

**Objectifs du chapitre**

- Identifier les réactifs et les produits d'une réaction de combustion
- Distinguer combustion complète et combustion incomplète
- Connaître la dangerosité du monoxyde de carbone (CO)
- Écrire et équilibrer l'équation de combustion d'un hydrocarbure
- Comprendre le lien entre combustion, énergie thermique et CO<sub>2</sub>
- Calculer la masse de CO<sub>2</sub> dégagée par une combustion

**Situation professionnelle**

Hugo, technicien chauffagiste en stage chez *Flamme Énergie*, intervient pour la mise en service d'une chaudière à gaz dans un pavillon. Avant d'allumer la chaudière, son tuteur lui demande de vérifier le conduit d'évacuation des fumées et de contrôler la qualité de la combustion avec un analyseur de fumées.

Hugo se pose plusieurs questions :

1. Que se passe-t-il chimiquement quand le gaz brûle dans la chaudière ?
2. Pourquoi un mauvais tirage du conduit de fumées est-il dangereux ?
3. Comment calculer la quantité de CO<sub>2</sub> rejetée par la chaudière en un hiver ?

*Ces questions trouveront une réponse complète au fil de ce chapitre.*

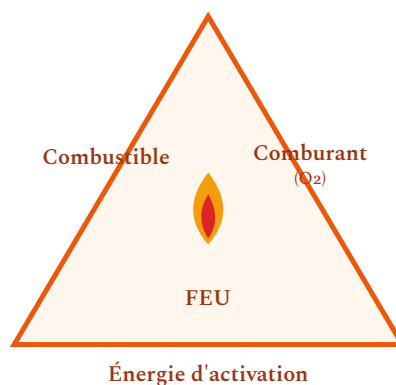
## 1. Qu'est-ce qu'une combustion ?

**DÉFINITION** Une **combustion** est une réaction chimique entre un **combustible** (la substance qui brûle) et un **comburant** (le dioxygène de l'air). Cette réaction libère de l'**énergie thermique** (chaleur) et de la **lumière**.

Les trois éléments nécessaires à une combustion forment le **triangle du feu** :

- **Combustible** : gaz naturel (méthane), propane, butane, fioul, bois, charbon...
- **Comburant** : le dioxygène  $O_2$  (environ 21 % de l'air)
- **Énergie d'activation** : étincelle, flamme pilote, allumeur piézo-électrique...

**ATTENTION** Si l'un des trois éléments du triangle du feu manque, la combustion s'arrête. C'est le principe de base de la lutte contre l'incendie : supprimer le combustible, le comburant ou l'énergie.



Les **trois** sommets sont nécessaires : retirer le combustible, le comburant ou l'énergie éteint le feu.

### APPLICATION

Un technicien chauffagiste coupe l'arrivée de gaz d'une chaudière en panne. Expliquer pourquoi la flamme s'éteint immédiatement, en utilisant le concept du triangle du feu.

## 2. La combustion complète

### 2.1 Combustion complète du carbone

**DÉFINITION** Une **combustion complète** a lieu quand le combustible dispose de suffisamment de dioxygène pour brûler entièrement. Les seuls produits sont le **dioxyde de carbone** (CO<sub>2</sub>) et l'**eau** (H<sub>2</sub>O).

La combustion complète du **carbone** C dans le dioxygène produit du dioxyde de carbone :



Carbone + dioxygène → dioxyde de carbone

### 2.2 Combustion complète du méthane

Le **méthane** CH<sub>4</sub> est le principal composant du gaz naturel, très utilisé en chauffage. Sa combustion complète produit du dioxyde de carbone et de l'eau :



Méthane + dioxygène → dioxyde de carbone + eau

#### MÉTHODE

#### Comment reconnaître une combustion complète ?

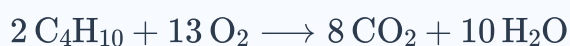
- La flamme est **bleue** (signe d'une bonne combustion).
- Les seuls produits sont CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O.
- Il n'y a **pas de suie** (carbone non brûlé) ni de monoxyde de carbone.

### 2.3 Combustion complète du propane et du butane

Le **propane** C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> et le **butane** C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> sont des gaz utilisés en bouteilles (GPL) :



Propane + dioxygène → dioxyde de carbone + eau



Butane + dioxygène → dioxyde de carbone + eau

**Exemple 1 — Contexte professionnel :** Un installateur thermique met en service une chaudière au propane. L'analyseur de fumées indique uniquement la présence de  $\text{CO}_2$  et de vapeur d'eau dans les gaz d'échappement, avec une flamme bleue bien réglée. La combustion est **complète**.

