

Objectifs du chapitre

- Distinguer combustion complète et combustion incomplète
- Identifier les produits de chaque type de combustion
- Comprendre la dangerosité du monoxyde de carbone (CO)
- Écrire et ajuster une équation de réaction de combustion
- Calculer l'énergie thermique libérée par une combustion
- Calculer la masse de CO₂ dégagée et comprendre son impact sur l'effet de serre

Situation professionnelle — Sécurité dans un atelier de menuiserie chauffé au bois

Un artisan menuisier chauffe son atelier avec un poêle à bois et utilise un brûleur à gaz propane pour le séchage des finitions. Une flamme jaune-orangée et des dépôts de suie sur les parois du brûleur l'alertent : la combustion n'est peut-être pas complète.

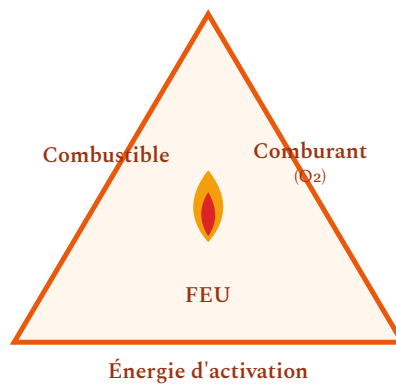
Comprendre les réactions de combustion et leurs produits est essentiel pour travailler en sécurité et éviter tout risque d'intoxication au monoxyde de carbone.

1. Situation professionnelle - Le chauffage de l'atelier**Contexte professionnel**

Un artisan menuisier chauffe son atelier avec un poêle à bois pendant l'hiver. Certains ateliers utilisent aussi des chauffages au gaz (propane ou butane) pour le séchage des finitions ou le chauffage d'appoint. Les vernis et les laques utilisés en menuiserie contiennent des solvants organiques inflammables. Il est donc essentiel de comprendre les réactions de combustion, leurs produits et leurs dangers pour travailler en sécurité.

La combustion est une réaction chimique entre un **combustible** (bois, gaz, essence) et un **comburant** (le dioxygène de l'air). Elle dégage de la **chaleur** (réaction exothermique) et de la

lumière.



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

2. Combustion complète du carbone

DÉFINITION - COMBUSTION COMPLÈTE

Une combustion est dite **complète** lorsque le combustible réagit avec un **excès de dioxygène**. Tous les atomes de carbone donnent du **dioxyde de carbone (CO₂)** et tous les atomes d'hydrogène donnent de l'**eau (H₂O)**.

Combustion complète du carbone :



Carbone + dioxygène → dioxyde de carbone

PROPRIÉTÉ - CARACTÉRISTIQUES

- La flamme est **bleue** (combustion efficace).
- Le seul produit carboné est le **CO₂** (gaz incolore, inodore).
- Toute l'énergie chimique est libérée sous forme de chaleur.

APPLICATION

Un menuisier brûle du carbone dans un excès de dioxygène. Quels sont les produits de la réaction ? Écrire l'équation de combustion complète du carbone.

3. Combustion incomplète du carbone

DÉFINITION - COMBUSTION INCOMPLÈTE

Une combustion est dite **incomplète** lorsqu'il n'y a **pas assez de dioxygène**. Les produits sont alors :

- Du **monoxyde de carbone (CO)** – gaz très toxique
- Du **carbone (C)** sous forme de suie noire
- De l'eau (H₂O)
- Et éventuellement un peu de CO₂

Combustion incomplète du carbone :



Carbone + dioxygène (insuffisant) → monoxyde de carbone

DANGER - LE MONOXYDE DE CARBONE (CO)

Le **CO** est un gaz **incolore, inodore et mortel**. Il se fixe sur l'hémoglobine du sang à la place de l'oxygène, provoquant une asphyxie.

- Environ **300 décès par an** en France dus au CO
- Symptômes : maux de tête, vertiges, nausées, perte de connaissance, mort
- Causes : appareil de chauffage mal entretenu, local mal ventilé, brûleur encrassé

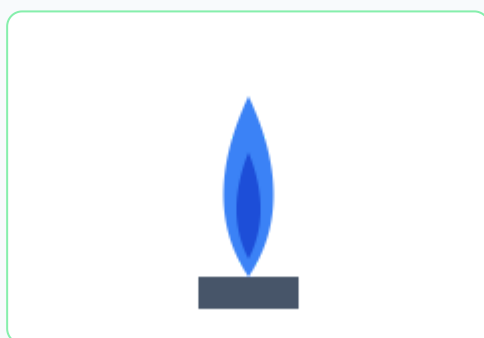
Prévention : ventiler les locaux, faire entretenir les appareils de chauffage, installer un détecteur de CO.

