

Énergie chimique

Niveau : Lycée

Prérequis : équation-bilan, tableau d'avancement, liaisons chimiques, oxydoréduction, quotient réactionnel

Introduction

La production d'énergie dans le monde en 2017 était de 13972 Mtep (Mégatonnes équivalent pétrole) (soit $5,85 \cdot 10^{20}$ J), dont 81,3% reposait sur les énergies fossiles (27,1% reposait sur le charbon). L'énergie chimique constitue un réservoir d'énergie qu'il est possible de libérer lors d'une réaction chimique. Comment peut-on quantifier cette énergie et quelle est son origine ?

I Conversion de l'énergie chimique en énergie thermique

1) Réaction de combustion

La combustion est une réaction chimique entre un combustible et un comburant (souvent le dioxygène). Cette réaction libère de l'énergie, elle est exothermique. C'est également une réaction d'oxydoréduction, en l'occurrence le combustible est le réducteur, le comburant est l'oxydant. Il est nécessaire d'apporter de l'énergie pour que la réaction démarre.



On écrit l'équation-bilan avec un nombre stœchiométrique de 1 pour le combustible.

Ex : combustion du propane : $C_3H_8(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O(g) + CO_2(g)$

Autre exemple : le glucose provient de l'alimentation, le dioxygène de la respiration. Une molécule de glucose (sucre carburant de l'effort) ajoutée à des molécules d'oxygène (transportées par l'hémoglobine) se dégrade au niveau du muscle pour donner des molécules d'eau (la sueur) et de dioxyde de carbone (évacué par la respiration). Cette dégradation génère l'énergie nécessaire à la contraction musculaire : on peut alors bouger, courir...

combustion du glucose (combustion biologique) : $C_6H_{12}O_6(aq) + O_2(g) \rightarrow 6H_2O(l) + 6CO_2(g)$

Il existe deux types de combustion :

- combustion complète : les produits sont H₂O et CO₂, qui ne peuvent plus être oxydés. L'énergie libérée est maximale
- combustion incomplète : il y a formation de CO ou de C quand il n'y a pas assez de comburant, l'énergie libérée est plus faible

Ex : combustion incomplète du propane : $C_3H_{8(g)} + \frac{7}{2}O_{2(g)} \rightarrow 3CO_{(g)} + 4H_2O_{(g)}$

CO_(g) est toxique !

2) Pouvoir calorifique et énergie de combustion

pouvoir calorifique : énergie que l'on peut récupérer lors d'une combustion d'un kg de combustible.

L'énergie libérée s'écrit : $Q = -mPC = nE_{comb} < 0$ (réaction exothermique).

E_{comb} est l'énergie transférée lors de la combustion d'une mole de combustible, elle est définie comme l'énergie des liaisons rompues – l'énergie des liaisons formées.

Pour le propane, E_{comb} = 2 MJ.mol⁻¹ et M = 44 g.mol⁻¹ donc PC = 45,5 MJ.kg⁻¹.

Combustible	Pouvoir calorifique (MJ/kg)
Dihydrogène	142,9
Propane	46
Essence	47,8
Diesel	44,8
Ethanol	27
Bois	15

3) Expérience de calorimétrie

On cherche à mesurer le pouvoir calorifique de l'éthanol.

Expérience : bombe calorimétrique (voir protocole)

On peut mesurer au préalable la capacité thermique du calorimètre : on introduit une masse d'eau m₁ dans le calorimètre à une température T₁. On ajoute une masse d'eau m₂ à la température T₂>T₁.

On a donc : $(m_1 + \mu)c(T_f - T_1) + m_2c(T_f - T_2) = 0$ donc $\mu = \frac{m_2(T_2 - T_f)}{T_f - T_1} - m_1$, C = μC_{eau}

On pèse le brûleur avant et après, on en déduit la masse d'éthanol consommée m_{éth}.

$$Q = Q_{réaction} + Q_{eau}$$

On a donc : $PC = \frac{(m_{eau} + \mu)c_{eau}}{m_{éth}} \Delta T$, la valeur tabulée est PC = 28,8 MJ.kg⁻¹