#### APPLICATION

Donner les produits de la combustion complète du butane  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ . Écrire l'équation non équilibrée, puis identifier les réactifs et les produits.

### 3. La combustion incomplète

**DÉFINITION** Une **combustion incomplète** a lieu quand le combustible ne dispose pas de suffisamment de dioxygène. En plus du  $\text{CO}_2$  et de l'eau, elle produit des substances dangereuses : **monoxyde de carbone** (CO), **carbone** (suie) et d'autres gaz toxiques.

Exemple de combustion incomplète du méthane :



Méthane + dioxygène (insuffisant) → monoxyde de carbone + eau

## MÉTHODE

### Comment reconnaître une combustion incomplète ?

- La flamme est **jaune ou orangée** (au lieu de bleue).
- Des **dépôts noirs** (suie) apparaissent sur les surfaces.
- L'analyseur de fumées détecte du **CO** (monoxyde de carbone).

### Animation — régler la combustion

Fais varier l'arrivée d'air et observe : avec assez de dioxygène la combustion est complète (flamme bleue) ; sinon elle est incomplète et produit du CO toxique.



Arrivée d'air (O<sub>2</sub>) :  80 %

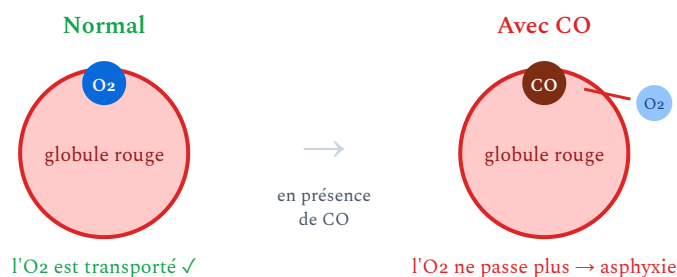
Flamme **bleue** → combustion complète : CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

### 3.1 Dangers du monoxyde de carbone (CO)

**ATTENTION - DANGER VITAL** Le **monoxyde de carbone (CO)** est un gaz **incolore, inodore et mortel**. Il se fixe sur l'hémoglobine du sang à la place du dioxygène, provoquant une asphyxie. En France, le CO est responsable d'environ **3 000 intoxications** et **une centaine de décès** par an.

#### Causes principales :

- Appareil de chauffage mal entretenu ou mal réglé
- Conduit d'évacuation des fumées bouché ou défectueux
- Ventilation insuffisante du local



Le CO prend la place de l'O<sub>2</sub> sur l'hémoglobine : le sang ne transporte plus l'oxygène, d'où l'asphyxie. C'est ce qui rend le monoxyde de carbone mortel.

**Exemple 2 — Contexte professionnel :** Un technicien chauffagiste intervient pour l'entretien annuel d'une chaudière à gaz. Il constate que l'analyseur de fumées indique un taux de CO de 350 ppm (parties par million). La norme autorise un maximum de 50 ppm. Il doit immédiatement :

1. Arrêter la chaudière
2. Ventiler le local (ouvrir les fenêtres)
3. Nettoyer le brûleur et vérifier le conduit de fumées
4. Régler la combustion pour obtenir une flamme bleue
5. Vérifier que le taux de CO redescend sous 50 ppm

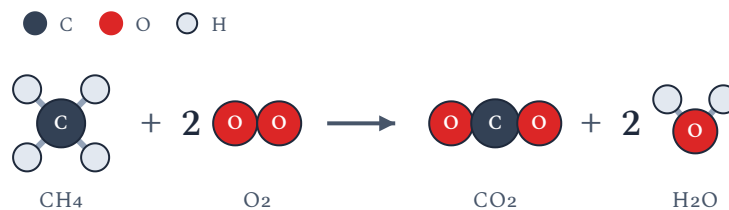
#### 4. Équilibrer une équation de combustion

**PROPRIÉTÉ** Une équation chimique doit être **équilibrée** : le nombre d'atomes de chaque élément doit être le même dans les réactifs et dans les produits. C'est la **conservation de la matière**.

## MÉTHODE

### Équilibrer une équation de combustion d'un hydrocarbure $C_xH_y$ :

1. Écrire l'équation non équilibrée :  $C_xH_y + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$
2. Équilibrer les **carbones** : mettre le coefficient  $x$  devant  $CO_2$
3. Équilibrer les **hydrogènes** : mettre le coefficient  $\frac{y}{2}$  devant  $H_2O$
4. Équilibrer les **oxygènes** : compter le total à droite et ajuster le coefficient devant  $O_2$
5. Si nécessaire, multiplier tous les coefficients pour obtenir des nombres entiers



Conservation des atomes (rien ne se perd, rien ne se crée)

Réactifs : 1 C, 4 H, 4 O

Produits : 1 C, 4 H, 4 O ✓ équilibrée

Équilibrer, c'est garder le **même nombre d'atomes** de chaque élément avant et après la réaction : ici 1 C, 4 H et 4 O de chaque côté.

