

## CHAPITRE 10 : LES RÉACTIONS DE COMBUSTION

D'abord au charbon et au fioul les chaudières fonctionnent maintenant principalement au gaz voire, plus rarement, au bois. Même si les chaudières modernes possèdent de très bons rendements, leurs émissions de dioxyde de carbone – un gaz à effet de serre favorisant le réchauffement climatique – ne sont pas nulles.



Comment calculer l'énergie produite et la quantité de  $\text{CO}_2$  émise lors d'une réaction de combustion ?

### 1 Combustibles et comburants

Une **combustion** est une **réaction chimique** d'oxydo-réduction nécessitant un **comburant** (oxydant), un **combustible** (réducteur) et une **énergie d'activation** (énergie thermique).



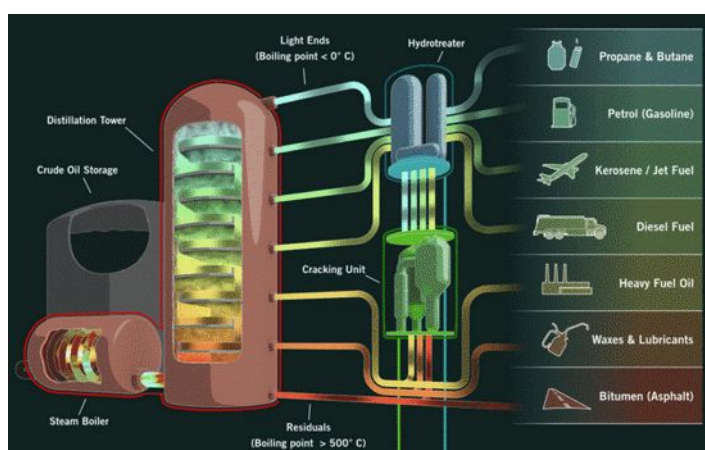
Les **combustibles** usuels sont majoritairement constitués d'**hydrocarbures**. Ce sont des molécules composées exclusivement d'atomes de **carbone C** et d'**hydrogène H**. On distingue deux familles principales d'hydrocarbures :

- les **alcane**s dont toutes les **liaisons carbone-carbone** sont **simples** : on parle d'hydrocarbures saturés
- les **alcène**s dont au moins une **liaison carbone-carbone** est **multiple** (double, triple ou quadruple) : on parle d'insaturation

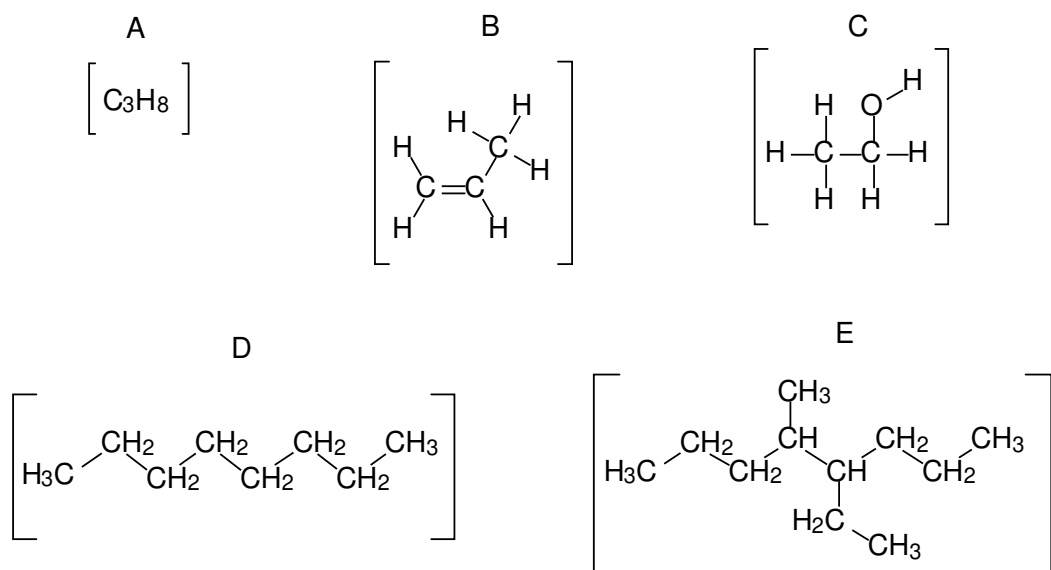
Les molécules de la famille des **alcools** sont également de bons combustibles. Dans les molécules de cette famille on trouve au moins un **groupe hydroxyle -OH** fixé sur un atome de carbone.

