

Version professeur

Physique-chimie – Première Bac Pro

Cahier d'exercices

Chapitre 3

Combustion du carbone et des hydrocarbures

Édition : 20 septembre 2026 – Naïm Azzouz

Méthode — Mode d'emploi

Ce cahier suit les cinq capacités du chapitre, dans l'ordre du cours. Écrire l'équation **avant** tout calcul de masse, et terminer par une phrase de réponse avec son unité. Vérifier à chaque fois qu'une équation conserve le carbone, l'hydrogène et l'oxygène. Les corrections suivent chaque exercice dans cette version.

Repères et ordre de travail

Capacité et intitulé complet	Exercices	Pages
C1 – Reconnaître une combustion et identifier ses produits	1 à 6	2
C2 – Écrire et ajuster une équation de combustion	7 à 11	4
C3 – Calculer l'énergie thermique libérée	12 à 15	6
C4 – Déterminer la masse de dioxyde de carbone	16 à 19	8
C5 – Prévenir les risques d'une combustion	20 à 22	9
Synthèse – croiser les capacités	23 et 24	11

Les exercices **4, 5 et 6** portent la première capacité du programme : **réaliser** une combustion et **identifier** ses produits. Les **pouvoirs calorifiques** et les **masses molaires** sont donnés dans les énoncés qui en ont besoin : ils ne s'apprennent pas.

C1 – Reconnaître une combustion et identifier ses produits

Exigible, dont la partie expérimentale.

Rappel de cours

Une combustion est **complète** quand le dioxygène est en **excès** : le carbone du combustible donne du CO_2 , l'hydrogène donne de l'eau. Elle est **incomplète** quand le dioxygène manque : il se forme du **monoxyde de carbone** CO et de la **suie**.

On **identifie** les produits : l'**eau de chaux** se **trouble** en présence de CO_2 ; de la **buée** se dépose sur une **surface froide** en présence d'eau.

La **couleur de la flamme** est un indice de réglage, jamais une preuve. Le CO est incolore et inodore.

Exercice 1 — Complète ou incomplète ?

Pour chacune des situations, indiquer s'il s'agit d'une combustion **complète** ou **incomplète**, et donner l'indice sur lequel on s'appuie.

- a. Le poêle de l'atelier laisse un dépôt noir sur la vitre.
- b. Un brûleur à gaz révisé ne laisse aucun dépôt et le local est bien ventilé.
- c. La cheminée d'un voisin fume noir.
- d. Un brûleur donne une flamme jaune, sans aucun dépôt. Peut-on conclure ?

Correction de l'exercice 1

- a. **Incomplète**. Le dépôt noir est de la **suie**, c'est-à-dire du carbone non brûlé.
- b. **Complète**. Absence de suie et apport d'air suffisant : deux indices concordants.
- c. **Incomplète**. La fumée noire est faite de particules de carbone.
- d. **Non**, on ne peut pas conclure sur la seule couleur. Une flamme jaune est un *indice* de mauvais réglage, pas une preuve : certaines flammes sont jaunes sans combustion incomplète. Il faut chercher la suie, ou mesurer.

Méthode : chercher **deux** indices concordants. La suie est le plus sûr, parce qu'elle se voit et qu'elle reste.

Exercice 2 — Le brûleur de la cabine de séchage

Le brûleur à gaz d'une cabine de séchage laisse des dépôts noirs, et la cabine chauffe moins bien qu'avant.

- a. De quel type de combustion s'agit-il ? Justifier par les **deux** indices.
- b. Quel gaz dangereux peut se former ?
- c. Citer deux causes possibles.
- d. Que doit faire le menuisier avant de remettre l'appareil en service ?

