

Le méthane, l'« autre » gaz à effet de serre

François-Marie Bréon

François-Marie Bréon est physicien-climatologue au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement. Ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure, il a fait l'essentiel de sa carrière au CEA. François-Marie Bréon a été auteur du cinquième rapport du GIEC, récipiendaire du prix François Arago 2024, et professeur invité au collège de France pendant l'année 2024-2025. Il est auteur ou co-auteur de plus de 170 publications scientifiques.

L'essentiel

Notre site a jusqu'alors porté l'accent sur la décarbonation des usages énergétiques dans les transports, l'habitat et l'industrie par l'usage d'une électricité non carbonée se substituant aux énergies fossiles. L'objectif en est la réduction de l'usage des combustibles fossiles, permettant une meilleure indépendance énergétique et la diminution des émissions de CO₂, principal gaz à effet de serre.

Mais on parle moins du méthane CH₄ qui est également un gaz à effet de serre d'origine anthropique. Sa contribution au réchauffement est inférieure à celle du CO₂, sans être négligeable. Par ailleurs, les émissions de méthane conduisent aussi à l'augmentation de l'ozone dans la troposphère, et de la vapeur d'eau dans la stratosphère, ce qui contribue aussi à l'augmentation de l'effet de serre. Il est maintenant reconnu comme un levier potentiel pour limiter le réchauffement climatique sur les prochaines décennies.

Le total des émissions de méthane dans le monde est estimé à 600 millions de tonnes par an (à comparer aux émissions de CO₂ qui sont de l'ordre de 40 milliards de tonnes par an). Environ 60 % des émissions de CH₄ sont d'origine humaine, et 40 % d'origine naturelle.

Le méthane a une durée de vie dans l'atmosphère beaucoup plus courte que celle du CO₂. Sa réduction a le potentiel de limiter le réchauffement climatique des prochaines décennies, tandis que la réduction des émissions de CO₂ est nécessaire pour limiter le changement climatique sur le plus long terme.

En France les émissions de méthane sont de 2 millions de tonnes par an avec une contribution largement dominante de l'agriculture (71%) et la gestion des déchets (21%). L'élevage est le principal secteur d'émission, et les recommandations portent donc principalement sur celui-ci :

- diminuer les périodes improductives :*
- limiter la fermentation entérique, via des ajustements de l'alimentation animale ou via la sélection génétique.*
- améliorer la gestion des déchets, en faire une ressource via le développement de la méthanisation et capter le méthane produit pour le valoriser.*

Pour les secteurs autres que l'agriculture, les recommandations principales portent sur la maintenance des réseaux de distribution de gaz, et une optimisation de la gestion des décharges.

A l'international, la réduction des émissions de méthane pour l'atténuation du changement climatique a atteint le niveau politique depuis quelques années. Ainsi, dans le cadre de la COP26, plus de 100 pays se sont engagés dans le « Global Methane Pledge »¹ avec pour objectif la réduction des émissions de 30% d'ici 2030 par rapport à 2020.

¹ <https://www.globalmethanepledge.org/>

Les gaz à effet de serre

L'effet de serre est le mécanisme, bien compris, qui permet à la Terre d'avoir une température propice à la vie. Plus de 99% de la masse de l'atmosphère (Azote N_2 , Oxygène O_2 , Argon Ar) ne contribue pas à l'effet de serre. Seuls des gaz à l'état de trace y participent. Le plus important, en termes d'intensité d'impact, est la vapeur d'eau. Le second est le dioxyde de Carbone CO_2 alors que le troisième est le méthane (CH_4).

La vapeur d'eau a un rôle essentiel dans le climat de la Terre et ses variations, mais sa concentration dans l'atmosphère n'est pratiquement pas modifiée par les émissions humaines. En effet, tout excès de vapeur d'eau est rapidement éliminé par précipitation. A l'inverse, la concentration de CO_2 a fortement augmenté dans l'atmosphère du fait de l'utilisation des combustibles fossiles, charbon, pétrole et gaz, mais aussi de la déforestation, passant de 320 à 420 ppm² entre 1965 et 2025. A l'ère pré-industrielle, la concentration de CO_2 était d'environ 280 ppm et son augmentation a généré un forçage radiatif³ estimé à environ 2,33 Wm^{-2} .

Le CO_2 est ainsi le principal moteur au réchauffement climatique observé depuis le 20^{ème} siècle, et en particulier depuis ≈1970 avec une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre d'environ 0,2 degrés par décennie.