II Combustion et environnement

1) Rejet de CO₂

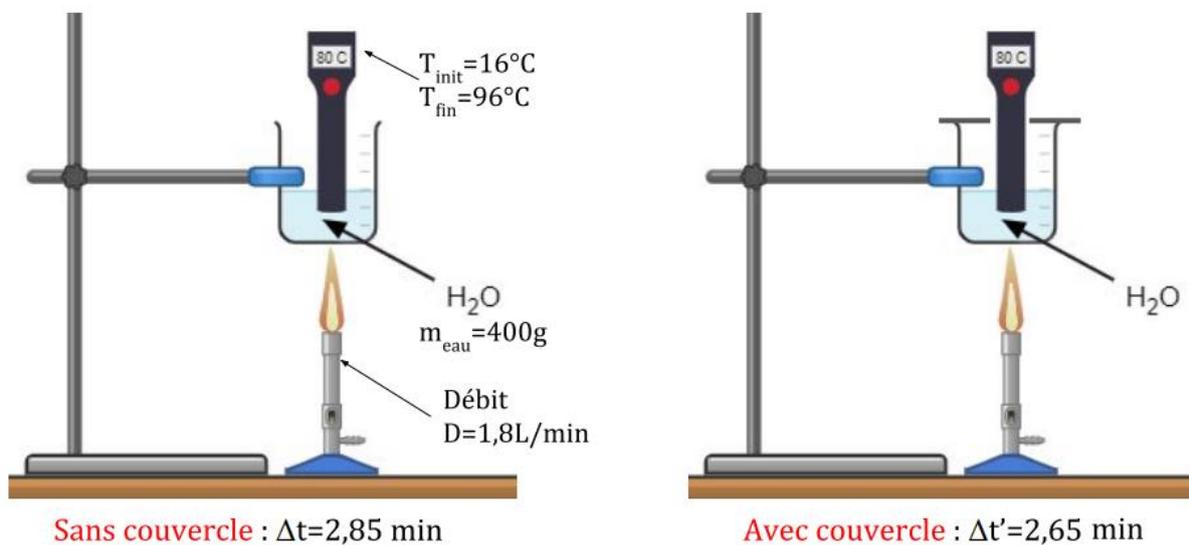
On cherche la masse de CO₂ rejetée lors de la combustion de V = 1L de propane liquide.

- ➔ tableau d'avancement
- ➔ masse de CO₂ : 1,55 kg

A titre d'indication, 32840 Mt de CO₂ ont été rejetées en 2017 avec la combustion.

2) Économie d'énergie

On place un couvercle sur une casserole d'eau que l'on fait bouillir. Le couvercle limite les pertes par convection avec l'environnement.



Sans couvercle	Avec couvercle
Δt = 2,85 min	Δt = 2,65 min
$R = \frac{m c_{\text{eau}} \Delta T}{PCD \Delta t}$ R = 68%	$R' = \frac{m c_{\text{eau}} \Delta T}{PCD \Delta t'}$ R = 74%

Données

PC = 38,1 kJ/L
 $c_{\text{eau}} = 4185 \text{ J/K/kg}$
 $m_{\text{eau}} = 400 \text{ g}$
 $D = 1,8 \text{ L/min}$

$$\%_{\text{eco}} = \frac{\Delta t - \Delta t'}{\Delta t} \quad \%_{\text{eco}} = 7\%$$

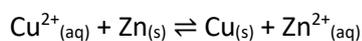
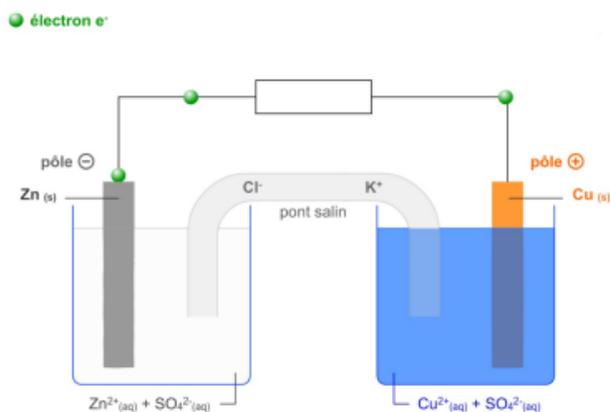
III Conversion de l'énergie chimique en énergie électrique

1) Pile électrochimique

Une pile électrochimique convertit l'énergie chimique en énergie électrique, elle fonctionne sur la base d'une réaction d'oxydoréduction. Elle est composée de deux demi-piles contenant chacune un couple oxydoréducteur et reliées par un pont-salin, qui permet de fermer le circuit.

