

# Concepts et chiffres de l'énergie : Émissions de CO<sub>2</sub>

Culture Sciences  
de l'Ingénieur

Graphes, cartes, interprétations et sources fossiles  
responsables des émissions

Delphine CHAREYRON - Hélène HORSIN MOLINARO  
Bernard MULTON

Édité le  
14/09/2020

école  
normale  
supérieure  
paris-saclay

Le dossier « Concepts et chiffres de l'énergie » est co-rédigé et co-publié avec le site [Culture Sciences Physique](#). Les données sont tirées de nombreuses références (rapports de groupes de recherche, publications dans des revues spécialisées, rapports d'instituts nationaux...).

Dans cette ressource, nous proposons au lecteur des chiffres, graphes et cartes correspondant aux émissions mondiales de gaz à effet de serre. Chaque document est sourcé afin de pouvoir retrouver les données ou les comparer à d'autres pays / périodes / unités...

## 1 – Émissions de gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre sont des gaz qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et contribuent à l'effet de serre. Un gaz ne peut absorber les rayonnements infrarouges qu'à partir de trois atomes par molécule, ou à partir de deux si ce sont deux atomes différents (ainsi l'oxygène O<sub>2</sub> et le diazote N<sub>2</sub>, qui constituent la majeure partie de l'atmosphère terrestre, ne sont pas des gaz à effet de serre).

Les principaux gaz à effet de serre sont :

- La vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O)
- Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)
- Le méthane (CH<sub>4</sub>)
- Le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O)
- L'ozone (O<sub>3</sub>)
- Les gaz fluorés (CFC, HCFC...)

L'effet de serre naturel est principalement (72%) dû à la vapeur d'eau et aux nuages. Les contributions restantes sont au trois-quarts dues au CO<sub>2</sub>, figure 1. La vapeur d'eau (dont la durée de vie dans l'atmosphère est très courte) n'est pas directement influencée par les émissions humaines. Notons que c'est l'effet de serre naturel qui nous permet de bénéficier d'une température clémente dans la troposphère, mais que son accroissement récent lié aux activités humaines est à l'origine d'un puissant dérèglement climatique qui ne fait que commencer.

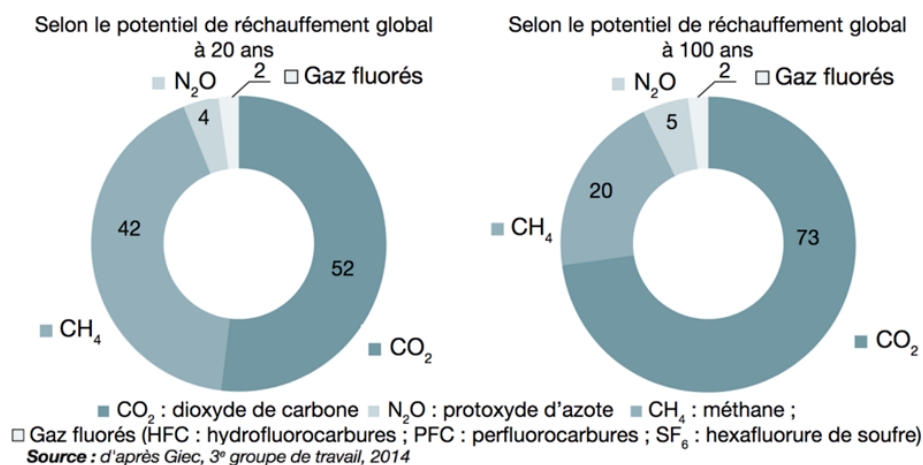


Figure 1 : Parts respectives des différents gaz à effet de serre anthropiques dans les émissions totales de l'année 2010 sur deux périodes de référence : 20 ans et 100 ans, source [6]

Le CO<sub>2</sub> est le gaz à effet de serre anthropique ayant l'impact le plus important sur le climat [5].

Pour comparer et surtout pondérer l'impact de ces gaz sur le climat, les émissions des différents gaz à effet de serre peuvent être exprimées en eqCO<sub>2</sub> (équivalent CO<sub>2</sub>). Le PRG (Potentiel de Réchauffement Global) a été défini pour convertir les émissions d'un gaz à effet de serre en eqCO<sub>2</sub>. Il s'agit de l'indicateur classique retenu dans la plupart des rapports/traités internationaux [5]. Le PRG est le rapport entre l'énergie renvoyée vers le sol en 100 ans par 1 kg de gaz et celle que renverrait 1 kg de CO<sub>2</sub>. Il dépend des concentrations et des durées de vie des gaz. Par exemple, sur une durée de référence de 100 ans, 1 kg de méthane réchauffera autant l'atmosphère que 28 à 30 kg de CO<sub>2</sub> au cours du siècle qui suit leur émission. Mais, sur 20 ans, ce facteur monte à 62, conférant au méthane une contribution beaucoup plus significative comme le montre la figure 1.

