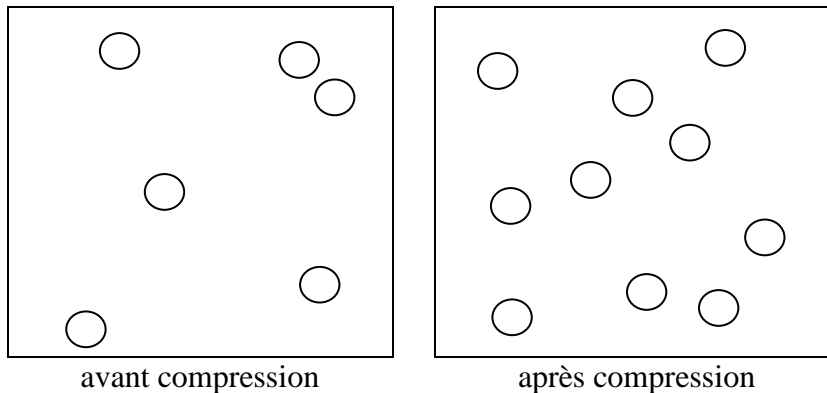
*LA : Utilisation de la langue française, du vocabulaire scientifique et d'un langage schématique.*

- Selon le modèle moléculaire, les molécules sont très espacées dans l'état gazeux et se déplacent librement les unes par rapport aux autres. On peut donc, dans certaines limites, rapprocher les molécules les unes des autres en réduisant le volume d'espace vide

disponible. Cela explique que les gaz sont compressibles. Comme l'air est un gaz, on peut donc le comprimer dans une seringue. On ne peut par contre pas comprimer de l'eau. En effet, selon le modèle moléculaire, les molécules sont très rapprochées dans l'état liquide et l'espace entre les molécules est insuffisant pour permettre de les rapprocher davantage et diminuer ainsi le volume d'un échantillon de façon mesurable.

b)

Echantillons d'air de même volume



### Exercice 38

### Quand y'a plus de place, y'en a encore !

CA : Connaissance du modèle moléculaire.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.

Selon le modèle moléculaire, les molécules sont très espacées dans l'état gazeux. Dans un volume de gaz donné, il y a donc de l'espace disponible pour des molécules supplémentaires. On peut donc en rajouter, dans certaines limites. C'est pourquoi on peut, avec une pompe, rajouter de l'air dans un ballon de basket déjà gonflé.

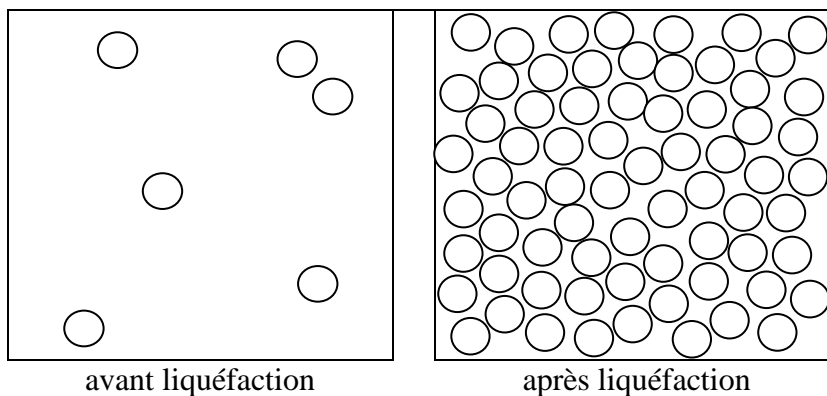
### Exercice 39

### Le butane liquéfié

CA : Connaissance du modèle moléculaire.

LA : Utilisation de la langue française, du vocabulaire scientifique et d'un langage schématique.

Echantillons de butane de même volume



**Exercice 40****Bulles indésirables**

*DS : Mise en oeuvre du modèle moléculaire.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

Comme tous les gaz, l'air est compressible. Lorsqu'on actionne le frein d'une voiture, la force exercée sur la pédale de frein est transmise au système de freinage par le liquide incompressible du circuit de freinage hydraulique. Si ce liquide contient des bulles d'air, celles-ci se comprimeront et empêcheront de transmettre correctement et sans retard la force de freinage, entraînant une perte de sécurité.

**Exercice 41****Volutes d'encre**

*CA : Application du modèle moléculaire.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

Prévision : on observe une diffusion de l'encre et une coloration de l'eau lente dans le verre d'eau froide, et plus rapide dans le verre d'eau chaude.

Explication avec le modèle moléculaire :

Une goutte d'encre contient des milliards de milliards de molécules colorantes et de molécules d'eau. Lorsque la goutte d'encre pénètre dans l'eau du verre, les molécules colorantes de l'encre se glissent et se dispersent entre les molécules d'eau car toutes ces molécules sont, selon le modèle moléculaire, agitées et faiblement liées. Elles se déplacent donc les unes par rapport aux autres et les molécules colorantes finissent par être éparpillées dans tout le verre. L'éparpillement (ou dispersion) est d'autant plus rapide que l'agitation des molécules est grande. C'est ainsi que l'encre diffuse dans l'eau et la colore d'autant plus rapidement que la température de l'eau est élevée.

**Exercice 42****Le mixeur**

*DS : Mise en oeuvre du modèle moléculaire pour donner du sens à l'agitation des molécules.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

Hypothèse : la température de l'eau mixée est plus élevée que celle de l'eau non mixée.

Explication avec le modèle moléculaire :

Lorsqu'on remue de l'eau avec un mixeur, les molécules d'eau sont frappées par le fouet du mixeur et leur agitation moyenne augmente. Comme la température est une mesure de l'agitation moyenne des molécules, l'eau mixée a une température plus élevée que l'eau non mixée.

*Dans les conditions décrites par l'énoncé, une différence de température de 2°C a été effectivement constatée.*

**Exercice 43****La gomme**

*CA : Connaissance du modèle moléculaire.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

L'échauffement local de la table (et de la gomme également) s'interprète dans le modèle moléculaire comme une augmentation de l'agitation des molécules. Elle s'explique par les chocs entre les molécules de la gomme et celles de la table résultant du frottement. L'usure de la gomme s'explique par la rupture de liaisons entre des molécules de la gomme résultant du frottement.

**Exercice 44****Câbles et fils électriques**

*DS : Mise en oeuvre du modèle moléculaire pour donner du sens à l'agitation des molécules. Construction d'un protocole.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

- a) La matière se dilate lorsque la température augmente et se contracte lorsqu'elle diminue. Les câbles et les fils doivent pouvoir se contracter sous l'effet d'un refroidissement lors d'un changement de température. S'ils étaient tout à fait tendus entre deux poteaux électriques, ils risqueraient de se rompre ou d'endommager les poteaux.

b) **Protocole**

Matériel : 1 m de fil de cuivre ou de fil de fer, 2 tiges et 2 statifs, 2 noix de serrage, un bec bunsen.

Dispositif : Modéliser la situation d'un câble fixé entre deux poteaux à l'aide des statifs, des tiges, des noix de serrage et du fil de cuivre.

Déroulement : chauffer progressivement le fil de cuivre en approchant du fil la flamme du bec bunsen et constater ou non la dilatation. Laisser refroidir le fil en éloignant la flamme du bec bunsen et constater ou non la contraction. On peut faire varier la tension initiale du fil, et répéter les observations avec du fil de fer.

**Exercice 45****L'eau prend l'ascenseur**

*DS : Mise en oeuvre du modèle moléculaire pour donner du sens à l'agitation des molécules.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

- a) Prévision : l'eau monte dans la paille.

Explication : la matière se dilate lorsqu'elle est chauffée. Au niveau moléculaire, l'augmentation de la température correspond à une augmentation de l'agitation moyenne des molécules. Les chocs entre les molécules sont donc d'autant plus violents que la température est élevée. Au cours de ces chocs les molécules se repoussent les unes les autres. Si la violence des chocs augmente, l'espacement des molécules augmente également. Cela se manifeste par la dilatation.

- b) Prévision : l'eau descend dans la paille.

Explication : la matière se contracte lorsqu'elle est refroidie. L'explication au niveau moléculaire est analogue mais inverse à celle de la question a).

*On peut vérifier les prévisions avec l'équipement d'une cuisine ou à l'école. Ce dispositif fonctionne sur le même principe qu'un thermomètre à alcool ou à mercure. On peut l'étalonner en graduant la paille à l'aide d'un thermomètre de référence.*

**Exercice 46****Les yeux fermés**

*DS : Mise en oeuvre du modèle moléculaire pour donner du sens à l'agitation des molécules dans les gaz.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

Lorsqu'on ouvre un flacon de parfum, celui-ci se vaporise lentement et diffuse dans l'air. L'explication du modèle moléculaire est la suivante : du fait de leur agitation, qui leur permet de vaincre les liaisons avec les molécules qui les entourent, les molécules odorantes les plus agitées s'échappent de la surface du liquide parfumé et s'en éloignent. Elles se déplacent librement entre les molécules de diazote et de dioxygène de l'air, avec lesquelles elles rentrent fréquemment en collision. Du fait de ces collisions, le mouvement des molécules odorantes est chaotique et se propage relativement lentement (il faut en général quelques secondes pour détecter l'ouverture du flacon à une distance de 1 mètre).



