

Les émissions de gaz carbonique (CO₂)

1. Quelles émissions pour les différentes énergies fossiles ?

La quantité de CO₂ produit par la combustion d'une tep de combustible fossile dépend de sa composition chimique, plus précisément des proportions de carbone, d'hydrogène et d'oxygène de ses molécules. L'Observatoire de l'énergie a retenu les coefficients d'émission moyens présentés dans le tableau 1 (en tonnes de CO₂ par tep) pour le charbon, le pétrole et le gaz naturel.

Tableau 1: Émissions de CO₂ associées aux combustibles fossiles

| Emissions unitaires | Charbon | Pétrole | Gaz naturel |
|--|---------|---------|-------------|
| Tonne de CO ₂ /tep ¹ | 4,1 | 3,1 | 2,4 |

Ce tableau montre des différences importantes entre ces trois produits: la combustion d'une tep de gaz naturel n'émet que 58 % du CO₂ produit par une tep de charbon. Ces produits énergétiques subissent des transformations avant leur utilisation finale. Ces transformations, en particulier en électricité, sont effectuées grâce à des technologies dont les efficacités de conversion sont très variables. Le contenu en émission de gaz carbonique de l'énergie finale produite dépend donc à la fois du combustible employé et de la technologie de conversion.

1.1 Émissions lors de la production centralisée d'électricité

Le tableau 2 indique les ordres de grandeur des émissions unitaires des principales technologies de production électrique de grande puissance actuelles et en développement à partir des combustibles fossiles.

Tableau 2: Production d'électricité dans des installations de puissance² (100 à 1000 MW)

| Emissions en grammes de CO ₂ par kWh électrique (gC/kWh) | 2000 | | 2020 | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Rendement | gC/kWh | Rendement | gC/kWh |
| Production centralisée | | | | |
| Centrales à charbon pulvérisé | 42% | 845 | 45% | 790 |
| Centrales charbon à lit fluidisé | 40% | 880 | 40% | 880 |
| Centrales charbon gazéifié | 45%* | 790 | 50% | 715 |
| Centrales à fioul lourd | 40% | 660 | 40% | 660 |
| Turbine à combustion simple fioul domestique ou gaz | 40% | 510 à 660 | 45% | 460 à 585 |
| Turbines cycle combiné gaz | 55% | 365 | 60% | 345 |

Source: « Étude économique prospective de la filière nucléaire, la prospective technologique des filières non nucléaires. »³

Le kWh électrique ex gaz naturel produit donc aujourd'hui 2,3 à 2,4 fois moins de CO₂ que le kWh ex charbon.

1.2 Émissions lors de la production décentralisée d'électricité

La production d'électricité dans des unités de petite taille (de quelques dizaines de kW à quelques MW électriques), très souvent associée à une production de chaleur utilisée localement, s'est développée depuis une dizaine d'années. Le progrès technique, l'abaissement des coûts des outils de production et la valorisation locale de la chaleur justifient des perspectives de développement importantes dans les décennies qui viennent pour les différentes technologies déjà sur le marché ou en développement. On donne ci-dessous les caractéristiques de quelques-unes de ces technologies.

1 - Ces valeurs ne tiennent pas compte des émissions de GES de l'extraction et du transport des combustibles.

2 - Idem note 12.

3 - Rapport au Premier ministre – J-M Charpin, B. Dessus, R. Pellat – La Documentation française – Paris 2000.