Correction de l'exercice 2

a. **Incomplète**. Les dépôts noirs sont de la suie ; et l'énergie libérée est **réduite**, ce qui explique que la cabine chauffe moins.

b. Le **monoxyde de carbone** CO .

c. Deux parmi : brûleur encrassé, entrée d'air obstruée, local mal ventilé, appareil dérégulé.

d. Arrêter l'appareil, aérer, puis faire contrôler et régler le brûleur et son arrivée d'air par un professionnel. On ne remet pas en service un appareil dont on a constaté une combustion incomplète.

Réserve : le dépôt prouve la présence de suie. Il ne dit rien de la *quantité* de CO : cela demande un appareil de mesure.

Exercice 3 — Le tableau des deux combustions

Compléter le tableau en quelques mots par case.

	Combustion complète	Combustion incomplète
Condition sur O ₂		
Produits carbonés		
Dépôt observé		
Énergie libérée		
Danger principal		

Correction de l'exercice 3

	Complète	Incomplète
Condition sur O ₂	en excès	insuffisant
Produits carbonés	CO ₂ seul	CO, suie, un peu de CO ₂
Dépôt observé	aucun	suie noire
Énergie libérée	maximale	réduite
Danger principal	CO ₂ , gaz à effet de serre	CO, mortel

Remarque : la **couleur de la flamme** ne figure pas dans ce tableau, et c'est volontaire. Elle est un indice de réglage, jamais une preuve. Le seul signe visible qui tranche est la **suie**.

Exercice 4 — Montrer qu'il se forme du dioxyde de carbone

Un binôme veut montrer que la combustion d'une bougie produit du **dioxyde de carbone**.

- Quel réactif emploie-t-il ? Dans quel état est-il avant le test ?
- Décrire le geste : que fait-on des gaz de la combustion ?
- Qu'observe-t-on si la réponse est positive ?
- Le binôme obtient un résultat négatif alors que la bougie a brûlé. Proposer une explication qui ne remette pas en cause la chimie.

Correction de l'exercice 4

- De l'**eau de chaux, limpide** avant le test.
- On **recueille** les gaz au-dessus de la flamme, puis on les fait **barboter** dans l'eau de chaux.
- L'eau de chaux se **trouble** et blanchit.
- Les gaz n'ont pas atteint l'eau de chaux : entonnoir mal placé, trop éloigné de la flamme, ou fuite du montage. Un test négatif peut venir du **protocole** et non de la réaction.

Méthode : avant de conclure « il n'y a pas de CO₂ », vérifier d'abord que le gaz est bien arrivé jusqu'au réactif.

Exercice 5 — Montrer qu'il se forme de l'eau

La combustion d'un hydrocarbure produit aussi de l'**eau**. On veut le montrer.

- Quel objet approche-t-on de la flamme ? Pourquoi doit-il être **froid** ?
- Qu'observe-t-on ?
- Citer un second test, praticable au laboratoire, et l'observation attendue.
- Le même test appliqué à la combustion du **carbone** seul reste négatif. Expliquer pourquoi, sans parler de matériel.

Correction de l'exercice 5

- a. Une **surface froide** : un verre ou une coupelle sortie du réfrigérateur. Froide, elle fait **condenser** la vapeur d'eau, qui redevient liquide et visible.
- b. De la **buée** se dépose sur la surface.
- c. Le **sulfate de cuivre anhydre**, poudre blanche, qui **bleuit** en présence d'eau.
- d. Le carbone ne contient **aucun atome d'hydrogène**. Or l'eau formée vient de l'hydrogène du combustible : sans hydrogène, pas d'eau.

Méthode : le résultat du **d.** n'est pas un échec de l'expérience. C'est un résultat, et il renseigne sur la composition du combustible.

Exercice 6 — Ce qu'une expérience prouve

Après avoir fait barboter les gaz d'une bougie dans l'eau de chaux et l'avoir vue se troubler, un binôme écrit : « L'eau de chaux s'est troublée, donc la combustion de la bougie produit du CO₂ et de l'eau, elle est donc complète. »

Trois affirmations sont enchaînées.