PROPRIÉTÉ - COMMENT RECONNAÎTRE UNE COMBUSTION INCOMPLÈTE ?

Indice	Combustion complète	Combustion incomplète
Couleur de la flamme	Bleue	Jaune-orange
Dépôts	Aucun	Suie noire (carbone)
Odeur	Aucune	Odeur âcre possible
Produits	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CO} + \text{C} + \text{H}_2\text{O} (+ \text{CO}_2)$
Énergie libérée	Maximale	Réduite

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_2) : 80 %

Flamme **bleue** → combustion complète : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

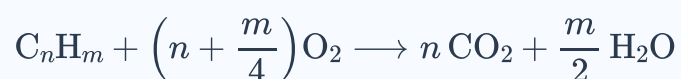
4. Combustion des hydrocarbures

DÉFINITION - HYDROCARBURE

Un **hydrocarbure** est une molécule composée uniquement d'atomes de **carbone (C)** et d'**hydrogène (H)**. Formule générale : C_nH_m .

Exemples : méthane (CH_4), propane (C_3H_8), butane (C_4H_{10}).

Combustion complète d'un hydrocarbure :



Exemples d'équations de combustion

EXEMPLE 1 - COMBUSTION DU MÉTHANE (GAZ DE VILLE)



Vérification : C : 1=1 ✓ | H : 4=4 ✓ | O : 4=2+2=4 ✓

EXEMPLE 2 - COMBUSTION DU PROPANE (BOUTEILLE DE GAZ)



Vérification : C : 3=3 ✓ | H : 8=8 ✓ | O : 10=6+4=10 ✓

EXEMPLE 3 - COMBUSTION DU BUTANE (BRIQUET)

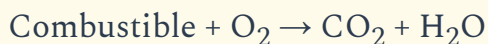


Vérification : C : 8=8 ✓ | H : 20=20 ✓ | O : 26=16+10=26 ✓

5. Méthode - Ajuster une équation de combustion

MÉTHODE - AJUSTEMENT EN 4 ÉTAPES

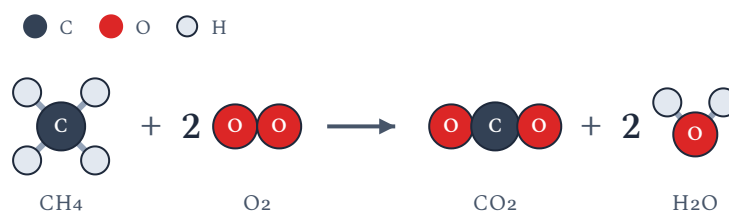
1. **Écrire** les réactifs et les produits :



2. **Ajuster le carbone (C)** : le nombre d'atomes de C dans les réactifs = celui dans les produits.

3. **Ajuster l'hydrogène (H)** : le nombre d'atomes de H dans les réactifs = celui dans les produits.

4. **Ajuster l'oxygène (O)** en dernier : compter tous les O dans les produits, puis ajuster le coefficient devant O_2 .



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

Ajuster, 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.

APPLICATION

Ajuster la combustion complète du butane utilisé dans le briquet d'un ébéniste :



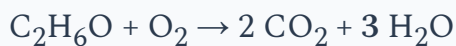
EXEMPLE 4 - AJUSTER LA COMBUSTION DE L'ÉTHANOL C₂H₆O

Étape 1 : C₂H₆O + O₂ → CO₂ + H₂O

Étape 2 (C) : 2 C à gauche → 2 CO₂ à droite



Étape 3 (H) : 6 H à gauche → 3 H₂O à droite



Étape 4 (O) : À droite : 2×2 + 3×1 = 7 atomes d'O. À gauche : 1 (dans C₂H₆O) + 2x = 7, donc x = 3.



6. Énergie thermique libérée par la combustion

DÉFINITION - POUVOIR CALORIFIQUE

Le **pouvoir calorifique** d'un combustible est l'énergie libérée par la combustion complète d'une unité de masse (ou de volume) de ce combustible.

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.