Si le CO<sub>2</sub> est le gaz qui a le plus petit potentiel de réchauffement global, il est celui qui a contribué le plus au réchauffement climatique depuis 1750, du fait des importantes quantités émises [6] par la combustion des matières organiques fossiles (charbons, pétrole et gaz naturel), mais également par celle du bois non entretenu durablement (déforestation). Dans cette ressource, nous nous limiterons ainsi à l'étude des émissions de CO<sub>2</sub>.

### 1.1 - Émissions de CO<sub>2</sub> par pays

Le site *Global Carbon Atlas* [4] permet de retrouver depuis 1960 jusqu'à aujourd'hui les émissions de CO<sub>2</sub> mondiales selon différentes entrées.

Dans un premier temps, on présente le classement des émissions intérieures de CO<sub>2</sub> par pays. C'est notamment l'approche adoptée par la Convention-cadre des Nations-Unies sur le changement climatique et le Protocole de Kyoto.

On observe, pour 2018, que la Chine se place première, loin devant les États-Unis, l'Europe des 28, l'Inde et la Russie, figure 2.

À titre informatif, la France se place au 20<sup>ème</sup> rang avec 338 MtCO<sub>2</sub> émises.

#### Territorial (MtCO<sub>2</sub>)

Rang	Pays	MtCO <sub>2</sub>
1	Chine	10065
2	États-Unis	5416
3	EU28	3445
4	Inde	2654
5	Fédération de Russie	1711
6	Japon	1162
7	Iran	720
8	Corée du Sud	659
9	Arabie Saoudite	621
10	Indonésie	615
11	Canada	568
12	Mexique	477
13	Afrique du Sud	468
14	Brésil	457
15	Turquie	428
16	Australie	420

Figure 2 : Émissions de CO<sub>2</sub> par pays (Territorial emission) en 2018, source [4]  
Les chiffres sont donnés en mégatonne de dioxyde de carbone

Dans ce classement les chiffres tiennent compte des émissions émises par territoire correspondant aux sources suivantes : pétrole, gaz, charbon et ciment.

Cette visualisation, bien qu'intéressante, apporte uniquement un éclairage selon le point de vue du pays. Une autre vision des choses se dessine si l'on se penche sur les émissions par habitant de ces mêmes états.

## 1.2 - Émissions de CO<sub>2</sub> par habitant

Reprenons les mêmes données mais cette fois affichons les émissions de CO<sub>2</sub> par pays rapporté au nombre d'habitants, figure 3. Cette approche permet de mieux mesurer les efforts à fournir par les habitants de chaque nation, même si au sein de chacune, il y a également de fortes dispersions liées aux inégalités sociales.

### Territorial Per capita (tCO<sub>2</sub>/pers)

Rang	Pays	tCO <sub>2</sub> /pers
1	Qatar	38
2	Curaçao	34
3	Trinité-et-Tobago	31
4	Koweït	24
5	Émirats arabes unis	21
6	Nouvelle-Calédonie	21
7	Bahreïn	20
8	Brunei	19
9	Arabie Saoudite	18
10	Kazakhstan	18
11	Australie	17
12	États-Unis	17
13	Luxembourg	16
14	Canada	15
15	Estonie	15
16	Oman	14
17	Turkménistan	14
23	Fédération de Russie	12
39	Chine	7.0
42	EU28	6.7
130	Inde	2.0

Figure 3 : Émissions de CO<sub>2</sub> par habitant (per capita) en 2018, source [4]

On constate que la tête du classement n'est plus du tout la même !

La Russie, la Chine, l'Union Européenne et l'Inde ne se retrouvent plus dans les premiers pays émetteurs. L'Inde se retrouve même très loin. La France se place 69<sup>ème</sup> avec 5,2 tCO<sub>2</sub> émises par habitant en 2018.

## 1.3 - Évolution des émissions de CO<sub>2</sub>

Maintenant, regardons avec une perspective qui rend compte des décisions politiques et des développements économiques des pays. Cette fois, avec les mêmes données, on peut regarder les émissions sur les dernières décennies.

Reprenons les principaux pays pour afficher les émissions de CO<sub>2</sub> depuis 1960.