- a. Laquelle est établie par l'expérience réalisée ?
- b. Laquelle n'est pas établie, et quel test manque ?
- c. Laquelle ne peut pas être conclue de ces seuls tests ? Que faudrait-il observer en plus ?

Correction de l'exercice 6

- a. « La combustion produit du CO₂ » : c'est exactement ce que montre l'eau de chaux troublée.
- b. « Elle produit de l'eau » n'est **pas** établie. L'eau de chaux ne dit rien de l'eau formée. Il manque le test de la **surface froide**, ou du sulfate de cuivre anhydre.
- c. « Elle est complète » ne se conclut pas de ces tests. Une combustion incomplète produit *aussi* un peu de CO₂. Il faudrait en plus constater l'**absence de suie** — et, pour l'affirmer vraiment, mesurer le CO.

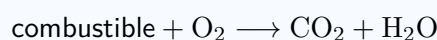
Méthode : une expérience prouve ce qu'elle mesure, et rien de plus. Chaque produit demande son propre test.

C2 – Écrire et ajuster une équation de combustion

Capacité du BO.

Rappel de cours

Une combustion complète s'écrit toujours



et les atomes se **conservent**. On ajuste dans l'ordre : le **carbone**, puis l'**hydrogène**, puis l'**oxygène** — qui se répartit entre deux produits et se traite donc en dernier.

Les coefficients doivent être **entiers** : si l'un vaut un demi, on multiplie *toute* l'équation par 2.

Exercice 7 — Trois combustions complètes

Écrire et ajuster les équations de combustion **complète** suivantes, puis vérifier chaque élément.

- a. Le carbone C.
- b. Le méthane CH₄.
- c. Le propane C₃H₈.

Correction de l'exercice 7

- a. $\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$. C : 1 = 1 ; O : 2 = 2. ✓
 b. $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$. C : 1 = 1 ; H : 4 = 4 ; O : 4 = 2 + 2. ✓
 c. $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 \longrightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$. C : 3 = 3 ; H : 8 = 8 ; O : 10 = 6 + 4. ✓

Méthode : toujours dans l'ordre C, puis H, puis O. L'oxygène se répartit entre deux produits : il se traite en dernier.

Exercice 8 — Le butane, étape par étape

Ajuster la combustion complète du butane C_4H_{10} , en détaillant les quatre étapes. Les coefficients doivent être **entiers**.

**Correction de l'exercice 8**

Étape 2 (C) : $4 \text{C} \rightarrow 4 \text{CO}_2$. **Étape 3 (H)** : $10 \text{H} \rightarrow 5 \text{H}_2\text{O}$.

Étape 4 (O) : oxygène des produits = $4 \times 2 + 5 = 13$, donc $\frac{13}{2} \text{O}_2$. On multiplie **toute** l'équation par 2 :



Vérification : C : 8 = 8 ; H : 20 = 20 ; O : 26 = 16 + 10. ✓

Barème de méthode : $\frac{13}{2}$ n'est pas une faute, mais l'usage veut des coefficients entiers. On multiplie alors tous les termes, pas seulement celui qui gêne.

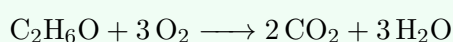
Exercice 9 — Un combustible qui contient déjà de l'oxygène

L'éthanol $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ entre dans la composition de certains vernis. Sa molécule contient déjà un atome d'**oxygène**.

- a. Ajuster sa combustion complète.
 b. Expliquer en une phrase ce que change la présence de cet atome d'oxygène dans l'étape 4.

Correction de l'exercice 9

a. $2 \text{C} \rightarrow 2 \text{CO}_2$; $6 \text{H} \rightarrow 3 \text{H}_2\text{O}$. Oxygène des produits : $2 \times 2 + 3 = 7$. Mais un atome d'oxygène est déjà apporté par l'éthanol : il en manque 6, soit 3O_2 .