Combustible	Formule	Pouvoir calorifique (kJ/kg)	Usage en atelier
Bois sec	—	15 000	Poêle à bois, chutes de bois
Méthane	CH ₄	50 000	Gaz de ville
Propane	C ₃ H ₈	46 300	Bouteille de gaz
Butane	C ₄ H ₁₀	45 700	Chalumeau, briquet
Fioul	—	42 000	Chaudière d'atelier

Énergie libérée par une combustion :

$$E = m \times PC$$

E en kJ, m en kg, PC = pouvoir calorifique en kJ/kg

EXEMPLE 5 - ÉNERGIE LIBÉRÉE PAR LE BOIS

Situation : Un menuisier brûle 8 kg de chutes de bois dans le poêle de l'atelier.

$$E = m \times PC = 8 \times 15\,000 = 120\,000 \text{ kJ} = 120 \text{ MJ}$$

Conversion en kWh : $E = 120\,000 / 3\,600 = 33,3 \text{ kWh}$.

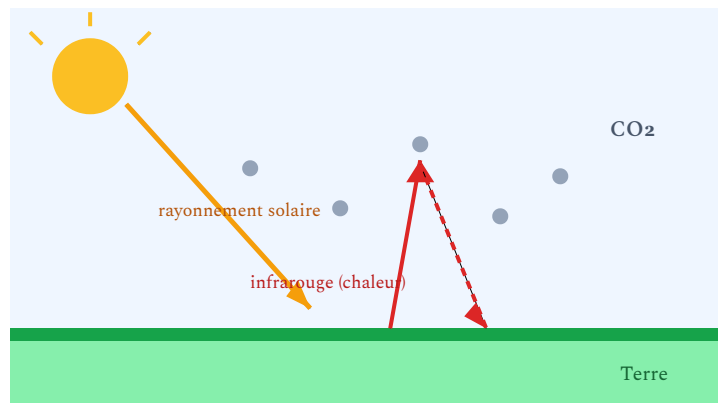
PROPRIÉTÉ - MOTEURS THERMIQUES

Les **moteurs thermiques** (moteurs à essence ou diesel des véhicules utilitaires, des engins de chantier...) convertissent l'énergie libérée par la combustion du carburant en **énergie mécanique** (mouvement). Une grande partie de l'énergie est dissipée en chaleur.

7. CO₂ et réchauffement climatique

DÉFINITION - EFFET DE SERRE

L'**effet de serre** est un phénomène naturel par lequel certains gaz de l'atmosphère (CO₂, CH₄, H₂O...) retiennent une partie de la chaleur du Soleil. Sans effet de serre, la température moyenne de la Terre serait de -18 °C au lieu de +15 °C.



Le CO₂ absorbe puis renvoie une partie de l'infrarouge émis par la Terre : l'atmosphère se réchauffe.

ATTENTION - RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Depuis la révolution industrielle, la combustion massive d'**énergies fossiles** (charbon, pétrole, gaz) a augmenté la concentration de CO₂ dans l'atmosphère :

- Avant 1800 : environ 280 ppm
- En 2024 : environ 425 ppm (+50 %)

Cette augmentation renforce l'effet de serre → **réchauffement climatique** → fonte des glaces, montée des eaux, événements météo extrêmes.

Calcul de la masse de CO₂ dégagée

APPLICATION

Un menuisier brûle 3 kg de propane (PC = 46 300 kJ/kg) dans le chauffage de son atelier. Calculer l'énergie libérée en kJ et en kWh.

MÉTHODE - CALCULER LA MASSE DE CO₂ PRODUITE

Pour calculer la masse de CO₂ dégagée par la combustion :

1. Écrire l'équation de combustion équilibrée
2. Calculer les masses molaires : $M(\text{CO}_2) = 12 + 2 \times 16 = 44 \text{ g/mol}$
3. Utiliser les proportions stoechiométriques de l'équation

EXEMPLE 6 - MASSE DE CO₂ POUR 1 KG DE PROPANE

Équation : $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$

Masses molaires :

- $M(\text{C}_3\text{H}_8) = 3 \times 12 + 8 \times 1 = 44 \text{ g/mol}$
- $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g/mol}$