À l'air libre, le **comburant** usuel est le **dioxygène  $\text{O}_2$**  car il constitue 20 % de l'air mais il y en a d'autres (perchlorates  $\text{ClO}_4^-$ , peroxyde d'hydrogène  $\text{H}_2\text{O}_2$ , ...).

**Application 1 :** Pour obtenir du fioul domestiques il est nécessaire de distiller le pétrole brut. Ce dernier est un mélange complexes de plusieurs centaines d'espèces chimiques. Après distillation, dans les fractions les plus légères on trouve notamment les molécules A et B.



La molécule A après traitement permet d'obtenir la molécule C. Les molécules D et E se trouvent dans les fractions plus lourdes.



On donne ci-dessous les pictogrammes de danger du fioul domestique :



1. Identifie les molécules représentées en formule brute, celles représentées en formule semi-développée et celles en formule développée.
2. Donne la formule développée de la molécule A et la formule brute de la molécule B.
3. Quelle molécule est un alcène ? Laquelle est un alcool ? À quelle famille appartiennent les autres ?
4. Quelle molécule n'est pas un hydrocarbure ?
5. Quels sont les 4 dangers associés au fioul domestique ?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 2 Équations des réactions de combustion

Une combustion fait intervenir 2 réactifs : le **combustible** et le **comburant**. Pour qu'une **combustion** soit **complète** il faut que le comburant soit présent en quantité suffisante par rapport au combustible.

Si c'est le cas, la réaction chimique ne rejette que deux produits : de l'eau  $H_2O_{(l)}$  et du **dioxyde de carbone**  $CO_{2(g)}$  qui est un gaz à effet de serre. L'équation chimique d'une combustion complète s'écrit alors :

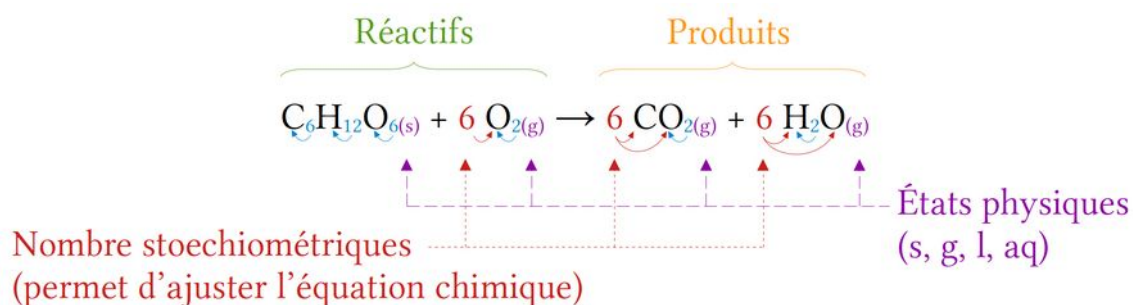


Où a, b, c et d sont des nombres stœchiométriques permettant d'ajuster l'équation de réaction pour assurer la conservation des éléments chimique C, H et O.

Ainsi il faut qu'il y ait au moins « b » moles de comburant pour que les « a » moles de combustibles brûlent complètement.

Si ce n'est pas le cas la combustion est alors incomplète et rejette également du monoxyde de carbone  $CO_{(g)}$  (gaz asphyxiant), du carbone suie  $C_{(s)}$  (particules fines dangereuses pour les voies respiratoires) et divers composés imbrûlés plus ou moins toxiques (composés organique volatils COV, hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP, ...).