Vérification : C : 2 = 2 ; H : 6 = 6 ; O : 1 + 6 = 7 = 4 + 3. ✓

b. L'oxygène du combustible **compte dans le total de gauche** : il faut donc moins de dioxygène que pour un hydrocarbure de même taille.

Piège : oublier l'atome d'oxygène de l'éthanol conduit à $\frac{7}{2} \text{O}_2$, donc à une équation fautive.

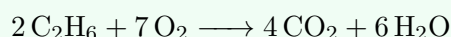
Exercice 10 — Deux ajustements à mener seul

Ajuster les deux équations de combustion complète.

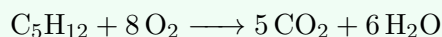
- a. L'éthane C_2H_6 .
 b. Le pentane C_5H_{12} .

Correction de l'exercice 10

a. $2 \text{ C} \rightarrow 2 \text{ CO}_2$; $6 \text{ H} \rightarrow 3 \text{ H}_2\text{O}$; oxygène des produits = $4 + 3 = 7$, donc $\frac{7}{2} \text{ O}_2$. En multipliant par 2 :



b. $5 \text{ C} \rightarrow 5 \text{ CO}_2$; $12 \text{ H} \rightarrow 6 \text{ H}_2\text{O}$; oxygène des produits = $10 + 6 = 16$, donc 8 O_2 :



Contrôle : au **b.**, le compte tombe juste du premier coup ; au **a.**, il faut doubler. Rien ne permet de le deviner à l'avance : on calcule, puis on regarde.

Exercice 11 — Quand le dioxygène manque

En manque de dioxygène, la combustion devient incomplète.

a. Ajuster la combustion **incomplète** du carbone qui produit du monoxyde de carbone.

b. Ajuster celle du méthane qui produit du monoxyde de carbone et de l'eau.

c. Pourquoi l'équation du **a.** ne fait-elle apparaître aucune molécule d'eau ?

Correction de l'exercice 11

a. $2 \text{ C} + \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{ CO}$. C : $2 = 2$; O : $2 = 2$. ✓

b. $2 \text{ CH}_4 + 3 \text{ O}_2 \longrightarrow 2 \text{ CO} + 4 \text{ H}_2\text{O}$. C : $2 = 2$; H : $8 = 8$; O : $6 = 2 + 4$. ✓

c. Le carbone ne contient **pas d'hydrogène**. Sa combustion, complète ou incomplète, ne produit jamais d'eau.

Remarque : selon le manque d'air, il peut aussi se former de la **suie** : $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{C} + 2 \text{ H}_2\text{O}$. Plusieurs équations décrivent une même combustion incomplète, selon ce qui se forme réellement.

C3 – Calculer l'énergie thermique libérée

Capacité du BO, données fournies.

Rappel de cours

Le **pouvoir calorifique** PC est l'énergie libérée par la combustion complète d'un **kilogramme** de combustible.

$$E = m \times \text{PC}$$

E en kJ, m en **kg**, PC en kJ/kg. Et $1 \text{ kWh} = 3\,600 \text{ kJ}$.

Comparer deux combustibles n'a de sens qu'à **masse égale**.

Exercice 12 — Six kilos de chutes de bois

Un menuisier brûle 6 kg de chutes de bois dans le poêle de l'atelier. On donne le pouvoir calorifique du bois sec : PC = 15 000 kJ/kg.

a. Écrire la relation qui donne l'énergie libérée.

b. Calculer cette énergie, en kJ puis en MJ.

c. Convertir en kilowattheures ($1 \text{ kWh} = 3\,600 \text{ kJ}$).

Correction de l'exercice 12

a. $E = m \times \text{PC}$.

b. $E = 6 \times 15\,000 = 90\,000 \text{ kJ} = 90 \text{ MJ}$.

c. $E = 90\,000 \div 3\,600 = 25 \text{ kWh}$.

Contrôle : la masse est bien en **kilogrammes**. En grammes, on trouverait mille fois trop.