Tableau 3: Caractéristiques de quelques technologies existantes ou en développement

| Emissions en grammes de CO2 par kWh électrique (gC/kWh) | 2000 | | 2020 | |
|---|-----------|------------------------|-----------|-----------|
| | Rendement | gC/kWh | Rendement | gC/kWh |
| Production décentralisée | | | | |
| Moteurs à gaz | 37% | 550 | 45% | 460 |
| Turbine à combustion (fioul) | 33% | 790 | 45% | 585 |
| Mini et microturbinas | 30% | 680 | 37% | 550 |
| Piles à combustibles | 40 à 50% | 400 à 730 ^d | 45 à 60% | 330 à 660 |

Les chiffres d'émission de ce tableau ne concernent que la production d'électricité. Dans le cas d'une cogénération électricité chaleur, le bilan des émissions doit prendre en compte le fait que la chaleur produite, si elle est utilisée, ne provoque pas d'émissions supplémentaires puisqu'elles sont déjà comptabilisées dans la production d'électricité. On en trouve deux exemples dans le tableau 4.

Tableau 4: Rendements caractéristiques en cogénération chaleur électricité

| Rendements | Electricité | Chaleur | Total |
|---------------|-------------|---------|-------|
| Moteur à gaz | 37% | 37% | 74% |
| Turbine à gaz | 33% | 40% | 73% |

Dans le cas du moteur à gaz par exemple, la fourniture simultanée de 1 kWh d'électricité et de 1 kWh de chaleur sera accompagnée d'une émission de 150 grammes de gaz carbonique (la même que pour la fourniture d'électricité seule).

La mesure de l'intérêt de la cogénération ne peut se faire que par comparaison avec des solutions concurrentes de production séparée d'électricité et de chaleur : production, transport et distribution d'électricité au point d'utilisation et production locale de chaleur dans une chaudière.

Si par exemple l'électricité de réseau est produite par un cycle combiné à gaz et la chaleur produite localement par une chaudière à fioul de rendement 90 %, on obtiendra le bilan présenté dans le tableau 5 pour 1 kWh d'électricité. Dans ce cas, la cogénération aura permis une économie de 150 grammes de CO2. Ce ne serait pas le cas si l'électricité était d'origine nucléaire ou hydraulique (+290 g).

Tableau 5: Bilans comparés d'une cogénération et de productions séparées de chaleur et électricité

| | Productions séparées | | Cogénération |
|-----------------------|----------------------|------------------|--------------|
| Rendement électricité | 49,5%* | | 37% |
| Rendement chaleur | | 90% | 37% |
| Production de chaleur | | | 1 kWh |
| Consommation | 2,02 kWh (gaz) | 1,11 kWh (fioul) | 2,70 (gaz) |
| Grammes carbone | 415 | 290 | 555 |
| Total carbone | 705 | | 555 |

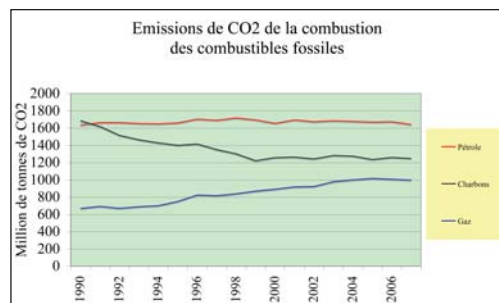
Source: Ademe. * en tenant compte des pertes du réseau de transport d'électricité.

4 - Les émissions des PAC dépendent à la fois du rendement de la pile et du rendement de production du carburant (CH4, Méthanol, hydrogène, etc).

2. Les émissions dans l'Union Européenne

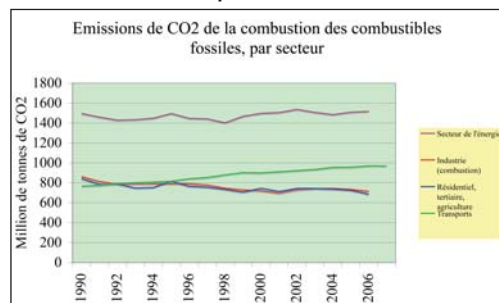
2.1 Évolution des émissions de CO2 dues à la combustion des combustibles fossiles

Par type de combustible (UE-27)



Globalement, depuis 1990, les émissions de CO2 de l'ensemble des combustibles fossiles sont restées stables. Celles du charbon ont été réduites de 33 % tandis que celles du gaz naturel augmentaient de 60 %, celles du pétrole sont restées à peu près stables.

