

Combustions et énergies de liaison

Écrire l'équation d'une combustion complète, estimer l'énergie libérée à partir des énergies de liaison, et **comparer les combustibles par leur pouvoir calorifique**.



1 Quatre parties, une vraie progression

Le cours essentiel, des méthodes pas à pas, un QCM de tête et des exercices corrigés. On part de l'équation d'une combustion, on arrive à l'énergie qu'elle libère et au pouvoir calorifique d'un combustible.

2 « Les erreurs qui coûtent des points »

Dans chaque partie, les erreurs classiques du chapitre, en X / ✓, avec le réflexe qui les évite. Et le barème d'une question type, décrypté sur un exemple.

3 Rien que le programme officiel

Les capacités exigibles de la rubrique, et pas une de plus. **Tu sais pourquoi tu travailles chaque exercice.**

4 L'essentiel pour réviser

Le formulaire des cartes sur une page, la table des énergies de liaison du pack, et les plans de réponse de chaque type de question.

4

parties
progressives

16

exercices corrigés
pas à pas

14

cartes
repères

8

méthodes
pas à pas

Conforme au programme de **physique-chimie de première générale, enseignement de spécialité** - annexe de l'arrêté du 17 janvier 2019, B.O. spécial n° 1 du 22 janvier 2019. Thème « Constitution et transformations de la matière », partie « 3. Propriétés physico-chimiques, synthèses et combustions d'espèces chimiques organiques », sous-partie « **C) Conversion de l'énergie stockée dans la matière organique** ».

Un test de positionnement en page 3 t'indique par où commencer.

« Brûler, c'est casser des liaisons
pour en reformer de plus solides. »

Génies des Sciences

Méthodes & entraînement · Lycée
www.geniesdessciences.com



07 Former une liaison :

- a libère de l'énergie b nécessite de l'énergie
c ne met en jeu aucune énergie d je ne sais pas

08 Au cours d'une combustion, les liaisons des réactifs :

- a se forment b se rompent c ne changent pas
d je ne sais pas

09 L'énergie molaire de réaction s'estime, en phase gazeuse, par :

- a $\Sigma(\text{formées}) - \Sigma(\text{rompues})$ b $\Sigma(\text{rompues}) - \Sigma(\text{formées})$
c $\Sigma(\text{rompues}) + \Sigma(\text{formées})$ d je ne sais pas

10 Cette estimation par les énergies de liaison est valable :

- a en phase gazeuse b pour un solide
c en toute circonstance d je ne sais pas

11 Une réaction exothermique a une énergie molaire de réaction :

- a positive b négative c nulle d je ne sais pas

12 Si les liaisons rompues valent $2656 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ et les formées $3460 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, l'énergie molaire de réaction vaut :

- a $+804 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ b $-804 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ c $6116 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
d je ne sais pas

13 Le pouvoir calorifique massique s'exprime en :

- a $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ b $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ c kilojoule (kJ) d je ne sais pas

14 Une énergie massique de $1 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ est égale à :

- a $1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ b $1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ c $1000 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
d je ne sais pas

15 Le pouvoir calorifique massique se calcule à partir de l'énergie molaire par :

- a $|E_r| \times M$ b $|E_r|/M$ c $M/|E_r|$ d je ne sais pas

16 Dans l'expérience, l'énergie reçue par l'eau se calcule par :

- a $Q = m \times c \times \Delta\theta$ b $Q = m/(c \times \Delta\theta)$ c $Q = c \times \Delta\theta/m$
d je ne sais pas

QUESTIONS PARTIE SI TU RATES L'UNE D'ELLES...

1 à 4	1	les combustibles usuels et l'écriture d'une équation de combustion
5 à 8	2	les liaisons qui se rompent et se forment, et l'énergie de liaison
9 à 12	3	le bilan des énergies de liaison et le signe de l'énergie de réaction
13 à 16	4	le pouvoir calorifique et l'expérience qui l'estime

★ Comment lire ton résultat

Les réponses sont en tête des corrigés, page 27 : ne les consulte qu'une fois tes seize réponses écrites. Une réponse « je ne sais pas » ou fausse compte pour une question non sue.

14 à 16 bonnes réponses : enchaîne les quatre parties dans l'ordre, en te concentrant sur les exercices ★★. **9 à 13 :** commence par les parties où une question est restée sans bonne réponse, puis reprends les autres.

8 ou moins : fais les quatre parties dans l'ordre, sans en sauter une seule : le pack est construit pour ce parcours complet.

Le conseil du prof

Ce test n'est pas une note, c'est une boussole. Son seul but est de te dire où passer ton temps en premier : inutile de reprendre une partie que tu maîtrises déjà, mieux vaut la garder pour la fin.

