# Les mille et une sources du dioxyde de carbone

written by Aurore Richel




**Pas le temps de tout lire ? Un résumé flash en cliquant sur ce lien ou en scannant le QR code suivant avec votre smartphone.**

SCAN ME

***Le dioxyde de carbone est une molécule omniprésente dans les débats actuels en lien avec l'environnement et le réchauffement climatique. Associé aux pratiques industrielles intensives, ou aux émissions dans le secteur du transport aérien, le dioxyde de carbone fait l'objet de multiples préoccupations et ses niveaux dans l'atmosphère sont relevés au jour le jour depuis des décennies.***

***Gaz à effet de serre, responsable d'une hausse des températures sur notre planète, le dioxyde de carbone est pointé du doigt pour ses multiples effets délétères.***

***Néanmoins, connaissez-vous réellement le dioxyde de carbone ? Savez-vous quel secteur industriel est le plus contributif en matière d'émissions de dioxyde de carbone ? Est-ce que le dioxyde de carbone est utile pour la vie ou pour toute autre application de notre quotidien ? Comment est produit le dioxyde de carbone ? Autant de questions auxquelles nous allons répondre dans ce dossier. ****

*Cet article constitue la première partie d'un cycle de

contributions sur le dioxyde de carbone. Il permet de mieux comprendre le $CO_2$ et ses origines (sans pour autant être exhaustif). Les données ont été collectées dans la littérature scientifique en mai 2021. Les prochains articles traiteront de manière détaillée des modes de capture, et/ou d'usage de $CO_2$ pour la formulation de nouveaux produits ou carburants.

**Prélude**

Le **dioxyde de carbone** (symbolisé **$CO_2$**) est une molécule composée d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène. C'est une molécule qui se présente sous forme gazeuse à température ambiante et pression atmosphérique. On lui connait d'autres noms, tels que par exemple, gaz carbonique ou même glace carbonique quand le $CO_2$ se retrouve comprimé sous forme solide.

Le $CO_2$ est une molécule linéaire, très peu réactionnelle. Cela veut dire qu'en l'état, elle réagit très peu avec d'autres composés qu'ils soient organiques ou minéraux (hormis quelques exceptions que nous décrirons plus loin dans ce dossier). Le $CO_2$ se sublime à -78,5°C (à pression normale), c'est-à-dire qu'il passe directement d'une phase solide à une phase gazeuse sans passer par la phase liquide. Cet avantage lui permet d'être utilisé comme **agent de refroidissement** (pour le stockage et/ou le transport à basse température) dans divers secteurs comme l'agroalimentaire, le domaine pharmaceutique ou médical. Le dioxyde de carbone sous forme solide est, par exemple, utilisé pour **conserver certains de nos vaccins contre le SARS-CoV-2** à très basses températures, difficilement atteignables avec des congélateurs conventionnels.

Le dioxyde de carbone est peu soluble dans l'eau. Sa solubilité atteint 1,688 g de $CO_2$ par litre d'eau à 20°C. Petite particularité, cette **solubilité diminue avec l'augmentation de la température**. Alors que celle-ci est de 3,346 g de $CO_2$ par litre d'eau à 0°C, cette solubilité chute à 0,973 g de $CO_2$ par litre d'eau à 40°C. Cela signifie donc que le fait de chauffer de l'eau, ou même de la porter à ébullition, permet de diminuer ou d'éliminer la présence de $CO_2$ qui y était dissout.

Par contre, le dioxyde de carbone est **fortement soluble dans l'eau**

**dans des conditions basiques** où il peut se présenter sous la forme (entre autres) de carbonates très solubles. Ainsi, mis en solution dans une solution de soude, le dioxyde de carbone se transforme en carbonate de sodium dont la solubilité atteint 300 g par litre d'eau à 20°C soit près de 180 fois la solubilité du dioxyde de carbone dans l'eau sans addition d'une base. On l'aura compris, si on souhaite fortement solubiliser du dioxyde de carbone dans l'eau, **en vue peut-être de le « capturer »**, il faut se placer à un pH basique.