Par secteur économique (UE-27)



C'est le secteur de l'énergie qui apparaît comme le premier responsable des émissions de CO2 depuis 1990. Il faut cependant prendre conscience que ce secteur a pour fonction d'alimenter, en particulier en électricité, les autres secteurs d'activité économique. Cette prééminence dans les émissions par rapport aux

autres secteurs est donc très largement artificielle, comme le montrent les pages suivantes. Depuis 1990, les émissions de ce secteur restent à peu près stables. Elles ont décliné de 16 % dans le résidentiel tertiaire, de 28 % dans l'industrie et sensiblement progressé en UE-27 dans les transports (+26 %).

Dans le secteur industriel, certains procédés, comme par exemple la production de ciment, sont source d'émissions de CO2. On les voit apparaître aux côtés des émissions dues à la combustion des énergies fossiles dans le tableau 6.

3. Les émissions de CO2 par pays

3.1 Émissions totales de CO2 et leurs indicateurs en 2005⁵

Le tableau 6 montre que les émissions par habitant sont très variables : dans l'UE-15, de 5,8 t/hab pour la Suède à plus de 10 t/hab en Allemagne, Belgique, Finlande et Pays-Bas, dans les nouveaux pays membres (NEM) de 3,2 t/hab à 12,5 en République tchèque et 13 en Estonie. Les intensités d'émissions par dollar de PIB varient de 0,17 pour la Suède à 0,36 pour la Grèce, de 0,19 pour la Lettonie à 0,73 pour l'Estonie.

En moyenne, les émissions par habitant des NEM sont inférieures à celle de l'UE-15 de 13 %, mais leurs intensités d'émission de CO2 du PIB sont supérieures de 71 %.

5 - Année la plus récente de déclaration des émissions pour l'ensemble des gaz à effet de serre et pour tous les pays de l'UE.

Tableau 6

| 2005 | Combustion | Process industrie | Total | Par habitant | Par PIB |
|--------------|-------------|-------------------|-------------|--------------|---------------|
| | MtCO2 | MtCO2 | MtCO2 | tCO2 | kgCO2/\$05ppa |
| Allemagne | 792,8 | 50,2 | 843 | 10,2 | 0,33 |
| Autriche | 74,3 | 6,6 | 80,9 | 9,7 | 0,27 |
| Belgique | 108,6 | 12,3 | 120,9 | 11,4 | 0,34 |
| Danemark | 46,8 | 1,6 | 48,4 | 8,9 | 0,25 |
| Espagne | 338,3 | 25,7 | 364 | 8,1 | 0,29 |
| Finlande | 52,1 | 3 | 55,1 | 10,4 | 0,3 |
| France | 376 | 21,5 | 397,5 | 6,4 | 0,20 |
| Grèce | 94,7 | 7,6 | 102,3 | 9,2 | 0,36 |
| Irlande | 43,9 | 2,6 | 46,5 | 10,8 | 0,26 |
| Italie | 443,5 | 32,8 | 476,3 | 8 | 0,28 |
| Luxembourg | 11,2 | 0,6 | 11,8 | 25,1 | 0,39 |
| Pays-Bas | 177,3 | 7,5 | 184,8 | 11,2 | 0,32 |
| Portugal | 61,4 | 6,3 | 67,7 | 6,3 | 0,31 |
| Royaume-Uni | 543,2 | 17,5 | 560,7 | 9,2 | 0,26 |
| Suède | 48,2 | 4,8 | 53 | 5,8 | 0,17 |
| UE-15 | 3205 | 201 | 3406 | 8,7 | 0,28 |
| Bulgarie | 45,3 | 4,8 | 50,1 | 6,5 | 0,63 |
| Chypre | 7,1 | 0,9 | 8 | 10,1 | 0,5 |
| Estonie | 17 | 0,5 | 17,5 | 13,1 | 0,73 |
| Hongrie | 56,2 | 4,3 | 60,5 | 6 | 0,32 |
| Lettonie | 7,2 | 0,2 | 7,4 | 3,2 | 0,19 |
| Lituanie | 13,2 | 1,6 | 14,8 | 4,4 | 0,26 |
| Malte | 2,9 | 0 | 2,9 | 7,1 | 0,36 |
| Pologne | 301,9 | 17,8 | 319,7 | 8,4 | 0,54 |
| Rép. Tchèque | 119,5 | 8,5 | 128 | 12,5 | 0,54 |
| Roumanie | 89,9 | 13,4 | 103,3 | 4,8 | 0,46 |
| Slovaquie | 38,8 | 6,1 | 44,9 | 8,3 | 0,44 |
| Slovénie | 15,6 | 0,7 | 16,3 | 8,1 | 0,33 |
| NEM | 715 | 58,8 | 773 | 7,5 | 0,48 |
| UE-27 | 3920 | 260 | 4179 | 8,5 | 0,30 |