**Exercice 47****L'eau et la goutte d'encre**

*DS : Mise en oeuvre du modèle moléculaire pour donner du sens à l'agitation et aux liaisons des molécules dans les liquides.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.*

L'explication du modèle moléculaire est la suivante : une goutte d'encre contient des milliards de milliards de molécules colorantes et de molécules d'eau. Lorsque la goutte d'encre pénètre dans l'eau du verre, les molécules colorantes de l'encre se glissent et se dispersent entre les molécules d'eau car toutes ces molécules sont, selon le modèle moléculaire, agitées et faiblement liées. Elles se déplacent donc les unes par rapport aux autres et les molécules colorantes finissent par être éparpillées dans tout le verre. C'est ainsi que l'encre diffuse dans l'eau et finit par la colorer entièrement.

**Exercice 48****Solide soluble ou insoluble ?**

*CA : Application du modèle moléculaire pour expliquer la dissolution d'une substance solide dans un liquide.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

Première explication plausible : les liaisons entre les molécules d'une substance solide soluble dans l'eau (comme le sucre) sont plus faibles que les liaisons entre les molécules d'une substance solide insoluble dans l'eau (comme le quartz). Elles seront donc plus facilement détachées les unes des autres sous l'effet des chocs ou des liaisons avec les molécules d'eau. Deuxième explication plausible : les molécules d'une substance solide soluble dans l'eau se lient plus fortement avec les molécules d'eau que celles d'une substance solide insoluble dans l'eau.

**Exercice 49****Disparition d'un sucre**

*DS : Mise en œuvre des connaissances concernant le modèle moléculaire pour donner du sens à la dissolution d'une substance solide dans un liquide.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

Trois méthodes viennent à l'esprit : chauffer l'eau, réduire le sucre en poudre avant de l'introduire dans l'eau et remuer l'eau après y avoir introduit le sucre. En les combinant, on peut dissoudre très rapidement un sucre dans un verre d'eau

Tentative d'explication :

La dissolution du sucre est la conséquence des chocs et des liaisons entre les molécules de l'eau et les molécules du sucre à la frontière entre l'eau et le sucre. Ces chocs et liaisons arrachent des molécules de sucre car celles-ci sont relativement peu liées entre elles.

En augmentant la température de l'eau, on augmente l'agitation des molécules d'eau, et par conséquent la violence et la fréquence des chocs entre les molécules d'eau et les molécules du sucre : le nombre de molécules du sucre arrachées par seconde augmente.

En réduisant le morceau de sucre en poudre avant de l'introduire dans l'eau, on augmente la surface de sucre frappée par les molécules d'eau : le nombre de molécules du sucre arrachées par seconde augmente.

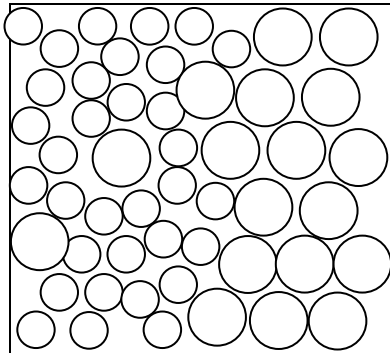
En remuant l'eau après y avoir introduit le sucre, on crée à la frontière entre l'eau et le sucre des courants qui emportent au fur et à mesure les molécules du sucre qui ont été arrachées. Ces courants empêchent ainsi qu'elles ne retournent se fixer à la surface du sucre.

**Exercice 50****Eau sucrée**

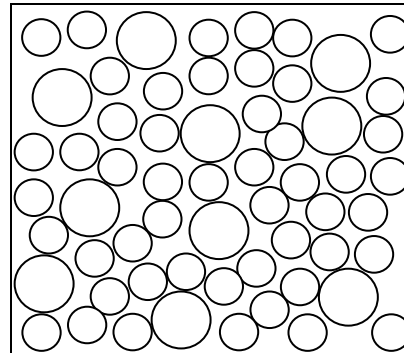
CA : Application du modèle moléculaire pour donner du sens à la dissolution d'une substance solide dans un liquide.

LA : Utilisation d'un langage schématique.

Une molécule de sucre est représentée par un grand cercle et une molécule d'eau par un petit cercle.



sucre en cours de  
dissolution dans l'eau



solution d'eau sucrée

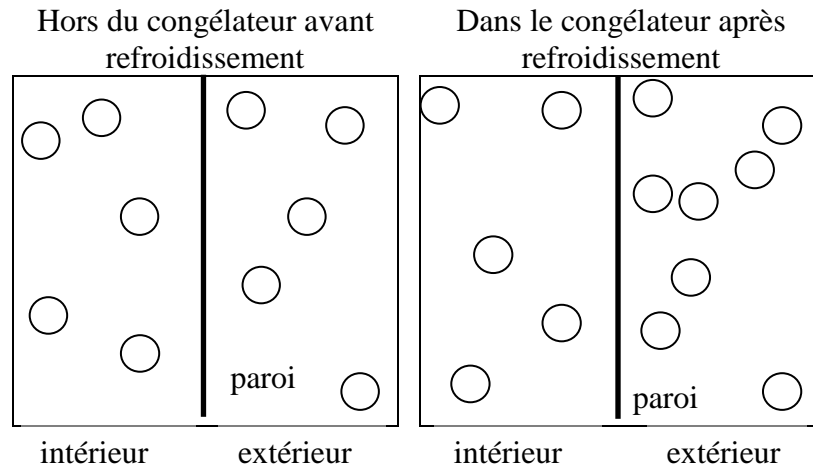
**Exercice 51****Bouteille vide au congélateur**

MM : Action suivant un protocole.

DS : Mise en œuvre du modèle moléculaire pour donner du sens à la température et à la pression des gaz.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

- a) **Prévision** : La bouteille en PET vide contient en fait de l'air. Lorsque la température baisse, la bouteille se déforme en se contractant.
- b) **Explication** : La baisse de température dans le congélateur se traduit par une baisse de l'agitation des molécules de l'air égale à l'intérieur et à l'extérieur de la bouteille. La densité de l'air, donc des molécules, augmente autour de la bouteille, car l'air du congélateur devient plus dense en se refroidissant (de l'air entre dans le congélateur). Par contre la densité de l'air donc des molécules ne peut varier à l'intérieur de la bouteille, car celle-ci est hermétiquement fermée et aucune molécule ne peut y entrer. Si l'agitation des molécules reste la même à l'extérieur et à l'intérieur de la bouteille, la violence des chocs sur la paroi de la bouteille reste aussi la même à l'extérieur et à l'intérieur. Si la densité des molécules devient plus grande à l'extérieur de la bouteille qu'à l'intérieur, la fréquence des chocs sur la paroi devient aussi plus grande à l'extérieur qu'à l'intérieur. Conséquence : la pression de l'air sur la paroi devient plus grande à l'extérieur qu'à l'intérieur et la bouteille se déforme par écrasement.



- c) La bouteille s'est effectivement déformée. La prévision était correcte.

### Exercice 52

### Gobelet de yoghourt en altitude

*DS : Mise en oeuvre du modèle moléculaire pour donner du sens à la pression des gaz.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

- a) Si le couvercle du gobelet de yoghourt est bombé, on peut en déduire que la pression de l'air est plus grande à l'intérieur qu'à l'extérieur du yoghourt. La pression de l'air enfermé dans le yoghourt, qui correspond à la pression de l'air en plaine, est donc plus élevée que celle qui règne au sommet de la montagne. Cela signifie que la pression de l'air baisse lorsqu'on monte en altitude. Comme la température est la même à l'intérieur et à l'extérieur du yoghourt, la différence de pression s'explique par la différence de densité de l'air à l'intérieur et à l'extérieur du yoghourt. Cela signifie que la densité de l'air diminue lorsqu'on monte en altitude. L'air se raréfie.
- b) Le randonneur entend le sifflement de l'air qui sort du yoghourt par le trou qu'il a fait dans le couvercle.
- c) La température, c'est-à-dire l'agitation des molécules, est la même à l'intérieur et à l'extérieur du yoghourt. La violence des chocs est donc la même sur la face interne et sur la face externe du couvercle du gobelet de yoghourt. Par contre la fréquence de ces chocs est plus grande sur la face interne que sur la face externe du couvercle puisque la pression y est plus grande. On en conclut que la densité de molécules et donc la densité de l'air est plus grande à l'intérieur qu'à l'extérieur du yoghourt. Lorsqu'un petit trou est pratiqué dans le couvercle, il y a initialement plus de molécules qui sortent du gobelet de yoghourt par seconde que de molécules qui y entrent. Ainsi de l'air sort en sifflant jusqu'à ce que l'équilibre des densités et des pressions soit rétabli.

## Corrigé des exercices relatifs à l'objectif 4

Utiliser le modèle moléculaire pour interpréter en termes d'agitation moléculaire et de liaisons inter-moléculaires les deux effets d'un transfert d'énergie thermique : changement de température et changement d'état physique.

### Exercice 53

#### L'égalisation des températures

CA : Application du modèle moléculaire pour donner du sens à l'agitation des molécules.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.

