

Approfondissement

Combustions et énergie chimique

Formules générales, monoxyde de carbone, série des alcools, chaudière à condensation, hydrogène « gris »

5 exercices · niveau ●●● · durée conseillée : 2 h 30 · calculatrice autorisée

Exercice 1 Tous les alcanes à la fois



On considère un alcane à chaîne carbonée non cyclique comportant n atomes de carbone ($n \geq 1$).

■ **DONNÉES** Énergies de liaison en $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$: C-H : 413 ; C-C : 348 ; O-H : 463 ; O=O : 498 ; C=O (dans CO_2) : 804 • masses molaires en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: H : 1,0 ; C : 12,0 ; O : 16,0

- 1.1 Justifier que sa formule brute est $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ et qu'il comporte $2n + 2$ liaisons C-H et $n - 1$ liaisons C-C.
- 1.2 Écrire la demi-équation du couple $\text{CO}_2/\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ en milieu acide, puis l'équation de la combustion complète de l'alcane (coefficients fonctions de n). Vérifier le cas du méthane.
- 1.3 Montrer que l'énergie molaire de combustion vaut $E_r(n) = -(613n + 199)$ en $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ (espèces gazeuses). Interpréter le nombre 613 en considérant l'ajout d'un groupe CH_2 à la chaîne.
- 1.4 Exprimer le pouvoir calorifique $\text{PC}(n)$ en $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Montrer qu'il diminue lorsque n augmente et qu'il tend vers une limite que l'on calculera. Comparer avec la figure 1.
- 1.5 Exprimer la masse de CO_2 émise par mégajoule libéré en fonction de n et étudier son évolution. Pourquoi le gaz naturel est-il le moins émetteur des combustibles fossiles ?

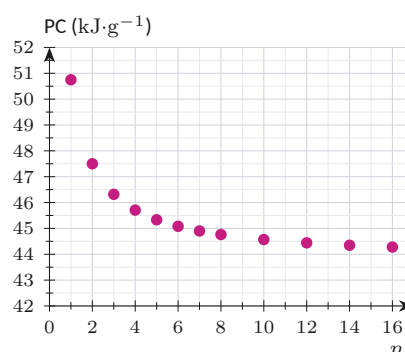


Figure 1 — PC estimé des alcanes $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$

Exercice 2 Le monoxyde de carbone : une énergie gâchée



■ **DONNÉES** Énergies de liaison en $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$: C-H : 413 ; O-H : 463 ; O=O : 498 ; C=O (dans CO_2) : 804 ; C≡O (dans CO) : 1072

- 2.1 Le schéma de Lewis du monoxyde de carbone est donné figure 2. Vérifier que chaque atome respecte la règle de l'octet et justifier les charges formelles indiquées sur chaque atome.
- 2.2 Écrire l'équation de la combustion incomplète du méthane en monoxyde de carbone et en eau, puis calculer son énergie molaire de réaction, rapportée à une mole de méthane.
- 2.3 Quelle fraction de l'énergie de la combustion complète du méthane ($E_r = -812 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$) est ainsi perdue ?
- 2.4 Calculer l'énergie molaire de la combustion du monoxyde de carbone en dioxyde de carbone (par mole de CO). Quelle relation existe-t-il entre les trois énergies calculées ? L'interpréter.



Figure 2 — Schéma de Lewis de CO

Exercice 3 La série des alcools au banc d'essai



Des élèves comparent, avec le montage « canette + lampe », quatre alcools à chaîne linéaire $C_nH_{2n+1}OH$ ($n = 1$ à 4, groupe OH en bout de chaîne). Pour chacun, ils déduisent de l'échauffement de l'eau et de la masse d'alcool brûlée l'énergie reçue par l'eau par mole d'alcool brûlé, E_{exp} (figure 3).

