

Version professeur

Physique-chimie – Première Bac Pro

Livret d'activités

Chapitre 3

Combustion du carbone et des hydrocarbures

Édition : 20 septembre 2026 – Naïm Azzouz

Méthode — Mode d'emploi

Cinq activités qui se suivent. On observe d'abord le poêle d'un atelier sans rien savoir du chapitre ; on passe ensuite en salle de TP pour **montrer** ce que la combustion produit ; on lit le rapport d'un technicien sur un poêle mal réglé ; on choisit un combustible pour l'atelier ; et l'on termine par la question qui fâche : le chauffage au bois rejette-t-il vraiment moins de dioxyde de carbone ? Écrire à chaque fois une phrase de réponse avec son unité. Les corrigés et la conduite pédagogique suivent chaque activité dans cette version.

Repères et ordre de travail

Activité et intitulé complet	Capacités	Pages
Activité 1 – Le poêle et le brûleur de l'atelier	découverte	2
Activité 2 – TP : identifier les produits d'une combustion	C1, C3	2
Activité 3 – Le rapport du technicien sur un poêle mal réglé	C1, C2, Sécurité	4
Activité 4 – Choisir un combustible pour l'atelier	C3	5
Activité 5 – Le bilan de dioxyde de carbone du chauffage au bois	C2, C4	6

L'activité 1 se fait **avant le cours** : aucune de ses questions n'exige de l'avoir lu. L'activité 2 se fait en **salle de TP** : elle porte la première capacité du programme, **réaliser** une combustion et **identifier** ses produits. Les pouvoirs calorifiques et les masses molaires sont **fournis**.

Rôle : découverte, **avant** le cours ; contexte menuiserie **Capacités :** découverte **Durée indicative :** 40 min

Activité 1 — Le poêle et le brûleur de l'atelier

Document 1 — l'atelier de Théo

Théo est menuisier. Il chauffe son atelier avec un poêle à bûches, et il emploie un brûleur au propane pour accélérer le séchage des finitions. Ce matin, il remarque deux choses : la vitre du poêle est couverte d'un dépôt noir, et la flamme du brûleur, d'ordinaire bleue, tire sur le jaune.

Document 2 — ce qu'il faut pour qu'il y ait feu

Un feu a besoin de trois choses en même temps : un **combustible** (ce qui brûle), un **comburant** (le dioxygène de l'air) et une **énergie d'activation** (une étincelle, une flamme). Retirer l'une des trois éteint le feu.

1. Pour le poêle de Théo, nommer le combustible et le comburant.
2. Théo referme complètement l'arrivée d'air du poêle pour ralentir la combustion. Lequel des trois éléments réduit-il ?
3. D'après vous, le dépôt noir sur la vitre est-il du bois qui n'a pas brûlé, ou autre chose ? Proposer une réponse, même incertaine.
4. La combustion du bois produit un gaz que l'on retrouve dans l'air que nous expirons. Le nommer.
5. Théo pense que si la flamme jaunit, « c'est juste une question de réglage, ce n'est pas dangereux ». Écrire ce que vous en pensez, et ce que vous voudriez vérifier avant de lui répondre.

Corrigé de l'activité 1

1. Combustible : le **bois**. Comburant : le **dioxygène** de l'air.
2. Le **comburant**. En fermant l'arrivée d'air, il prive la combustion de dioxygène.
3. Réponses attendues variées. La bonne piste : ce dépôt est du **carbone** — de la **suie** — c'est-à-dire du combustible qui n'a pas fini de brûler, faute de dioxygène. Accepter toute formulation qui relie le dépôt au manque d'air.
4. Le **dioxyde de carbone** CO₂.
5. On attend une **mise en doute**, pas une réponse assurée. Deux points à valoriser : le manque d'air peut produire un gaz dangereux (le monoxyde de carbone), et *on ne peut pas le voir ni le sentir* — donc on ne peut pas trancher à l'œil. Ce qu'on voudrait vérifier : la ventilation du local, l'état du brûleur, et, si l'on en a un, ce qu'indique un détecteur.

Conduite : activité de **découverte**, à faire **avant** le cours. Aucune des cinq questions n'exige le cours : elles servent à faire apparaître les idées que le cours viendra nommer. Ne pas corriger la question 3 trop tôt — la laisser ouverte jusqu'au §4.

