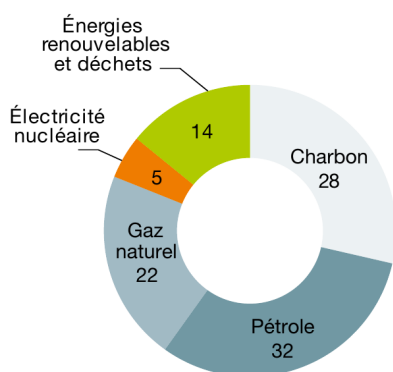


Thermochimie

Impact carbone de la production électrique



(Source : Agence Internationale de l'Énergie, 2017)

À l'échelle mondiale, la production d'énergie est très largement dominée par la combustion de ressources fossiles (cf. diagramme ci-contre), fortement émettrices de gaz à effet de serre et donc responsables du réchauffement climatique. En termes de secteur d'activité, et toujours à l'échelle mondiale, la production d'électricité cause à elle seule 40 % des émissions de CO_2 dues à la combustion fossile. Les technologies utilisées dans les centrales électriques sont donc des facteurs clés de la lutte contre le réchauffement.

Cet exercice a pour objectif de comparer l'impact carbone de différents types de centrales électriques thermiques. Une telle centrale est une machine thermique dans laquelle la détente de vapeur d'eau au travers d'une turbine permet la mise en rotation d'un alternateur. Quelle que soit la source primaire d'énergie utilisée, le rendement de l'installation est classiquement de l'ordre de 30 %, valeur qu'on prendra pour la suite. Néanmoins, il existe des technologies récentes (cycle combiné à gaz, centrale à charbon ultra super critique) permettant d'atteindre des rendements de 50 % pour le charbon et 60 % pour le gaz.

Données :

Espèce chimique	$\text{C}_{(s)}$	$\text{CH}_{4(g)}$	$\text{O}_{2(g)}$	$\text{CO}_{2(g)}$	$\text{H}_2\text{O}_{(g)}$
$\Delta_f H^\circ$ ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)	0	-74,4	0	-393,5	-241,8
M ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	12,0	16,0	32,0	44,0	18,0

On étudie dans un premier temps à une centrale à gaz, fonctionnant par combustion de gaz naturel assimilé à du méthane pur.

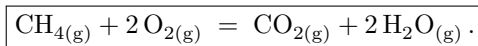
- 1 - Écrire l'équation bilan de la combustion du méthane.
- 2 - Déterminer la quantité de matière de méthane nécessaire pour produire 1 kWh d'énergie électrique.
- 3 - En déduire la masse de CO_2 libérée par la réaction de combustion.
- 4 - Reprendre ces questions pour une centrale au charbon, que l'on modélise par du carbone pur (la teneur en carbone du charbon est de 80 à 90 %).

Une spécificité française est le recours massif au nucléaire dans le mix électrique : c'est près de 72 % de l'électricité française qui a été produite par ce biais en 2018. Le gaz et le charbon ne sont respectivement la source que de 5,7 et 1,1 % de la production nette de l'électricité.

- 5 - Cette large utilisation de l'énergie nucléaire est-elle un atout ou un inconvénient en termes de bilan carbone ?

Éléments de correction

1 La réaction de combustion s'écrit



2 Calculons l'énergie libérée Q_{lib} par la combustion isotherme d'une quantité de matière n de méthane. D'après le premier principe,

$$\Delta H \underset{\substack{\uparrow \\ \text{1erP}}}{=} -Q_{\text{lib}} \underset{\substack{\uparrow \\ \text{transf}}}{=} n \Delta_r H^\circ.$$

Comme le rendement n'est que de $\eta = 0,3$, l'énergie électrique produite vaut

$$E = \eta Q_{\text{lib}} = -\eta n \Delta_r H^\circ.$$

On en déduit la quantité de matière n nécessaire à la production d'une énergie électrique E ,

$$n = -\frac{E}{\eta \Delta_r H^\circ}$$

D'après la loi de Hess,

$$\Delta_r H^\circ = \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2) + 2 \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}) - \Delta_f H^\circ(\text{CH}_4) = -802 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1},$$

et $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ d'où on déduit

$$n = 15 \text{ mol}.$$

3 Les nombres stœchiométriques étant les mêmes, la quantité de matière de CO_2 produite lors de la combustion est égale à la quantité de matière de CH_4 consommée, ce qui donne une masse

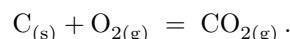
$$m = n \times M_{\text{CO}_2} = 658 \text{ g}.$$

Ainsi, la production de 1 kWh d'énergie électrique par combustion du méthane rejette 658 g de CO_2 dans l'atmosphère.

En réalité, un bilan carbone complet nécessite de prendre en compte différentes émissions indirectes qui s'ajoutent aux émissions directes étudiées ici, qui incluent par exemple la construction et le démantèlement de la centrale, sa maintenance, etc ... et surtout toutes les émissions nécessaires à l'extraction du combustible et à son transport. Avec cette méthode de calcul, 1 kWh d'énergie électrique produit par combustion du gaz naturel avec un rendement de $0,3$ entraîne un rejet moyen de 756 g de CO_2 dans l'atmosphère.

(Source : base carbone ADEME)

4 La réaction de combustion du charbon s'écrit



L'enthalpie de réaction vaut

$$\Delta_r H^{\circ'} = \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2) = -393,5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Ainsi, en reprenant les résultats de la question précédente, la production de $E = 1 \text{ kWh}$ d'énergie électrique par combustion du charbon génère l'émission d'une masse de CO_2

$$m' = -\frac{E}{\eta \Delta_r H^{\circ'} M_{\text{CO}_2}} = 1,3 \text{ kg}.$$

Remplacer des centrales à charbon par des centrales à gaz permet donc de diviser par deux les émissions de CO_2 pour une même quantité d'électricité produite.

En tenant compte des émissions indirectes, le bilan carbone d'une centrale à charbon est plutôt de l'ordre de $1,2 \text{ kg}$ de CO_2 par kWh électrique produit, ce qui s'explique par le fait que le charbon n'est pas du carbone pur comme dans la modélisation utilisée ici.

(Source : base carbone ADEME)

5 Une réaction nucléaire n'est pas une réaction de combustion ! Il n'y a donc aucune émission directe de CO_2 lors de la production d'électricité nucléaire : c'est donc un atout très important de l'énergie nucléaire en termes de lutte contre le changement climatique. Les problèmes posés par cette source d'énergie sont d'une autre nature : sécurité des installations et production de déchets que l'on ne sait pas retraiter à l'heure actuel.

Toujours en tenant compte des émissions indirectes, le bilan carbone de l'énergie nucléaire demeure très favorable par rapport au gaz ou au charbon puisqu'il est de seulement 6 g de CO_2 par kWh électrique produit.

(Source : base carbone ADEME)