**Exemple 3 :** Équilibrer la combustion complète de l'éthane  $C_2H_6$ .



Étape 2 (C) : 2 carbones  $\rightarrow$  coefficient 2 devant  $CO_2$

Étape 3 (H) : 6 hydrogènes  $\rightarrow$  coefficient 3 devant  $H_2O$



Étape 4 (O) : à droite :  $2 \times 2 + 3 \times 1 = 7$  atomes d'oxygène  $\rightarrow \frac{7}{2}$  molécules de  $O_2$



Étape 5 : On multiplie tout par 2 pour obtenir des entiers :



Vérification : 4 C à gauche et 4 C à droite. 12 H à gauche et 12 H à droite. 14 O à gauche et 14 O à droite.

#### APPLICATION

Équilibrer la combustion complète du propane :  $C_3H_8 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$ . Vérifier en comptant les atomes.

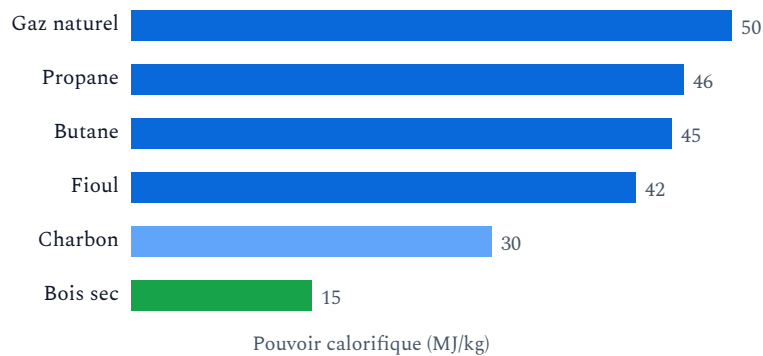
## 5. Énergie libérée par la combustion

**DÉFINITION** La combustion libère de l'énergie sous forme **thermique** (chaleur). La quantité d'énergie libérée par la combustion d'un kilogramme de combustible s'appelle le **pouvoir calorifique** (en kJ/kg ou MJ/kg).

À l'échelle de la planète, l'énergie consommée provient encore **très majoritairement de combustions** : pétrole, gaz naturel, charbon et biomasse représentent environ 80 % de

l'énergie primaire mondiale. C'est pourquoi la maîtrise des combustions est un enjeu central de la transition énergétique.

Combustible	Pouvoir calorifique (MJ/kg)
Gaz naturel (méthane)	50
Propane	46
Butane	45
Fioul domestique	42
Bois sec	15
Charbon	30



À masse égale, le gaz naturel et les hydrocarbures libèrent environ 3 fois plus d'énergie que le bois.

**Exemple 4 :** Une chaudière consomme 2 kg de gaz naturel par heure. Calculer l'énergie thermique libérée en une heure.

$$E = m \times PC = 2 \times 50 = 100 \text{ MJ} = 100\,000 \text{ kJ}$$

$$\text{En kWh : } E = \frac{100\,000}{3\,600} \approx 27,8 \text{ kWh}$$

## 5.1 Moteurs thermiques

**PROPRIÉTÉ** Les **moteurs thermiques** (moteurs à essence, diesel) convertissent l'énergie chimique de combustion en **énergie mécanique** (mouvement). Leur rendement est limité (25 à 40 %) : une grande partie de l'énergie est dissipée en chaleur.

**Exemple 5** : Un groupe électrogène à essence a un rendement de 30 %. Il consomme 3 litres d'essence par heure (densité 0,75 kg/L, pouvoir calorifique 44 MJ/kg). Calculer la puissance mécanique utile.

