

1. PRÉSENTATION

La combustion est une réaction chimique dite exothermique : elle produit de la chaleur. Cette réaction chimique de combustion ne peut se produire que si l'on réunit trois éléments : un combustible, un comburant et une énergie d'activation en quantités suffisantes.

1.1. COMBUSTIBLE

Le combustible peut être :

- un solide formant des braises (bois, papier, carton, tissu, PVC, etc.)
- un liquide (essence, gazole, huile, kérosène, etc.) ;
- un gaz (butane, propane, méthane, etc.) ;
- un métal (fer, aluminium, sodium, magnésium, etc.).

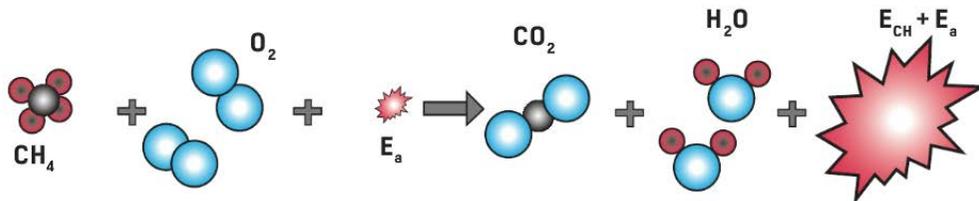
1.2. COMBURANT

Le comburant est l'autre réactif de la réaction chimique. La plupart du temps, il s'agit de l'air ambiant, et plus particulièrement de l'un de ses composants principaux, le dioxygène. En privant un feu d'air, on l'éteint. Par exemple, si on place une bougie allumée dans un bocal de confiture et qu'on ferme le bocal, la flamme s'éteint. A l'inverse, si l'on souffle sur un feu de bois, cela l'active (on apporte plus d'air).

1.3. ACTIVATEUR

La réaction est déclenchée par une énergie d'activation, généralement de la chaleur ou une flamme. Par exemple, ce sera l'échauffement par frottement pour une allumette, l'étincelle (de l'allume-gaz, de la pierre du briquet) ou une autre flamme (propagation du feu).

1.4. EXEMPLE : COMBUSTION DU MÉTHANE DANS LE DIOXYGÈNE



Légende :

CH ₄	
O ₂	
E _a	
CO ₂	
H ₂ O	
Ech	

Seuls des matériaux sous forme gazeuse peuvent brûler car ils offrent la possibilité de très bien se mélanger avec un comburant, ce qui n'est pas le cas des liquides ou des solides où le comburant principal, l'oxygène, ne peut pénétrer au cœur de la substance. C'est pourquoi il faut fournir suffisamment d'énergie à un produit inflammable (qu'il soit solide ou liquide) pour qu'il commence à se vaporiser ou se décomposer en éléments vaporisables et combustibles.

2. ÉNERGIE CHIMIQUE DÉGAGÉE ET POUVOIR CALORIFIQUE

Le pouvoir calorifique PC représente l'énergie obtenue par la combustion complète d'un kilogramme de combustible. Il s'exprime en kilojoule par kilogramme (kJ/kg).

Les combustions d'hydrocarbures dégagent de l'eau sous forme de vapeur. Cette vapeur d'eau contient une grande quantité d'énergie.

Ce paramètre est donc pris en compte de manière spécifique pour l'évaluation du pouvoir calorifique, et l'on définit :

- le pouvoir calorifique supérieur PCS qui représente l'énergie libérée par la combustion d'un kilogramme de combustible. Cette énergie comprend la chaleur sensible, mais aussi la chaleur latente de vaporisation de l'eau, généralement produite par la combustion. Cette énergie peut être entièrement récupérée si la vapeur d'eau émise est condensée, c'est-à-dire si toute l'eau vaporisée se retrouve finalement sous forme liquide.
- le pouvoir calorifique inférieur PCI qui représente l'énergie libérée par la combustion d'un kilogramme de combustible sous forme de chaleur sensible, à l'exclusion de l'énergie de vaporisation (chaleur latente) de l'eau présente en fin de réaction.

La différence entre le PCI et le PCS est la chaleur latente de vaporisation de l'eau, qui est d'environ 2250 kJ/kg

La quantité d'énergie chimique E_{ch} dégagée lors d'une combustion complète est exprimée en joule (J) :

Avec :

E_{ch} : énergie libérée par la combustion (en J)

m : masse du combustible (en kg)

PC : pouvoir calorifique massique (en J/kg)

Les fabricants expriment le rendement d'une chaudière comme le rapport entre la chaleur récupérée par la chaudière et la chaleur libérée par le combustible consommé à partir du PCI. Il leur est ainsi possible, d'afficher un rendement supérieur à 100% pour une chaudière à condensation (qui récupère une partie de la chaleur latente). En toute rigueur, le rendement (toujours inférieur à 100 %) devrait être calculé sur PCS.