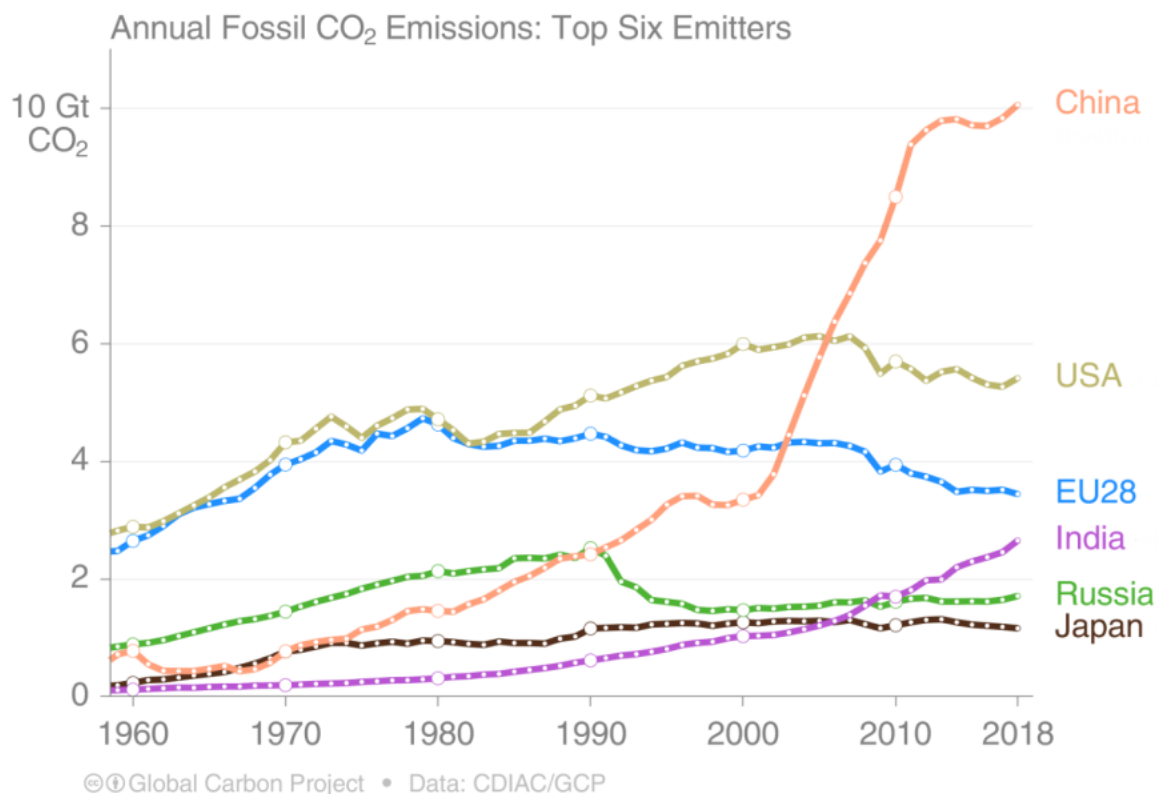


Figure 4 : Évolution des émissions de CO<sub>2</sub> entre 1960 et 2018, source [2]

De la même manière que nous l'avons fait plus haut, nous pouvons comparer les évolutions temporelles des émissions de CO<sub>2</sub> par continent (figure 5) et par habitant par continent (figure 6).

