



# Comment changer de civilisation avec la combustion ?

Quelle réaction a eu le plus d'influence sur l'Histoire et le développement de l'humanité ? Si vous vous posez cette question, pensez donc à la combustion du carbone.



Cette réaction s'accompagne d'une quantité de chaleur libérée de 33 MJ (mégajoules) par kilo de carbone consommé. Cette énergie développée très importante est équivalente à environ 8000 kcal ou 9 kWh ou encore est l'énergie nécessaire pour porter 80 L d'eau liquide de 0 à 100 °C. Elle va avoir un rôle considérable dans l'évolution des civilisations.



Le feu

**Au paléolithique**, les hommes vivaient de cueillettes et de chasse et mangeaient des plantes et de la viande crue. Entre -400 000 et -300 000 ans, l'homme de Néandertal commence à maîtriser le feu, soit capturé lors d'un incendie de forêt, soit allumé par lui. Il peut alors cuire ses aliments et donc mieux assimiler les protéines. Son cerveau se développe, les aliments cuits sont plus tendres, les mâchoires se réduisent. Le feu le protège des prédateurs. Il peut s'éclairer dans les cavernes, durcir ses flèches et commencer une vie sociale. La mortalité se réduit, la population mondiale estimée passe de 100 000 à 1,5 million jusqu'à l'arrivée de l'homme moderne, « l'homo sapiens ».

Vers -10 000 ans, c'est la naissance de l'agriculture. Une partie des populations nomades passe alors à une vie pastorale.

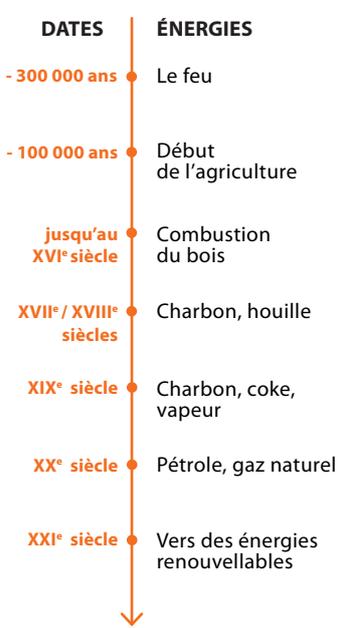
**La combustion du bois de composition  $C_xH_yO_z$  dégage du dioxyde de carbone  $CO_2$  et de l'eau  $H_2O$**  ainsi que des gaz combustibles, avec un pouvoir combustible d'environ 19 MJ/kg (entre 5 et 6 kWh). **Ce sera le combustible quasi unique jusqu'au XVI<sup>e</sup> siècle** où la population mondiale aura tout de même progressé jusqu'à 500 millions en quelques milliers de siècles.

Le développement de la métallurgie, de la céramique et de la verrerie exige de plus en plus d'énergie, le bois devient rare et donc cher à cause du déboisement massif. Marco Polo avait rapporté de son voyage, qu'en Chine « on faisait du feu avec des pierres noires ».

**C'est donc au XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles que l'on commence à utiliser le charbon**, d'abord de la tourbe (50 % de carbone) puis le charbon de bois (80 % de carbone) puis la lignite (65 % de carbone) et enfin la houille (90 % de carbone). **La houille** contient environ 10% de matières volatiles (méthane,  $CH_4$  et hydrocarbures) et a pour **formule générale  $C_nH_mO_p$** . Sa combustion produit  $CO_2$  et  $H_2O$  et son pouvoir calorifique est d'environ 35 MJ/kg.

## L'Histoire

### La combustion du carbone



Le charbon

## L'anecdote



**Denis Papin**, médecin, physicien et inventeur, assistant du savant Huygens à l'Académie des sciences et ami de Leibniz, travaille tout particulièrement sur les machines à faire le vide. Protestant, il s'exile à Londres, en 1675, en devançant la révocation de l'édit de Nantes. Il découvre le pouvoir de la vapeur pouvant actionner un piston, invente « le digesteur », ancêtre de la cocotte-minute et surtout la soupape de sécurité qui empêche l'explosion de la marmite. Il tente une expérience commerciale en mettant au point des bateaux à aube et à vapeur. Mais c'est un échec car son bateau est détruit par les bateliers de la Weser en Allemagne. Mort ruiné en 1713, il est oublié de tous à Londres. Ses travaux ne seront reconnus qu'au XIX<sup>e</sup> siècle et on édifiera sa statue avec son digesteur devant le Conservatoire des arts et métiers à Paris!



**Philippe Lebon**, chimiste français qui invente le gaz d'éclairage en 1800

**Tout au long du XIX<sup>e</sup> siècle**, et d'abord en Angleterre, **l'exploitation des mines de charbon** prennent de plus en plus d'importance, d'autant que se développe un nouvel outil énergétique qui va remplacer l'énergie animale : la vapeur. **La pyrolyse du charbon** (chauffage à très haute température sans oxygène pour éviter la combustion) voit le jour. Elle est nécessaire **pour fabriquer le coke** métallurgique ainsi que **CH<sub>4</sub> et H<sub>2</sub>** qui vont être utilisés pour le gaz d'éclairage. C'est ainsi que, depuis 1825, Londres puis Paris s'éclairent la nuit par les magnifiques « **becs de gaz** ».

Le concentré d'énergie du coke entraîne **une révolution industrielle** sur le **transport** (trains et bateaux) et sur la **métallurgie** qui va gagner l'Europe, les États-Unis et l'Asie du Sud-Est.