Exercice 13 — Le propane du brûleur

Un brûleur consomme 4 kg de propane ($PC = 46\,300 \text{ kJ/kg}$).

- Calculer l'énergie libérée, en kJ puis en MJ.
- Convertir en kWh.
- Combien de kilogrammes de bois sec ($PC = 15\,000 \text{ kJ/kg}$) faudrait-il pour libérer la même énergie ?

Correction de l'exercice 13

a. $E = 4 \times 46\,300 = 185\,200 \text{ kJ}$, soit environ 185 MJ.

b. $185\,200 \div 3\,600 \approx 51,4 \text{ kWh}$.

c. $m = \frac{185\,200}{15\,000} \approx 12,3 \text{ kg}$ de bois.

Lecture : il faut environ **trois fois** plus de bois que de propane, à énergie égale — c'est le rapport des deux pouvoirs calorifiques.

Exercice 14 — Bois contre butane

- Calculer l'énergie libérée par 5 kg de bois sec ($PC = 15\,000 \text{ kJ/kg}$).
- Calculer celle libérée par 1 kg de butane ($PC = 45\,700 \text{ kJ/kg}$).
- Un élève conclut : « le bois est plus énergétique que le butane ». Que répondre avec précision ?

Correction de l'exercice 14

a. $E = 5 \times 15\,000 = 75\,000 \text{ kJ} = 75 \text{ MJ}$.

b. $E = 1 \times 45\,700 = 45\,700 \text{ kJ} \approx 45,7 \text{ MJ}$.

c. La conclusion est **fausse telle qu'elle est écrite**. Les 5 kg de bois libèrent davantage que 1 kg de butane, mais on ne compare pas les mêmes masses. **À masse égale**, le butane libère trois fois plus : c'est ce que disent les pouvoirs calorifiques.

Méthode : comparer deux combustibles n'a de sens qu'à **masse égale** — ou mieux, à énergie utile égale.

Exercice 15 — Combien commander ?

Un atelier a besoin de 250 kWh de chaleur pour la semaine.

- Convertir ce besoin en kilojoules.
- Quelle masse de propane faut-il brûler ($PC = 46\,300 \text{ kJ/kg}$) ?
- Cette masse correspond-elle à un nombre entier de bouteilles de 13 kg ? Que faut-il en conclure pour la commande ?

Correction de l'exercice 15

a. $E = 250 \times 3\,600 = 900\,000 \text{ kJ}$.

b. $m = \frac{900\,000}{46\,300} \approx 19,4 \text{ kg}$.

c. $19,4 \div 13 \approx 1,5$: il faut **deux** bouteilles, la seconde n'étant qu'à moitié consommée. On ne commande pas une demi-bouteille : on arrondit toujours **au-dessus**.

Réserve : ce calcul suppose que toute l'énergie libérée sert au chauffage. Un appareil réel a un **rendement** inférieur à 1 : il en faudra un peu plus.

C4 – Déterminer la masse de dioxyde de carbone dégagée

Capacité du BO, données fournies.

Rappel de cours

Une masse ne dit pas combien de molécules réagissent : on passe par la **quantité de matière**.

$$n = \frac{m}{M} \quad \text{puis} \quad m = n \times M$$

n en mol, m en **grammes**, M en g/mol.

Entre les deux, on lit dans l'**équation ajustée** la proportion de CO_2 formée par mole de combustible.

Exercice 16 — Masses molaires

On donne $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$, $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$ et $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$.

- Calculer la masse molaire du dioxyde de carbone CO_2 .
- Calculer celle du méthane CH_4 , du propane C_3H_8 et du butane C_4H_{10} .
- Quelle quantité de matière représentent 880 g de propane ?

Correction de l'exercice 16

- $M(\text{CO}_2) = 12 + 2 \times 16 = 44 \text{ g/mol}$.
- $M(\text{CH}_4) = 12 + 4 = 16 \text{ g/mol}$; $M(\text{C}_3\text{H}_8) = 36 + 8 = 44 \text{ g/mol}$; $M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 48 + 10 = 58 \text{ g/mol}$.
- $n = \frac{880}{44} = 20 \text{ mol}$.