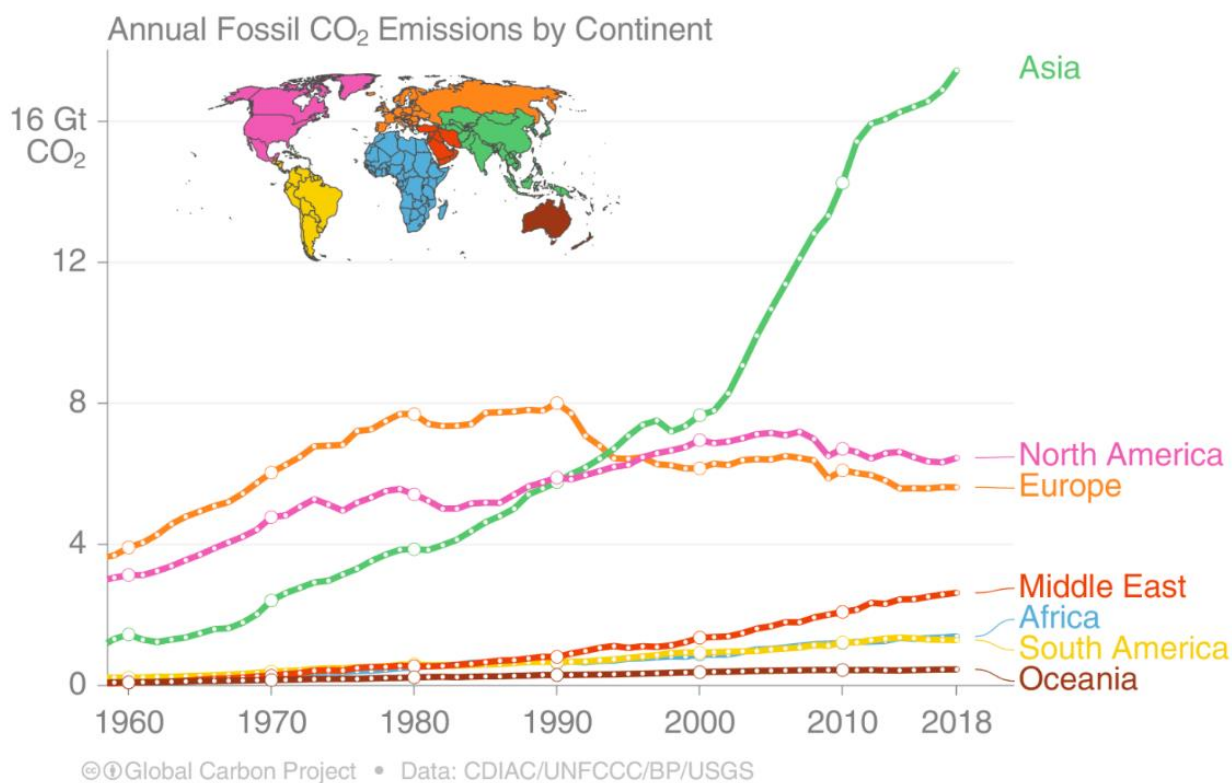


Figure 5 : Évolution des émissions de CO<sub>2</sub> par continent, source [8]

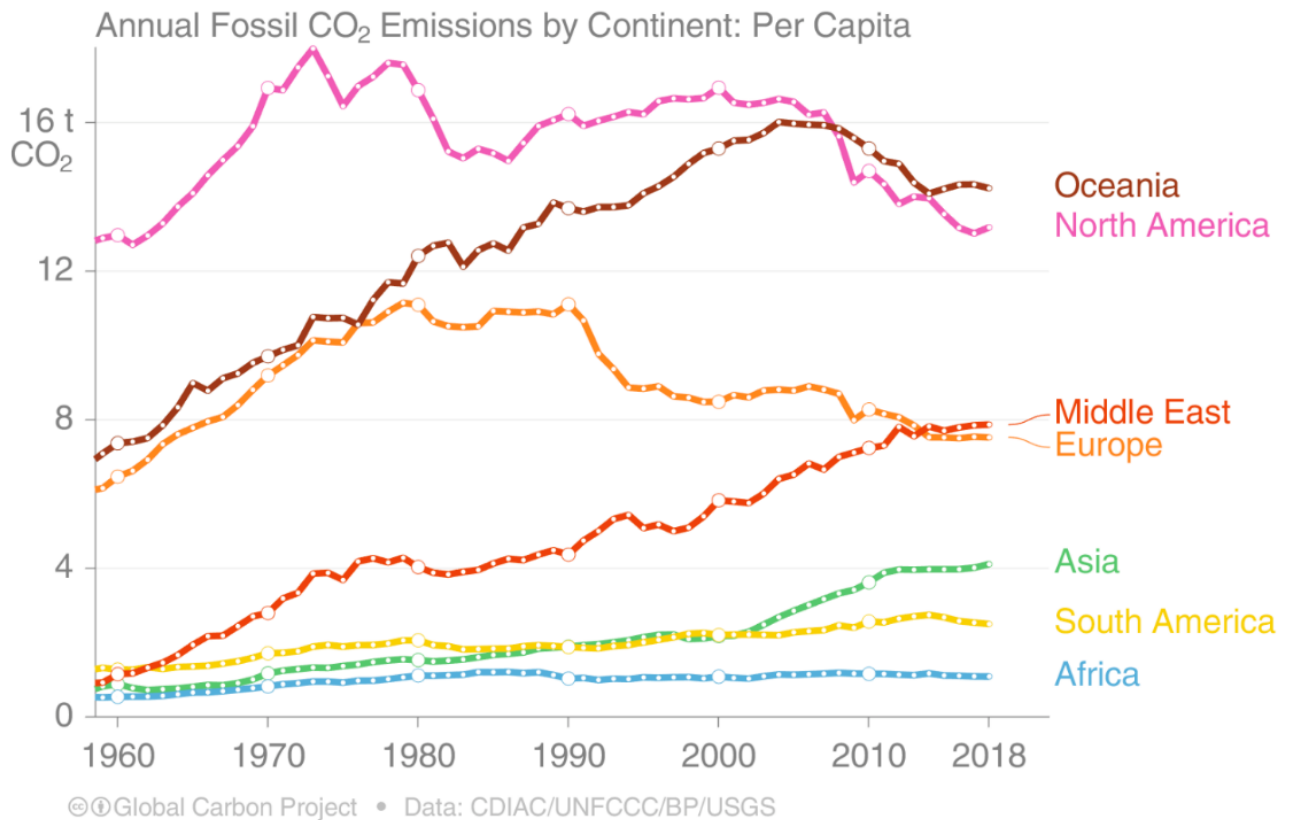


Figure 6 : Évolution des émissions de CO<sub>2</sub> par habitant par continent, source [8]

On retrouve des valeurs et des tendances très différentes selon que l'on regarde globalement par continent ou que l'on ramène ces émissions aux nombres d'habitants de chaque continent. Ce biais est particulièrement marqué pour l'Océanie et l'Asie. La place de l'Amérique du nord n'est pas modifiée.