Dans le métal brûlant, les molécules ont une agitation moyenne supérieure à celle des molécules dans l'eau froide. Lorsqu'on trempe la barre dans l'eau, les molécules de la barre et celles de l'eau s'entrechoquent à leur surface de contact. Au cours de ces chocs, les molécules de la barre communiquent une partie de leur agitation aux molécules d'eau. L'agitation moyenne des molécules de la barre diminue donc, et celle des molécules d'eau augmente. La barre perd de l'énergie thermique et l'eau en gagne. Comme la température est une mesure de l'agitation moyenne des molécules, la température de la barre baisse et celle de l'eau augmente.

Lors d'un choc frontal entre deux billes identiques mais de vitesses différentes, on constate que la bille initialement la plus rapide a sa vitesse (en relation avec son « agitation ») qui diminue, tandis que la bille la plus lente a sa vitesse qui augmente. La notion intuitive d'agitation d'une molécule correspond à l'énergie de mouvement de cette molécule, qui dépend de sa masse et de sa vitesse.

### Exercice 54

#### La conduction thermique

CA : Application du modèle moléculaire pour donner du sens à l'agitation des molécules.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.

L'agitation moyenne des molécules est la même pour deux corps de même température. Lorsque deux corps ont des températures différentes, l'agitation moyenne de leurs molécules sont différentes. Si ces corps sont en contact, les molécules plus agitées transmettent de proche en proche une partie de leur agitation aux molécules moins agitées. De cette manière l'agitation moyenne des molécules du corps le plus froid augmente progressivement et sa température augmente : il se réchauffe.

### Exercice 55

#### La température d'un mélange

DS : Mise en oeuvre du modèle moléculaire pour donner du sens à l'agitation des molécules.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.

Comme ces deux quantités d'eau ont des températures différentes, leurs molécules n'ont pas la même agitation moyenne. Lorsqu'on les mélange, les molécules plus agitées de l'eau tiède transmettent lors des collisions une partie de leur agitation, et donc de leur énergie, aux molécules moins agitées de l'eau froide. Certaines molécules gagnent de l'agitation, d'autres en perdent, et l'agitation moyenne des molécules du mélange se situe entre l'agitation moyenne des molécules de l'eau chaude et l'agitation moyenne des molécules de l'eau froide. Cela se traduit par une température du mélange située entre 20°C et 40°C.

**Exercice 56****Chaque mot à sa place**

CA : Connaissance des effets des transferts d'énergie ; Connaissance des noms des changements d'états.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

Dans la nature, l'**évaporation** de l'eau (des océans, des mers et des lacs) est à l'origine de la formation des **nuages**.

En hiver, lorsque l'air est **humide** du **givre** se forme parfois sur les plantes par **condensation** à l'état **solide** d'eau contenue dans l'air. En été, c'est de la **rosée** qui se dépose sur les plantes. Lorsqu'on chauffe de l'eau suffisamment, elle entre en **ébullition** et se transforme en **vapeur**, invisible car c'est un **gaz**. Lorsque celui-ci entre en contact avec un objet froid, il se condense à l'état **liquide** sur cet objet et de la **buée** apparaît, constituée de minuscules **gouttelettes** d'eau.

Lorsqu'on fait bouillir de l'eau dans un lieu très froid, on voit se former un léger **brouillard** au-dessus de la casserole, constitué lui aussi de minuscules **gouttelettes** d'eau en suspension dans l'air.

La **fumée** d'un feu de bois contient des **particules** de carbone et d'autres espèces chimiques.

**Exercice 57****La gargoulette**

DS : Mise en oeuvre des connaissances relatives à l'évaporation pour analyser un phénomène ; Choix d'un modèle.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

On peut analyser le phénomène en termes de transfert d'énergie :

En raison de l'eau qui diffuse à travers sa paroi, la surface de la gargoulette en contact avec l'air est toujours légèrement humide. Cette eau s'évapore progressivement, et la chaleur nécessaire à cette évaporation est fournie par la gargoulette elle-même. En conséquence, la température de celle-ci baisse. Comme le vent favorise l'évaporation en emportant au fur et à mesure la vapeur d'eau formée à la surface de la gargoulette, il favorise également le refroidissement de la gargoulette.

On peut analyser le phénomène en termes d'agitation moléculaire et de liaisons intermoléculaires :

A la surface du pot humide, les molécules d'eau les plus rapides, les plus agitées, peuvent vaincre les liaisons avec leurs voisines, quitter l'eau et entrer dans l'air. Les molécules d'eau les plus agitées quittent ainsi progressivement la gargoulette, l'agitation moyenne des molécules restantes diminue, et par conséquent la température de la gargoulette baisse. Comme la plupart des molécules d'eau qui se sont extraites de la surface humide du pot y retournent à la suite des collisions qu'elles subissent avec d'autres molécules, l'évaporation est très lente. Le vent, qui n'est qu'un courant de molécules, a pour effet d'emporter les molécules d'eau au fur et à mesure qu'elles quittent la gargoulette et d'empêcher qu'elles y retournent. Le vent favorise donc l'évaporation et le refroidissement de la gargoulette.

**Exercice 58****Trois visages pour une matière**

CA : Connaissance des effets des transferts d'énergie ; Connaissance des noms des changements d'états.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

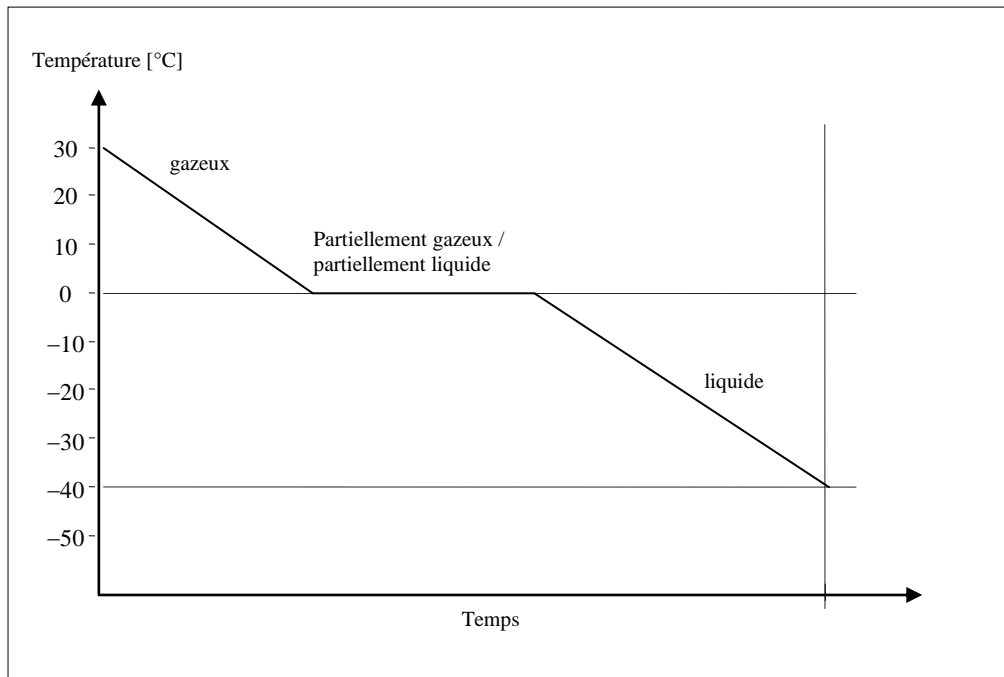
Etat physique de départ	Nom du changement d'état physique	Etat physique d'arrivée	Un exemple détaillé
Solide	Sublimation	Gazeux	En haute montagne, de la neige peut « disparaître » même en dessous de zéro degré Celsius. A cette température, elle ne peut pas fondre et passe donc directement de l'état solide à l'état gazeux.
Liquide	Solidification	Solide	Lors d'une éruption volcanique, la lave liquide éjectée du cratère se refroidit et se solidifie au contact de l'air.
Solide	Fusion	Liquide	On réalise des objets en or en coulant dans un moule de l'or liquide, obtenu par fusion d'or solide dans un creuset chauffé à une température suffisante.
Liquide	Vaporisation	Gazeux	Les routes qui sèchent après la pluie.
Gazeux	Liquéfaction ou condensation à l'état liquide	Liquide	La formation de brouillard.
Gazeux	Sublimation inverse ou condensation à l'état solide	Solide	La formation de givre sur la paroi extérieure d'un récipient quand on le sort du congélateur.

**Exercice 59****Le gaz refroidi**

CA : Application des connaissances concernant les effets des transferts d'énergie (cas de la liquéfaction) ; Consultation de la TFVN.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

Le butane se condense à l'état liquide à la température de  $-0,5^{\circ}\text{C}$ . Lorsqu'on le refroidit de  $+30^{\circ}\text{C}$  à  $-40^{\circ}\text{C}$ , on observe donc un palier de température à  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , qui correspond à la température d'ébullition/condensation du butane. Le graphique donne l'allure schématique de la courbe de température lors du refroidissement, raison pour laquelle l'axe du temps n'est pas gradué.