Coïncidence à connaître : le propane et le dioxyde de carbone ont la **même** masse molaire, 44 g/mol. Cela ne signifie rien de physique, mais cela simplifie les calculs du chapitre.

Exercice 17 — Le charbon du forgeron

Un forgeron brûle 240 g de charbon, assimilé à du carbone pur. Équation : $\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$. On donne $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$ et $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol}$.

- Calculer la quantité de matière de carbone brûlée.
- En déduire celle de dioxyde de carbone formée.
- Calculer la masse de dioxyde de carbone dégagée.

Correction de l'exercice 17

- $n(\text{C}) = \frac{240}{12} = 20 \text{ mol}$.
- L'équation donne **1 mole** de CO_2 par mole de carbone : $n(\text{CO}_2) = 20 \text{ mol}$.
- $m(\text{CO}_2) = 20 \times 44 = 880 \text{ g}$, soit 0,88 kg.

Contrôle d'ordre de grandeur : la masse de CO_2 est plus **grande** que celle du combustible — le carbone s'est combiné à deux atomes d'oxygène pris dans l'air. C'est normal, et c'est le cas dans tout ce chapitre.

Exercice 18 — Le chalumeau au propane

Un artisan brûle 440 g de propane dans son chalumeau. Équation : $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 \longrightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$. On donne $M(\text{C}_3\text{H}_8) = 44 \text{ g/mol}$ et $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol}$.

- Calculer la quantité de matière de propane.
- En déduire celle de dioxyde de carbone.
- Calculer la masse de dioxyde de carbone, en g puis en kg.
- Un élève oublie le coefficient 3 de l'équation. Quelle masse trouve-t-il ?

Correction de l'exercice 18

- $n(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{440}{44} = 10 \text{ mol}$.
- L'équation donne **3 moles** de CO_2 par mole de propane : $n(\text{CO}_2) = 3 \times 10 = 30 \text{ mol}$.
- $m(\text{CO}_2) = 30 \times 44 = 1\,320 \text{ g} = 1,32 \text{ kg}$.
- Il trouve $10 \times 44 = 440 \text{ g}$, soit **trois fois trop peu**.

Méthode : le coefficient de l'équation est le seul endroit où la chimie intervient. Sans lui, on ne fait que convertir des masses.

Exercice 19 — Le brûleur au butane

Un brûleur de chantier consomme 116 g de butane. Équation : $2 \text{C}_4\text{H}_{10} + 13 \text{O}_2 \longrightarrow 8 \text{CO}_2 + 10 \text{H}_2\text{O}$.
On donne $M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 58 \text{ g/mol}$ et $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol}$.

- Calculer la quantité de matière de butane.
- En déduire celle de dioxyde de carbone. Attention au coefficient du butane.
- Calculer la masse de dioxyde de carbone.

Correction de l'exercice 19

- $n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{116}{58} = 2 \text{ mol}$.
- L'équation se lit : **2** moles de butane donnent **8** moles de CO_2 , soit 4 moles par mole de butane. Ici : $n(\text{CO}_2) = 8 \text{ mol}$.
- $m(\text{CO}_2) = 8 \times 44 = 352 \text{ g}$.

Piège : quand le combustible porte lui-même un coefficient, la proportion n'est pas donnée par le seul coefficient du CO_2 . C'est le **rapport** des deux qui compte : $8 \div 2 = 4$.

C5 – Prévenir les risques d'une combustion

Connaissance du BO : dangerosité des produits d'une combustion incomplète.

Rappel de cours

Le **monoxyde de carbone** est **incolore**, **inodore** et **mortel** : aucun sens ne le détecte, et ses symptômes ressemblent à une fatigue.