3.2 Les émissions de CO2 en 2005 par pays et par secteur final en 2005

Le tableau 7 donne la décomposition des émissions totales de CO2 en émissions directes et indirectes dues à la combustion (celles du secteur de l'énergie correspondant aux consommations finales de chaque secteur) pour chaque secteur de consommation finale et pour chaque pays.

Dans UE-27, l'industrie avec 1 543 Mt de CO2 (39 %), arrive en tête devant les transports, 993 Mt (25 %), le résidentiel, 846 (21 %), le tertiaire 524 (13 %), l'agriculture 96 (2 %). Dans les nouveaux pays membres, les transports passent en troisième position derrière l'industrie et le résidentiel. A l'exception des transports et de l'agriculture, la part des émissions indirectes sous forme de fourniture de chaleur et surtout d'électricité est toujours importante dans les différents secteurs : 65 % de l'ensemble des émissions dans le tertiaire, 43 % dans le résidentiel, 35 % dans l'industrie, 26 % dans l'agriculture, 4 % seulement dans les transports.

Tableau 7 : Emissions directes et indirectes de CO2 des secteurs économiques des pays de UE-27

| 2005 | Industrie | Industrie | Transports | Transports |
|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| MtCO2 | directes | indirectes | directes | indirectes |
| Allemagne | 97,8 | 144,6 | 158 | 10,1 |
| Autriche | 13 | 6,6 | 21,8 | 0,8 |
| Belgique | 23 | 10,8 | 26,4 | 0,5 |
| Danemark | 5,1 | 5,8 | 13,4 | 0,2 |
| Espagne | 60 | 48,1 | 110,4 | 2,5 |
| Finlande | 9,6 | 10,2 | 13,3 | 0,2 |
| France | 63,2 | 16,4 | 133,1 | 1,5 |
| Grèce | 9,2 | 12,5 | 22,1 | 0,2 |
| Irlande | 5,1 | 4,9 | 12,7 | 0 |
| Italie | 73,5 | 64,2 | 122,1 | 4,2 |
| Luxembourg | 1,5 | 0,8 | 7,1 | 0 |
| Pays-Bas | 36,5 | 20 | 34,6 | 0,8 |
| Portugal | 8,8 | 8,9 | 19 | 0,2 |
| Royaume-Uni | 65,3 | 63,9 | 132,7 | 4,6 |
| Suède | 11,4 | 2,3 | 22,8 | 0,1 |
| UE-15 | 483 | 419,3 | 850,2 | 25,8 |
| Bulgarie | 7,5 | 8,8 | 7,3 | 0,4 |
| Chypre | 1 | 0,5 | 2,1 | 0 |
| Estonie | 1,2 | 3,9 | 2,2 | 0,2 |
| Hongrie | 6,4 | 4,4 | 11,8 | 0,5 |
| Lettonie | 1,1 | 0,4 | 2,9 | 0 |
| Lituanie | 2,3 | 0,9 | 4,1 | 0 |
| Malte | 0 | 0,5 | 0,8 | 0 |
| Pologne | 32,4 | 56,3 | 34,8 | 5,4 |
| Rép. Tchèque | 18,6 | 25,6 | 18,7 | 2,4 |
| Roumanie | 19,1 | 18,2 | 12,9 | 1,2 |
| Slovaquie | 9,5 | 4,1 | 5,2 | 0,2 |
| Slovénie | 2,7 | 3,3 | 4,4 | 0,1 |
| NEM | 101,8 | 126,8 | 107,1 | 10,4 |
| UE-27 | 584,8 | 546,1 | 957,2 | 36,3 |

