



VOIE PROFESSIONNELLE

CAP

2^{DE}

1^{RE}

T^{LE}

Physique-chimie

L'ESSENTIEL SUR LA COMBUSTION DES HYDROCARBURES

Après un rappel historique, ce document aborde d'un point de vue chimique mais aussi énergétique les réactions de combustion des hydrocarbures. Les notions de combustion complète et incomplète sont présentées, ainsi que les notions d'enthalpie de combustion. La méthode de calcul de la masse de dioxyde de carbone formé par unité de masse de combustible est fournie.

Groupements

1, 2, 3, 4, 5, 6

Domaine de connaissances

Thermique

Mots-clés

Hydrocarbures; combustion complète; combustion incomplète; enthalpie de combustion; développement durable.

Références au programme

Module : comprendre les avantages et les inconvénients de la combustion du carbone et des hydrocarbures.

Introduction

Les activités humaines depuis la révolution industrielle utilisent, de façon très majoritaire, la combustion du charbon ou des hydrocarbures dans l'air pour convertir l'énergie disponible dans les ressources naturelles en énergie thermique utile pour se déplacer, se chauffer, obtenir de l'énergie électrique, etc. Aujourd'hui, environ 80 % de toute l'énergie utilisée est obtenue à partir de ces combustions, qui génèrent d'importants volumes de dioxyde de carbone, gaz à effet de serre (GES) dont la concentration dans l'air augmente et contribue significativement au réchauffement climatique.

Retrouvez éducol sur



Contenus scientifiques

Historique

C'est Antoine-Laurent de Lavoisier qui, en 1777, fut le premier à proposer une alternative à la théorie phlogistique dominante à l'époque, selon laquelle tout combustible contenait une âme appelée phlogiston lui permettant de brûler en présence d'une flamme : il démontra que l'air contenait une substance comburante qu'il appela oxygène et que Joseph Priestley avait isolée en 1774.

La découverte de la combustion par le dioxygène constitue une révolution scientifique majeure dans l'histoire des sciences. Elle a constitué un changement de paradigme, en remplaçant l'ancien paradigme phlogistique.

Les hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés organiques constitués de carbone et d'hydrogène. Ils se déclinent en deux catégories principales :

- les hydrocarbures saturés (alcane) dont la chaîne carbonée est constituée uniquement de liaisons simples et de formule $C_n H_{2n+2}$;



- les hydrocarbures insaturés, dont la chaîne carbonée présente au moins une liaison double ou triple :

- les hydrocarbures mono-insaturés :

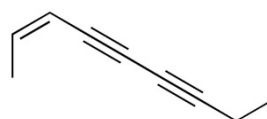
- alcènes présentant une double liaison ;



- alcynes présentant une triple liaison.



- les hydrocarbures polyinsaturés présentant plusieurs liaisons double(s) ou triple(s).



Les combustibles fossiles comme le pétrole sont essentiellement des mélanges d'hydrocarbures contenant une proportion importante d'alcane d'ordres variés. Le gaz naturel est presque exclusivement constitué de méthane CH_4 .

Les réactions de combustion

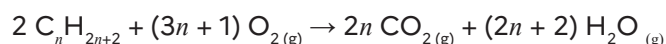
La combustion est une réaction d'oxydoréduction exothermique. Elle met en jeu deux espèces chimiques : un combustible (un réducteur solide, liquide ou gazeux) et un comburant (un oxydant, souvent le dioxygène O_2 de l'air). Pour des raisons de cinétique chimique, les combustions d'hydrocarbures courants se produisent à température plus élevée que la température ambiante : il est donc nécessaire d'apporter de l'énergie thermique pour les amorcer ; l'énergie thermique dégagée par la combustion permet ensuite de maintenir celle-ci.

Les trois éléments combustible, comburant, énergie thermique d'amorçage constituent ce que l'on appelle parfois le « triangle du feu ».

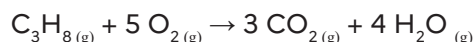
Combustion complète

Lorsque la pression partielle en dioxygène (liée à la concentration de dioxygène dans l'air) est suffisamment élevée, la réaction de combustion est dite complète et produit uniquement du dioxyde de carbone et de l'eau.