Masse d'essence par heure :  $m = 3 \times 0,75 = 2,25 \text{ kg}$

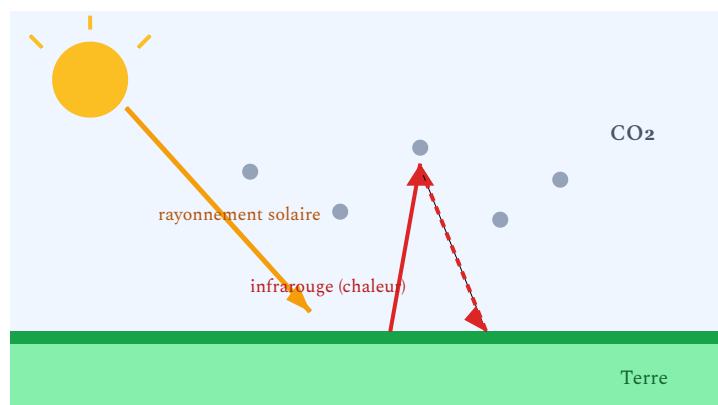
Énergie chimique par heure :  $E = 2,25 \times 44 = 99 \text{ MJ}$

Énergie utile :  $E_u = 99 \times 0,30 = 29,7 \text{ MJ} = 29\,700 \text{ kJ}$

Puissance utile :  $P = \frac{29\,700}{3\,600} \approx 8,25 \text{ kW}$

## 6. CO<sub>2</sub>, effet de serre et réchauffement climatique

**DÉFINITION** Le **dioxyde de carbone** (CO<sub>2</sub>) est un **gaz à effet de serre** : il absorbe le rayonnement infrarouge émis par la Terre et contribue au réchauffement de l'atmosphère. L'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> due aux activités humaines (combustion d'énergies fossiles) est la principale cause du **réchauffement climatique**.



Le CO<sub>2</sub> absorbe puis renvoie une partie de l'infrarouge émis par la Terre : l'atmosphère se réchauffe.

## 6.1 Calculer la masse de CO<sub>2</sub> dégagée

### MÉTHODE

Calculer la masse de CO<sub>2</sub> produite par la combustion du méthane :

L'équation équilibrée est :  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Masses molaires :  $M(\text{CH}_4) = 12 + 4 = 16 \text{ g/mol}$  et  $M(\text{CO}_2) = 12 + 32 = 44 \text{ g/mol}$

D'après l'équation : 1 mole de CH<sub>4</sub> (16 g) produit 1 mole de CO<sub>2</sub> (44 g).

Donc : **la combustion de 16 g de méthane produit 44 g de CO<sub>2</sub>.**

Pour une masse  $m$  de méthane :  $m_{\text{CO}_2} = m_{\text{CH}_4} \times \frac{44}{16} = m_{\text{CH}_4} \times 2,75$

**Exemple 6 — Contexte professionnel :** Un technicien de maintenance énergétique calcule les émissions de CO<sub>2</sub> d'une chaudière à gaz qui consomme 1 500 kg de méthane par an.

$$m_{\text{CO}_2} = 1\,500 \times 2,75 = 4\,125 \text{ kg} \approx 4,1 \text{ tonnes de CO}_2$$

### APPLICATION

Une chaudière au propane consomme 800 kg de propane pendant un hiver. En utilisant le facteur d'émission du tableau, calculer la masse de CO<sub>2</sub> dégagée.

**Exemple 7 — Comparaison environnementale :** Pour chauffer un logement, on peut utiliser :

- **Gaz naturel :** environ 230 g de CO<sub>2</sub> par kWh thermique
- **Fioul :** environ 300 g de CO<sub>2</sub> par kWh thermique
- **Pompe à chaleur :** environ 50 g de CO<sub>2</sub> par kWh thermique (électricité française)
- **Bois :** considéré comme neutre en CO<sub>2</sub> (le CO<sub>2</sub> libéré a été capté par l'arbre pendant sa croissance)

C'est pourquoi la transition énergétique encourage le remplacement des chaudières fioul et gaz par des pompes à chaleur ou des chaudières bois.

## 6.2 Facteurs d'émission

Combustible	Facteur d'émission (kg CO <sub>2</sub> /kg combustible)
Méthane (gaz naturel)	2,75
Propane	3,00
Butane	3,03
Fioul domestique	3,15
Charbon	3,67



Tous les combustibles fossiles émettent une masse importante de CO<sub>2</sub> — le **charbon** le plus, le **gaz naturel** le moins.

## À retenir

- Une **combustion** est la réaction entre un combustible et le dioxygène, libérant de l'énergie thermique.
- **Combustion complète** (excès d'O<sub>2</sub>) : produits = CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O. Flamme bleue.
- **Combustion incomplète** (manque d'O<sub>2</sub>) : produits = CO + C (suie) + H<sub>2</sub>O. Flamme jaune. **Danger : CO mortel.**
- L'équation de combustion doit être **équilibrée** (conservation de la matière).
- Le CO<sub>2</sub> est un **gaz à effet de serre** responsable du réchauffement climatique.
- On peut calculer la masse de CO<sub>2</sub> produite à partir de l'équation de combustion et des masses molaires.
- Les **moteurs thermiques** convertissent l'énergie de combustion en énergie mécanique (rendement 25-40 %).