Exemple : équation de la réaction chimique de combustion complète du glucose  $C_6H_{12}O_6$ .



L'équation de réaction est bien ajustée, il y a conservation de tous les éléments chimiques (12 H, 6 C et 18 O de chaque côté) et des charges électriques (aucune de chaque côté)

**Application 2 :** Les chaudières à charbon brûlent de la houille qui contient majoritairement du carbone  $C_{(s)}$  (> 80 %). Les chaudières au gaz brûlent essentiellement du méthane  $CH_{4(g)}$  mais certaines peuvent également fonctionner avec du propane  $C_3H_{8(g)}$  et même du butane  $C_4H_{10(g)}$ . Enfin, le bois est composé en partie de lignine (> 15 %) elle-même à base d'alcool coniférylique  $C_{10}H_{12}O_3$  (> 50 %).



Rechargement en houille d'une chaudière à charbon

1. Écris l'équation de la réaction de combustion complète en présence de dioxygène  $O_{2(g)}$  pour chacun des combustibles dont la formule brute est donnée ci-dessus.

---

---

---

---

---

### 3 Bilan de quantité de matière

L'équation de réaction chimique, grâce aux **nombre stœchiométriques**, indique les **proportions** qui existent entre les différentes **quantités de matières (en moles)** des réactifs et des produits.

La quantité de matière d'une espèce chimique pure peut être déduite de son volume ou de sa masse grâce aux 2 formules suivantes :

- Lien entre la **masse m** (en g) et le **volume V** (en L) en utilisant la **masse volumique ρ** (en g/L) :

$$m = \rho \times V$$

- Lien entre **masse m** (en g) et **quantité de matière n** (en mol) en utilisant la **masse molaire M** (en g/mol) :

$$m = n \times M$$

- Les masses molaires des atomes sont toujours données ou indiquées dans le tableau périodique.
- La masse molaire d'une molécule est égale à la somme des masses molaires des atomes qui la compose.

Exemple : masse molaire de la molécule de glucose  $C_6H_{12}O_6$

$$M(C_6H_{12}O_6) = 6 \times M(C) + 12 \times M(H) + 6 \times M(O) = 6 \times 12 + 12 \times 1 + 6 \times 16 = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

*Données :*

- 
- Le schéma illustre le fonctionnement d'un système de chauffage à bois. À gauche, un ballon d'eau chaude (1) est rempli d'eau orange. Un circuit de chauffage (2) relie le ballon à une chaudière à bois (3). La chaudière est alimentée en bois (4) et chauffe l'eau. L'eau chaude (Départ eau chaude) circule vers un radiateur, puis revient (Retour eau froide) à la chaudière. Le radiateur est représenté par une série de tubes enroulés.
- ① Cuve de fioul
  - ② Filtre
  - ③ Brûleur
  - ④ Evacuation des fumées : système de ventouse ou cheminée avec retubage du conduit

1. Écris l'équation chimique de la réaction de combustion complète du fioul.
2. Calcule la quantité de matière de combustible consommée par la chaudière pendant 1 h.
3. Déduis en le volume d'air minimal nécessaire pour alimenter la chaudière pendant 1 h de manière à obtenir une combustion complète du combustible. Exprime le résultat en  $\text{m}^3$ .
4. Déduis en la masse de dioxyde de carbone rejetée dans l'atmosphère par la chaudière en 1 h.