Ici on considère une pile Daniell, pour laquelle le premier compartiment contient une solution de sulfate de zinc dans laquelle est plongée une électrode de zinc, et le deuxième compartiment contient une solution de sulfate de cuivre dans laquelle est plongée une électrode de cuivre.

Le pont-salin contient des sels comme KCl ou KNO₃. Les ions K⁺ et Cl⁻/NO₃⁻ migrent d'un compartiment à l'autre et assurent la neutralité électrique dans les deux compartiments de la cellule.



Expérience : brancher deux piles Daniell en série avec une DEL (on en met deux pour dépasser la tension de seuil de la DEL). Dès que les réactifs sont mis en contact, la DEL s'allume, donc les piles débitent, la réaction est spontanée.

2) Capacité d'une pile

Au cours du fonctionnement de la pile, le quotient de réaction évolue jusqu'à atteindre la constante d'équilibre et lorsque l'état d'équilibre est atteint, la pile qui ne fonctionne plus est dite usée.

La quantité d'électricité transférée s'écrit : $q = i\Delta t$

On peut également écrire : $q = n_{e^-} \cdot e \cdot N_A = n_{e^-} \cdot F$

On définit la capacité électrique comme la quantité maximale qu'on peut faire circuler jusqu'à atteindre l'équilibre chimique.

$Zn_{(s)}$	$Cu_{(aq)}^{2+}$	$Cu_{(s)}$	$Zn_{(aq)}^+$	$n_{\text{électrons échangés}}$
n_1	n_2	n_3	n_4	0
$n_1 - x_f$	$n_2 - x_f$	$n_3 + x_f$	$n_4 + x_f$	$2x_f$

$$Q_{max} = 2 x_{max} N_A e$$

Or $x_{max} = x_f = n_2 = CV = 0,013 \text{ mol}$

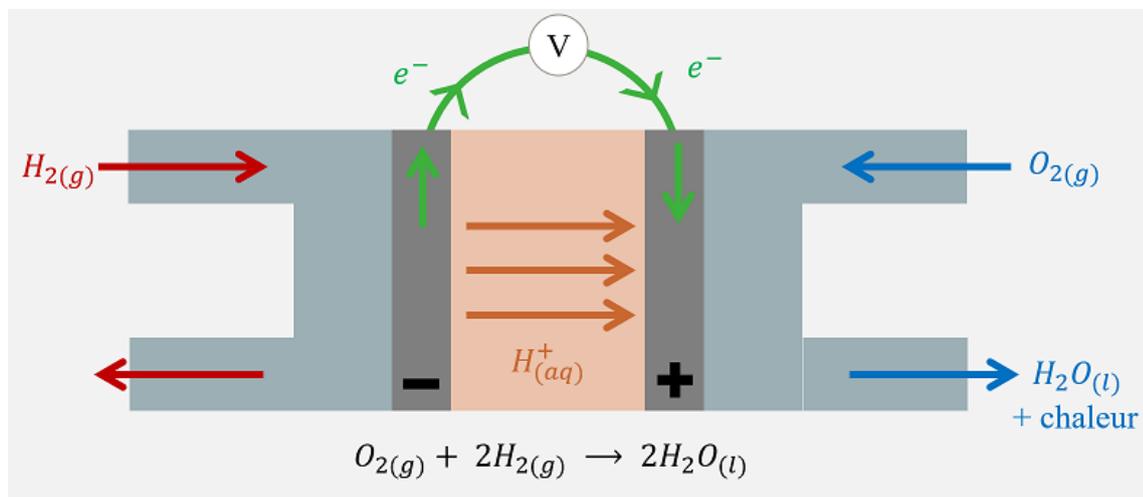
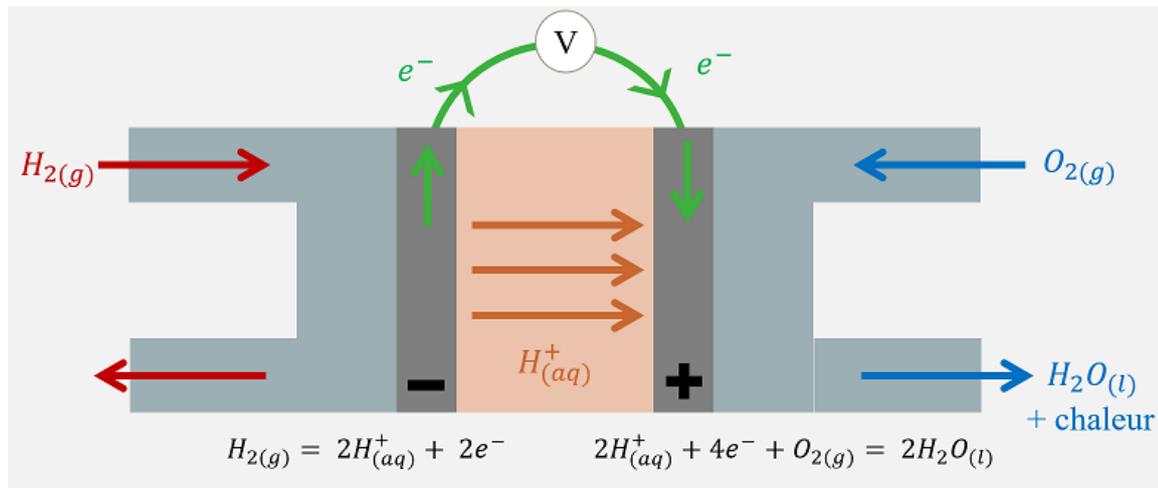
$$Q_{max} = 2496 \text{ C}$$