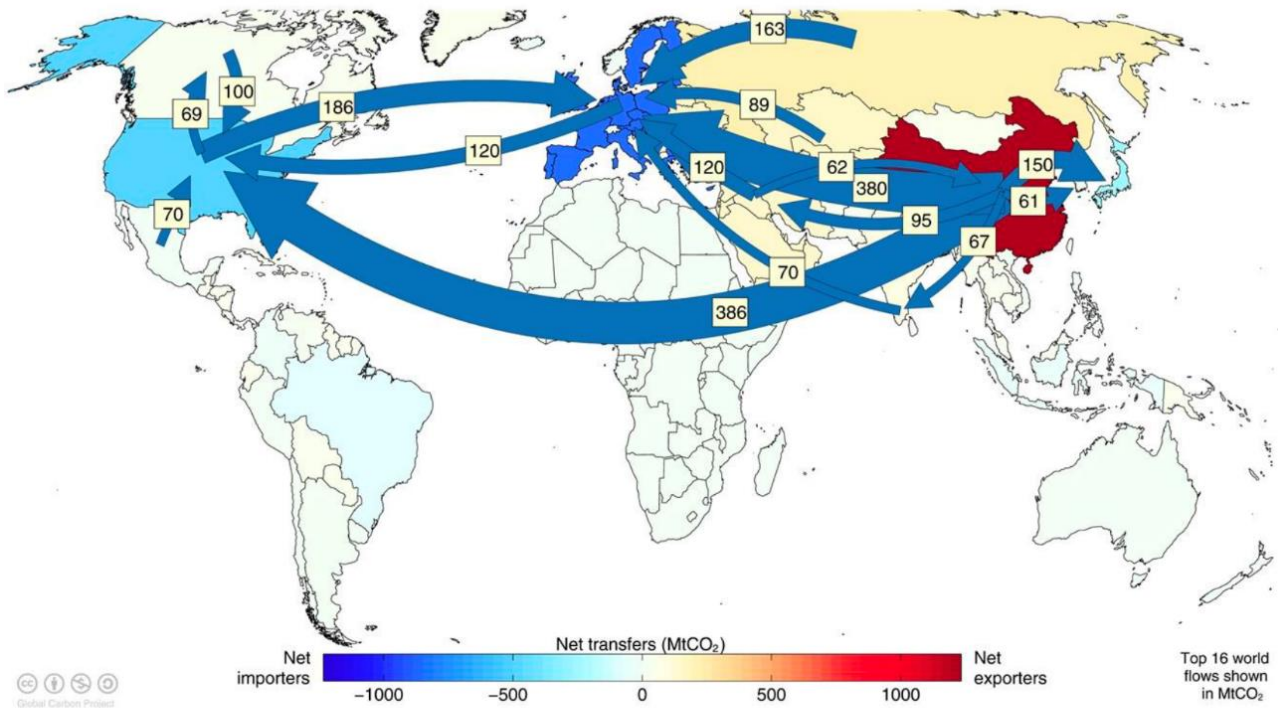
#### 1.4 - Production et consommation - quid du bilan des émissions de CO<sub>2</sub>

Encore une fois, pour interpréter les données, il faut aussi savoir prendre en compte les contributions « réelles » par pays (ou continents) aux émissions de CO<sub>2</sub>.

En effet, 28% des émissions de CO<sub>2</sub> circulent autour de la planète via les échanges commerciaux. C'est l'un des effets induits du commerce international actuel [7].

La fabrication de produits intermédiaires et finaux, consommés dans les pays industrialisés largement importateurs, entraîne des émissions de gaz à effet de serre. Une partie de ces émissions sont générées en dehors du territoire de consommation et échappe aujourd'hui à sa comptabilisation nationale. En effet, les chiffres que nous avons vus précédemment comptabilisent les émissions sur la base du territoire où elles sont générées, et non pas sur le territoire de consommation des produits dont la fabrication a entraîné ces émissions.

La carte, figure 7, présente les flux de CO<sub>2</sub> des pays émetteurs (producteurs de bien ou services) vers les pays consommateurs.



Values for 2011. EU is treated as one region. Units: MtCO<sub>2</sub>  
 Source: [Peters et al 2012](#)

Figure 7 : Représentation des flux de marchandises à travers le monde, convertis en mégatonnes de dioxyde de carbone, source [8]

Les exportateurs nets d'émissions sont représentés en bleu et les importateurs nets d'émissions, en rouge. Les flux sont représentés par des flèches dont l'épaisseur correspond à l'ampleur des transferts d'émissions. La Chine et les Etats-Unis concentrent les flux d'émissions les plus importants.

Pour analyser les émissions mondiales de gaz à effet de serre, il est donc utile de regarder où sont consommés les produits et où se trouve l'origine des émissions afin de pouvoir réaliser un bilan « au plus juste » [7].

### 1.5 - Indicateur de consommation énergétique - le CO<sub>2</sub> : un indicateur parmi d'autres

Nous tenons ici à rappeler que la mesure des émissions de CO<sub>2</sub> n'est pas le seul indicateur de consommation énergétique d'un pays. Outre les énergies renouvelables, le nucléaire émet aussi très peu de CO<sub>2</sub> mais pose d'autres questions pour l'homme et l'environnement. Les émissions radioactives, y compris de faible activité, sont nocives.