C'est pour cela que l'honnêteté compte plus que le score : une réponse devinée au hasard qui tombe juste t'enverrait sauter une partie que tu ne sais pas vraiment faire. Si tu hésites, coche « je ne sais pas » : **le test travaille pour toi, pas contre toi.**



Note bien tes seize réponses sur une feuille avant d'ouvrir les corrigés : en les comparant d'un coup, tu verras tout de suite les parties à reprendre, au lieu de corriger question par question. Et garde cette feuille : après avoir travaillé le pack, refaire le test est une façon simple de mesurer ce que tu as gagné. Si une question te prend plus qu'un instant de réflexion, c'est déjà le signe que la partie correspondante mérite d'être retravaillée.



Le conseil du prof

Ajuste toujours dans le même ordre : le **carbone** d'abord (il fixe le nombre de CO_2), puis l'**hydrogène** (il fixe le nombre de H_2O), et l'**oxygène en dernier** (il n'est plus que dans le dioxygène, qu'on peut mettre en demi-coefficient avant de tout doubler).

4 Les méthodes, pas à pas

MÉTHODE

1 Écrire et ajuster la combustion d'un alcane

1 J'écris les réactifs et les produits.

L'alcane et le dioxygène O_2 à gauche ; le dioxyde de carbone CO_2 et l'eau H_2O à droite.

2 J'ajuste le carbone.

Le coefficient de CO_2 est le nombre d'atomes de carbone de l'alcane.

3 J'ajuste l'hydrogène.

Le coefficient de H_2O est la moitié du nombre d'atomes d'hydrogène de l'alcane.

4 J'ajuste l'oxygène en dernier,

avec le seul coefficient encore libre, celui du dioxygène. Si ce coefficient est une demi-valeur, je multiplie toute l'équation par 2.

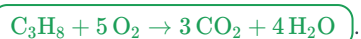
L'EXEMPLE RÉDIGÉ

Écrire l'équation de combustion complète du propane C_3H_8 .

Carbone : 3 atomes, donc 3 CO_2 . Hydrogène : 8 atomes, donc 4 H_2O .

Oxygène à droite : $3 \times 2 + 4 \times 1 = 10$ atomes, soit 5 molécules de O_2 .

L'équation ajustée est



2 Écrire et ajuster la combustion d'un alcool

1 J'écris les réactifs et les produits.

L'alcool et le dioxygène à gauche ; CO_2 et H_2O à droite, comme pour un alcane.

2 J'ajuste le carbone, puis l'hydrogène.

Même geste que pour un alcane.

3 Je compte l'oxygène déjà apporté par l'alcool.

L'alcool contient un atome d'oxygène : il faut le retrancher du compte à fournir par le dioxygène.

4 J'ajuste le dioxygène,

puis je multiplie toute l'équation par 2 si son coefficient est une demi-valeur.

L'EXEMPLE RÉDIGÉ

Écrire l'équation de combustion complète du méthanol CH_3O .

Carbone : 1 atome, donc 1 CO_2 . Hydrogène : 4 atomes, donc 2 H_2O .

Oxygène à droite : $1 \times 2 + 2 \times 1 = 4$ atomes. L'alcool en apporte 1, il en reste 3 à fournir, soit $\frac{3}{2}$ molécule de O_2 .

On double tout : $2 \text{CH}_3\text{O} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$

5 Les erreurs qui coûtent des points

LES PIÈGES CLASSIQUES

1 Confondre le combustible et le comburant

X « le dioxygène brûle dans le méthane » · ✓ c'est le **méthane** (le combustible) qui brûle dans le **dioxygène** (le comburant). Le comburant est toujours le dioxygène de l'air ; le combustible est l'espèce organique.

Le réflexe : le comburant, c'est l'air ; le combustible, c'est ce qu'on allume.



2 Oublier un produit, ou en inventer un

X « $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ » · ✓ une combustion **complète** donne du dioxyde de carbone et de l'eau, pas de carbone ni de monoxyde de carbone. Le carbone du méthane part en CO_2 : $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$.

Le réflexe : complète = $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, les deux, et seulement eux.

3 Changer un indice pour ajuster

X « $\text{CH}_4 + \text{O}_4 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ » · ✓ on ajuste avec les **coefficients** devant les formules, jamais en touchant aux **indices** des formules. Écrire O_4 change l'espèce. La bonne écriture met un 2 devant O_2 : $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$.

Le réflexe : les indices décrivent les molécules, les coefficients comptent les molécules : on ne touche qu'aux coefficients.

6 Le QCM express

DE TÊTE, SANS CALCULATRICE

1. Quel est le comburant d'une combustion ?
2. Citer deux combustibles organiques usuels.
3. Quels sont les deux produits d'une combustion complète ?
4. Quelle est la formule générale d'un alcane ?
5. Dans quel ordre ajuste-t-on les atomes ?
6. Ajuster : $\text{C}_3\text{H}_8 + \dots \text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$.
7. Que produit une combustion incomplète, en plus ?
8. Touche-t-on aux indices ou aux coefficients pour ajuster ?