3. CARACTÉRISTIQUES DE QUELQUES COMBUSTIBLES

Le tableau suivant présente les caractéristiques de quelques combustibles :

Combustible	PCI (kJ.kg ⁻¹)	PCS (kJ.kg ⁻¹)	Masse volumique (kg.m ⁻³)	Masse de CO ₂ (kg/GJ)**
Gaz naturel (Lacq)	49 700	55 200	1,36*	57
GPL	45 800	49 600	543	64
Essence	42 700	47 300	775	73
Éthanol	27 000	29 700	789	71
Gazole	42 600	44 800	850	75
Fioul Oil domestique	41 992	44 780	865	75
Granulé de bois	17 450	18 830	650	92
Charbon (houille)	≈ 35 360	≈ 36 160	≈ 1 500	95

* Phase gazeuse.

** Source MEDD.

4. EXERCICES D'APPLICATION

4.1. TONNE ÉQUIVALENT PÉTROLE (TEP)

L'énergie est exprimée en joule (J). Cette unité est très faible pour mesurer les productions et consommations d'énergie à l'échelle d'un pays. Pour cette raison, l'unité tonne d'équivalent pétrole a été mise en place dans la mesure où le pétrole est la source d'énergie la plus utilisée dans le monde.

✍ Calculer l'énergie chimique E_{ch} (en J) contenue dans une tonne de pétrole brut (1 TEP). Le PCI massique du pétrole brut est de 41868 kJ / kg :

✍ Exprimer cette énergie en kWh :

4.2. COMPARAISON DE COMBUSTIBLES POUR UNE VOITURE

La quantité moyenne d'énergie correspondant à l'autonomie d'un plein pour une voiture est de 500 kWh.

✍ Exprimer cette énergie en J :

✍ Calculer la masse de gazole apportant cette quantité d'énergie sur PCI lors de sa combustion :

✍ Calculer le volume de gazole (en L) :

✎ Refaire ces calculs pour les autres combustibles cités dans le tableau. Reporter les valeurs :

Combustible	Masse (kg)	Volume (L)
Gazole		
Essence		
GPL		

4.3. VÉRIFICATION DU RESPECT DES NORMES D'ÉMISSION DE CO₂ D'UN VÉHICULE

L'Union Européenne a instauré des normes contraignantes pour les émissions des voitures neuves à hauteur de 130g de CO₂ par km en 2015

Une voiture équipée d'un moteur à essence est capable de parcourir 800 km avec un plein de 60 litres.

✎ Calculer sa consommation de carburant en litres pour 100 km parcourus (L/100 km) :

✎ Calculer les émissions de CO₂ par km de la voiture :

✎ Cette voiture respecte-t-elle les normes pour les émissions de CO₂ par km :

4.3.1. CALCUL DE LA CONSOMMATION MAXIMALE D'UN VÉHICULE NEUF POUR RESPECTER LES NORMES D'ÉMISSION DE CO₂

✎ Calculer la valeur maximale des émissions de CO₂ pour 100 km autorisés pour un véhicule neuf (norme 2015) :

✎ Calculer la masse d'essence qui doit être consommée (sur PCI) pour atteindre cette valeur maximale des émissions de CO₂ :

✎ En déduire la consommation maximale d'essence en litres pour 100 km parcourus (L/100 km) pour respecter les normes d'émission de CO₂ :

4.4. ÉNERGIE NÉCESSAIRE AU CHAUFFAGE D'UN HABITAT

Les besoins en énergie calorifique d'un habitat de 100 m² situé en région parisienne et dans lequel vivent 4 personnes sont les suivants :

- chauffage : 7000 kWh ;
- eau chaude sanitaire : 3700 kWh.

On veut souhaite comparer plusieurs combustibles alimentant une chaudière pour couvrir ces besoins calorifiques : le granulé de bois, le gaz naturel et le fioul domestique.

✎ Exprimer les besoins énergétiques en J :

✎ Calculer la masse de bois apportant cette quantité d'énergie sur PCI lors de sa combustion :

✎ Calculer le volume de bois (en L) :

✎ Calculer la masse de CO₂ rejetée (en kg) :

✎ Refaire ces calculs pour les autres combustibles cités dans le tableau. Reporter les valeurs :

Combustible	Masse (kg)	Volume (L)	Masse de CO ₂ (kg)
Bois			
Gaz naturel			
Fioul domestique			

✎ Classer ces combustibles du plus faible au plus fort émetteur de CO₂ :

✎ Pourquoi le bois est-il néanmoins considéré comme le combustible le plus écologique ?