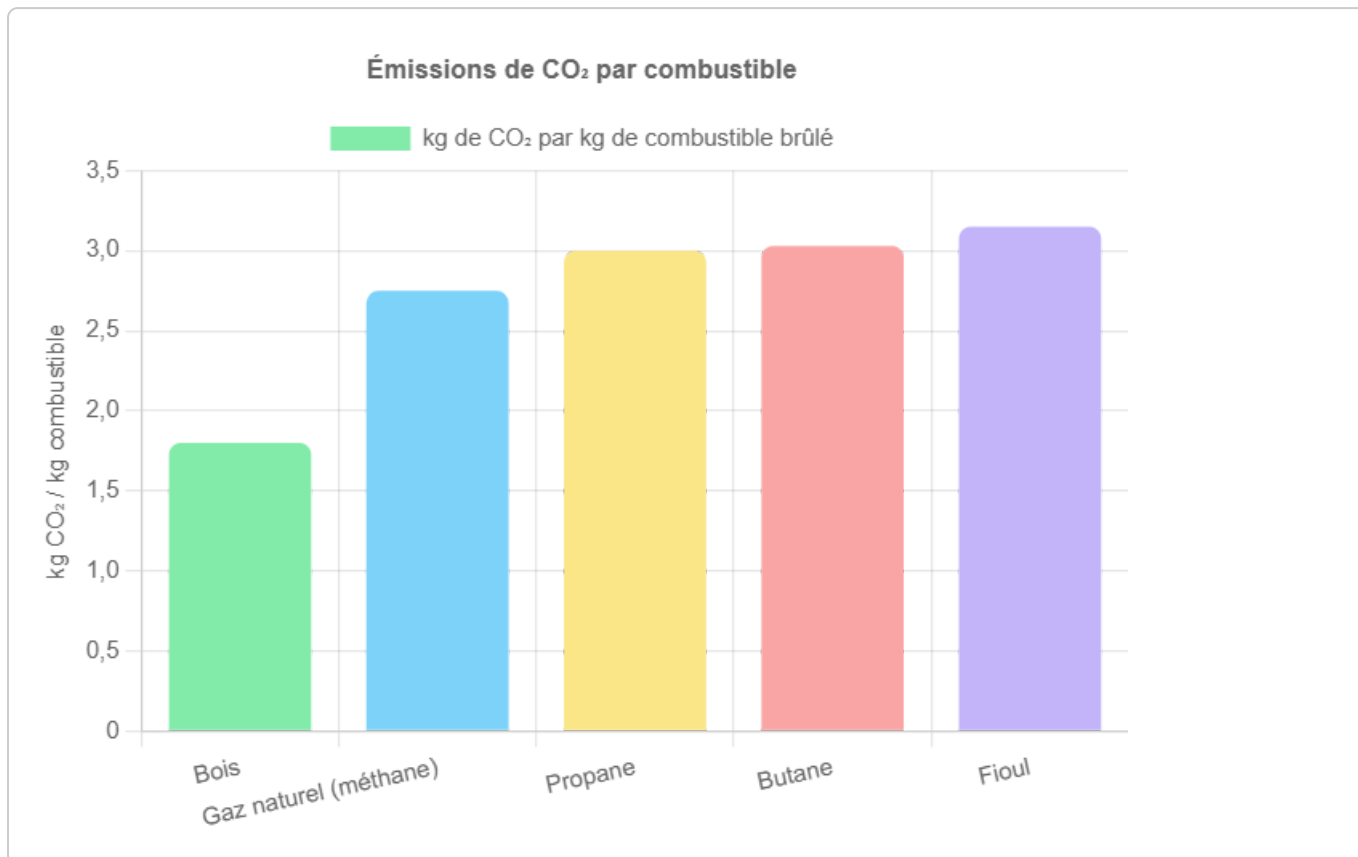
1 mol de propane (44 g) produit 3 mol de CO₂ ($3 \times 44 = 132 \text{ g}$).

Pour 1 kg = 1 000 g de propane :

$$m(\text{CO}_2) = \frac{1\,000}{44} \times 132 = 3\,000 \text{ g} = 3,0 \text{ kg}$$

Conclusion : 1 kg de propane brûlé produit 3 kg de CO₂.

8. Graphique - Émissions de CO₂ par combustible



9. Application - Combustion dans l'atelier

APPLICATION 1 - CHAUFFAGE AU PROPANE

Un menuisier utilise une bouteille de propane de 13 kg pour chauffer son atelier pendant l'hiver.