Ce que l'activité prépare : le triangle du feu (§1), la distinction complète / incomplète (§2 et §4), et surtout le fait qu'un gaz mortel puisse être indétectable (§5).

Rôle : travaux pratiques, en binôme ; capacité expérimentale du BO **Capacités :** C1, C3 **Durée indicative :** 1 h

Activité 2 — TP – identifier les produits d'une combustion

Cette activité se déroule en salle de TP, en binôme. Lunettes de protection obligatoires : l'eau de chaux est irritante pour les yeux. Cheveux attachés, paillasse dégagée de tout papier et de tout solvant, local aéré.

Matériel — 3 bougies chauffe-plat ; un bocal de 1 L avec couvercle ; 50 mL d'eau de chaux ; une coupelle ou un verre sortis du réfrigérateur ; un bécher, 100 mL d'eau et un thermomètre ; une balance au centigramme ; un chronomètre.

Partie A — la combustion a-t-elle besoin d'air ?

Allumer une bougie, la recouvrir du bocal retourné, et chronométrer jusqu'à l'extinction.

1. Relever la durée. La bougie s'est-elle éteinte faute de combustible ? Justifier.

Partie B — montrer qu'il se forme du dioxyde de carbone

Verser l'eau de chaux au fond du bocal. Y placer une bougie allumée, fermer, attendre l'extinction, puis

agiter doucement.

2. Décrire l'aspect de l'eau de chaux *avant*, puis *après*.

3. Que peut-on conclure ? Que ne peut-on *pas* conclure de ce seul test ?

Partie C — montrer qu'il se forme de l'eau

Sortir la coupelle du réfrigérateur et la tenir quelques secondes au-dessus de la flamme d'une bougie, sans la mettre dans la flamme.

4. Décrire ce que l'on observe sur la face exposée.

5. D'où vient cette eau ? Elle ne se trouvait ni dans l'air sec, ni dans la coupelle.

6. On refait la même expérience au-dessus d'un morceau de **charbon de bois** incandescent, assimilé à du carbone pur. Prévoir le résultat, et dire pourquoi.

Partie D — combien d'énergie ?

Peser une bougie (m_1). Placer le bécher de 100 mL d'eau à 15 cm au-dessus, relever la température initiale, allumer, chronométrer 3 min exactement, éteindre, relever la température finale et repeser la bougie (m_2). On donne la capacité thermique de l'eau : $c = 4185 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, et le pouvoir calorifique de la paraffine : $PC = 41\,000 \text{ kJ/kg}$.

7. Reporter les mesures, puis calculer Δm et ΔT .

m_1 (g)	
m_2 (g)	
Δm (g)	
T initiale (°C)	
T finale (°C)	
ΔT (°C)	

8. Calculer l'énergie reçue par l'eau : $Q = m \times c \times \Delta T$, avec $m = 0,100 \text{ kg}$.

9. Calculer l'énergie libérée par la paraffine consommée : $E = \Delta m \times PC$.

10. Comparer les deux. Où est passée la différence ? Citer trois destinations.

Corrigé de l'activité 2

1. Ordre de grandeur attendu : **20 à 40 s** dans un bocal de 1 L. **Non**, il reste de la paraffine : c'est le **dioxygène** qui a manqué. La flamme s'éteint bien avant que tout le dioxygène soit consommé — vers 15 % au lieu de 21 % — : il s'agit d'un **appauvrissement**, pas d'un épuisement.

2. Avant : **limpide**. Après : **trouble**, blanchâtre.

3. On conclut qu'il s'est formé du **dioxyde de carbone**. On ne peut **pas** conclure qu'il s'est formé de l'eau — l'eau de chaux n'en dit rien — ni que la combustion est complète : une combustion incomplète produit aussi du CO_2 .

4. De la **buée** se dépose, parfois des gouttelettes.

5. Elle vient de l'**hydrogène** de la paraffine, qui se combine au dioxygène de l'air. La vapeur d'eau formée se **condense** au contact de la surface froide.

6. **Aucune buée**. Le carbone ne contient pas d'hydrogène : sa combustion ne produit pas d'eau. Le résultat négatif n'est pas un échec — il renseigne sur la composition du combustible.