Cette particularité de solubilité du dioxyde de carbone dans l'eau est connue dans notre quotidien, notamment dans **l'industrie des boissons** pour la production d'eaux gazeuses et de sodas. Cette application n'est pas récente, mais date de la seconde moitié du 18$^{ème}$ siècle. Un chimiste anglais a, en effet, eu l'idée de verser de l'acide sulfurique sur de la craie, générant ainsi du dioxyde de carbone qu'il mit ensuite au contact de l'eau dans un récipient clos. Ce chimiste venait d'inventer l'eau gazeuse, procédé repris fin du 18$^{ème}$ siècle par J. Schweppe pour lancer une  production du premier soda pétillant ('soda water'), connu sous le nom commercial de Schweppes.[1]

Outre son utilisation dans le domaine de l'agroalimentaire et de la conservation à basses températures, le $CO_2$ trouve aussi diverses applications dans le domaine chirurgical (procédures endoscopiques, entre autres) ou dans des domaines techniques tels que la récupération assistée du pétrole. Le $CO_2$ est donc une molécule qui présente un marché, dont l'alimentation et les boissons, et l'industrie médicale devraient être les principaux facteurs de croissance dans les 5 prochaines années. Ce **marché mondial** du dioxyde de carbone a été évalué à 7,66 milliards de dollars US en 2019 et **devrait se développer** à un TCAC basé sur les revenus de 3,4% au cours de la période 2020-2027.[2]

Alors que le $CO_2$ est décrié, pointé du doigt pour ses effets nocifs sur l'environnement, il est cependant à noter que **la demande en $CO_2$ ne cesse d'augmenter**, ce qui devrait **stimuler la croissance du marché** dans les années à venir.

**Le dioxyde de carbone : une molécule « naturelle » ?**

Le dioxyde de carbone est une molécule produite par diverses sources, notamment naturelles. Le $CO_2$ est émis par les espèces vivantes, humaines ou animales, lors des **phases de respiration**. Un individu adulte expire ainsi un air chargé à près de 4% en $CO_2$, ce qui représente environ en toute première approximation entre 700 et 900 g de $CO_2$ par individu sur une moyenne journalière.[3] Le dioxyde de carbone peut aussi être généré dans la Nature par des phénomènes d'incendies ou bien par des phénomènes d'**éruptions volcaniques**. Le magazine *Forbes* a ainsi publié en 2017 que l'Etna, à lui seul, ajoutait environ 16.000 tonnes de $CO_2$ à l'atmosphère par jour, soit environ 5,8 millions de tonnes par an.[4]

Cette estimation peut sembler dérisoire, mais on parle ici d'un seul volcan précis. Il est aussi intéressant de noter que les volcans actifs, en éruption, ne sont pas les seuls à émettre du dioxyde de carbone. Les volcans inactifs, autour des arcs et des zones de rift, émettent également du $CO_2$ de manière continue, de même que les cheminées hydrothermales situées le long des dorsales médio-océaniques. Au total, l'émission « naturelle » de dioxyde de carbone par ces structures géologiques représente (en première approximation et par extrapolation) 645 millions de tonnes de $CO_2$ par an.

Si les médias et les réseaux sociaux relaient souvent des messages visant à « nous débarrasser du dioxyde de carbone[5] », il est important de souligner que **cette molécule est essentielle à la vie**. Le $CO_2$ est en effet utilisé par certains organismes vivants, dont les plantes, dans le mécanisme de **photosynthèse**. Ce phénomène permet à ces organismes de synthétiser leurs biomolécules constitutives (servant d'éléments de soutien et de réserve, entre autres) à partir de dioxyde de carbone et d'eau à l'aide d'un apport d'énergie lumineuse (énergie solaire) (**Figure 1**). Le dioxyde de carbone est un élément fondamental du cycle du carbone et est donc essentiel à certaines formes de vie terrestre.