Équation générique de la réaction pour un alcane :



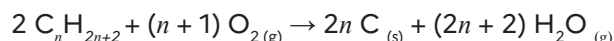
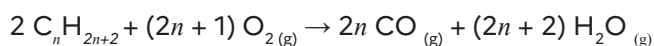
Exemple : Combustion du propane (gazeux) (avec simplification des coefficients) :



Combustion incomplète et impuretés

Dans un milieu insuffisamment aéré, la combustion peut produire du monoxyde de carbone voire de la fumée de carbone. Le monoxyde de carbone constitue la première cause de mortalité accidentelle par substance toxique en France.

Équations génériques des réactions pour un alcane :



La présence de diazote dans l'air (environ 80 %) conduit aussi à la formation de polluants gazeux comme les oxydes d'azote NO_x .

Si le combustible contient des impuretés (par exemple du soufre dans le gazole), on aura alors production d'oxydes de soufre SO_x qui peuvent contribuer à la formation des pluies acides.

Énergie thermique libérée par une réaction de combustion

Dans les conditions habituelles où la réaction de combustion s'effectue à pression constante (le plus souvent la pression atmosphérique), l'énergie thermique libérée par la réaction est l'opposée de la variation d'enthalpie du système chimique en réaction. Cette variation peut être déterminée à partir de l'enthalpie de réaction $\Delta_r H$. Cette grandeur, exprimée en $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ correspond à la variation d'enthalpie d'un système physico-chimique évoluant à température et pression constante lorsque l'avancement de réaction augmente d'une mole.

- Si $\Delta_r H < 0$, la réaction est dite exothermique (elle libère de l'énergie thermique).
- Si $\Delta_r H > 0$, la réaction est dite endothermique (elle absorbe de l'énergie thermique).
- Si $\Delta_r H = 0$, la réaction est dite athermique (aucun échange d'énergie thermique).

Dans le cas de la combustion d'un hydrocarbure, l'enthalpie de réaction $\Delta_r H$ de la réaction écrite avec un coefficient stœchiométrique 1 pour le combustible s'appelle aussi *enthalpie de combustion*, notée $\Delta_{\text{comb}} H$.

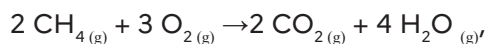
L'énergie thermique libérée par mole de combustible est égale à $-\Delta_{\text{comb}} H$.

Il est souvent intéressant de ramener l'énergie thermique dégagée à l'unité de masse du combustible. Cette grandeur s'appelle le *pouvoir calorifique* du combustible, et s'exprime en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$. Elle peut être déterminée par la relation :

$$\text{pouvoir calorifique} = \frac{-\Delta_{\text{comb}} H}{M},$$

où M est la masse molaire du combustible.

Par exemple, pour la combustion du méthane :



pour laquelle on a $\Delta_{\text{comb}} H = -810 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, et la masse molaire du méthane étant $M = 16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, on calcule un pouvoir calorifique de $\frac{810}{16 \times 10^{-3}} = 51 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs des pouvoirs calorifiques de certains combustibles, y compris celui du dihydrogène dont on pourra noter la valeur particulièrement élevée.

Combustible	$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
Bois	15
Butane	49,51
Charbon	15-27
Dihydrogène	143
Essence	47,3
Éthanol	29,7
Gazole (carburant pour Diesel)	44,8
Propane	50,35

Données Wikipédia

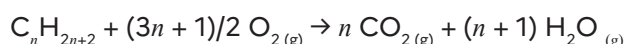
Remarque

La capacité « Calculer l'énergie libérée sous forme d'énergie thermique par la combustion d'une masse donnée d'hydrocarbure à partir de données fournies » figurant au programme peut par exemple être mise en œuvre à partir de la donnée de l'enthalpie de combustion (en $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$) et de la masse molaire du combustible ou bien, plus simplement, à partir de celle du pouvoir calorifique du combustible (en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$). Les notions d'enthalpie de combustion ou de pouvoir calorifique ne sont pas exigibles et doivent être préalablement définies.

Détermination de la masse de dioxyde de carbone libéré lors d'une combustion

Comme l'indique le programme, la masse et le volume de dioxyde de carbone libéré peuvent être déterminés à partir de la masse d'hydrocarbure consommée.