1. **Énergie libérée** : $E = 13 \times 46\,300 = 601\,900 \text{ kJ} \approx 602 \text{ MJ} \approx 167 \text{ kWh}$
2. **Masse de CO₂** : $m = 13 \times 3,0 = 39 \text{ kg de CO}_2$

Chaque bouteille de propane produit environ **39 kg de CO₂**.

APPLICATION 2 - SÉCURITÉ ET VENTILATION

Lors du séchage de vernis au solvant, un ébéniste utilise un chauffage d'appoint au gaz.

Pourquoi est-ce dangereux ?

- Les solvants sont inflammables → risque d'incendie ou d'explosion au contact de la flamme.
- La combustion consomme le dioxygène du local → manque d'O₂ → combustion incomplète → production de CO toxique.
- Solution : utiliser un chauffage électrique (pas de flamme) et ventiler correctement le local.

10. À retenir

Formules et concepts clés :

- Combustion complète (excès d'O₂) → CO₂ + H₂O
- Combustion incomplète (manque d'O₂) → CO + C + H₂O
- Énergie libérée : $E = m \times PC$ (*formule fournie en évaluation*)
- Le CO est un gaz mortel, incolore et inodore
- Le CO₂ est un gaz à effet de serre → réchauffement climatique
- Pour ajuster une équation : C d'abord, puis H, puis O en dernier

ATTENTION AUX ERREURS FRÉQUENTES

- Ne pas confondre **CO** (monoxyde de carbone, toxique) et **CO₂** (dioxyde de carbone, gaz à effet de serre).
- Toujours vérifier que l'équation est **équilibrée** (même nombre d'atomes de chaque côté).
- Le **bois** est considéré comme « neutre en carbone » car le CO₂ libéré a été absorbé par l'arbre pendant sa croissance (cycle du carbone).
- Ne pas oublier l'**eau** (H₂O) dans les produits de combustion des hydrocarbures.

11. Mini exercices

Exercice 1 – Ajuster une équation

Ajuster l'équation de combustion complète du méthane : $\text{CH}_4 + ? \text{O}_2 \rightarrow ? \text{CO}_2 + ? \text{H}_2\text{O}$

► [Voir la solution](#)

Exercice 2 – Énergie du bois

Un artisan menuisier brûle 5 kg de chutes de bois (PC = 15 000 kJ/kg). Calculer l'énergie libérée en kJ et en kWh.

► [Voir la solution](#)

Exercice 3 – Masse de CO₂

La combustion de 1 kg de butane (C₄H₁₀) produit 3,03 kg de CO₂. Un chauffage d'atelier consomme 2,5 kg de butane par semaine.

Calculer la masse de CO₂ émise en un mois (4 semaines).

► [Voir la solution](#)

Exercice 4 – Combustion complète ou incomplète ?

Un technicien d'agencement observe une flamme jaune-orange avec des dépôts de suie sur un brûleur à gaz de son atelier.

- S'agit-il d'une combustion complète ou incomplète ?
- Quel gaz dangereux peut se former ?
- Que doit-il faire ?

► [Voir la solution](#)

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

Simulation interactive

[Combustion du carbone et des hydrocarbures](#)

12. Erreurs fréquentes

✘ Confondre CO et CO₂

CO (monoxyde de carbone) est un gaz toxique et mortel issu d'une combustion incomplète. CO₂ (dioxyde de carbone) est le produit normal d'une combustion complète, inoffensif en faibles quantités mais gaz à effet de serre.

Conseil : retenir que CO = combustion incomplète (dangereux), CO₂ = combustion complète (normal).

✘ Mal équilibrer l'équation de combustion

Modifier la formule chimique des molécules (ex : écrire O₃ au lieu de O₂) pour équilibrer l'équation. On ne peut changer que les coefficients stoechiométriques, pas les formules.

Conseil : toujours ajuster dans l'ordre C → H → O et vérifier en comptant tous les atomes des deux côtés.

✘ Oublier l'eau dans les produits de combustion des hydrocarbures

Les hydrocarbures contiennent des atomes d'hydrogène qui donnent de l'eau (H₂O) lors de la combustion. Écrire seulement CO₂ comme produit est incomplet.

Conseil : produits de combustion complète d'un hydrocarbure = CO₂ + H₂O, toujours les deux.