Mais **une nouvelle révolution est en route**. Si on connaissait depuis l'Antiquité les flaques d'huiles et de bitumes d'Arabie, utilisés pour les lampes et le calfatage des navires, jusqu'au XIX<sup>e</sup> siècle on ne pensait pas à l'utiliser industriellement comme combustible. Et pourtant quelle réserve d'énergie !

En prenant un modèle moyen **d'essence** de formule C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>, sa **combustion** a pour équation :



Et libère 44 MJ/kg soit 12 kWh/kg (de l'ordre de 10 kWh/L).

Dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle on exploitait des puits à Bakou en Russie mais l'histoire retiendra **E. L. Drake**, qui en **1859** en **Pennsylvanie**, **fit jaillir l'or noir en terre américaine**. Exploité massivement par de grandes compagnies pétrolières, il remplace progressivement le charbon et gagne les transports individuels grâce à l'invention du moteur à explosion. **De nos jours, des millions de barils par jour** font rouler des milliards d'automobiles, camions, bateaux et avions de par le monde et permettent de fabriquer de nouveaux textiles et quantité d'objets en plastique.

Parallèlement, la population mondiale passe de 1,6 milliard en 1900 à 6,1 milliards en 2000. Cette explosion de la consommation d'énergie qui a conduit à plus de confort, des déplacements facilités, de nouveaux soins et médicaments a presque multiplié par 4 en 100 ans le nombre d'habitants sur la planète. Il avait fallu les 650 ans précédents pour en faire autant !

Hélas tous ces progrès ont leur revers : la concentration de gaz à effet de serre, en particulier le CO<sub>2</sub>, joue un rôle dans le changement climatique. Et ces ressources fossiles charbon, gaz et pétrole qui ont mis des millions d'années à se former, consommées au rythme actuel vont nécessairement s'épuiser rapidement.

C'est pourquoi **la prochaine révolution énergétique** sera le passage d'un système « sans limites » à un système hautement contraint : **elle sera celle de l'économie des ressources non renouvelables, de l'exploitation renouvelée et moderne de la biomasse et de la sobriété de la consommation.**



### Le pétrole :

**1859 : Le « colonel » Drake** fait jaillir du pétrole à Oil Creek près de Titusville en Pennsylvanie et va provoquer la ruée vers l'or noir.

**1870 : John Rockefeller** crée la Standard Oil Company (futur Exxon) qui va raffiner et transporter le pétrole dans le monde entier.

# COMMENT CHANGER DE CIVILISATION AVEC LA COMBUSTION ?

## Du Néolithique au XVI<sup>e</sup> siècle : la combustion du bois



**La maîtrise du feu**

- Protéines assimilées, le cerveau se développe
- Machoières plus petites
- Le feu protège des prédateurs
- Mortalité en baisse
- Vers la vie sociale

L'Homme de Néandertal commence à maîtriser le feu

**La combustion du bois**

$$C_x H_y O_z \xrightarrow{O_2} CO_2 \text{ et } H_2O$$

bois      dioxygène      dioxyde de carbone      eau

**1 kg de bois libère 19 MJ d'énergie**

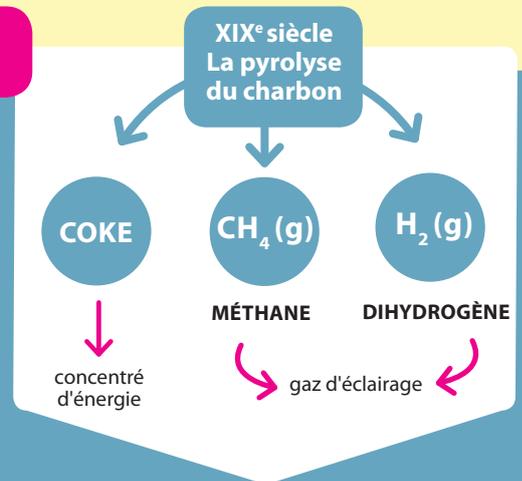
## Du XVII<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle : la combustion du charbon

**La combustion du charbon**

$$C_n H_m O_p \xrightarrow{O_2} CO_2 \text{ et } H_2O$$

houille

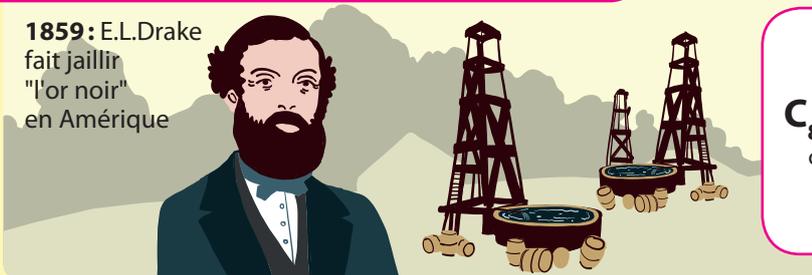
**1 kg de houille libère 35 MJ d'énergie**



RÉVOLUTION INDUSTRIELLE : transports et métallurgie

## XX<sup>e</sup> siècle : la combustion de l'essence

1859: E.L. Drake fait jaillir "l'or noir" en Amérique



**La combustion de l'essence**

$$C_8H_{18} + \frac{25}{2} O_2 \longrightarrow 8 CO_2 + 9 H_2O$$

octane

**1 kg d'octane libère 44 MJ d'énergie**

## XX<sup>e</sup> et XXI<sup>e</sup> siècles : vers la transition écologique

**L'explosion démographique**

- population x3
- consommation d'énergie x4

**CO<sub>2</sub> libéré = gaz à effet de serre**

réchauffement climatique

**La transition énergétique et écologique**

- ressources d'énergies renouvelables
- consommation énergétique maîtrisée et raisonnée