[illegible]

## 4 Bilan d'énergie d'une combustion

Les **combustions** sont des réactions chimiques fortement **exothermiques** c'est-à-dire qu'elles libèrent énormément d'**énergie thermique**. Pour calculer l'énergie thermique  $Q$  libérée lors d'une combustion on utilise l'une des formules suivantes :

$$Q = m \times PCI \quad \text{ou} \quad Q = n \times H_{\text{comb}}$$

Avec :

- $Q$  l'énergie thermique libérée lors de la combustion (en J)
- $m$  la masse de combustible brûlée (en kg)
- $n$  la quantité de matière de combustible brûlée (en mol)
- $PCI$  le Pouvoir Calorifique Inférieur du combustible (en  $\text{J.kg}^{-1}$ ).
- $H_{\text{comb}}$  est l'enthalpie molaire de combustion (en  $\text{J.mol}^{-1}$ )

**Application 4 :** Le bois présente l'avantage d'être une ressource renouvelable contrairement au gaz naturel, au fioul ou au charbon. Cependant plus la fraction d'eau qu'il contient est importante plus son pouvoir calorifique sera dégradé.



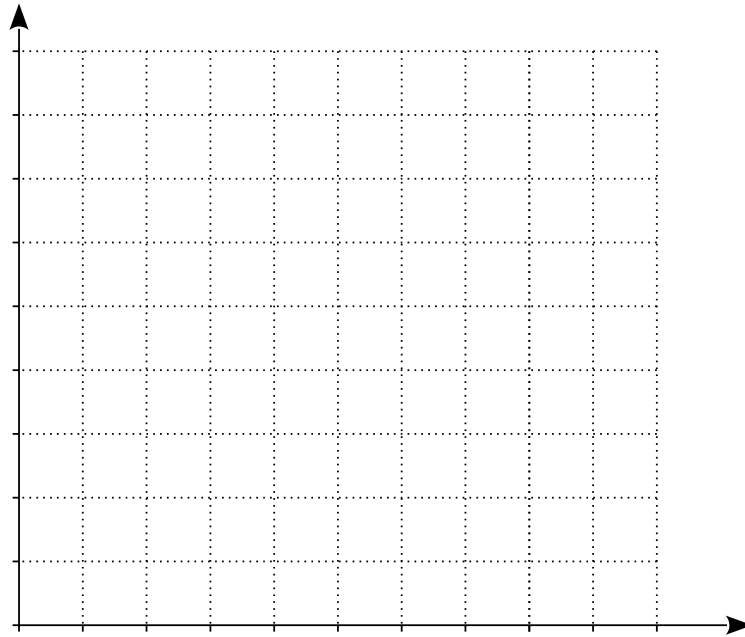
Des granulés, plaquettes et bûches de bois.

Par exemple, un bois vert contient 30 % en masse d'humidité. Ainsi, lorsqu'il brûle l'énergie thermique récupérable vaut  $Q = Q_{\text{max}} - Q_{\text{vap}}$  ou  $Q_{\text{max}}$  est l'énergie thermique libérée par la combustion de la matière organique du bois et  $Q_{\text{vap}}$  est l'énergie perdue pour vaporiser l'eau contenue dans le bois.

Données :

- $PCI$  de la matière organique (cellulose, lignine, ...) du bois  $PCI_{\text{max}} = 17 \text{ MJ.kg}^{-1}$
- Énergie massique de vaporisation de l'eau  $L_{\text{vap}} = 2,25 \text{ MJ.kg}^{-1}$

1. Calcule l'énergie  $Q_{\text{max}}$  libérée par la combustion d'une bûche de bois vert de 1,5 kg.
2. Calcule l'énergie  $Q_{\text{vap}}$  perdue lors de la vaporisation de l'eau contenue dans cette bûche.
3. Déduis en l'énergie nette  $Q$  libérée lors de la combustion de la bûche et le  $PCI$  de cette bûche.
4. On admet que le  $PCI$  du bois est une fonction affine de son taux d'humidité. Trace la droite représentant le  $PCI$  en fonction du taux d'humidité sur le graphique ci-dessous.