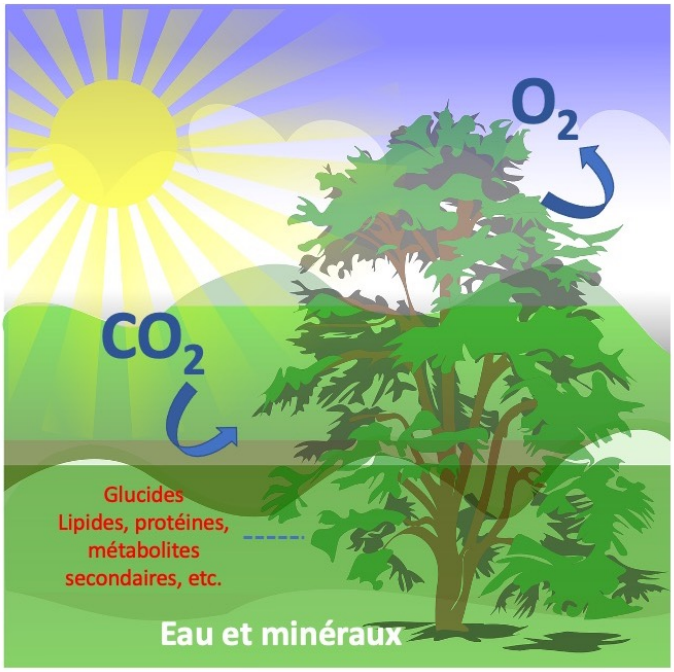



**Figure 1**. Illustration schématisée du rôle du $CO_2$ dans le processus de photosynthèse.

L'air atmosphérique que nous respirons **en extérieur** est assez faiblement chargé en dioxyde de carbone. L'air ambiant est en effet majoritairement composé d'azote ($N_2$, 78%) et d'oxygène ($O_2$, 21%) ; le dioxyde de carbone culminant à 0,04% (**Figure 2**). La teneur en dioxyde de carbone dans l'atmosphère fait cependant l'objet d'une surveillance permanente. En avril 2021, le taux de $CO_2$ dans l'atmosphère était mesuré à **419,05 ppm** (c'est-à-dire 0,0419 % de $CO_2$).[6]

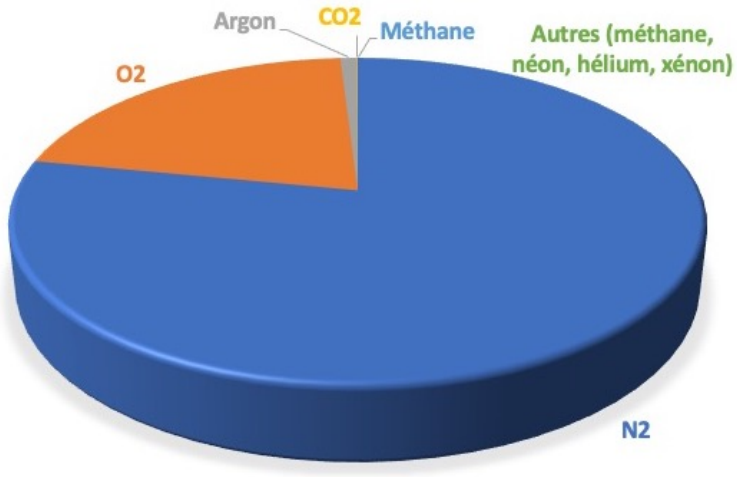



**Figure 2**. Composition des gaz constitutifs de l'atmosphère terrestre (déterminée pour de l'air sec, au voisinage du sol).

Le dioxyde de carbone peut aussi être utilisé comme **un des indicateurs du confinement de l'air**.[7] En Belgique, dans les bâtiments publics, les niveaux de $CO_2$ dans l'air ambiant ne doivent pas dépasser 1000 ppm tel qu'imposé par la réglementation PEB.[8] La revue *The Lancet* publiait d'ailleurs en avril 2021 des liens entre les niveaux de dioxyde de carbone dans des intérieurs et la transmission du virus SARS-CoV-2 en mettant en évidence l'importance de la mise en place d'un système d'aération, de ventilation et de filtration de l'air.[9] Ces résultats ont mis en évidence la nécessité de monitorer par des détecteurs spécifiques les niveaux de dioxyde de carbone comme **outil de prévention de la transmission du SARS-CoV-2**.

**Le $CO_2$ : un gaz à effet de serre**

Outre sa surveillance dans les lieux clos, les taux de dioxyde de carbone dans l'environnement font l'objet d'intenses recherches et stratégies. La raison est que le $CO_2$ fait partie des **gaz à effet de serre**, c'est-à-dire des composés gazeux aptes à absorber et émettre de l'énergie radiante dans le domaine de l'infrarouge thermique.[10] Ces gaz à effet de serre, et par conséquent le dioxyde de carbone, sont des causes du réchauffement climatique.

Le $CO_2$ participe également à l'acidification des plans aquatiques, dont les océans. L'eau de mer étant légèrement basique, elle solubilise donc le dioxyde de carbone ce qui entraine une diminution progressive du pH.[11] Cette variation de pH a ainsi un impact délétère sur les **écosystèmes marins** parmi lesquels les effets sur les **récifs coralliens** restent les plus médiatisés.