7. Valeurs typiques : $m_1 = 12,00 \text{ g}$, $m_2 = 11,85 \text{ g}$, donc $\Delta m = 0,15 \text{ g}$; T de $17,0^\circ\text{C}$ à $20,0^\circ\text{C}$, donc $\Delta T = 3,0^\circ\text{C}$.

8. $Q = 0,100 \times 4185 \times 3,0 \approx 1256 \text{ J}$, soit environ $1,3 \text{ kJ}$.

9. $\Delta m = 0,15 \text{ g} = 0,00015 \text{ kg}$, donc $E = 0,00015 \times 41\,000 \approx 6,2 \text{ kJ}$.

10. L'eau n'a reçu qu'environ **un cinquième** de l'énergie libérée. Le reste part dans l'air ambiant, dans le verre du bécher lui-même, dans les gaz chauds qui s'élèvent, et sous forme de rayonnement. C'est l'ordre de grandeur attendu d'une flamme à l'air libre ; une chaudière fermée fait bien mieux.

Conduite : c'est la **capacité expérimentale du programme** — réaliser une combustion et identifier les produits. La **partie C** est celle qui manque le plus souvent : sans elle, on affirme que l'eau se forme sans

l'avoir montrée. Faire écrire la prévision de la question 6 *avant* de manipuler.

Sécurité : ne jamais mettre la coupelle *dans* la flamme — elle noircirait de suie, et la buée deviendrait indiscernable. La tenir au-dessus, quelques secondes.

Rôle : exploitation d'un document professionnel ; domaine transversal Sécurité **Capacités** : C1, C2, Sécurité **Durée indicative** : 40 min

Activité 3 — Le rapport du technicien sur un poêle mal réglé

Document 1 — le rapport de l'analyseur de combustion

Un technicien passe régler le poêle à bûches de l'atelier. Il place la sonde de son analyseur dans le conduit et relève :

Grandeur mesurée	Relevé	Attendu pour un poêle à bois
Dioxygène dans les fumées	12 %	8 % à 10 %
Monoxyde de carbone	1 200 ppm	moins de 100 ppm
Température des fumées	180 °C	200 °C à 280 °C
Aspect de la vitre	suie importante	propre

Une teneur en ppm — partie par million — indique combien de volumes de gaz on trouve dans un million de volumes de fumées. Elle n'est pas au programme : elle sert ici seulement à comparer un relevé à un seuil.

1. Relever les trois mesures qui s'écartent de l'attendu.
2. Ces trois écarts désignent-ils une combustion complète ou incomplète ? Justifier avec **deux** d'entre eux.
3. Écrire l'équation de la combustion incomplète du carbone qui produit du monoxyde de carbone, puis celle de sa combustion complète. Laquelle consomme le plus de dioxygène ?
4. Le relevé de 1 200 ppm est pris **dans le conduit**. Un apprenti en conclut que l'atelier est à 1 200 ppm de monoxyde de carbone. Que répondre ?
5. Dans quel cas l'air de l'atelier se chargerait-il réellement en monoxyde de carbone ?
6. Le patron demande s'il doit installer un détecteur de monoxyde de carbone. Rédiger une réponse de trois phrases, en distinguant ce qui est obligatoire de ce qui est recommandé.

Corrigé de l'activité 3

1. Le dioxygène est **trop élevé** (12 % au lieu de 8 à 10) ; le monoxyde de carbone est **douze fois** au-dessus du seuil ; la température des fumées est **trop basse**. La suie sur la vitre s'ajoute aux trois.
2. Une combustion **incomplète**. Deux indices au choix : le taux de **monoxyde de carbone**, qui ne se forme qu'en manque d'air au cœur du foyer ; et la **suie**, du carbone qui n'a pas fini de brûler. La température basse dit la même chose autrement : la combustion est molle.
3. Incomplète : $2\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CO}$. Complète : $\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$.
La **complète** consomme deux fois plus de dioxygène : un O_2 par atome de carbone, contre un pour deux.
4. **Non**. La mesure est prise dans les **fumées**, à l'intérieur du conduit. Tant que le tirage fonctionne, ces fumées partent au-dehors : l'air de l'atelier n'est pas à cette teneur.
5. En cas de **refoulement** : conduit encrassé ou bouché, tirage insuffisant, fuite du conduit, ou dépression dans le local. Les fumées reviennent alors dans l'atelier.
6. Trois idées attendues : le détecteur de **fumée** est obligatoire dans les logements, le détecteur de **monoxyde de carbone** ne l'est pas ; il est cependant fortement recommandé dès qu'un appareil à combustion fonctionne dans un local occupé ; et il ne remplace pas l'entretien du poêle et le ramonage du conduit, qui traitent la cause.