**Exercice 60****Azote liquide**

*DS : Mise en œuvre des connaissances concernant l'ébullition pour analyser une situation ; Lecture de la TFVN.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

- La température d'ébullition de l'azote est  $-196^{\circ}\text{C}$  à la pression atmosphérique normale. L'azote liquide est à cette température dans son récipient de conservation où, chauffé par l'air ambiant dont la température est beaucoup plus élevée, il bout et se vaporise progressivement.
- Le récipient doit être fermé pour isoler le mieux possible l'azote de l'air ambiant, beaucoup plus chaud, et éviter qu'il ne se vaporise trop rapidement. Il ne doit pas contre pas être fermé hermétiquement, pour éviter que la pression de l'azote gazeux formé au cours de l'ébullition de l'azote liquide augmente.

**Exercice 61****Les bulles mystérieuses**

*CA : Application du modèle moléculaire pour interpréter l'ébullition en termes d'agitation moléculaire et de liaisons inter-moléculaires.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

Elles contiennent de la vapeur d'eau.

L'ébullition de l'eau est un phénomène qui se déroule à l'intérieur du liquide, lorsque l'agitation moyenne des molécules d'eau est telle que l'énergie supplémentaire qui leur est transmise « sert » non pas à augmenter cette agitation, mais à rompre les liens entre les molécules. Elles peuvent alors s'espacer et forment des bulles de vapeur d'eau. Celles-ci grossissent progressivement en montant dans le liquide. Elles éclatent à la surface où elles libèrent leurs molécules dans l'air.

**Exercice 62****Que deviennent les molécules d'eau ?**

CA : Application du modèle moléculaire pour interpréter l'ébullition.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

Seule la proposition c) est correcte.

L'ébullition de l'eau est une transformation physique au cours de laquelle les molécules d'eau ne sont ni détruites, ni transformées, ni ne disparaissent. L'énergie qui leur est transmise par chauffage leur permet de rompre leurs liens. Emportées par les bulles de vapeur d'eau qui se forment, elles quittent progressivement le liquide en ébullition et se retrouvent dans l'air, mélangées aux molécules de l'air.

**Exercice 63****Température d'ébullition**

CA : Connaissance des facteurs influençant l'ébullition.

Lorsque...	la température d'ébullition du liquide...		
	augmente	ne change pas	diminue
la quantité de liquide augmente		vrai	
la température de la source de chaleur augmente		vrai	
la pression sur le liquide augmente	vrai		
la puissance de la source de chaleur augmente		vrai	

**Exercice 64****Evaporation ou ébullition, telle est la question !**

CA : Connaissance des caractéristiques de l'ébullition et de l'évaporation.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

Point commun :

L'ébullition et l'évaporation, de l'eau par exemple, sont toutes deux des vaporisations.

Différences :

L'ébullition d'un liquide a lieu à une température caractéristique de la substance, température qui dépend de la pression atmosphérique. L'évaporation d'un liquide a lieu quelle que soit sa température. Elle est d'autant plus rapide que la température est élevée et que la surface libre du liquide en contact avec l'air est étendue.

L'évaporation d'un liquide est un phénomène qui se déroule à la surface de celui-ci, où des molécules ont assez d'agitation pour vaincre les liaisons entre les molécules du liquide et s'échapper. L'ébullition d'un liquide est un phénomène qui se déroule à l'intérieur du liquide, lorsque l'agitation moyenne des molécules (la température) est localement suffisante pour vaincre leurs liaisons et leur permettre de s'espacer. Elles forment alors des bulles de vapeur. Celles-ci grossissent progressivement en remontant dans le liquide. Elles éclatent à la surface où elles libèrent leurs molécules dans l'air.



**Exercice 65****Une planète d'exception !**

*DS : Mise en oeuvre des connaissances relatives aux transformations physiques.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

L'état d'une substance dépend des conditions de pression et de température. Sur Terre, la température de l'air varie, grosso modo, entre  $-50^{\circ}\text{C}$  et  $+50^{\circ}\text{C}$  et la pression atmosphérique au sol est voisine de 1000 hPa. A cette pression la température de fusion de l'eau est de  $0^{\circ}\text{C}$  et sa température d'ébullition de  $100^{\circ}\text{C}$ . Elle est donc présente à l'état de vapeur dans l'air, à toute température, à l'état solide au sol et dans les nuages entre  $-50^{\circ}\text{C}$  et  $0^{\circ}\text{C}$ , ainsi qu'à l'état liquide au sol et dans les nuages entre  $0^{\circ}\text{C}$  et  $+50^{\circ}\text{C}$ .

**Exercice 66****De l'eau sur Mars ?**

*DS : Mise en oeuvre des connaissances relatives aux changements d'état de la matière ; Recherche d'informations.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

La température moyenne sur Mars ( $-63^{\circ}\text{C}$ ) est plus basse que sur Terre et la densité de l'atmosphère martienne, composée essentiellement de  $\text{CO}_2$ , est beaucoup plus faible que celle de l'atmosphère terrestre. Il en résulte que la pression atmosphérique sur Mars est beaucoup plus faible que sur Terre (plus de cent fois plus faible). C'est la raison principale pour laquelle l'eau ne peut exister à l'état liquide sur notre voisine du système solaire.

On peut s'en convaincre en plaçant de l'eau dans une cloche à vide et en créant artificiellement une pression d'air très faible à l'intérieur de la cloche à l'aide d'une pompe à air. On constate que l'eau se met à bouillir et se vaporise progressivement.

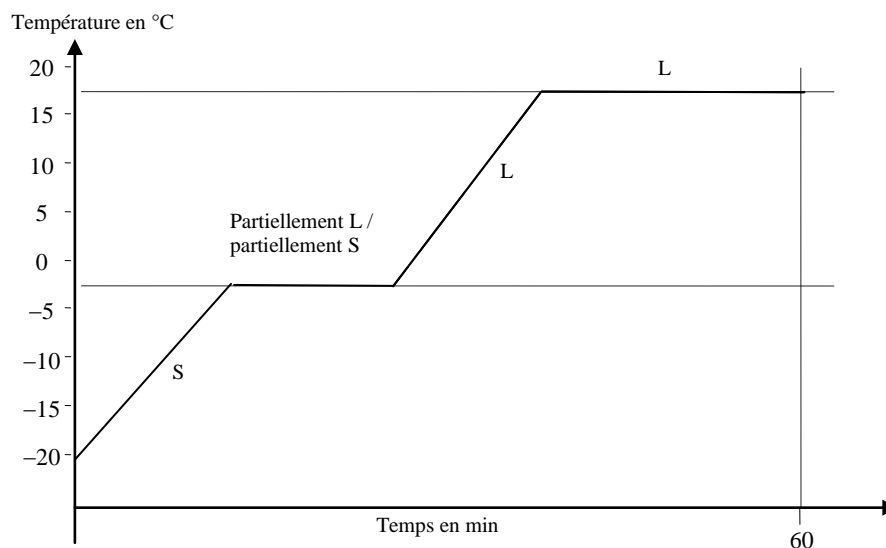
A l'échelle moléculaire, On peut donner l'explication suivante : vu la faible densité de molécules dans l'atmosphère martienne, la fréquence des chocs de ces molécules sur une surface d'eau serait insuffisante pour renvoyer dans l'eau la plupart des molécules qui en sortiraient du fait de leur agitation thermique ou des chocs avec des molécules de l'atmosphère. Les molécules d'eau quitteraient ainsi progressivement la phase liquide pour se retrouver dans l'atmosphère.

Remarquons que l'eau existe bel et bien à l'état solide aux pôles de Mars et qu'elle peut sublimer à l'état de vapeur.

**Exercice 67****Mort d'un glaçon**

*DS : Mise en oeuvre des connaissances relatives aux changements d'état de la matière pour analyser une situation.*

*LA : Construction d'un graphique.*



**Exercice 68****L'eau traverse-t-elle le verre ?**

*MM : Action suivant un protocole.*

*DS : Mise en oeuvre des connaissances relatives aux changements d'état de la matière pour analyser une situation ; Choix d'un modèle.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

Les glaçons enfermés dans le bocal vont provoquer le refroidissement de celui-ci. L'eau ne peut évidemment pas traverser le verre. L'eau qui apparaît sur la face externe du bocal doit donc provenir de l'air ambiant, dans lequel elle se trouve à l'état gazeux. Comme la température du verre est inférieure à la température de l'air, cette vapeur d'eau se condense à l'état liquide par refroidissement au contact du verre.

Avec le modèle moléculaire on peut dire que les molécules de l'air sont plus agitées que les molécules du verre puisque celui-ci a une température plus basse que l'air. Lorsqu'une molécule d'eau présente dans l'air percute la paroi du bocal, elle transmet une partie de son énergie d'agitation à des molécules du verre. Les molécules d'eau ainsi ralenties ou stoppées par les molécules du verre peuvent rester liées à celles-ci et s'agglomérer progressivement les unes aux autres, formant ainsi des gouttelettes d'eau liquide. Parallèlement, l'air et la vapeur d'eau qu'il contient réchauffent progressivement le bocal.

## Corrigé des exercices relatifs à l'objectif 5

Caractériser les substances par leurs températures de changement d'état.