Prévenir : ne jamais boucher une entrée d'air, faire entretenir les appareils et les conduits, installer si nécessaire un détecteur conforme.

En cas de suspicion : aérer, arrêter l'appareil si c'est sans danger, évacuer, appeler les secours (15, 18 ou 112).

Exercice 20 — Maux de tête dans l'atelier

Un employé se plaint de maux de tête et de nausées. Le brûleur à gaz fonctionne depuis plusieurs heures dans un local fermé.

- Quel gaz est probablement en cause ?
- Expliquer pourquoi il s'est formé dans ces conditions précises.
- Pourquoi ce gaz est-il particulièrement dangereux ?
- Citer les mesures d'urgence, dans l'ordre.

Correction de l'exercice 20

- Le **monoxyde de carbone** CO .
- Le local est fermé : le dioxygène s'appauvrit à mesure que la combustion se poursuit. Le manque de O_2 rend la combustion **incomplète**, et elle produit alors du CO .
- Il est **incolore et inodore** : aucun sens ne le détecte. Il se fixe sur l'hémoglobine à la place du dioxygène, et les symptômes ressemblent à une fatigue ordinaire.
- Aérer ; arrêter l'appareil si cela peut se faire sans danger ; évacuer le local ; appeler les secours (15, 18 ou 112) ; ne pas réintégrer avant l'avis d'un professionnel.

Réserve : ces symptômes ne *prouvent* pas l'intoxication — ils l'imposent comme hypothèse. On agit sans attendre la confirmation.

Exercice 21 — Des bouteilles de butane au fond du local

Un menuisier stocke des bouteilles de butane dans son atelier, au fond d'un local sans ouverture basse.

- Citer deux risques distincts.
- Le butane est plus **dense** que l'air. Pourquoi l'absence d'ouverture basse aggrave-t-elle la situation ?
- Proposer trois précautions.

Correction de l'exercice 21

- Deux parmi : fuite formant un mélange **explosif** avec l'air ; explosion au contact d'une flamme nue ou d'une étincelle ; échauffement de la bouteille près d'une source de chaleur.
- Plus dense que l'air, le butane qui fuit **s'accumule au sol**. Sans ouverture basse, rien ne l'évacue : la concentration monte jusqu'au domaine d'explosivité.
- Trois parmi : stocker à l'extérieur ou dans un local ventilé **en partie basse** ; tenir à l'écart de toute source de chaleur ou d'étincelle ; fermer les vannes après usage ; installer une détection de gaz.

Réserve : les règles de stockage relèvent de la réglementation et de la notice du fournisseur. L'exercice fait raisonner sur la densité, il ne remplace pas ces textes.

Exercice 22 — Quatre situations, quatre dangers

Pour chaque situation, nommer le danger principal puis la mesure de prévention prioritaire.

- Une fuite de propane près d'une machine qui produit des étincelles.
- Un brûleur en fonctionnement dans un local dont les entrées d'air ont été calfeutrées pour l'hiver.
- Un chauffage à flamme installé à côté de pots de vernis ouverts.
- Un poêle à bois dont le conduit n'a pas été ramoné depuis trois ans.

Correction de l'exercice 22

- Explosion** du mélange gaz-air. Prévention : supprimer toute source d'étincelle et ventiler, avant toute autre intervention.
- Intoxication au CO** par combustion incomplète. Prévention : rétablir les entrées d'air. Une entrée d'air ne se bouche jamais.
- Incendie** : les vapeurs de solvant sont inflammables. Prévention : éloigner toute flamme nue des produits et de leurs vapeurs.
- Feu de conduit et intoxication** : le conduit encrassé tire mal. Prévention : faire ramoner par un professionnel.

Remarque : ces quatre dangers ne se classent pas les uns par rapport aux autres sans critères de probabilité et de gravité, qui ne sont pas donnés ici.

Synthèse – Croiser les capacités

Deux exercices qui réunissent équation, énergie, masse de CO₂ et jugement.