Energie maximale récupérée :

$$E_{max} = Q_{max} U = 5491 \text{ J}$$

Conclusion

Dans ce cours nous avons vu les réactions de combustion, leur impact sur l'environnement et une alternative : les piles électrochimiques, qui limitent la pollution et le rejet de CO₂. Mais une fois les piles usées, que faire ? Les métaux polluent et les piles sont difficiles à recycler. Une autre alternative est une combinaison des deux concepts vus dans ce cours : la pile à combustible (exemple : la pile à hydrogène). Cette pile génère une tension électrique grâce à l'oxydation d'un combustible sur une anode couplée à la réduction d'un oxydant tel que O₂ sur une cathode.



Expérience : voiture à hydrogène

On charge la voiture avec des piles ou des panneaux solaires : on voit la formation de H_2 et O_2 dans les réservoirs. On débite la pile : consomme le H_2 et le O_2 pour faire avancer la voiture

Bibliographie

-Hachette Terminale STL

-Mesplède (p145)

-Key World Energy Statistics, AIE

Questions

- Ordre de grandeur de l'énergie libérée par la respiration cellulaire ? D'où vient l'énergie nécessaire à démarrer la combustion dans le corps humain ?
- Une réaction de combustion n'étant pas spontanée, comment fait-on pour la déclencher ?
→ Par frottement mécanique (molette du briquet par exemple ou frottement d'une allumette)
- A quoi correspond en cinétique cette énergie qu'il faut apporter pour démarrer la réaction ?
→ Énergie d'activation
- Pourquoi le nb d'oxydation maximum du carbone est de 4 ?
→ Le carbone doit respecter l'octet donc peut au maximum former 4 liaisons soit 4 électrons de valence en moins pour le carbone au maximum
- Exemple de combustion incomplète avec production de graphite ?
→ Combustion du butane dans un briquet : on voit apparaître de la suie quand la flamme est proche d'une surface (en dessous de la canette dans l'expérience de calorimétrie par exemple)
- Quel est l'analogue de l'énergie de combustion ?
→ Enthalpie standard de réaction
- En quel autre type d'énergie (que thermique et électrique) peut-on convertir l'énergie chimique ?
→ En énergie lumineuse, comme dans la photosynthèse par exemple mais dans le sens inverse
- Quelle différence si l'eau est gazeuse ou liquide dans les produits de combustion ?
- Pourquoi CO est-il toxique ?
→ Il réagit (réaction de complexation) avec l'hémoglobine à la place du dioxygène
- Quelle quantité de propane est utilisée pour faire un barbecue ?
- Quel produit de combustion obtient-on si on fait la combustion d'une amine ?
→ Diazote
- Comment expliquer l'écart entre PC mesuré avec la canette et PC tabulé ?
→ Pertes thermiques avec l'air, chauffage non uniforme, réaction incomplète donc transfert non optimal d'énergie
- Pourquoi parfois les réactions de combustion font des flammes ? C'est quoi une flamme en fait ?
→ Il s'agit de particules de suie qui émettent un rayonnement du corps noir sous l'effet de l'échauffement. Parfois on peut aussi avoir des transitions électroniques à l'origine d'une certaine couleur. Parfois même il s'agit de plasmas.