✘ Croire que le bois est neutre en carbone sans conditions

Le bois est considéré neutre en carbone car l'arbre a absorbé du CO₂ pendant sa croissance. Mais si on brûle du bois sans laisser les forêts se régénérer, ce n'est plus neutre.

Conseil : neutralité carbone du bois = cycle court du carbone, valable seulement avec une gestion forestière durable.

Combustion du carbone et des hydrocarbures

Exercices | Première Bac Pro ERA-MA – Groupement 3

Socle

Standard

Approfondissement

Tout voir

Rappels

- Combustion complète : $\text{combustible} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- Combustion incomplète : manque d' $\text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{C}$ (suie) + H_2O
- Énergie : $E = m \times \text{PC}$
- Ajustement : équilibrer C, puis H, puis O
- Masses molaires : C = 12, H = 1, O = 16, $\text{CO}_2 = 44$

Exercices guidés pas à pas

EXERCICE 1 Identifier les types de combustion (guidé)

SOCLE

Pour chaque situation, indiquer s'il s'agit d'une combustion complète ou incomplète. Justifier.

Situation	Type	Justification
Flamme bleue sur un brûleur à gaz
Flamme jaune avec dépôt de suie
Chauffage dans un local bien ventilé
Cheminée qui fume noir

Mes calculs :

EXERCICE 2 Ajuster une équation (guidé) **SOCLE**

Ajuster l'équation de combustion complète du propane C_3H_8 .



Étape 1 (C) : Il y a ... atomes de C à gauche \rightarrow il faut ... CO_2 à droite.

Étape 2 (H) : Il y a ... atomes de H à gauche \rightarrow il faut ... H_2O à droite.

Étape 3 (O) : À droite : ... O dans CO_2 + ... O dans H_2O = ... O au total \rightarrow il faut ... O_2 à gauche.

Mes calculs :

EXERCICE 3 Énergie du bois (guidé) **SOCLE**

Un menuisier brûle 6 kg de chutes de bois dans le poêle de l'atelier. Le pouvoir calorifique du bois sec est $PC = 15\,000 \text{ kJ/kg}$.

Étape 1 : Écrire la formule de l'énergie.

$$E = \dots \times \dots$$

Étape 2 : Remplacer et calculer.

$$E = \dots \times \dots = \dots \text{ kJ}$$

Étape 3 : Convertir en kWh (diviser par 3 600).

$$E = \dots \text{ kWh}$$

Mes calculs :

EXERCICE 4 Sécurité (guidé) SOCLE

Relier chaque danger à la bonne précaution :

Danger	Précaution
1. Production de CO	a. Éteindre le chauffage à flamme
2. Solvants inflammables	b. Installer un détecteur de CO
3. Manque d'O ₂	c. Ventiler le local

Mes calculs :

Exercices d'application

EXERCICE 5 Équations de combustion STANDARD

Ajuster les équations de combustion complète suivantes :



Mes calculs :

EXERCICE 6 Chauffage d'un atelier au propane

STANDARD

Un menuisier agenceur utilise un chauffage au propane pour son atelier. Il consomme une bouteille de 13 kg par semaine en hiver.

Données : $PC_{\text{propane}} = 46\,300 \text{ kJ/kg}$. 1 kg de propane produit 3,0 kg de CO_2 .

1. Écrire l'équation de combustion complète du propane.
2. Calculer l'énergie libérée par une bouteille (en kJ puis en kWh).
3. Calculer la masse de CO_2 émise par bouteille.
4. L'hiver dure 20 semaines. Calculer la masse totale de CO_2 émise pendant un hiver.
5. Proposer une alternative moins polluante pour le chauffage de l'atelier.

Mes calculs :

EXERCICE 7**STANDARD**

L'équation de combustion du méthane est : $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$.

Masses molaires : C = 12 g/mol, H = 1 g/mol, O = 16 g/mol.

1. Calculer la masse molaire du méthane CH_4 .
2. Calculer la masse molaire du CO_2 .
3. D'après l'équation, combien de moles de CO_2 sont produites par mole de CH_4 ?
4. Calculer la masse de CO_2 produite par la combustion de 1 kg de méthane.

Mes calculs :

EXERCICE 8 Sécurité en atelier

STANDARD

Un poseur de cuisines travaille dans un appartement en cours de rénovation. Il utilise un chauffage d'appoint au butane dans la pièce fermée. Après 2 heures, il a des maux de tête et des vertiges.