### Exercice 69

#### Ciel mes bijoux !

*DS : Consultation de la TFVN ; Mise en oeuvre des connaissances relatives aux températures de changement d'état.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

Selon la TFVN, les températures de fusion et d'ébullition des métaux cités sont les suivantes :

Cuivre :  $\theta_F = 1083 \text{ °C}$  et  $\theta_E = 2567 \text{ °C}$       Or :  $\theta_F = 1064 \text{ °C}$  et  $\theta_E = 3080 \text{ °C}$

Fer :  $\theta_F = 1535 \text{ °C}$  et  $\theta_E = 2750 \text{ °C}$       Zinc :  $\theta_F = 420 \text{ °C}$  et  $\theta_E = 907 \text{ °C}$

Fonte :  $\theta_F = 1177 \text{ °C}$  et  $\theta_E$  non communiquée

Les objets en cuivre et en or ayant fondu, on en déduit que la température a atteint ou dépassé  $1083 \text{ °C}$  dans le salon. A une telle température, le zinc est à l'état gazeux. Il a donc fondu et s'est vaporisé dans l'incendie.

### Exercice 70

#### Solide ? Liquide ? Gazeux ?

*CA : Lecture de la TFVN ; Mise en oeuvre des connaissances relatives aux températures de changement d'état.*

Du fer à  $1500 \text{ °C}$  est solide.

De l'eau à  $100 \text{ °C}$  peut être liquide ou gazeuse (vapeur).

Du zinc à  $1000 \text{ °C}$  est gazeux.

Du mercure à  $0 \text{ °C}$  est liquide.

Du plomb à  $500 \text{ °C}$  est liquide.

De l'alcool (éthanol) à  $-100 \text{ °C}$  est liquide.

### Exercice 71

#### Fondu ou pas fondu ?

*CA : Lecture de la TFVN ; Mise en oeuvre des connaissances relatives aux températures de changement d'état.*

La température que l'on peut atteindre dans ce creuset est supérieure ou égale à  $420 \text{ °C}$  ( $\theta_F$  du zinc) mais inférieure à  $660 \text{ °C}$  ( $\theta_F$  de l'aluminium).

### Exercice 72

#### Frileux le butane ?

*DS : Consultation de la TFVN ; Mise en oeuvre des connaissances relatives aux températures de changement d'état.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

A la pression atmosphérique, le propane bout et se vaporise à  $-42,1 \text{ °C}$ , et le butane à  $-0,5 \text{ °C}$ .

En hiver, la température à l'extérieur des habitations peut descendre largement en dessous de  $0 \text{ °C}$ , et le butane ne pourrait donc pas se vaporiser. Il resterait à l'état liquide dans la citerne.

### Exercice 73

#### Que dit le graphique ?

*DS : Consultation de la TFVN ; Mise en oeuvre des connaissances relatives aux températures de changement d'état.*

*LA : Lecture d'un graphique.*

- A  $1000 \text{ °C}$ , l'aluminium est à l'état liquide. Il se solidifie à  $660 \text{ °C}$ , hors on ne constate aucun palier sur la courbe à cette température qui indiquerait ce changement d'état.
- Il pourrait s'agir de n'importe quel métal qui ne change pas d'état entre  $1000 \text{ °C}$  et  $20 \text{ °C}$ , et qui refroidit sans palier de température entre ces deux valeurs. Il s'agit du cuivre, du fer et du tungstène. Selon la TFVN, l'argent fond à  $962 \text{ °C}$ , l'étain à  $232 \text{ °C}$ , le plomb à  $328 \text{ °C}$ , le zinc à  $420 \text{ °C}$  et le mercure bout à  $357 \text{ °C}$ .

## Corrigé des exercices relatifs aux objectifs 6 et 7

Distinguer les transformations chimiques des transformations physiques par des critères à l'échelle humaine et à l'échelle moléculaire.

Représenter les espèces chimiques à l'aide d'une écriture symbolique appropriée en se limitant principalement aux éléments carbone, hydrogène et oxygène.

Modéliser les transformations chimiques par des réactions chimiques. Rendre compte de la conservation de la matière par celle des atomes. Utiliser le modèle de la réaction chimique pour introduire la stœchiométrie à l'échelle des molécules.

### Exercice 74

### Cachet effervescent

*DS : Consultation de la TFVN ; Mise en oeuvre des connaissances relatives aux températures de changement d'état.*

*LA : Lecture d'un graphique.*

- a) Il ne peut s'agir ni d'air, ni de dioxygène, ni de dihydrogène, car la flamme ne s'éteindrait pas à leur contact. Parmi les gaz étudiés, il peut s'agir de vapeur d'eau, de dioxyde de carbone ou de diazote, car une allumette s'éteint dans ces gaz.

Hypothèse 1: L'effervescence est une ébullition et le gaz produit est de la vapeur d'eau.

Test : L'eau bout à 100°C. On peut donc mesurer la température de la solution effervescente pour vérifier qu'il s'agit bien d'une ébullition. On peut également essayer de condenser le gaz sur un support froid, et tester le liquide éventuellement obtenu avec du sulfate de cuivre anhydre. S'il bleuit, c'est probablement de l'eau.

Vérification : l'expérience invalide cette hypothèse.

Hypothèse 2: L'effervescence est due à une libération ou à une production de dioxyde de carbone (ou gaz carbonique).

Test : On peut le vérifier en introduisant de l'eau de chaux dans une éprouvette remplie du gaz inconnu et en agitant. Si l'eau de chaux se trouble, c'est probablement du dioxyde de carbone.

Vérification : l'expérience valide cette hypothèse.

- b) Il s'agit d'une transformation qui dégage du dioxyde de carbone, comme le confirme le test de l'eau de chaux. Dans les conditions de l'expérience, le dioxyde de carbone est gazeux. Il n'est donc pas apparu suite à une sublimation ou à une vaporisation de dioxyde de carbone solide ou liquide. Le volume de gaz produit exclut également qu'il s'agisse de dioxyde de carbone initialement dissous dans l'eau ou emprisonné dans le cachet et libéré physiquement lors de l'introduction du cachet dans l'eau. Il s'agit donc très vraisemblablement du produit d'une transformation chimique dont le dioxyde de carbone est le ou l'un des produits.

**Exercice 75****Définitions**

CA : Connaissance du langage des espèces chimiques.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique.

- Une molécule est une combinaison d'atomes.
- Un élément chimique est une catégorie d'atomes semblables.
- Une espèce chimique est une catégorie de molécules semblables.

**Exercice 76****La plus petite quantité d'eau**

CA : Connaissance du langage des espèces chimiques.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.

La plus petite quantité d'eau imaginable est la molécule d'eau. C'est toutefois une quantité dérisoire et la moindre goutte d'eau, même microscopique, en contient des milliards de milliards.

**Exercice 77****Nombre d'atomes, d'éléments ou d'espèces chimiques**

CA : Connaissance du langage des espèces chimiques.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique.

- a) Comme il y a trois atomes par molécule d'eau, il y a donc trois milliards d'atomes dans un milliard de molécules d'eau.
- b) Il y a les deux éléments chimiques hydrogène et oxygène?
- c) Une seule espèce : l'eau  $H_2O$ .

**Exercice 78****La recette du lait**

CA : Connaissance du langage des espèces chimiques.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

- a) Le carbone (C), l'oxygène (O) et l'hydrogène (H).
- b) Il y a 3 atomes dans une molécule d'eau, 34 atomes dans une molécule de lactose, 56 atomes dans une molécule d'acide stéarique, 54 atomes dans une molécule d'acide oléique et 76 atomes dans une molécule de cholestérol.

**Exercice 79****L'acide lactique**

CA : Connaissance du langage des espèces chimiques.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

- a) Dans une molécule d'acide lactique  $CH_3CHOHCOOH$ , il y a :
  - 6 atomes d'hydrogène.
  - 3 atomes de carbone.
  - 3 atomes d'oxygène.
  - 12 atomes en tout.
- b)  $C_3H_6O_3$  est une formule encore plus simple pour cette espèce chimique.

**Exercice 80** **Nombre de molécules et d'atomes**

CA : Connaissance du langage des espèces chimiques.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique.

- Il y a deux milliards d'atomes d'hydrogène dans un milliard de molécules d'eau.
- Il y a un milliard d'atomes d'oxygène dans un milliard de molécules d'eau.
- Il y a deux milliards d'atomes d'oxygène dans un milliard de molécules de dioxygène.
- On peut former cinq cent millions de molécules de dihydrogène à partir d'un milliard d'atomes d'hydrogène.

**Exercice 81** **Air et molécules**

CA : Connaissance de la nature et de la composition de l'air.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

Il n'existe pas de molécule d'air car l'air n'est pas une espèce chimique, mais un mélange d'espèces chimiques différentes (dans l'air sec il y a ~78% de diazote, ~21% de dioxygène, ~0.9% d'argon, etc.) L'air est donc constitué de plusieurs sortes de molécules.

**Exercice 82** **A toi de corriger !**

DS : Mise en oeuvre du langage des espèces chimiques.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique.

- « Les molécules d'air contiennent de l'azote et de l'oxygène. » est une affirmation scientifiquement incorrecte car il n'existe pas de molécule d'air. L'air n'est pas une espèce chimique, mais un mélange d'espèces chimiques différentes (diazote, dioxygène, argon, etc). Il est donc constitué de plusieurs sortes de molécules, parmi lesquelles des molécules de diazote et de dioxygène.
- « L'eau est un élément chimique formé d'un mélange d'atomes d'oxygène et d'hydrogène. » est une affirmation scientifiquement incorrecte. L'eau n'est pas un élément chimique puisqu'elle n'est pas une catégorie d'atomes. C'est une catégorie de molécules, donc une espèce chimique. Chaque molécule d'eau est une combinaison de deux atomes de l'élément hydrogène et d'un atome de l'élément oxygène liés entre eux.