Rappel de cours

Ces deux exercices se traitent après les cinq capacités. Ils demandent de **mener le calcul**, puis de dire **ce qu'il ne prouve pas**. C'est la seconde partie qui compte le plus.

Exercice 23 — Une saison de chauffage au propane

Un menuisier agenceur chauffe son atelier au propane. Il consomme une bouteille de 35 kg toutes les trois semaines en hiver. Données : $PC = 46\,300 \text{ kJ/kg}$; $M(\text{C}_3\text{H}_8) = 44 \text{ g/mol}$; $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol}$.

- Écrire l'équation de combustion complète du propane.
- Calculer l'énergie libérée par une bouteille, en kJ puis en kWh.
- Calculer la masse de CO_2 dégagée par une bouteille, en kg.
- L'hiver dure 18 semaines. Calculer la masse de CO_2 pour la saison.
- Le menuisier envisage de passer aux granulés de bois. Peut-on conclure de ce seul calcul que ce serait mieux pour le climat ?

Correction de l'exercice 23

- $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 \longrightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$.
- $E = 35 \times 46\,300 = 1\,620\,500 \text{ kJ}$, soit environ 1 621 MJ ; en kWh : $1\,620\,500 \div 3\,600 \approx 450 \text{ kWh}$.
- $n(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{35\,000}{44} \approx 795,5 \text{ mol}$, donc $n(\text{CO}_2) = 3 \times 795,5 \approx 2\,386 \text{ mol}$ et $m(\text{CO}_2) = 2\,386 \times 44 \approx 105\,000 \text{ g} = 105 \text{ kg}$.
- $18 \text{ semaines} \div 3 = 6 \text{ bouteilles}$, donc $6 \times 105 = 630 \text{ kg}$, soit environ 0,63 t.
- Non.** Ce calcul ne donne que le CO_2 rejeté à la cheminée par kilogramme brûlé. Il ne dit rien de l'énergie utile obtenue, ni de la fabrication et du transport des granulés, ni du renouvellement de la ressource. Comparer deux filières demande une étude de cycle de vie.

Contrôle : au c., on retrouve le résultat du cours : environ 3 kg de CO_2 par kilogramme de propane, ici $105 \div 35 = 3,0 \text{ kg}$. ✓

Exercice 24 — Le bilan des émissions de l'atelier

Un artisan établit le bilan des émissions directes de son atelier.

Source	Consommation annuelle	Émission
Propane (chauffage)	260 kg	3,0 kg de CO_2 par kg
Électricité	8 500 kWh	0,057 kg de CO_2 par kWh
Déplacements (gazole)	3 000 L	2,64 kg de CO_2 par litre

- Calculer les émissions de chaque source.
- Calculer le total annuel, en tonnes.
- Quel poste domine ? Donner sa part, en pourcentage.
- L'artisan veut agir sur le chauffage. Au vu du c., est-ce le levier le plus efficace ?

Correction de l'exercice 24

- Propane : $260 \times 3,0 = 780 \text{ kg}$. Électricité : $8\,500 \times 0,057 = 484,5 \text{ kg}$. Gazole : $3\,000 \times 2,64 = 7\,920 \text{ kg}$.
- $780 + 484,5 + 7\,920 = 9\,184,5 \text{ kg}$, soit environ 9,2 t.
- Les **déplacements** : $7\,920 \div 9\,184,5 \approx 0,86$, soit environ **86 %** du total.
- Non.** Le chauffage ne pèse que $780 \div 9\,184,5 \approx 8,5 \%$ du bilan. Même supprimé entièrement, il ne ferait baisser le total que de moins d'un dixième. Le levier utile est celui des déplacements : tournées groupées, fournisseurs plus proches, véhicule moins émetteur.

Réserve : ce bilan ne compte que les émissions **directes** chiffrées ici. Il n'inclut ni les matériaux, ni les déchets, ni la fabrication des équipements.