Le dioxyde de carbone est, toutes proportions gardées, le plus grand contributeur aux gaz à effet de serre, représentant environ trois quarts (74,4 %) des émissions totales. Le méthane ($CH_4$) contribue pour 17,3 %, le protoxyde d'azote ($N_2O$) pour 6,2 % et les autres émissions de composés fluorés (HFC_ hydrofluorocarbures, CFC_ chlorofluorocarbures, et $SF_6$_hexafluorure de soufre) pour 2,1% (données 2016, Climate Watch Portal[12]) (**Figure 3**).[13]




**Figure 3**. Visualisation de la contribution du $CO_2$ aux émissions totales de gaz à effet de serre.

S'il est produit via divers phénomènes naturels (respiration, activités géologiques, notamment), le dioxyde de carbone est aussi généré par les activités et interventions directes de l'Homme. C'est ce qu'on désigne sous le terme d'**activités anthropiques**. Les activités industrielles sont les plus contributives en terme d'émissions de $CO_2$ dans l'atmosphère. On y retrouve les activités de **combustion**, les **procédés industriels** de production et le **traitement du gaz naturel**.[14]

Se basant sur des données quantifiées, il apparait que les activités humaines ont augmenté de 48% les concentrations atmosphériques en $CO_2$ par rapport aux niveaux préindustriels constatés en 1850 (**Figure 4**).[15] Ces modifications sont plus significatives que celles observées de façon naturelle sur une période de 20.000 ans (du Dernier Maximum Glaciaire[16] à 1850) où les taux de $CO_2$ atmosphérique étaient passés de 185 à 280 ppm.

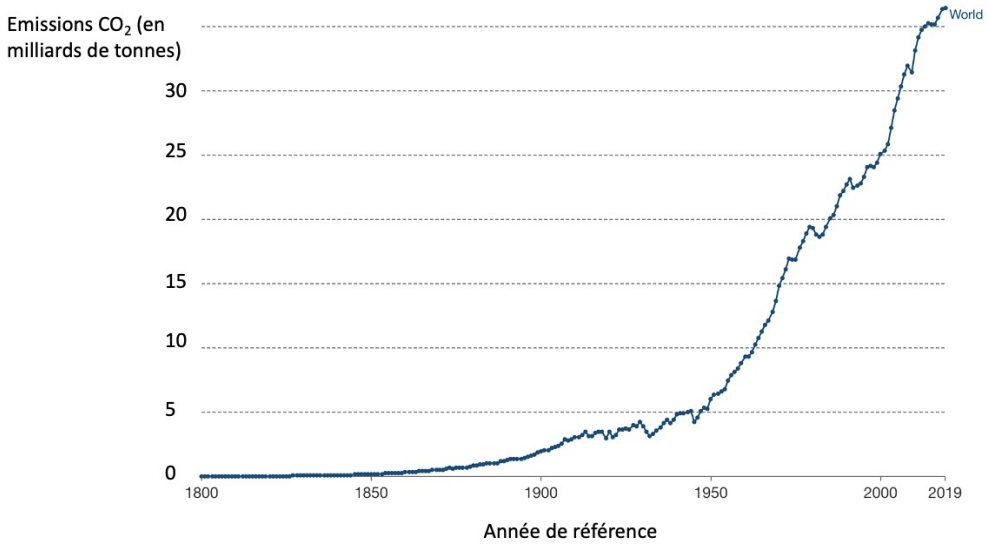



**Figure 4.** Émissions de $CO_2$ atmosphérique (estimées sur base annuelle

depuis 1850) relatives à certaines activités anthropiques dont les usages pour l'énergie (combustion) et certains procédés industriels.[17]