## 7. Erreurs fréquentes

**ERREUR**  
1

Confondre monoxyde de carbone (CO) et dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

Le CO<sub>2</sub> est le produit d'une combustion complète : il est inoffensif en petites quantités mais contribue à l'effet de serre. Le CO est le produit d'une combustion incomplète : c'est un gaz mortel même en faible quantité. Ne jamais confondre ces deux molécules.

**ERREUR**  
2

Croire qu'une flamme jaune est "normale"

Une flamme jaune ou orangée signale une combustion incomplète et la production probable de monoxyde de carbone. Une flamme correctement réglée doit être **bleue**. Une flamme jaune est un signal d'alarme qui nécessite l'intervention immédiate d'un technicien chauffagiste.

**ERREUR**  
3

Ne pas équilibrer

**l'équation de combustion** Une équation chimique non équilibrée ne respecte pas la conservation de la matière et est scientifiquement incorrecte. On doit toujours vérifier que le nombre d'atomes de chaque élément (C, H, O) est identique de chaque côté de la flèche.

**ERREUR  
4**

**Utiliser le pouvoir calorifique sans connaître l'unité**

Le pouvoir calorifique est souvent donné en MJ/kg ou en kWh/kg. Avant tout calcul, vérifier l'unité utilisée et convertir si nécessaire (1 kWh = 3,6 MJ). Utiliser des unités incohérentes conduit à un résultat faux d'un facteur 3 600.

**ERREUR  
5**

**Penser que la combustion du bois est neutre en CO<sub>2</sub> sans condition**

La combustion du bois est considérée comme neutre en CO<sub>2</sub> uniquement si la forêt est gérée durablement (les arbres replantés recaptent le CO<sub>2</sub> libéré). Une combustion incomplète du bois produit en plus du CO et des particules fines, qui sont nocives pour la santé et l'environnement.

Première Bac Pro ICCER – Groupement 1 | Physique-Chimie – Chapitre 3 | maths-sciences-pro.fr

**Simulation interactive**

[Combustion du carbone et des hydrocarbures](#)

## Combustion du carbone et des hydrocarbures

Exercices | Première Bac Pro ICCER (Grpt 1) – Combustion, CO<sub>2</sub>, énergie thermique

[Socle](#)[Standard](#)[Approfondissement](#)[Tout voir](#)[Objectifs du chapitre](#)[cliquer pour développer](#)

### Rappels du cours

- **Combustion complète** : combustible + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O (flamme bleue)
- **Combustion incomplète** : combustible + O<sub>2</sub> (insuffisant) → CO + C (suie) + H<sub>2</sub>O (flamme jaune, **danger CO**)
- **Méthane** : CH<sub>4</sub> + 2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O
- **Propane** : C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> + 5 O<sub>2</sub> → 3 CO<sub>2</sub> + 4 H<sub>2</sub>O
- **Masses molaires** : C = 12 g/mol, H = 1 g/mol, O = 16 g/mol
- **CO<sub>2</sub> par kg de méthane** :  $m_{\text{CO}_2} = m_{\text{CH}_4} \times \frac{44}{16} = m \times 2,75$

## Exercices guidés pas à pas

### EXERCICE 1 Vocabulaire de la combustion SOCLE

Compléter les phrases avec les mots : *combustible, comburant, combustion, dioxygène, dioxyde de carbone, eau, monoxyde de carbone, effet de serre, complète, incomplète.*

1. Une ..... est une réaction chimique entre un ..... et un .....
2. Le comburant est le ..... ( $O_2$ ) présent dans l'air.
3. Si la combustion est ....., les produits sont le ..... et l'.....
4. Si la combustion est ....., il se forme du ..... ( $CO$ ), un gaz dangereux.
5. Le  $CO_2$  est un gaz à ..... qui contribue au réchauffement climatique.

*Mes calculs :*

---

---

---

### EXERCICE 2 Complète ou incomplète ? SOCLE

Pour chaque situation, indiquer si la combustion est complète ou incomplète. Justifier.

1. La flamme d'un bec Bunsen est bleue.
2. Un poêle à bois produit de la suie noire dans le conduit de cheminée.
3. L'analyseur de fumées d'une chaudière à gaz indique 0 ppm de  $CO$ .
4. La flamme d'une bougie est jaune-orangé.
5. Un brûleur de chaudière émet une flamme jaune et il y a une odeur inhabituelle.