Par exemple, en France, fin 2018, le volume de déchets nucléaires stockés ou destinés à être pris en charge par l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (ANDRA) était de 1,64 million de m<sup>3</sup> [9].

La France se place au second rang parmi les 10 pays produisant le plus d'énergie nucléaire [10] dans le monde, figures 8 et 9. Et si l'on ramène au nombre d'habitants, elle occupe, de très loin, la première place.



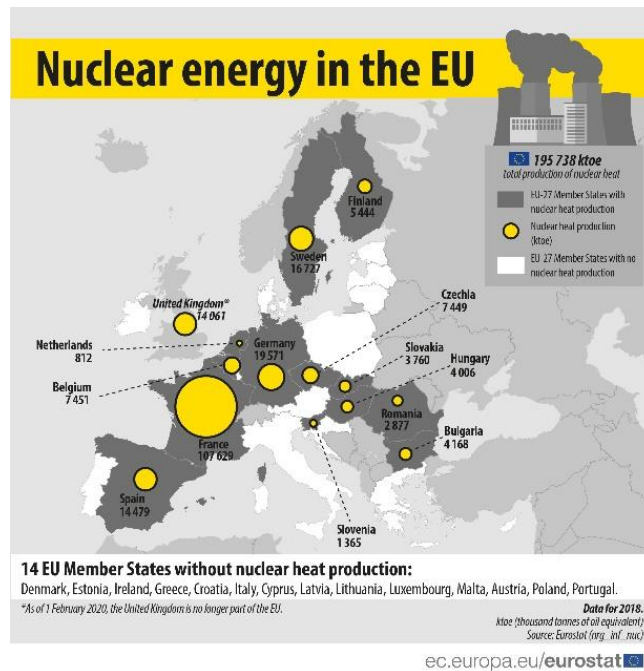


Figure 8 : Production d'énergie nucléaire en Europe en 2018, source [10]

Table A12. Nuclear power reactors in operation and under construction in the world (as of 31 December 2018)<sup>a</sup>

Country	Reactors in operation		Reactors under construction		Nuclear electricity supplied in 2018		Total operating experience through 2018	
	No. of units	Total MW(e)	No. of units	Total MW(e)	TW-h	% of total	Years	Months
United States of America	98	99 061	2	2 234	808.0	19.3	4 408	6
France	58	63 130	1	1 630	395.9	71.7	2 222	4
China	46	42 858	11	10 982	277.1	4.2	322	11
Japan	38	36 476	2	2 653	49.3	6.2	1 863	2
Russian Federation	36	27 252	6	4 573	191.3	17.9	1 298	6
Korea, Republic of	24	22 444	5	6 700	127.1	23.7	547	5
Canada	19	13 554			94.4	14.9	750	6
Ukraine	15	13 107	2	2 070	79.5	53.0	503	6
Germany	7	9 515			71.9	11.7	839	7
United Kingdom	15	8 923	1	1 630	59.1	17.7	1 604	7

Figure 9 : Classement des 10 premiers pays producteurs d'énergie nucléaire, source [11]

L'unité utilisée ici **ktoe (kilo tonnes of oil equivalent)** représente des milliers de tonnes équivalent pétrole (ktep, en français). On rappelle que  $1 \text{ tep} = 4,18 \cdot 10^{10} \text{ J}$ . On peut retrouver les définitions des unités d'énergie et de puissance dans la ressource « [Concepts et chiffres de l'énergie : mémento des unités](#) » [13].

L'unité « tep » correspond à l'énergie de produite par combustion d'une tonne de pétrole brut standard. Un baril de pétrole (159 litres) fournit environ 0,14 tep. La relation entre la quantité de combustible et l'énergie produite dépend des caractéristiques du carburant. Par exemple, la combustion d'une tonne de bois de chauffage fournit une quantité d'énergie comprise entre 0,3 et 0,5 tep.

## 2 – Émissions de CO<sub>2</sub> par type d'énergies fossiles

### 2.1 - Bilan mondial

Il est maintenant intéressant de regarder les types d'énergies fossiles responsables des émissions de CO<sub>2</sub>, d'abord au niveau mondial, figure 10.