**Exercice 83** **Des éléments et des espèces chimiques**

CA : Connaissance du langage des espèces chimiques ; Consultation du tableau périodique.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

- L'hydrogène (H), l'hélium (He), le lithium (Li) et le béryllium (Be), pour citer les quatre premiers éléments du tableau qui en contient une centaine.
- L'eau (H<sub>2</sub>O), le diazote (N<sub>2</sub>), le dioxygène (O<sub>2</sub>) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), cités parmi les innombrables espèces possibles.

**Exercice 84** **Ni élément, ni espèce chimique !**

CA : Connaissance du langage des espèces chimiques.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

- L'air est un mélange formé de diazote  $N_2$ , de dioxygène  $O_2$ , d'argon Ar, de dioxyde de carbone  $CO_2$ , de vapeur d'eau  $H_2O$  et d'innombrables autres espèces chimiques.
- L'eau du robinet contient non seulement l'espèce chimique « eau »  $H_2O$ , mais également des sels minéraux et des gaz dissous en faibles proportions (généralement inférieures à 1%).
- Une roche, comme le granit par exemple, est un mélange de plusieurs espèces chimiques minérales dont les proportions varient d'un échantillon à l'autre. La silice ( $SiO_2$ ), les carbonates des roches calcaires ( $CaCO_3$  et  $MgCO_3$ ), l'alumine ( $Al_2O_3$ ), les oxydes métalliques de fer ( $Fe_2O_3$ ) et de cuivre ( $Cu_2O$ ) sont des espèces abondantes dans les roches terrestres.
- Le bois est composé de très nombreuses espèces chimiques, dont l'eau et la cellulose.

**Exercice 85** **Des noms, des symboles et des formules**

CA : Application du langage des espèces chimiques ; Consultation du tableau périodique et du tableau ressource.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

- a) L'azote N ; le dioxyde de carbone ou gaz carbonique  $CO_2$  ; l'or Au ; le chlore Cl ; le diazote  $N_2$  ; l'uranium U ; l'eau  $H_2O$ .
- b) Ar pour l'argon ;  $CH_4$  pour le méthane ; CO pour le monoxyde de carbone ; Fe pour le fer ;  $C_2H_6O$  pour l'éthanol ;  $C_6H_{12}O_6$  pour le glucose ;  $O_3$  pour l'ozone ;  $H_2O_2$  pour l'eau oxygénée .

**Exercice 86** **Elément, espèce chimique ou substance ?**

CA : Connaissance du langage des espèces chimiques.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique.

- « Eau » est le nom d'une espèce chimique.
- « Eau » est le nom d'une substance.
- « Air » est le nom d'une substance.
- L'air est un mélange d'espèces chimiques.
- Le dioxygène est l'espèce chimique qui constitue la substance couramment appelée « gaz oxygène » ou « oxygène ».
- « Oxygène » est le nom d'un élément chimique.
- Le dioxyde de carbone est le nom d'une espèce chimique.
- Le dioxyde de carbone est l'espèce chimique qui constitue la substance couramment appelée « gaz carbonique ».

**Exercice 87** **Décompte de molécules**

CA : Application du langage des espèces chimiques ; Consultation du tableau ressource.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

- a) 3  $H_2O$
- b) 15  $C_{12}H_{22}O_{11}$  signifie quinze molécules de saccharose.
- c) C'est "5  $C_2H_6O$ " qui représente cinq molécules d'éthanol.

**Exercice 88****Comptons les atomes**

CA : Application du langage des espèces chimiques ; Consultation du tableau ressource.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

1.
  - a) Il y a huit atomes de carbone dans deux molécules de butane ( $C_4H_{10}$ ).
  - b) Il y a trois atomes de carbone dans trois molécules de gaz carbonique ( $CO_2$ ).
  - c) Il y a douze atomes de carbone dans une molécule de saccharose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )
  - d) Il y a huit atomes de carbone dans quatre molécules d'éthanol ( $C_2H_6O$ )
2.
  - a) Il n'y a pas d'atomes d'oxygène dans deux molécules de butane ( $C_4H_{10}$ ).
  - b) Il y a six atomes d'oxygène dans trois molécules de gaz carbonique ( $CO_2$ ).
  - c) Il y a onze atomes d'oxygène dans une molécule de saccharose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )
  - d) Il y a quatre atomes d'oxygène dans quatre molécules d'éthanol ( $C_2H_6O$ )

**Exercice 89****Bon sang ne saurait mentir**

DS : Mise en oeuvre du langage des espèces chimiques ; Mobilisation des connaissances; Recherche d'informations.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

Le sang contient, parmi de très nombreuses espèces chimiques, de l'eau  $H_2O$ , de l'hémoglobine (une protéine complexe), du diazote  $N_2$ , du dioxygène  $O_2$ , du dioxyde de carbone  $CO_2$ , etc.

**Exercice 90****Identité, formule et composition**

CA : Application du langage des espèces chimiques ; Consultation du tableau ressource.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

Nom de la molécule	Formule chimique	Composition en atome de la molécule
eau	$H_2O$	2 atomes d'H 1 atome d'O
gaz carbonique	$CO_2$	1 atome de C 2 atomes d'O
dihydrogène	$H_2$	2 atomes d'H
méthanol	$CH_4O$	1 atome de C 4 atomes d'H 1 atome d'O
éthanol	$C_2H_6O$	2 atomes de C 6 atomes de H 1 atome de O
méthane	$CH_4$	1 atome de C 4 atomes d'H
propane	$C_3H_8$	3 atomes de C 8 atomes d'H
acétone	$C_3H_6O$	3 atomes de C 6 atomes d'H 1 atome d'O



**Exercice 91****Assemblage de molécules**

CA : Application du langage des espèces chimiques ; Consultation du tableau ressource.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

- Avec deux atomes de carbone et huit atomes d'hydrogène, il est possible d'obtenir deux molécules de méthane ( $\text{CH}_4$ )
- Avec seize atomes d'oxygène, huit atomes d'hydrogène et quatre atomes de soufre, il est possible d'obtenir quatre molécules d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).
- Avec dix atomes de carbone, cinq atomes d'oxygène et trente atomes d'hydrogène, il est possible d'obtenir cinq molécules d'éthanol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ )?

**Exercice 92****Masse et quantité de molécules**

DS : Mise en oeuvre des connaissances relatives aux molécules et atomes pour donner du sens à la masse.

LA : Utilisation de la langue française, du langage symbolique et du vocabulaire scientifique.

- Chaque atome a une masse (ou « charge » de matière). La masse d'un échantillon, mesurée par pesée, dépend du nombre et de la nature des atomes constituant les molécules de cet échantillon. Une molécule d'éthanol  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  contient 2 atomes de carbone, 6 atomes d'hydrogène et 1 atome d'oxygène, c'est à dire 1 atome de carbone et 4 atomes d'hydrogène de plus qu'une molécule d'eau  $\text{H}_2\text{O}$ . Par conséquent, un milliard de molécules d'éthanol est plus lourd que un milliard de molécules d'eau.
- Une molécule de gaz carbonique  $\text{CO}_2$  est plus lourde qu'une molécule de dioxygène  $\text{O}_2$  car elle contient un atome de carbone de plus. Il y a donc moins de molécules dans un gramme de gaz carbonique que dans un gramme de dioxygène.

**Exercice 93****Antoine Laurent de Lavoisier**

DS : Mise en œuvre des connaissances de physique et de chimie.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

"Dans la nature, rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme."

Dans les transformations physiques, les molécules des espèces chimiques sont conservées en nombre et en nature.

Dans les transformations chimiques et physiques les atomes sont conservés en nombre et en nature.

De cela découle la conservation de la masse lorsque de la matière est transformée.

## Corrigé des exercices relatifs à l'objectif 8

Modéliser les transformations chimiques par des réactions chimiques. Rendre compte de la conservation de la matière par celle des atomes. Utiliser le modèle de la réaction chimique pour introduire la stœchiométrie à l'échelle des molécules.

### Exercice 94

#### Réactif et produit

LA : Connaissance du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

Les réactifs sont le dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  et le carbone C.  
Le produit est le monoxyde de carbone CO.

### Exercice 95

#### Le feu couve dans l'éprouvette

DS : Mise en œuvre des connaissances relatives aux transformations chimiques pour donner du sens à une pyrolyse.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

- Le noircissement du contenu de l'éprouvette s'explique comme l'apparition de l'espèce chimique carbone (C). On en déduit qu'il y a transformation chimique de la cellulose ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) avec formation de nouvelles espèces chimiques, dont le carbone.
- La molécule de cellulose ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) étant formée d'atomes de carbone (C), d'hydrogène (H) et d'oxygène (O), le gaz inflammable produit au cours de la pyrolyse du bois, ne peut contenir que ces éléments. Ce gaz inflammable peut être un mélange de plusieurs espèces chimiques.

Voici quelques candidats trouvés dans le "TABLEAU RESSOURCE DES ESPECES CHIMIQUES ET DES MOLECULES" : le méthane ( $\text{CH}_4$ ), le butane ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), le dihydrogène ( $\text{H}_2$ ), l'éthanol à l'état gazeux ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) etc.