*Mes calculs :*

---

---

---

**SOCLE****EXERCICE 3 Combustion du méthane : étapes guidées**

On réalise la combustion complète du méthane  $\text{CH}_4$ .

1. Quels sont les réactifs ? (Nommer le combustible et le comburant)
2. Quels sont les produits de la combustion complète ? (Deux produits)
3. Compléter l'équation :



4. Vérifier l'équilibrage en comptant les atomes :

Atome	À gauche	À droite	Équilibré ?
C	.....	.....	.....
H	.....	.....	.....
O	.....	.....	.....

*Mes calculs :*

---

---

---

**SOCLE****EXERCICE 4** Masse de CO<sub>2</sub> : calcul guidé

Une chaudière à gaz consomme 800 kg de méthane par an.

1. Quelle est la masse molaire du méthane CH<sub>4</sub> ?

$$M(\text{CH}_4) = M(\text{C}) + 4 \times M(\text{H}) = \dots\dots\dots + 4 \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ g/mol}$$

2. Quelle est la masse molaire du CO<sub>2</sub> ?

$$M(\text{CO}_2) = M(\text{C}) + 2 \times M(\text{O}) = \dots\dots\dots + 2 \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ g/mol}$$

3. D'après l'équation, 1 mole de CH<sub>4</sub> produit 1 mole de CO<sub>2</sub>. Donc 16 g de CH<sub>4</sub> produisent ..... g de CO<sub>2</sub>.

4. Pour 800 kg de méthane, calculer la masse de CO<sub>2</sub> :

$$m_{\text{CO}_2} = 800 \times \frac{44}{16} = 800 \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kg}$$

*Mes calculs :*

---

---

---

**SOCLE**

**EXERCICE 5** Sécurité et CO

Répondre par Vrai ou Faux. Corriger les affirmations fausses.

1. Le monoxyde de carbone (CO) a une forte odeur qui permet de le détecter.
2. Une flamme jaune sur un brûleur à gaz indique une combustion incomplète.
3. Le CO se fixe sur l'hémoglobine à la place du dioxygène.
4. Une bonne ventilation du local n'est pas nécessaire si la chaudière est récente.
5. L'entretien annuel de la chaudière est obligatoire.

*Mes calculs :*

---

---

---

## Exercices d'application

STANDARD

### EXERCICE 6 Équilibrer des équations de combustion

Équilibrer les équations de combustion complète suivantes :

1.  $\text{C}_2\text{H}_6 + \dots \text{O}_2 \longrightarrow \dots \text{CO}_2 + \dots \text{H}_2\text{O}$  (éthane)
2.  $\text{C}_3\text{H}_8 + \dots \text{O}_2 \longrightarrow \dots \text{CO}_2 + \dots \text{H}_2\text{O}$  (propane)
3.  $\text{C}_4\text{H}_{10} + \dots \text{O}_2 \longrightarrow \dots \text{CO}_2 + \dots \text{H}_2\text{O}$  (butane)
4.  $\text{C}_8\text{H}_{18} + \dots \text{O}_2 \longrightarrow \dots \text{CO}_2 + \dots \text{H}_2\text{O}$  (octane, essence)

*Mes calculs :*

---

---

---

---

---

STANDARD

**EXERCICE 7 Bilan carbone d'une chaudière**

Un technicien de maintenance énergétique évalue les émissions de CO<sub>2</sub> d'une chaudière au propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) qui consomme 1 200 kg de propane par an.

1. Écrire l'équation de combustion complète du propane.
2. Calculer les masses molaires de C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> et de CO<sub>2</sub>.
3. D'après l'équation, combien de moles de CO<sub>2</sub> sont produites par mole de propane ?
4. Calculer la masse de CO<sub>2</sub> produite par la combustion de 1 kg de propane.
5. Calculer la masse totale de CO<sub>2</sub> émise en un an.
6. Si le client remplace sa chaudière par une pompe à chaleur (facteur d'émission : 50 g CO<sub>2</sub>/kWh, pour une consommation de 4 000 kWh/an), calculer la réduction d'émissions en kg.

*Mes calculs :*

---

---

---

---

---

STANDARD

**EXERCICE 8** Énergie d'une combustion

Un poêle à granulés de bois consomme 2 kg de granulés par heure. Le pouvoir calorifique des granulés est de 17 MJ/kg. Le rendement du poêle est de 90 %.