1. Quel gaz peut être responsable de ces symptômes ?
2. Expliquer pourquoi ce gaz s'est formé.
3. Que doit-il faire immédiatement ?
4. Comment prévenir ce risque à l'avenir ?

Mes calculs :

Exercices d'approfondissement

EXERCICE 9 Bilan carbone d'un atelier

APPROFONDISSEMENT

Un artisan menuisier souhaite calculer le bilan carbone annuel de son atelier. Ses sources d'énergie sont :

Source	Consommation annuelle	Émission CO ₂
Propane (chauffage)	260 kg	3,0 kg CO ₂ /kg
Électricité	8 500 kWh	0,057 kg CO ₂ /kWh (France)
Déplacements (diesel)	3 000 L	2,64 kg CO ₂ /L

1. Calculer les émissions de CO₂ de chaque source.
2. Calculer le total annuel en tonnes de CO₂.
3. Quel poste est le plus émetteur ? Proposer des solutions pour le réduire.
4. Si le chauffage propane est remplacé par un poêle à granulés (bilan carbone « neutre »), quel serait le nouveau bilan total ?
5. En France, l'objectif est de 2 tonnes de CO₂/personne/an. Cet atelier emploie 3 personnes. L'activité respecte-t-elle cet objectif ?

Mes calculs :

EXERCICE 10 Comparaison énergétique de combustibles

APPROFONDISSEMENT

Un fabricant de mobilier compare trois solutions de chauffage pour son atelier de 200 m². Le besoin thermique est de 40 000 kWh par hiver.

Solution	PC (kJ/kg)	Rendement	Prix (€/kg)	CO ₂ (kg/kg)
Propane	46 300	90 %	2,50	3,00
Fioul	42 000	85 %	1,20	3,15
Granulés bois	17 000	92 %	0,35	0 (neutre)

1. Calculer l'énergie utile produite par 1 kg de chaque combustible (en kWh), en tenant compte du rendement.
2. Calculer la masse de combustible nécessaire pour couvrir les 40 000 kWh.
3. Calculer le coût total de chaque solution pour un hiver.
4. Calculer les émissions de CO₂ pour chaque solution.
5. Classer les solutions par coût croissant et par émissions croissantes. Quelle solution recommander ?

Mes calculs :

EXERCICE 11 Calcul stoechiométrique complet **Q6 hors-programme**

APPROFONDISSEMENT

On brûle 500 g d'octane (C_8H_{18}), composant principal de l'essence.

Masses molaires : $C = 12$, $H = 1$, $O = 16$ g/mol.

1. Écrire et ajuster l'équation de combustion complète de l'octane.
2. Calculer la masse molaire de l'octane.
3. Calculer le nombre de moles d'octane brûlé.
4. En déduire le nombre de moles de CO_2 produit.
5. Calculer la masse de CO_2 produite.
6. (HP) Calculer le volume de CO_2 produit (volume molaire des gaz à 20 °C et pression atmosphérique : $1\text{ mol} = 24\text{ L}$).

Mes calculs :

Combustion du carbone et des hydrocarbures

Combustion du carbone et des hydrocarbures | Première Bac Pro ERA-MA -
Groupement 3

Socle

Standard

Approfondissement

Tout voir



Objectifs du chapitre

[cliquer pour développer](#)

SOCLE DS - Niveau Socle (45 min)

Exercice 1 - Questions de cours (6 points)

1. Quels sont les deux éléments nécessaires pour qu'une combustion ait lieu ? (1 pt)
2. Quels sont les produits d'une combustion **complète** d'un hydrocarbure ? (1 pt)
3. Quel gaz dangereux se forme lors d'une combustion **incomplète** ? (1 pt)
4. Comment reconnaître visuellement une combustion incomplète ? (1 pt)
5. Écrire la formule pour calculer l'énergie libérée par une combustion. (1 pt)
6. Le CO₂ contribue au réchauffement climatique. Pourquoi ? (1 pt)

Exercice 2 - Ajustement d'équation (6 points)

Ajuster l'équation de combustion complète du méthane CH₄ :



- a) Combien d'atomes de C à gauche ? Combien de CO₂ à droite ? (2 pts)
- b) Combien d'atomes de H à gauche ? Combien de H₂O à droite ? (2 pts)
- c) Compter les O à droite et en déduire le nombre de O₂ à gauche. (2 pts)

Exercice 3 – Énergie et CO₂ (8 points)