■ **DONNÉES** Énergies de liaison en $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$: C-H : 413 ; C-C : 348 ; C-O : 358 ; O-H : 463 ; O=O : 498 ; C=O (dans CO_2) : 804

- 3.1 Nommer les quatre alcools. Montrer que l'énergie molaire de combustion estimée par les énergies de liaison vaut $E_r(n) = -(613n + 40)$ en $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- 3.2 Tracer sur la figure 3 la droite qui modélise au mieux les points expérimentaux ; déterminer son coefficient directeur a .
- 3.3 Comparer a au nombre 613 de l'expression de $E_r(n)$. En déduire le rendement moyen du dispositif et vérifier qu'il est à peu près le même pour les quatre alcools.
- 3.4 L'expérience permet-elle de mesurer un pouvoir calorifique ? Que permet-elle d'établir malgré les pertes ?

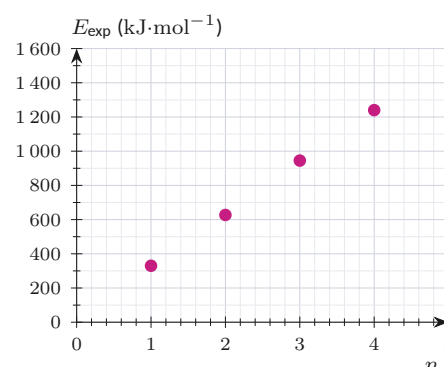


Figure 3 — Énergie reçue par l'eau par mole d'alcool

Exercice 4 Pourquoi une chaudière « à condensation » ?



(Hors programme — pour aller plus loin.) Les énergies de liaison supposent que l'eau formée reste à l'état gazeux ; c'est le cas dans une chaudière classique, où les fumées sortent chaudes. Dans une chaudière à condensation, les fumées sont refroidies au contact de l'eau de retour du chauffage et la vapeur d'eau qu'elles contiennent se liquéfie. La liquéfaction de l'eau libère 44 kJ par mole d'eau. On raisonne sur le méthane ($E_r = -812 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, eau gazeuse).

■ **DONNÉES** Masses molaires en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: H : 1,0 ; C : 12,0

- 4.1 Calculer l'énergie libérée par la combustion d'une mole de méthane lorsque toute l'eau formée est liquéfiée. En déduire le pouvoir calorifique « supérieur » (PCS, eau liquide) et « inférieur » (PCI, eau gazeuse) du méthane.
- 4.2 Les fabricants calculent le rendement d'une chaudière par rapport au PCI. Expliquer pourquoi une chaudière à condensation peut afficher un « rendement » supérieur à 100 %. Quelle est la valeur maximale théorique ? Ce rendement viole-t-il la conservation de l'énergie ?
- 4.3 Le gain relatif serait-il plus grand ou plus petit avec du propane ? Justifier par un calcul.

Exercice 5 L'hydrogène « gris » est-il un carburant propre ?



Aujourd'hui, la plus grande partie du dihydrogène est produite par vaporeformage du méthane, selon la réaction globale $\text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO}_2 + 4 \text{H}_2$ (espèces gazeuses). On l'oppose à l'hydrogène « vert », produit par électrolyse de l'eau avec une électricité renouvelable.

■ **DONNÉES** Énergies de liaison en $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$: H-H : 436 ; C-H : 413 ; O-H : 463 ; O=O : 498 ; C=O (dans CO_2) : 804 • masses molaires en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: H : 1,0 ; C : 12,0 ; O : 16,0

- 5.1 Calculer l'énergie molaire de la réaction de vaporeformage par les énergies de liaison. Est-elle exothermique ou endothermique ?
- 5.2 Calculer la masse de CO_2 rejetée par la réaction pour produire 1,0 kg de dihydrogène.
- 5.3 L'énergie nécessaire au vaporeformage est fournie par la combustion d'une quantité supplémentaire de méthane. Quelle quantité de méthane faut-il brûler en plus par mole de méthane réformé ? Montrer alors que la masse totale de CO_2 émise par mégajoule libéré par la combustion du dihydrogène obtenu est la même que si l'on avait brûlé directement le méthane. Expliquer ce résultat.
- 5.4 Conclure : à quelles conditions le dihydrogène est-il un carburant intéressant pour le climat ?