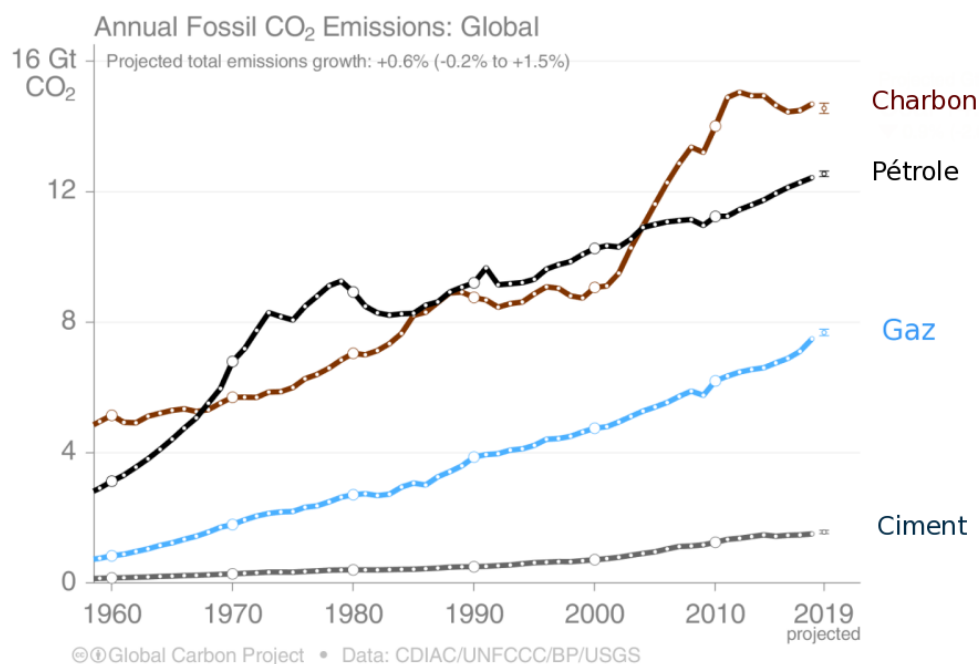


Figure 10 : Émission de CO<sub>2</sub> par source d'énergie fossile, source [8]

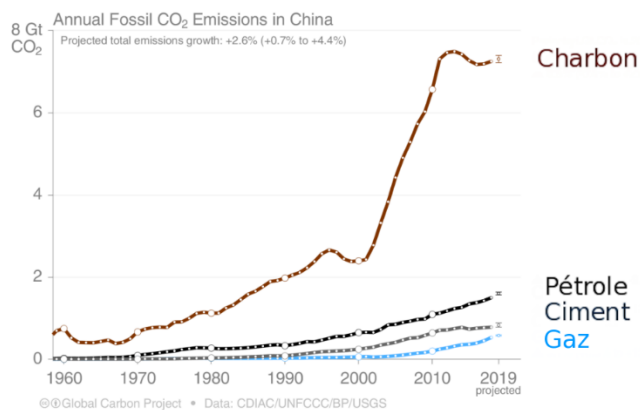
Un premier constat est la croissance continue de l'utilisation de chacune des énergies fossiles depuis les années 60.

Le charbon et le pétrole sont clairement en tête.

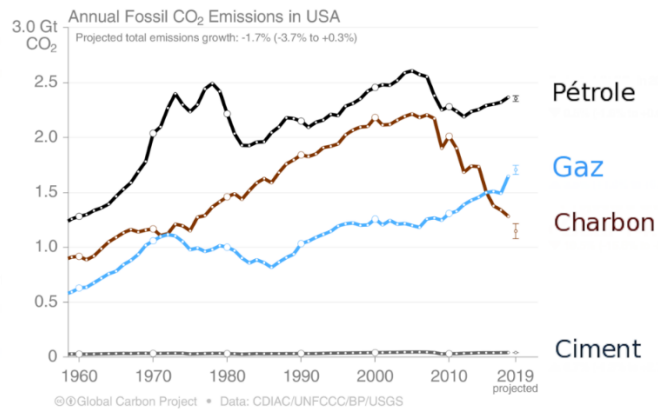
### 2.2 - Émissions de CO<sub>2</sub> par type d'énergies fossiles par pays

Il est aussi intéressant de regarder les types d'énergies fossiles responsables des émissions de CO<sub>2</sub> par pays, figure 11. Les calculs sont effectués sur la base de la seule phase de combustion, en omettant les fuites de méthane (autre gaz à effet de serre, beaucoup plus « puissant » que le CO<sub>2</sub>) qui se produisent lors des phases d'extraction, voire au-delà et, dans le cas du gaz naturel, durant le transport et la distribution.

Attention, les échelles sont différentes sur les graphiques suivants.