Un artisan menuisier brûle 4 kg de bois sec dans son poêle. PC = 15 000 kJ/kg. Le bois produit 1,8 kg de CO₂ par kg brûlé.

a) Calculer l'énergie libérée. (2 pts)

$$E = \dots \times \dots = \dots \text{ kJ}$$

b) Convertir en kWh. (2 pts)

$$E = \dots / 3\,600 = \dots \text{ kWh}$$

c) Calculer la masse de CO₂ produite. (2 pts)

d) Pourquoi dit-on que le bois est « neutre en carbone » ? (2 pts)

STANDARD DS – Niveau Standard (45 min)

Exercice 1 – Questions de cours (4 points)

1. Donner la différence entre combustion complète et incomplète. (2 pts)
2. Pourquoi le CO est-il si dangereux ? Comment se protéger ? (2 pts)

Exercice 2 – Combustion du butane (8 points)

Un ébéniste utilise un chalumeau au butane (C₄H₁₀) pour décaper un vieux meuble.

Masses molaires : C = 12, H = 1, O = 16 g/mol.

1. Écrire et ajuster l'équation de combustion complète du butane. (3 pts)
2. Calculer la masse molaire du butane. (1 pt)
3. Calculer la masse molaire du CO₂. (1 pt)
4. La cartouche contient 220 g de butane. Calculer la masse de CO₂ dégagée lorsqu'elle est entièrement consommée. (3 pts)

Exercice 3 – Comparaison de chauffages (8 points)

Un menuisier agenceur compare deux solutions de chauffage pour son atelier :

- Solution A : propane, consommation 200 kg/hiver, PC = 46 300 kJ/kg, CO₂ = 3,0 kg/kg
- Solution B : bois, consommation 1 200 kg/hiver, PC = 15 000 kJ/kg, CO₂ « neutre »

1. Calculer l'énergie libérée par chaque solution (en kWh). (3 pts)
2. Calculer la masse de CO₂ émise par chaque solution. (2 pts)
3. Le propane coûte 2,50 €/kg et le bois 0,15 €/kg. Calculer le coût de chaque solution. (2 pts)
4. Rédiger une conclusion comparant les deux solutions. (1 pt)

APPROFONDISSEMENT DS – Niveau Approfondissement (45 min)

Exercice 1 – Étude complète d'une combustion (10 points)

Un aménageur d'intérieur utilise un chauffage au propane (C₃H₈) dans un local de 60 m³.

Données : M(C)=12, M(H)=1, M(O)=16 g/mol. PC propane = 46 300 kJ/kg. L'air contient 21 % de O₂ en volume. Volume molaire = 24 L/mol.

1. Écrire l'équation de combustion complète du propane. (1 pt)
2. Calculer la masse de CO₂ produite par la combustion de 500 g de propane. (3 pts)
3. Calculer le volume de O₂ consommé pour brûler ces 500 g. (3 pts)
4. Le local contient 60 m³ d'air, soit environ 12,6 m³ de O₂. Quel pourcentage du O₂ est consommé ? (2 pts)
5. À partir de quelle concentration en O₂ la combustion devient-elle incomplète (seuil : 16 %) ? Combien de propane peut-on brûler avant d'atteindre ce seuil ? (1 pt bonus)

Exercice 2 – Bilan environnemental (10 points)

Un fabricant de meubles compare l'impact environnemental de trois modes de chauffage pour un besoin de 30 000 kWh par hiver :

Mode	Rendement	Facteur émission	Coût énergie
Gaz naturel	95 %	0,205 kg CO ₂ /kWh PCI	0,09 €/kWh
Pompe à chaleur	COP = 3,5	0,057 kg CO ₂ /kWh élec	0,18 €/kWh élec
Poêle à granulés	90 %	0,013 kg CO ₂ /kWh	0,065 €/kWh

1. Pour le gaz naturel : calculer l'énergie primaire nécessaire et les émissions de CO₂. (2 pts)
2. Pour la PAC : l'énergie électrique nécessaire est $E_{\text{élec}} = 30\,000 / \text{COP}$. Calculer. (2 pts)
3. Pour les granulés : calculer l'énergie primaire et les émissions. (2 pts)
4. Calculer le coût annuel de chaque solution. (2 pts)
5. Dresser un tableau récapitulatif et recommander la meilleure solution en justifiant. (2 pts)