Conduite : l'activité relève du domaine transversal **Sécurité**. Le cœur en est la question 4 : un chiffre ne vaut que par l'endroit où il a été mesuré. C'est le même raisonnement qu'au TP, où l'on distingue ce qu'une mesure prouve de ce qu'elle suggère.

Réserve : les seuils du document sont ceux d'un réglage d'appareil, non des valeurs d'exposition des personnes. Le classement d'un risque professionnel relève d'une évaluation complète, avec probabilité et gravité.

Rôle : décision technico-économique ; ouverture vie professionnelle **Capacités :** C3 **Durée indicative :** 45 min

Activité 4 — Choisir un combustible pour l'atelier

Document 1 — le besoin et les trois offres

Un atelier a besoin de 18 000 kWh de chaleur **utile** par an. Trois solutions au bois sont étudiées. Le **rendement** est la part de l'énergie du combustible qui arrive réellement dans l'atelier.

	Granulés	Bûches	Plaquettes
Énergie du combustible	4,8 kWh par kg	1 800 kWh par stère	900 kWh par m ³
Rendement de l'appareil	90 %	75 %	85 %
Prix	5,50 € le sac de 15 kg	80 € le stère	35 € le m ³
Prix de l'appareil	4 500 €	2 500 €	8 000 €

1. Pour chaque solution, calculer l'énergie que doit contenir le combustible acheté (énergie du combustible = besoin ÷ rendement).
2. En déduire la quantité à acheter chaque année : en kilogrammes et en sacs pour les granulés, en stères pour les bûches, en mètres cubes pour les plaquettes.
3. Calculer le coût annuel du combustible pour chaque solution.
4. Calculer le coût total sur dix ans, appareil compris. Quelle solution est la moins chère ?
5. Recharger un poêle à bûches prend environ 20 min par jour, 180 jours par an. En comptant le temps de l'artisan à 50 € de l'heure, calculer ce que cela représente sur dix ans, et reprendre la conclusion du 4.
6. La réponse au 5 change celle du 4. Est-ce parce qu'un calcul était faux, ou pour une autre raison ? Expliquer.

Corrigé de l'activité 4

1. Granulés : $18\,000 \div 0,90 = 20\,000$ kWh. Bûches : $18\,000 \div 0,75 = 24\,000$ kWh. Plaquettes : $18\,000 \div 0,85 \approx 21\,176$ kWh.

Le rendement se paie : les bûches demandent 20 % d'énergie de plus que les granulés pour la même chaleur.

2. Granulés : $20\,000 \div 4,8 \approx 4\,167$ kg, soit $4\,167 \div 15 \approx 278$ sacs. Bûches : $24\,000 \div 1\,800 \approx 13,3$ stères. Plaquettes : $21\,176 \div 900 \approx 23,5$ m³.

3. Granulés : $278 \times 5,50 \approx 1\,529$ €. Bûches : $13,3 \times 80 \approx 1\,064$ €. Plaquettes : $23,5 \times 35 \approx 823$ €.

4. Granulés : $4\,500 + 10 \times 1\,529 = 19\,790$ €. Bûches : $2\,500 + 10 \times 1\,064 = 13\,140$ €. Plaquettes : $8\,000 + 10 \times 823 = 16\,230$ €.

Les **bûches** sont les moins chères.

5. $20 \times 180 = 3\,600$ min par an, soit 60 h. À 50 € de l'heure : 3 000 € par an, donc 30 000 € sur dix ans. Le total des bûches passe à $13\,140 + 30\,000 = 43\,140$ € : elles deviennent de loin la solution la **plus** chère.

6. Aucun calcul n'était faux. Ce qui a changé, c'est le **périmètre** : la première comparaison ne comptait que l'argent dépensé, la seconde compte aussi le temps passé. Deux calculs justes peuvent conduire à deux décisions opposées si l'on ne compare pas les mêmes choses.

Conduite : la question 6 est le but de l'activité. Les élèves concluent volontiers « c'est les bûches » après le 4, et découvrent au 5 que la réponse s'inverse. Faire nommer explicitement ce qu'on a ajouté au périmètre.