* Y compris les process industriels. Le total de valeurs des émissions de ce tableau est très légèrement différent de celui du tableau précédent du fait du mode de calcul des émissions indirectes des secteurs consommateurs qui ne tient pas compte en particulier des échanges d'électricité.

| Résidentiel directes | Résidentiel indirectes | Tertiaire directes | Tertiaire indirectes | Agriculture directes | Agriculture indirectes |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 120,6 | 88,4 | 45,6 | 74,2 | 5,7 | 5,2 |
| 9,1 | 3,7 | 3,6 | 4 | 0,9 | 0,3 |
| 20,5 | 7,1 | 8,1 | 3,5 | 2,5 | 0,1 |
| 3,5 | 5,9 | 0,8 | 5,9 | 1,9 | 1,1 |
| 20,5 | 28,7 | 8,2 | 29,3 | 7,9 | 2,4 |
| 2,1 | 4,8 | 1 | 3,7 | 1,7 | 0,2 |
| 64,9 | 17,7 | 35,3 | 14,6 | 8,9 | 0,4 |
| 9,9 | 14,6 | 1,5 | 14,2 | 2,7 | 2,5 |
| 6,5 | 4,7 | 2,6 | 5,4 | 0,8 | 0,4 |
| 57,6 | 29,7 | 21,8 | 32,7 | 8,5 | 2,4 |
| 1,4 | 0,1 | 0 | 0,3 | 0 | 0 |
| 17,8 | 11,6 | 9,7 | 15 | 8,5 | 2,8 |
| 2,3 | 6,9 | 2,8 | 7,5 | 1,5 | 0,5 |
| 80,1 | 63 | 23,2 | 52,2 | 1,4 | 2,2 |
| 1,5 | 1,7 | 2,1 | 1,1 | 1 | 0,1 |
| 417,6 | 288,5 | 160,2 | 263,4 | 54 | 20,7 |
| 1,1 | 8,1 | 0,2 | 5,5 | 0,8 | 0,2 |
| 0,5 | 1,3 | 0 | 1,6 | 0,1 | 0,1 |
| 0,4 | 3 | 0,2 | 3,5 | 0,2 | 0,4 |
| 10,5 | 5,2 | 5,5 | 4,7 | 1,3 | 0,4 |
| 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,2 | 0 |
| 0,6 | 0,7 | 0,4 | 0,8 | 0,2 | 0,1 |
| 0,1 | 0,6 | 0 | 0,9 | 0 | 0 |
| 28,2 | 34,1 | 7,7 | 36,7 | 12,3 | 2 |
| 7 | 16,3 | 4,2 | 15,7 | 0,3 | 1,1 |
| 7,2 | 7,1 | 2,7 | 3,3 | 0,4 | 0,2 |
| 3,5 | 1,8 | 2,3 | 2,3 | 0,4 | 0,1 |
| 1,5 | 1,3 | 0,8 | 1,1 | 0,2 | 0 |
| 61,1 | 79,8 | 24,4 | 76,7 | 16,4 | 4,7 |
| 478,7 | 368,3 | 184,5 | 340,1 | 70,4 | 25,4 |