**Un lien entre émissions de $CO_2$ et pauvreté ?**

Ces émissions se répartissent de manière différente sur base géographique. L'Amérique du Nord, l'Océanie, l'Europe et l'Amérique latine ont des **émissions disproportionnées par rapport à leur population**. L'Amérique du Nord émet en effet près de 18% du $CO_2$ alors qu'elle n'héberge que 5% de la population mondiale. A l'inverse, l'Afrique qui abrite plus de 16% de la population mondiale ne produit que 4% des émissions globales en $CO_2$. Par habitant cela signifie que les émissions moyennes de l'Amérique du Nord sont plus de 17 fois supérieures à celles de l'Afrique (**Figure 5**). Cette disparité des émissions mondiales de dioxyde de carbone est au cœur de la raison pour laquelle l'accord sur le changement climatique est si controversé. En effet, si on rapporte les émissions de $CO_2$ non plus par habitant mais par revenu, nous pourrions constater que **les pays les plus riches sont ceux qui émettent le plus de $CO_2$**. Ce constat est encore plus marqué si nous calculions cette répartition en fonction du revenu des individus, plutôt que des pays. Les plus riches de la population mondiale sont responsables d'une part encore plus importante des émissions mondiales de dioxyde de carbone.[18] Il est donc important pour nos pouvoirs publics et politiques de soutenir des actions en lien avec la limitation des émissions de dioxyde de carbone qui évitent des taxations déraisonnables des revenus les plus modestes.

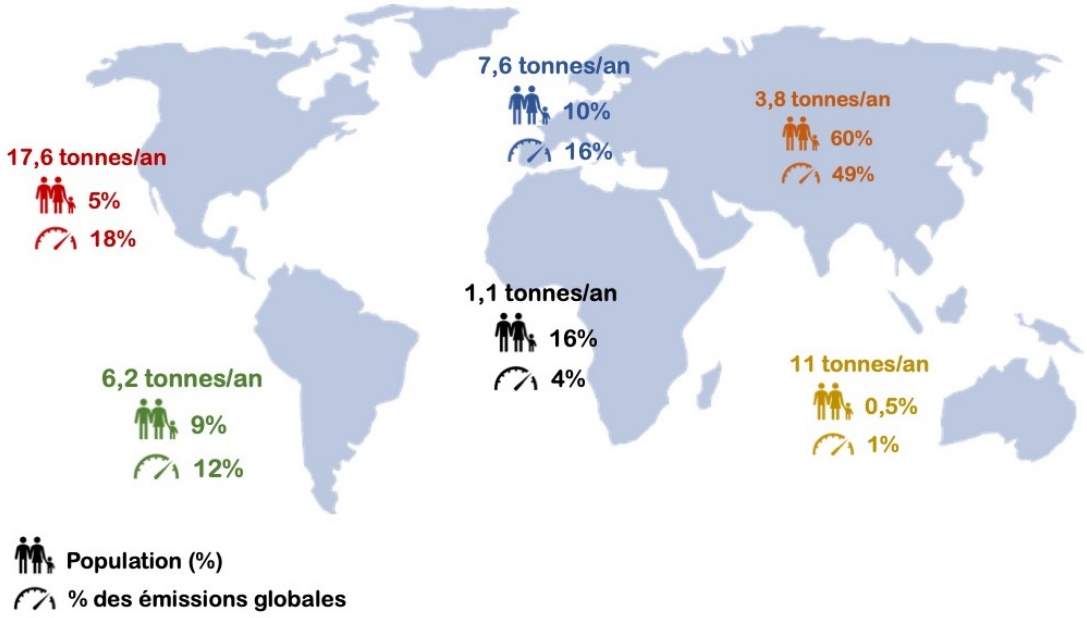



**Figure 5**. Inégalité géographique des émissions de dioxyde de carbone. L'illustration reprend les émissions par habitant et par an, le pourcentage de population mondiale sur la zone concernée et le pourcentage (relatif) des émissions de $CO_2$ (Année 2016).

**Nos activités industrielles au cœur des critiques ?**

Comme nous l'avons déjà évoqué, le $CO_2$ est un sous-produit industriel notable, notamment issu de divers secteurs spécifiques tels que les secteurs de l'énergie (chaleur, électricité et transport) ou de la production industrielle. Ces émissions de $CO_2$ proviennent de différents types de combustibles (notamment d'origine fossiles comme le pétrole, le charbon ou le gaz naturel). La contribution de ces sources aux émissions globales de dioxyde de carbone a évolué au fil des années et présente des variations notables entre certaines régions du globe (**Figure 6**).