Considérons une combustion d'équation de réaction générique :



Dans l'équation ci-dessus on voit qu'une mole d'hydrocarbure consommée produit n mol de CO_2 . Or une mole d'hydrocarbure a une masse : $M_{\text{hydrocarbure}}$ et une mole de CO_2 a une masse M_{CO_2} . Par conséquent, une masse $m_{\text{hydrocarbure}}$ consommée produit une masse de CO_2 valant :

$$\frac{n \times M_{\text{CO}_2} \times m_{\text{hydrocarbure}}}{M_{\text{hydrocarbure}}}$$

Par exemple, pour le cas du méthane CH_4 , on a un seul atome de carbone dans la molécule donc $n=1$; par ailleurs $M_{\text{CH}_4} = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $M_{\text{CO}_2} = 44,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Donc, pour une masse m_{CH_4} de méthane consommé, on aura produit une masse M_{CO_2} de CO_2 valant :

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{1 \times 44,0}{16,0} \times m_{\text{CH}_4} = 2,68 \times m_{\text{CH}_4}$$

Remarque

Les masses molaires atomiques doivent être fournies aux élèves en vue du calcul des masses molaires moléculaires.

Avantages et inconvénients de l'utilisation des réactions de combustion d'hydrocarbures

Listons quelques avantages et inconvénients. Ces aspects peuvent être analysés et discutés avec les élèves dans le cadre d'études de documents.

Avantages

Exploitation maîtrisée dans divers systèmes de production d'énergie mécanique (moteurs, turbines...).

Mise à profit dans de nombreux domaines industriels ou de la vie courante (moteurs thermiques, chauffages, cuissons...).

Disponibilité et facilité de transport des matières premières combustibles.

Pouvoir calorifique élevé des hydrocarbures (gazeux et liquides).

Existence d'une infrastructure d'extraction et de distribution très développée à l'échelle mondiale.

Inconvénients

Émission de gaz à effet de serre (essentiellement du CO_2) : c'est l'inconvénient majeur et incontournable. Noter cependant, en comparaison, que la combustion du dihydrogène ne produit pas de CO_2 .

Production collatérale de gaz toxiques (CO , NO_x , SO_x ...) et présence de radicaux libres lors de cuissons à feu direct (fumées cancérigènes). Ces inconvénients peuvent être minimisés.

Les rendements de conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique des moteurs les plus courants sont peu élevés (de 30 à 40 %). Le rendement des moteurs électriques est beaucoup plus élevé (de l'ordre de 90 %). Noter que les turbines utilisées dans la génération d'électricité ont un rendement plus élevé et permettent d'atteindre environ 60 % de rendement global pour les meilleures centrales thermiques.

Compléments

Aspect écologique et développement durable

Une attention toute particulière sera apportée au choix des situations étudiées par la proposition de documents amenant une discussion autour des aspects écologiques et de développement durable.

Bien que le programme se limite aux combustions des hydrocarbures, d'autres combustions dites « propres » peuvent être évoquées, telles que la combustion du dihydrogène mise à profit dans les piles à combustibles, les moteurs de certaines voitures ou dans le domaine de l'aéronautique.

Lors de ces discussions, l'enseignant de physique-chimie veillera à ne pas omettre d'évoquer les méthodes de production des combustibles dits « verts », comme les biocarburants à base d'huile de palme, les rendant parfois moins écologiques que les combustibles fossiles traditionnels, et contribuera ainsi au développement de l'esprit critique des élèves.

Aspect interdisciplinaire

Les phénomènes de combustion apparaissent dans des champs disciplinaires très variés tels que la mécanique, la thermique, la cuisine, l'aéronautique, les systèmes énergétiques et climatiques, les transports, etc. Ce qui peut être exploité dans le cadre de la co-intervention.

Sitographie

- [Chapitre 3. Combustion et combustibles](#) Énergie, pollution de l'air et développement durable, Claude Ronneau, Presses universitaires de Louvain
- [La réaction chimique](#) de la faculté des sciences de l'Université du Maine
- [Base de données standard de référence NIST numéro 69](#) WebBook de Chimie National Institute of Standards and Technology (NIST)

Retrouvez éduscol sur