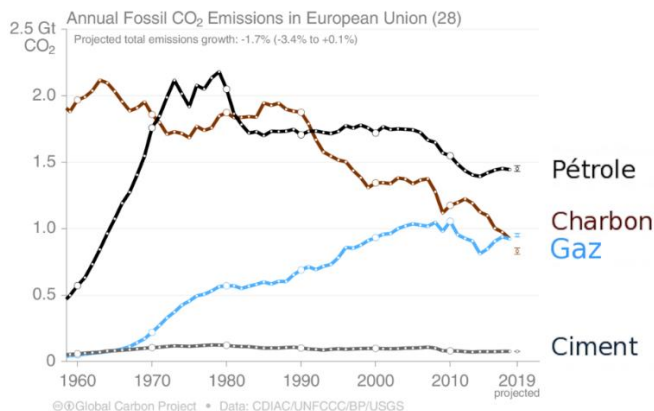


a) Chine

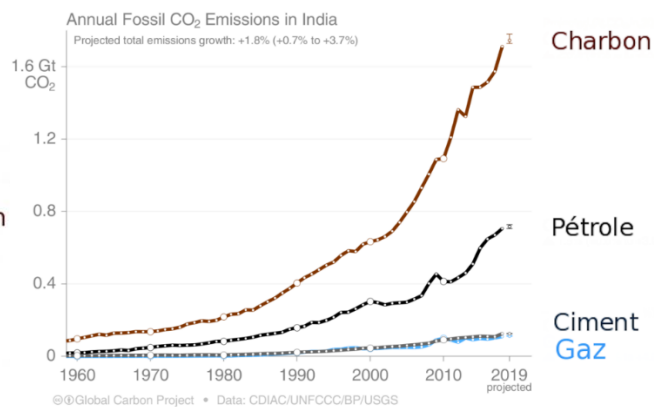


b) États-Unis





c) Union Européenne



d) Inde

Figure 11 : Émissions de CO<sub>2</sub> par type d'énergies fossiles par pays, source [8]

À l'aide de la figure 11a et de la figure 4, on comprend que les fortes émissions de CO<sub>2</sub> de la Chine sont amplement liées à la consommation de charbon et plus particulièrement à sa production d'électricité aux deux tiers à partir de charbon.

Pour les États-Unis (figure 11b), si l'on regarde la courbe d'émissions liées au pétrole, on retrouve les baisses dues au premier choc pétrolier (1973), au deuxième choc pétrolier (1978-1981) puis à la crise financière (2007-2008). Depuis 2007, les émissions dues au charbon baissent, remplacées par le gaz (essentiellement de schistes), les énergies solaires et éoliennes.

Les émissions européennes déclinent lentement depuis 2008 mais les émissions dues au pétrole et au gaz connaissent un rebond dans les 3 dernières années.

L'Inde montre des émissions dont la croissance est impressionnante pour le charbon. Les niveaux de CO<sub>2</sub> émis se rapprochent fortement de ceux de l'Europe à 28 en 2018.

### Dossier Concepts et Chiffres de l'Énergie

Retrouvez toutes les ressources du dossier « [Concepts et Chiffres de l'Énergie](#) »

Retrouvez « Concepts et chiffres de l'énergie » sur le site [Culture Sciences Physique](#)

## Références :

[1]: Décrypter l'énergie, Dérèglement climatique : Les Américains et les Chinois sont-ils les seuls responsables ? avril 2020 <https://decrypterlenergie.org/dereglement-climatique-les-americains-et-les-chinois-sont-ils-les-seuls-responsables>

[2]: Robbie Andrew, Center for International Climate Research, Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies, [http://folk.uio.no/roberan/learnmore/more\\_slow\\_policies.shtml](http://folk.uio.no/roberan/learnmore/more_slow_policies.shtml)

[3]: Global Carbon Budget, décembre 2019, <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/>

[4]: Global Carbon Atlas, 2019, <http://www.globalcarbonatlas.org/fr/content/welcome-carbon-atlas>

[5]: ADEME, Les différents gaz à effet de serres, [https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD\\_DOC\\_FR/index.htm?prg.htm](https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?prg.htm)

- [6]: Ministère de la transition écologique et solidaire & Institute for climate economics, Data Lab, chiffres clés du climat, 2019, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-05/datalab-46-chiffres-cles-du-climat-edition-2019-novembre2018.pdf>
- [7]: Réseau Action Climat France, Les émissions importées : le passager clandestin du commerce mondial, mai 2013, <https://reseauactionclimat.org/publications/emissions-importees-passager-clandestin-commerce-mondial/>
- [8]: Rapport 2019 Global Carbon Budget, <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/images/articles/chiffres-energie-monde/global-carbon-budget-2019.pdf>
- [9]: Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs - Inventaire national des matières et déchets radioactifs, Les essentiels : rapport 2020 de l'inventaire national des matières et déchets radioactifs, [https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/andra-maj\\_essentiels\\_2020-web.pdf](https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/andra-maj_essentiels_2020-web.pdf)
- [10]: Eurostat - Statistics Explained, Nuclear heat production, 2018, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Nuclear\\_heat\\_production\\_2018data-01.jpg#filelinks](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Nuclear_heat_production_2018data-01.jpg#filelinks)
- [11]: Rapport 2018 de l'IAEA (International Atomic Energy Agency), IAEA Annual report 2018, tableau p145, <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/reports/2018/gc63-5.pdf>
- [12]: Changements climatiques 2007, Rapport du GIEC, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_fr.pdf)
- [13]: Concepts et chiffres de l'énergie : mémento des unités, D. Chareyron, H. Horsin Molinaro, B. Multon, [https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources\\_pedagogiques/les-chiffres-de-lenergie-memento-des-unites](https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/les-chiffres-de-lenergie-memento-des-unites)

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>