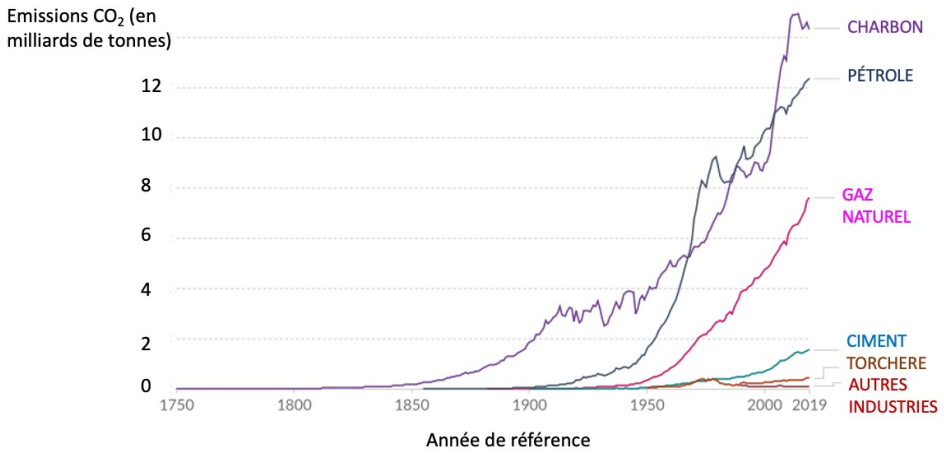



**Figure 6.** Évolution des émissions de dioxyde de carbone par combustible et secteur industriel entre 1850 et 2019.[19]

Au niveau mondial, les débuts de l'industrialisation (1850) sont associés à l'exploitation des ressources fossiles solides telles que le charbon. L'intégration du pétrole et du gaz naturel dans les procédés industriels est notée dès le début du 20ème siècle. En 1920, on peut ainsi noter que les émissions de $CO_2$ relatives à l'usage du pétrole sont devenues 10 fois plus importantes que celles liées à l'usage du charbon.

En 2019, l'utilisation de **combustibles solide (charbon) et liquide (pétrole)** dominent les émissions de $CO_2$, même si la production et l'usage de gaz naturel contribuent également de manière notable aux émissions globales. Le torchage et l'industrie de la cimenterie restent comparativement faibles. Notons que si cette observation est validée pour l'Europe et l'Amérique du Nord, elle est plus nuancée pour l'Asie où l'exploitation énergétique reste dominée par l'usage de charbon et la contribution asiatique à l'industrie de la cimenterie reste nettement plus élevée que dans toute autre région du globe.

La **Figure 7** reprend ainsi à gauche les émissions de $CO_2$ relatives à l'usage du pétrole dans diverses régions du monde, tandis que la figure de droite propose la visualisation des émissions de $CO_2$ relatives aux cimenteries.

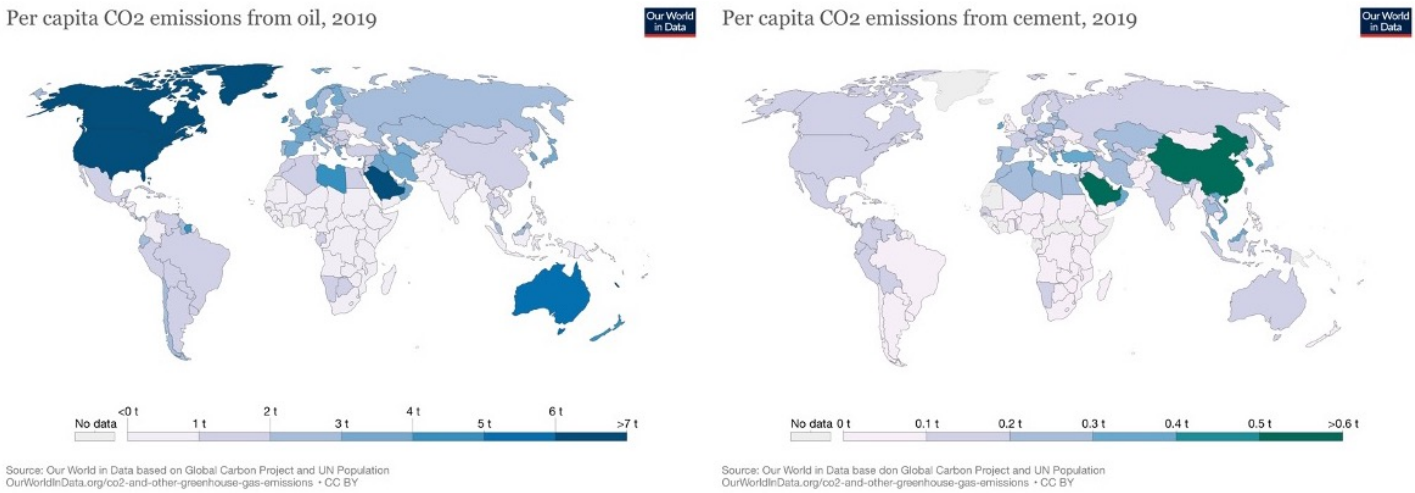



**Figure 7**. Émissions de $CO_2$ annuelles relatives à l'usage de pétrole (gauche) et aux cimenteries (droite) dans diverses régions du monde (année de référence 2019). Source & Crédits : Our World in Data