### Exercice 96

#### On n'obtient pas toujours ce qu'on veut

DS : Mise en œuvre des connaissances relatives aux transformations chimiques.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

- Non, on ne peut pas obtenir du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) en décomposant de l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ), car les molécules d'eau ne contiennent pas d'atomes de carbone (C).
- Oui, on peut obtenir du dihydrogène ( $\text{H}_2$ ) en décomposant chimiquement du méthane ( $\text{CH}_4$ ), car ses molécules contiennent des atomes d'hydrogène (H).
- Lors de la décomposition chimique du saccharose ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ), on peut obtenir au maximum onze molécules d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) par molécule de saccharose. (On obtient aussi 12 molécules de carbone (C)).

### Exercice 97

#### Pas si sucré que ça

CA : Consultation du tableau ressource ; Application des règles pour écrire et équilibrer l'équation d'une réaction.

LA : Utilisation du langage symbolique.



**Exercice 98****Transformons de l'eau**

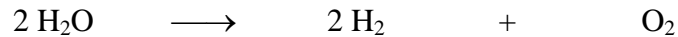
CA : Application des connaissances relatives aux transformations physiques et chimiques ; Mise en œuvre des connaissances relatives à l'électrolyse de l'eau.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

a) Il s'agit d'une transformation chimique.

L'électrolyse de l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) modifie les liaisons entre les atomes d'hydrogène (H) et d'oxygène (O) des molécules d'eau avec formation de molécules de dihydrogène ( $\text{H}_2$ ) et de dioxygène ( $\text{O}_2$ ).

Dans la réaction qui modélise cette transformation, l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) est le réactif et les produits sont le dihydrogène ( $\text{H}_2$ ) et le dioxygène ( $\text{O}_2$ ). L'équation chimique est :



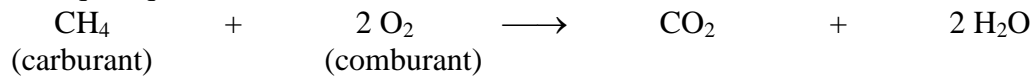
b) L'équation équilibrée décrivant la synthèse de l'eau ( $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ ) nous indique que deux molécules de dihydrogène ( $\text{H}_2$ ) réagissent avec une molécule de dioxygène ( $\text{O}_2$ ) pour produire deux molécules d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Par raison de proportionnalité, il faudra deux milliards de molécules de dihydrogène et un milliard de molécules de dioxygène pour obtenir deux milliards de molécules d'eau.

**Exercice 99****Ça carbure au méthane**

CA : Application des connaissances relatives aux réactions chimiques et aux combustions en particulier.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique approprié.

L'équation chimique équilibrée de cette réaction de combustion est :



Les réactifs sont le méthane ( $\text{CH}_4$ ) et le dioxygène ( $\text{O}_2$ )

les produits sont le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et la vapeur d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ )

**Exercice 100****Feu de bois**

CA : Application des connaissances relatives aux transformations chimiques.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

Les éléments chimiques présents dans le bois sont le carbone (C), l'oxygène (O) et l'hydrogène (H) car ce sont ces trois éléments qui apparaissent dans les formules chimiques du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et de la vapeur d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

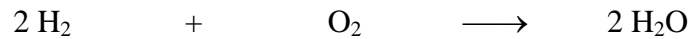


**Exercice 103** **Une fusée qui produit de l'eau**

*DS : Mise en œuvre des connaissances relatives aux transformations chimiques ; Mise en œuvre des connaissances relatives à la synthèse de l'eau.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

- a) Une hypothèse plausible est que la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) éjectée par le réacteur de la fusée est le produit de la combustion du dihydrogène (H<sub>2</sub>), contenu dans un des réservoirs de la fusée et du dioxygène (O<sub>2</sub>) contenu dans un autre réservoir.
- b) Les réactifs dihydrogène (H<sub>2</sub>) et dioxygène (O<sub>2</sub>) réagissent chimiquement pour produire de l'eau (H<sub>2</sub>O) selon l'équation :

**Exercice 104** **L'air et le feu : deux éléments ?**

*DS : Mise en œuvre de l'ensemble des connaissances de physique et de chimie.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

Ni **l'air**, ni le **feu** ne se trouvent dans la liste des éléments du TABLEAU PERIODIQUE DES ELEMENTS ou dans celle de la TFVN (pages 74 à 78). Il ne s'agit donc pas d'éléments chimiques.

**L'air** est un mélange d'espèces chimiques différentes (dans l'air sec il y a ~78% de diazote, ~21% de dioxygène, ~0.9% d'argon, etc.). Lorsque l'air est humide, il peut contenir jusqu'à environ 5 % en volume de vapeur d'eau. Au-delà de ce pourcentage, la vapeur d'eau se condense à l'état liquide et forme du brouillard.

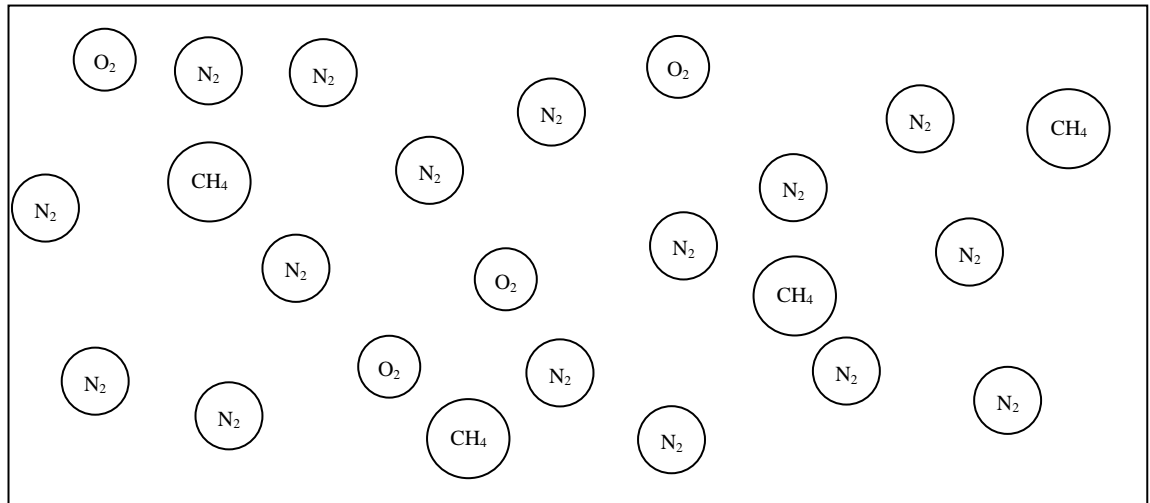
**Le feu** est ordinairement la manifestation d'un processus de combustion. Les flammes sont un mélange d'espèces chimiques caractérisé par sa température élevée, la production de chaleur et l'émission de lumière plus ou moins intense et diversement colorée. Elles contiennent le comburant dioxygène, au moins un carburant, de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone et d'autres produits de combustion ainsi que des particules microscopiques, de suie par exemple.

**Exercice 105****Bec bunsen et gaz de ville**

CA : Application des connaissances relatives au modèle moléculaire, aux transformations chimiques et à la combustion.

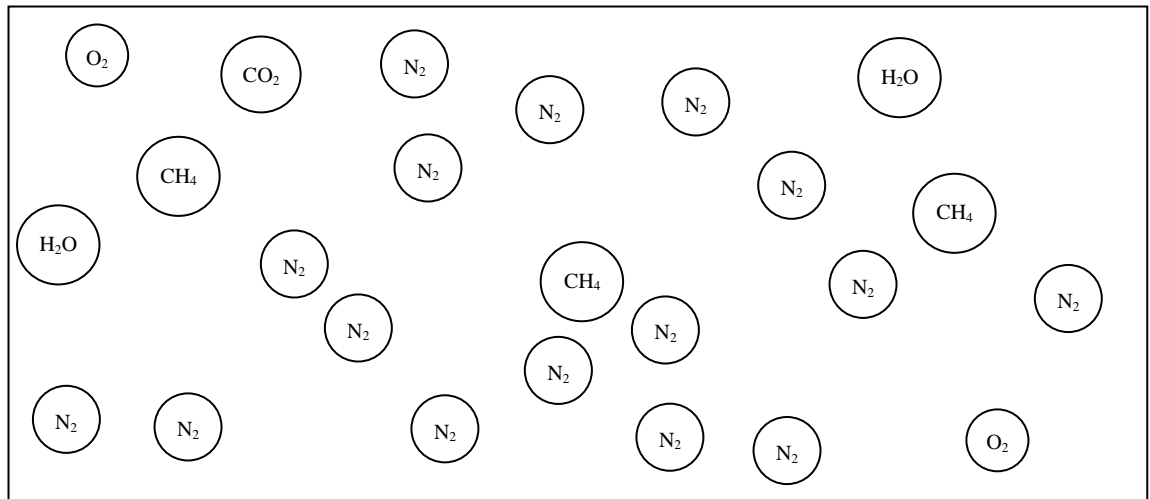
LA : Utilisation d'un langage schématique.

a)



Echantillon d'air (à l'échelle moléculaire) se trouvant à deux ou trois centimètres au-dessus du bec bunsen ouvert juste avant son allumage. L'échantillon dessiné est formé de seize molécules  $N_2$ , quatre molécules  $O_2$  et quatre molécules  $CH_4$ . Ce choix est arbitraire mais plausible, et tient compte de la proportion de  $N_2$  et  $O_2$  dans l'air.

b)

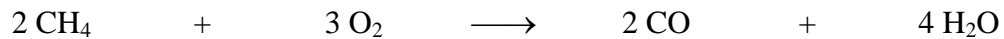


Echantillon de matière (à l'échelle moléculaire) se trouvant dans la flamme du bec bunsen ouvert lorsqu'il est allumé. L'échantillon dessiné est formé de seize molécules  $N_2$ , deux molécules  $O_2$ , trois molécules  $CH_4$ , une molécule  $CO_2$  et deux molécules  $H_2O$ . Ce choix tient compte de l'échantillon initial et de l'équation de la réaction de combustion complète du méthane.