Cache cette ligne pendant que tu réponds. **Réponses** : 1. le dioxygène O_2 - 2. par exemple le méthane et l'éthanol - 3. le dioxyde de carbone CO_2 et l'eau H_2O - 4. $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ - 5. carbone, puis hydrogène, puis oxygène - 6. le coefficient 5 (5O_2) - 7. du monoxyde de carbone CO et du carbone (suie) - 8. aux coefficients seulement

7 Exercices

DU PLUS SIMPLE AU PLUS COSTAUD

Exercice 1 Combustible, comburant, produits

★★★ ☐

Contexte. On fait brûler du butane C_4H_{10} dans l'air, avec assez de dioxygène pour que la combustion soit complète.

1. Nommer le combustible et le comburant de cette combustion.
2. Citer deux autres combustibles organiques usuels, et dire s'il s'agit d'un alcane ou d'un alcool.
3. Donner les deux produits d'une combustion complète.
4. Le dioxygène est apporté par l'air. L'air est-il un corps pur ou un mélange ?
5. Une combustion est une transformation exothermique. Qu'est-ce que cela signifie ?

Exercice 2 Trois alcanes à faire brûler

★★★ ☐

Données. On ajuste dans l'ordre carbone, hydrogène, oxygène. Les combustions sont complètes.

1. Écrire l'équation de combustion complète du méthane CH_4 .
2. Écrire l'équation de combustion complète du propane C_3H_8 .
3. Pour le butane C_4H_{10} , le coefficient du dioxygène trouvé est $\frac{13}{2}$. Écrire l'équation ajustée avec des coefficients entiers.
4. Dans l'équation du butane, vérifier qu'il y a bien le même nombre d'atomes d'oxygène de chaque côté.
5. Le propane et le butane sont vendus en bouteilles. À quelle famille appartiennent-ils, et pourquoi leurs équations se ressemblent-elles ?

✓ Les corrigés détaillés

La rédaction modèle est à gauche, les remarques du correcteur à droite. Compare **ta rédaction**, pas seulement tes résultats : le correcteur note le raisonnement qu'il peut suivre, pas seulement la valeur finale.

✓ Les réponses du test de positionnement (page 3)

1. b - 2. b - 3. b - 4. b - 5. b - 6. b - 7. a - 8. b - 9. b - 10. a - 11. b - 12. b - 13. b - 14. a - 15. b - 16. a



Comment lire un corrigé

Chaque réponse est écrite comme sur une copie : l'équation ou la formule littérale d'abord, puis l'application numérique avec les unités, puis la conclusion. Quand ta réponse diffère de la mienne, cherche **où** les deux chemins se séparent : c'est ce point précis qu'il faut retravailler, pas l'exercice entier. Avant de comparer, relis ta copie avec la liste de vérifications de la page 36.

Les énergies de liaison et les énergies molaires de réaction sont des entiers, en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Les pouvoirs calorifiques, qui viennent d'une division, sont donnés à trois chiffres significatifs. Les équations sont ajustées avec des coefficients entiers.

Exercice 1 Combustible, comburant, produits

- Le combustible est **le butane C_4H_{10}** (l'espèce qui brûle) ; le comburant est **le dioxygène O_2** de l'air (**F1**).
- Par exemple **le méthane CH_4 , un alcane**, et **l'éthanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$, un alcool**.
- Une combustion complète produit **du dioxyde de carbone CO_2 et de l'eau H_2O** (**F2**).
- L'air est **un mélange**, surtout de diazote et de dioxygène (avec d'autres gaz en faible proportion).
- Exothermique veut dire que la transformation **libère de l'énergie vers l'extérieur**, ici sous forme de chaleur et de lumière.

Combustible et comburant

Le comburant est toujours le dioxygène de l'air ; le combustible est l'espèce organique qui brûle. Ne pas inverser les deux.

Les questions de cours comptent

Reconnaître un mélange, définir « exothermique » : ces questions valent des points et se traitent en une phrase complète.

Exercice 2 Trois alcanes à faire brûler

- Carbone, puis hydrogène, puis oxygène (**F3**) : **$\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$** .
- $\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$** (3 CO_2 pour 3 C, 4 H_2O pour 8 H, puis 5 O_2).
- Le coefficient $\frac{13}{2}$ se double : **$2 \text{C}_4\text{H}_{10} + 13 \text{O}_2 \rightarrow 8 \text{CO}_2 + 10 \text{H}_2\text{O}$** .
- À gauche : $13 \times 2 = 26$ atomes d'oxygène. À droite : $8 \times 2 + 10 \times 1 = 26$.
Les deux comptes valent 26 : l'équation est ajustée.
- Propane et butane sont des **alcanes** : même formule générale $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, mêmes produits CO_2 et H_2O , donc des équations de même forme.

L'oxygène en dernier

On fixe d'abord CO_2 (sur le carbone) et H_2O (sur l'hydrogène) : le coefficient du dioxygène n'a plus qu'à combler le compte d'oxygène.

Doubler, plutôt qu'une demi-molécule

Un coefficient $\frac{13}{2}$ n'est pas faux, mais on préfère des coefficients entiers : on multiplie toute l'équation par 2.