Si le dioxyde de carbone est produit lors des phases de combustion des ressources fossiles non renouvelables (pétrole, charbon et gaz naturel), il est aussi systématiquement généré lors de la combustion de ressources renouvelables (biomasse). Si les émissions basées sur cette combustion « renouvelable » ne sont pas encore aisément quantifiables, il convient de mentionner que **l'usage de biomasse n'est en rien une manière de s'affranchir de l'émission de dioxyde de carbone** ! (voir ce lien pour plus d'informations)

Outre les cimenteries et l'usage des ressources fossiles pour la production d'énergie, le dioxyde de carbone est aussi un sous-produit systématique de diverses productions industrielles clés. Il est, notamment, un **sous-produit de la production d'hydrogène**. Il est aussi un sous-produit dans certains procédés de fermentation dont celui permettant la production de bioéthanol (un biocarburant inclut dans nos carburants de roulage actuels).[20] Le dioxyde de carbone est donc un **sous-produit fréquent (et/ou systématique) dans le domaine de l'énergie**, tant dans les phases de production des solutions énergétiques, que dans leur phase d'usage (via combustion).

Le dioxyde de carbone est aussi une molécule au centre des préoccupations du secteur chimique. Certaines molécules, de base pour diverses applications comme fertilisants, solvants ou polymères, sont émettrices de hautes teneurs en $CO_2$. Ainsi, on

estime par exemple que pour toute molécule d'ammoniac produite à une échelle industrielle, une molécule de $CO_2$ est émise. C'est le même constat pour la production de méthanol où 0,9 à 1 tonne de $CO_2$ est dégagée par tonne de méthanol produite.[21]

**Et le transport dans tout cela ?**

Selon l'International Energy Agency (IEA), le secteur du transport est responsable à lui seul de plus de **20 à 24% des émissions mondiales de $CO_2$**. En 2018, il apparait que le transport routier de passagers (voitures personnelles, bus, motos, taxis) contribue à hauteur de 45% aux émissions de $CO_2$, tandis que le transport de marchandises par camions représente 29% des émissions (**Figure 8**). Le transport maritime international contribue quant à lui à 10,6 % des émissions mondiales.

Les voyages et le fret ferroviaires produisent très peu d'émissions – seulement 1 % des émissions du transport. Les autres transports – qui consistent principalement en l'acheminement de matériaux tels que l'eau, le pétrole et le gaz via des pipelines – sont responsables de 2,2 % des émissions de $CO_2$.

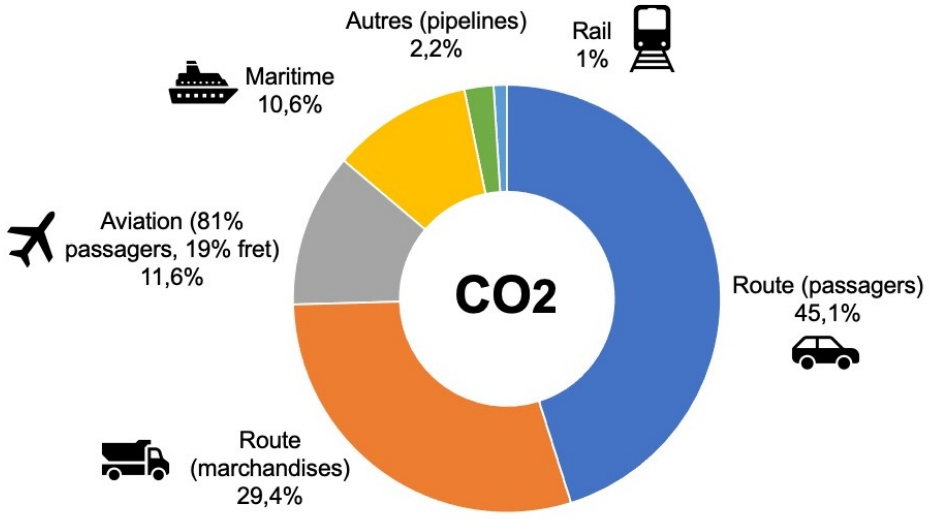



**Figure 8.** Émissions mondiales en $CO_2$ relatives au secteur des transports (année de référence 2016)

L'**aviation** (commerciale de passagers et de marchandises), qui retient souvent l'attention dans les discussions sur la lutte contre le changement climatique, ne représente que **11,6 % des émissions du secteur des transports**. Elle émet un peu moins d'un