1. Calculer l'énergie totale libérée par la combustion en une heure.
2. Calculer l'énergie utile (restituée au logement) en une heure.
3. Exprimer cette énergie utile en kWh.
4. Le poêle fonctionne 6 h par jour pendant 150 jours. Calculer l'énergie utile annuelle en kWh.
5. Le prix des granulés est de 0,35 €/kg. Calculer le coût annuel de chauffage.

*Mes calculs :*

---

---

---

---

---

## Exercices d'approfondissement

### APPROFONDISSEMENT

#### EXERCICE 9 Comparaison de systèmes de chauffage (type BTS)

Un ingénieur thermicien compare trois solutions de chauffage pour un logement dont les besoins sont de 12 000 kWh thermiques par an :

	Chaudière gaz	Chaudière fioul	PAC air/eau
Combustible/énergie	Méthane	Fioul domestique	Électricité
Rendement / COP	95 %	88 %	COP = 3,5
Pouvoir calorifique	50 MJ/kg	42 MJ/kg	—
Prix énergie	1,10 €/kg	1,30 €/L (densité 0,85)	0,22 €/kWh
Facteur CO <sub>2</sub>	2,75 kg/kg	3,15 kg/kg	50 g/kWh élec

1. Pour chaque solution, calculer l'énergie totale à fournir (en tenant compte du rendement ou du COP).
2. Calculer la masse de combustible nécessaire pour les chaudières et l'énergie électrique pour la PAC.
3. Calculer le coût annuel de chaque solution.
4. Calculer les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> pour chaque solution.
5. Rédiger une conclusion argumentée en comparant les trois solutions sur les plans économique et environnemental.

*Mes calculs :*

---

---

---

---

---

APPROFONDISSEMENT

**EXERCICE 10** Rendement d'un moteur thermique

Un groupe électrogène diesel alimente un chantier isolé. Il consomme 4,5 L de gazole par heure (densité 0,84 kg/L, pouvoir calorifique 43 MJ/kg). Sa puissance électrique utile est de 15 kW.

1. Calculer la masse de gazole consommée par heure.
2. Calculer l'énergie chimique totale libérée par la combustion en une heure.
3. Calculer l'énergie électrique utile produite en une heure (en MJ).
4. Calculer le rendement du groupe électrogène.
5. Quelle est la puissance dissipée en chaleur ? Où va cette énergie ?
6. Le chantier dure 20 jours (8 h/jour). Calculer la masse totale de CO<sub>2</sub> émise (facteur : 3,15 kg CO<sub>2</sub>/kg gazole).

*Mes calculs :*

---

---

---

---

---

---

---

## 03

**Combustion du carbone et des hydrocarbures**

Devoir surveillé | Première Bac Pro ICCER (Grpt 1) – Combustion, CO<sub>2</sub>, énergie thermique

Socle

Standard

Approfondissement

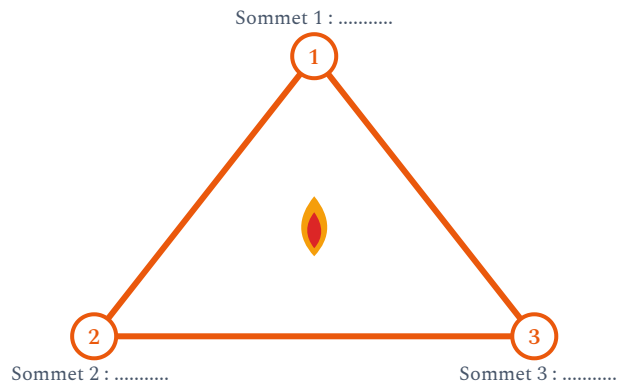
Tout voir

 Objectifs du chapitre[cliquer pour développer](#)

**CONSIGNES** Durée : 1 heure. Calculatrice autorisée. Données :  $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$ ,  $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$ ,  $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$ . Rédiger les réponses avec soin.

**SOCLE** Exercice 1 – Connaissances sur la combustion (5 points)

1. Compléter le schéma du triangle du feu avec les mots : *combustible*, *comburant*, *énergie d'activation*.



- Sommet 1 : ..... (le gaz, le bois, le fioul...)
- Sommet 2 : ..... (le dioxygène de l'air)
- Sommet 3 : ..... (étincelle, flamme pilote...)

2. Compléter les phrases :

- La combustion ..... (complète / incomplète) produit uniquement du CO<sub>2</sub> et de l'H<sub>2</sub>O.
- La combustion ..... produit du CO, un gaz ..... et .....
- La flamme d'une combustion complète est de couleur .....

3. Citer deux signes d'une combustion incomplète sur une chaudière.

**SOCLE** Exercice 2 – Équation de combustion guidée (5 points)

On réalise la combustion complète du propane  $C_3H_8$ .