**Exercice 106****Ça brûle mal**

CA : Application des règles pour équilibrer l'équation d'une réaction ; Utilisation du tableau ressource.

LA : Utilisation du vocabulaire scientifique et du langage symbolique.

**Exercice 107****Atteindre l'équilibre**

CA : Application des règles pour équilibrer l'équation d'une réaction.

LA : Utilisation du vocabulaire du langage symbolique.

**Exercice 108****Le mariage du charbon et de l'oxygène**

CA : Application des connaissances relatives aux transformations chimiques et aux combustions.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

Les seules espèces chimiques qui peuvent être produites lors de la combustion du charbon dans du dioxygène pur sont le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et le monoxyde de carbone ( $\text{CO}$ ) car le charbon et le dioxygène ne contiennent que les éléments carbone (C) et oxygène (O). Les autres espèces mentionnées (le dihydrogène ( $\text{H}_2$ ); la vapeur d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ); le méthane ( $\text{CH}_4$ ) et le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ )) contiennent d'autres éléments.

**Exercice 109****Tests**

DS : Mise en œuvre des connaissances relatives aux tests d'identification pour analyser un résultat.

LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.

Hypothèse : Il y avait du gaz carbonique dans le premier erlenmeyer, du dioxygène dans le deuxième et de l'air dans le troisième.

Explication : Le gaz carbonique trouble l'eau de chaux et éteint une flamme tandis que le dioxygène favorise la combustion.

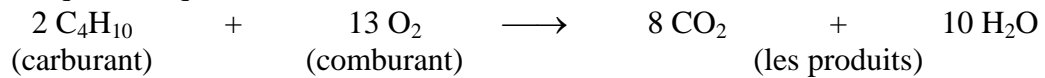
**Exercice 110****Le briquet**

*DS : Mise en œuvre, pour analyser des résultats d'observations, des connaissances relatives aux transformations physiques et chimiques ainsi qu'aux combustions.*

*MM : Action suivant un protocole.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

C'est essentiellement du gaz butane ( $C_4H_{10}$ ) qui brûle. Lorsque la réaction de combustion est complète, son équation équilibrée est la suivante:



Dans l'air, cette réaction est incomplète et d'autres produits apparaissent, comme le carbone (C) et le monoxyde de carbone (CO).

- Les principales espèces chimiques présentes dans la flamme sont :  
Les réactifs : le gaz butane ( $C_4H_{10}$ ) et le dioxygène ( $O_2$ ) de l'air.  
Les produits : le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), l'eau à l'état gazeux ( $H_2O$ ), la suie (C), le monoxyde de carbone (CO).  
Le diazote ( $N_2$ ) est aussi présent mais ne participe pas à la réaction chimique.
- La **transformation physique** est la vaporisation du butane liquide ( $C_4H_{10}$ ) contenu dans le réservoir.  
Les **transformations chimiques** sont les réassemblages en molécules de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) et d'eau ( $H_2O$ ) des atomes des éléments carbone (C), hydrogène (H) et oxygène (O) présents dans les molécules de butane ( $C_4H_{10}$ ) et du dioxygène ( $O_2$ ) de l'air.
- Lorsque le gaz butane ( $C_4H_{10}$ ) brûle, de l'eau ( $H_2O$ ) à l'état gazeux est produite. Comme la température du verre retourné est inférieure à la température de cette vapeur d'eau, elle se condense à l'état liquide par refroidissement au contact du verre.
- Pour que le gaz butane ( $C_4H_{10}$ ) brûle, il faut un comburant. C'est en l'occurrence le dioxygène ( $O_2$ ) initialement présent sous le verre retourné. Après quelques secondes, ce comburant s'épuise et la réaction de combustion du butane est stoppée.
- Le noircissement du fond du verre s'explique comme un dépôt de l'espèce chimique carbone (C). C'est un des produits de la combustion incomplète du butane, présent dans la flamme sous forme de particules microscopiques de suie, dont l'incandescence colore la flamme en jaune.

**Exercice 111****Passoire magique**

*DS : Mise en œuvre, pour analyser ou prévoir des résultats d'observations, des connaissances relatives aux transformations physiques et chimiques ainsi qu'aux combustions ; Construction d'un protocole expérimental.*

*MM : Action suivant un protocole.*

*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

L'explication de ce phénomène n'est pas élémentaire. Nous nous contenterons de dire que le grillage de la passoire perturbe la circulation des gaz de la flamme et évacue rapidement de la chaleur. Il est intéressant de constater que lorsqu'on enclenche le briquet pour en laisser sortir le gaz sans l'allumer, et qu'on place le briquet à quelques centimètres sous la passoire, il est possible de faire brûler ce gaz après l'avoir enflammé à l'aide d'une allumette soit sous la passoire, soit sur la passoire, mais pas des deux côtés simultanément.

La question reste donc ouverte, comme bien d'autres en sciences.



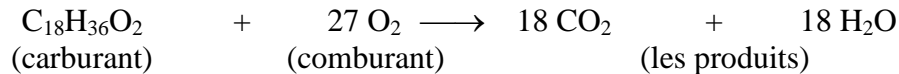
**Exercice 112****La bougie.**

*DS : Mise en œuvre, pour analyser des résultats d'observations, des connaissances relatives aux transformations physiques et chimiques ainsi qu'aux combustions.*

*MM : Action suivant un protocole.*

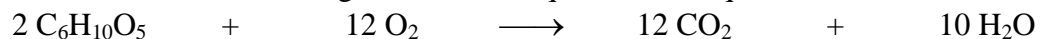
*LA : Utilisation de la langue française et du vocabulaire scientifique approprié.*

C'est essentiellement de la "vapeur" d'acide stéarique ( $C_{18}H_{36}O_2$ ) qui brûle. Lorsque la réaction de combustion est complète, son équation équilibrée est la suivante:



Dans l'air, cette réaction est incomplète et d'autres produits apparaissent, comme le carbone (C) et le monoxyde de carbone (CO).

En ce qui concerne la mèche, dont la composition moléculaire est complexe, on peut imaginer qu'elle est principalement formée de cellulose ( $C_6H_{10}O_5$ ) et que sa combustion produit du dioxyde de carbone et de l'eau à l'état gazeux selon l'équation chimique.



Cette combustion est négligeable par rapport à celle de l'acide stéarique.

- Les principales espèces chimiques présentes dans la flamme sont :  
Les réactifs : l'acide stéarique à l'état gazeux ( $C_{18}H_{36}O_2$ ) et le dioxygène ( $O_2$ ) de l'air.  
Les produits : le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), l'eau à l'état gazeux ( $H_2O$ ), la suie (C), le monoxyde de carbone (CO).  
Le diazote ( $N_2$ ) est aussi présent mais ne participe pas à la transformation chimique.
- Les **transformations physiques** sont la fusion et la vaporisation de l'acide stéarique ( $C_{18}H_{36}O_2$ ).  
Les **transformations chimiques** sont les réassemblages en molécules de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) et d'eau ( $H_2O$ ) des atomes des éléments carbone (C), hydrogène (H) et oxygène (O) présents dans les molécules de l'acide stéarique ( $C_{18}H_{36}O_2$ ) et du dioxygène ( $O_2$ ) de l'air.
- La bougie s'éteint lorsqu'on souffle dessus car le brusque apport d'air produit par le souffle, refroidit tellement les réactifs qu'ils ne peuvent plus réagir chimiquement entre eux.  
Pour que la réaction redémarre, il faut rallumer la bougie.
- Autre méthode pour éteindre une bougie : recouvrir la flamme à l'aide d'un éteignoir de manière à empêcher l'arrivée du dioxygène de l'air qui est le comburant de la réaction de combustion.
- Le fait de pouvoir rallumer la bougie en plaçant la flamme d'une allumette dans sa fumée sans contact avec la mèche veut dire que la fumée contient de l'acide stéarique à l'état gazeux. En effet, l'acide stéarique encore liquide de la bougie éteinte est assez chaud pour se vaporiser. Il ne faut bien sûr pas trop attendre.



Ce document est publié par le DIP Genève sous licence Creative Commons - utilisation et adaptation autorisée sous conditions.  
Auteur(s): J. Bochet, C. Colongo, D. Jordan, A. Grundisch, G. Robardet