milliard de tonnes de $CO_2$ chaque année, soit environ **2,5 % du total des émissions mondiales**. On estime par ailleurs que 60% de ces émissions de CO2 liées à l'aviation proviennent des déplacements internationaux, tandis que le transport aérien domestique génèrent 40% des émissions du secteur.

**Ce qu'il faut retenir**

La complexité du dioxyde de carbone est qu'il peut être issu d'une large gamme de sources distinctes, dont certaines sont interdépendantes. Les émissions de $CO_2$ sont complexes à cibler puisqu'il existe, entre autres, des variations géographiques et sociétales.

Le $CO_2$ est une molécule pouvant être produite de façon « naturelle » par notre respiration. Son contrôle dans des espaces clos est légiféré et stratégique et peut être un indicateur de vectorisation de divers virus (tel que le SARS-CoV-2). Il est absolument impensable d'éliminer toute trace de $CO_2$ de notre planète puisque celui-ci intervient dans les phénomènes de photosynthèse.

Les activités humaines (anthropiques) sont responsables des hausses des niveaux de $CO_2$ atmosphériques depuis l'ère préindustrielle. Ses émissions sont liées aux phases de combustion de diverses ressources énergétiques, notamment fossiles dont le charbon et le pétrole restent les plus dominants. L'émission de $CO_2$ est aussi liée à des procédés industriels tels que la cimenterie, la production d'hydrogène ou bien d'ammoniac.

Le secteur des transports est responsable d'un peu plus de 20% des émissions mondiales en $CO_2$. Le transport routier contribue à lui seul à plus de 70% des émissions globale du secteur, alors que le transport aérien, qui est souvent pointé du doigt, ne contribue qu'à 10% des émissions $CO_2$.

**Vous souhaitez plus d'informations sur ce sujet ?**

N'hésitez pas à me contacter via l'adresse email suivante: a.richel@uliege.be ou via le formulaire disponible en cliquant ici.

**Notes et références**


[1] https://www.caminteresse.fr/economie-societe/qui-a-invente-le-schweppes-11120074/

[2] https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/carbon-dioxide-market

[3] https://www.globe.gov/explore-science/scientists-blog/archived-posts/sciblog/2008/08/11/release-of-carbon-dioxide-by-individual-humans/comment-page-1/index.html

[4] https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2017/06/06/how-much-co2-does-a-single-volcano-emit/?sh=2568bf875cbf

[5] https://www.lesechos.fr/2001/04/comment-se-debarrasser-des-gaz-a-effet-de-serre-716152

[6] https://www.co2.earth/global-warming-update

[7] https://www.anses.fr/fr/content/dioxyde-de-carbone-co2-dans-l’air-intérieur

[8] https://energie.wallonie.be/fr/reglementation-wallonne-sur-la-peb.html?IDC=7224

[9] https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(21)00869-2/fulltext

[10] https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases

[11] https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev.marine.010908.163834?amp%3BsearchHistoryKey=%24%7BsearchHistoryKey%7D

[12] https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions

[13] https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions?country=

[14] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_chapter2-1.pdf

[15] https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/

[16] https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/climatologie-temperature-faisait-il-terre-durant-derniere-periode-glaciaire-82668/

[17] https://ourworldindata.org/co2-by-income-region

[18] Chancel, L. and T. Piketty (2015), “Carbon and inequality: From Kyoto to Paris. Trends in the global inequality of carbon emissions (1998-2013) & Prospects for an equitable adaptation fund”, Paris School of Economics, Paris.

[19] https://ourworldindata.org/emissions-by-fuel

[20] Le $CO_2$ produit par fermentation alcoolique est récupéré, souvent avec une pureté assez élevée, et réutilisé dans des domaines comme l’alimentaire, le secteur de la conservation, du médical.

[21] https://methanolfuels.org/about-methanol/environment/