1. Écrire les noms des réactifs et des produits.

2. Compléter l'équation :



3. Compléter le tableau de vérification :

Atome	À gauche	À droite
C	.....	.....
H	.....	.....
O	.....	.....

**SOCLE** Exercice 3 – Calcul de  $CO_2$  guidé (4 points)

Une chaudière au gaz naturel consomme 500 kg de méthane par an.

1. Quel est le facteur d'émission du méthane ? (Combien de kg de  $CO_2$  pour 1 kg de méthane ?)

$$\text{Facteur} = \frac{M(CO_2)}{M(CH_4)} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots$$

2. Calculer la masse annuelle de  $CO_2$  :

$$m_{CO_2} = 500 \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kg}$$

3. Exprimer ce résultat en tonnes.

**STANDARD** Exercice 1 – Entretien d'une chaudière (7 points)

Un technicien chauffagiste effectue l'entretien annuel d'une chaudière à gaz (méthane).

Il relève les données suivantes :

- Consommation : 1 800 kg de méthane par an
- Puissance thermique de la chaudière : 25 kW
- Rendement : 92 %

1. Écrire l'équation de combustion complète du méthane. (1 pt)
2. Calculer la masse de CO<sub>2</sub> émise par an. (2 pts)
3. Calculer la puissance utile de la chaudière. (1 pt)
4. Calculer la puissance perdue. Sous quelle forme cette énergie est-elle dissipée ? (1,5 pt)
5. L'analyseur de fumées indique 120 ppm de CO. La norme impose un maximum de 50 ppm. Que doit faire le technicien ? Citer au moins deux actions. (1,5 pt)

**STANDARD** Exercice 2 – Combustion du butane et impact environnemental (7 points)

Un chauffagiste installe un chauffage d'appoint au butane (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) dans un atelier. La bouteille contient 13 kg de butane.

1. Écrire et équilibrer l'équation de combustion complète du butane. (2 pts)
2. Calculer les masses molaires de C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> et de CO<sub>2</sub>. (1 pt)
3. D'après l'équation, combien de moles de CO<sub>2</sub> sont produites pour 2 moles de butane ? En déduire la masse de CO<sub>2</sub> produite par kg de butane. (2 pts)
4. Calculer la masse de CO<sub>2</sub> émise par la combustion de la bouteille entière. (1 pt)
5. Le pouvoir calorifique du butane est de 45 MJ/kg. Calculer l'énergie totale libérée par la bouteille (en kWh). (1 pt)

**APPROFONDISSEMENT** Exercice 1 – Étude complète : remplacement d'une chaudière fioul (14 points)

Un conducteur de travaux étudie le remplacement d'une chaudière fioul par une solution plus écologique pour un immeuble de bureaux. Les besoins thermiques sont de 80 000 kWh par an.

**Partie A – La chaudière fioul actuelle (5 points)**

Le fioul domestique peut être assimilé à du dodécane  $C_{12}H_{26}$ . La chaudière a un rendement de 85 %.

1. Écrire et équilibrer l'équation de combustion complète du dodécane. (2 pts)
2. Calculer la masse de fioul nécessaire par an (pouvoir calorifique : 42 MJ/kg). (1,5 pt)
3. Calculer la masse de  $CO_2$  émise par an (facteur : 3,15 kg  $CO_2$ /kg fioul). (1,5 pt)

**Partie B – Solutions alternatives (5 points)**

Deux alternatives sont proposées :

- **Chaudière gaz à condensation** : rendement 105 % (PCI), consommation de méthane
  - **PAC géothermique** : COP = 4,2, électricité à 0,22 €/kWh, 50 g  $CO_2$ /kWh élec
4. Pour la chaudière gaz : calculer la masse de méthane nécessaire (PC = 50 MJ/kg) et les émissions de  $CO_2$ . (2,5 pts)
  5. Pour la PAC : calculer l'énergie électrique nécessaire et les émissions de  $CO_2$ . (2,5 pts)

**Partie C – Synthèse (4 points)**

Prix des énergies : fioul 1,20 €/L (densité 0,85), gaz 1,10 €/kg, électricité 0,22 €/kWh.

6. Calculer le coût annuel de chaque solution. (2 pts)

7. Établir un tableau comparatif (coût, CO<sub>2</sub>) et rédiger une conclusion argumentée.  
(2 pts)

Première Bac Pro ICCER – Groupement 1 | Physique-Chimie – Chapitre 3 | maths-sciences-pro.fr

---