Réserve : le temps de rechargement dépend de l'installation et de l'organisation. La valorisation à 50 € de l'heure est un ordre de grandeur de coût horaire d'artisan, pas un tarif.

Rôle : synthèse et esprit critique ; ouverture développement durable **Capacités :** C2, C4 **Durée indicative :** 50 min

Activité 5 — Le bilan de dioxyde de carbone du chauffage au bois

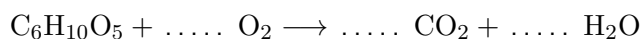
Document 1 — le chauffage au bois de l'atelier

Le bois sec est fait en grande partie de **cellulose**, de formule $C_6H_{10}O_5$, de masse molaire 162 g/mol. On assimile ici le bois à de la cellulose pure.

L'atelier brûle 2 500 kg de chutes de bois par saison de chauffe. Le pouvoir calorifique du bois sec est 15 000 kJ/kg et le rendement du poêle vaut 75 %.

On donne $M(CO_2) = 44$ g/mol et 1 kWh = 3 600 kJ.

1. Ajuster l'équation de combustion complète de la cellulose.



2. Calculer la quantité de matière de cellulose dans 1 kg de bois, puis la masse de dioxyde de carbone que ce kilogramme dégage.

3. En déduire la masse de dioxyde de carbone dégagée sur une saison, en tonnes.

4. Calculer l'énergie **utile** fournie à l'atelier sur la saison, en kWh (énergie utile = masse × pouvoir calorifique × rendement).

5. Calculer le nombre de grammes de dioxyde de carbone rejetés par kilowattheure de chaleur utile.

6. Le gaz naturel rejette environ 210 g de CO_2 par kWh de chaleur. Au vu du 5, le chauffage au bois de cet atelier rejette-t-il moins de dioxyde de carbone que le gaz, à la cheminée ?

7. La filière bois est pourtant présentée comme « neutre en carbone ». Sur quel argument repose cette idée ? Citer ensuite **deux** conditions sans lesquelles elle ne tient pas.

Corrigé de l'activité 5

1. $6 C \rightarrow 6 CO_2$; $10 H \rightarrow 5 H_2O$. Oxygène des produits : $12 + 5 = 17$; la cellulose en apporte déjà 5, il en manque 12, soit 6 O_2 .



2. $n = \frac{1000}{162} \approx 6,17$ mol. L'équation donne 6 moles de CO_2 par mole de cellulose : $6,17 \times 6 \approx 37$ mol, donc $m(CO_2) = 37 \times 44 \approx 1\,630$ g $\approx 1,63$ kg par kilogramme de bois.

3. $2\,500 \times 1,63 \approx 4\,075$ kg, soit environ 4,1 t.

4. $E = 2\,500 \times 15\,000 \times 0,75 = 28\,125\,000$ kJ, soit $28\,125\,000 \div 3\,600 \approx 7\,812$ kWh.

5. $4\,075\,000 \div 7\,812 \approx 522$ g de CO_2 par kWh utile.

6. **Non**, au contraire : environ 522 g contre 210 g, soit plus du double. **À la cheminée**, ce chauffage au bois rejette davantage que le gaz pour la même chaleur.

7. L'argument : le carbone rejeté par la combustion est celui que l'arbre a **prélevé dans l'air** en poussant ; si un arbre repousse, il le reprend. Deux conditions parmi : que la forêt soit effectivement **replantée et laissée pousser** ; que le **délai** de repousse soit compté (il se mesure en décennies, alors que le rejet est immédiat) ; que le **stock de carbone** de la forêt ne diminue pas ; que la récolte, le séchage et le **transport** soient comptés.

Conduite : l'activité est construite pour que le résultat du 6 **surprenne**. Beaucoup d'élèves — et d'adultes — tiennent le bois pour peu émetteur ; le calcul dit le contraire à la cheminée. Le 7 ne vient pas annuler le 6 : il change d'échelle de temps.

Réserve importante : ni le 6 ni le 7 ne suffisent à classer les deux filières. Le faire demande une **analyse de cycle de vie** : fabrication des appareils, récolte, séchage, transport, durée de la repousse. L'activité montre que la question est ouverte, pas qu'elle est tranchée.