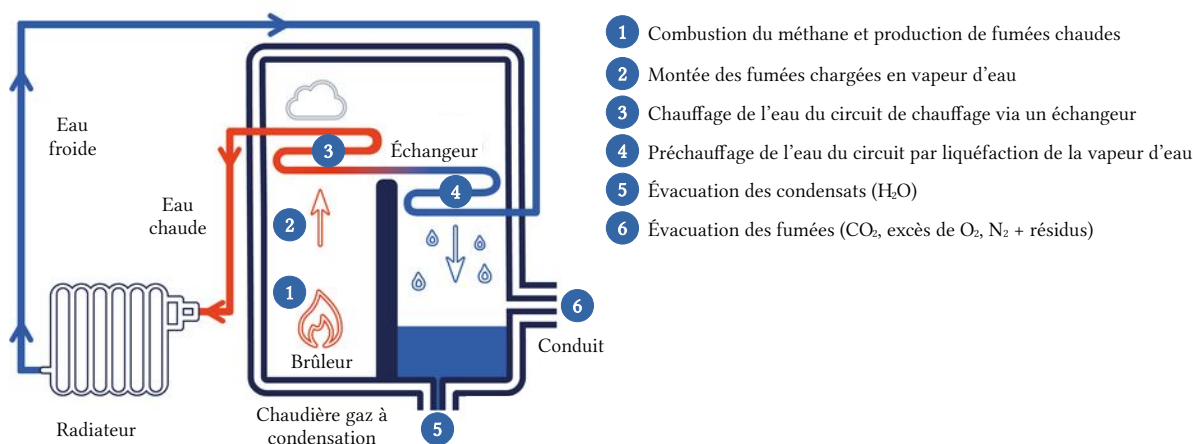
5. Certaines chaudières au bois brûlent des plaquettes de bois avec un taux d'humidité de 20 % tandis que d'autres brûlent des granulés de bois séchés avec un taux d'humidité de 10 %. Détermine le PCI de chacun de ces combustibles à l'aide de la droite précédente.

[illegible]

L'eau est un produit des réactions de combustion. Compte tenu des températures élevées obtenues lors des combustions, cette eau se trouve sous forme de gaz (vapeur d'eau). Certaines **chaudières** dites « à **condensation** » arrivent à **liquéfier l'eau** contenue dans les fumées de combustion pour récupérer un **surplus d'énergie**. Dans ce cas, il faut remplacer le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) par le PCS (Pouvoir Calorifique Supérieur) dans l'équation précédente :

$$Q' = m \times PCS$$

**Application 5 :** Pour des questions d'économie d'énergies, les chaudières au gaz moderne sont quasiment toutes à condensation. Elles sont généralement reliées au réseau de gaz de ville que l'on assimilera à du méthane pur  $CH_{4(g)}$ .



Données :

- Pouvoir calorifique inférieur du méthane  $CH_{4(g)}$  :  $PCI = 50 \text{ kJ/g}$
- Énergie massique de liquéfaction de l'eau  $H_2O$  :  $L_{\text{liquéfaction}} = - 2,3 \text{ kJ/g}$
- Masse molaires :  $M(CH_4) = 16 \text{ g/mol}$        $M(H_2O) = 18 \text{ g/mol}$
- 1 mole de méthane occupe un volume de 24 L à 20 °C et 1 bar.

1. Écris l'équation chimique de la réaction de combustion complète du méthane.  
Dans la suite, on considère la combustion de 1 m<sup>3</sup> de gaz de ville à 20 °C et 1 bar.
2. Calcule la quantité de matière de méthane correspondante et la quantité de matière d'eau produite lors de sa combustion. Déduis en les masses correspondantes.
3. Calcule l'énergie libérée par la combustion de ce gaz sans condensation de la vapeur d'eau produite.
4. Calcule l'énergie libérée par la liquéfaction de la totalité de la vapeur d'eau produite.
5. Déduis en l'énergie totale récupérable par la chaudière et la valeur du PCS.
6. Calcule le pourcentage d'énergie supplémentaire obtenue grâce à la « condensation » grâce

à la formule :  $\%_{\text{sup}} = \frac{PCS - PCI}{PCI} \times 100$