Pourtant, le CO_2 n'est pas le seul moteur au réchauffement observé. En effet, la concentration d'autres gaz à effet de serre ont aussi augmenté du fait des activités humaines. C'est en particulier le cas du méthane dont la concentration est passée de ≈ 0,7 à 1,9 ppm depuis l'ère pré-industrielle générant un forçage radiatif de 0,57 Wm^{-2} , donc 4 fois plus faible que celui du CO_2 . Le méthane est le second gaz à effet de serre d'origine anthropique. Sa contribution au réchauffement est inférieure à celle du CO_2 , sans être négligeable. Par ailleurs, les émissions de méthane conduisent aussi à l'augmentation de l'ozone dans la troposphère, et de la vapeur d'eau dans la stratosphère, ce qui contribue aussi à l'augmentation de l'effet de serre. C'est pourquoi le méthane est reconnu comme un levier potentiel pour limiter le réchauffement climatique sur les prochaines décennies comme il est expliqué plus en détail ci-après.

On voit que l'augmentation de la concentration de méthane, en absolu, a été presque 100 fois plus faible que celle du CO_2 (1,2 ppm contre 140) alors que son impact sur le réchauffement climatique est seulement 4 fois inférieure. Cela résulte du fait que le méthane est plus efficace que le CO_2 pour absorber le rayonnement infrarouge à la base de l'effet de serre.

Pourtant, le rôle du CO_2 et celui du méthane ne sont pas facilement comparables. En effet, le méthane a une durée de vie dans l'atmosphère de l'ordre de 10 ans, beaucoup plus courte que celle du CO_2 . Les émissions de méthane d'aujourd'hui ont peu d'effet sur la concentration dans 30 ans et donc sur la température à la fin du siècle. A l'inverse, le CO_2 s'accumule dans l'atmosphère et l'effet de nos émissions d'aujourd'hui auront encore un impact dans 100 ans.

Le potentiel de réchauffement : Comparer CO_2 et méthane

Le potentiel de réchauffement global (PRG) est un indicateur qui permet de comparer l'impact climatique d'une émission de différents gaz à effet de serre. Il quantifie le réchauffement cumulé provoqué par l'émission d'une masse donnée d'un gaz, relativement à celui produit par la même masse de dioxyde de carbone, sur une période de temps donnée. Par convention, le PRG du CO_2 est de 1, et celui des autres gaz est exprimé relativement à cette référence. Le

² Le ppm (parties par million) est une unité de concentration. 1 ppm signifie que, sur un million de molécules d'air, il y en a une de l'espèce considérée.

³ Le forçage radiatif quantifie la perturbation induite par un agent sur l'équilibre énergétique de la Terre. Un forçage radiatif positif tend à réchauffer le climat ; un forçage négatif tend à le refroidir. Il est quantifié en Watt par mètre carré (Wm^{-2})

calcul du PRG repose sur l'intégration, sur un horizon temporel choisi (généralement 20, 50, 100 ou 500 ans), du forçage radiatif induit par le gaz considéré. Il dépend donc à la fois de l'efficacité radiative du gaz, c'est-à-dire sa capacité à absorber le rayonnement infrarouge et à perturber le bilan énergétique de la Terre, et de sa persistance dans l'atmosphère au cours du temps.

Le méthane présente un PRG élevé principalement parce qu'il combine une efficacité radiative très forte avec une durée de vie atmosphérique suffisamment longue pour produire un réchauffement important. Cependant, sa durée de vie est suffisamment courte pour que cet effet soit concentré dans les premières décennies suivant son émission. À masse égale, le méthane absorbe très efficacement le rayonnement infrarouge dans des bandes spectrales où le CO₂ est moins absorbant, ce qui le rend beaucoup plus puissant que le CO₂ en termes de forçage radiatif instantané. En raison de sa durée de vie atmosphérique de l'ordre de 10 ans, l'essentiel de son impact climatique se produit à court et moyen terme, contrairement au CO₂ dont une fraction persiste pendant des siècles à des millénaires.

À cela s'ajoutent des effets indirects importants. L'oxydation du méthane dans l'atmosphère modifie la chimie atmosphérique, notamment en contribuant à la formation d'ozone dans la troposphère et à l'augmentation de la vapeur d'eau dans la stratosphère, deux composés qui sont eux-mêmes des gaz à effet de serre. Ces contributions indirectes sont prises en compte dans le calcul du PRG et augmentent significativement la valeur attribuée aux émissions de méthane lorsque on tient compte uniquement de l'impact sur sa propre concentration.

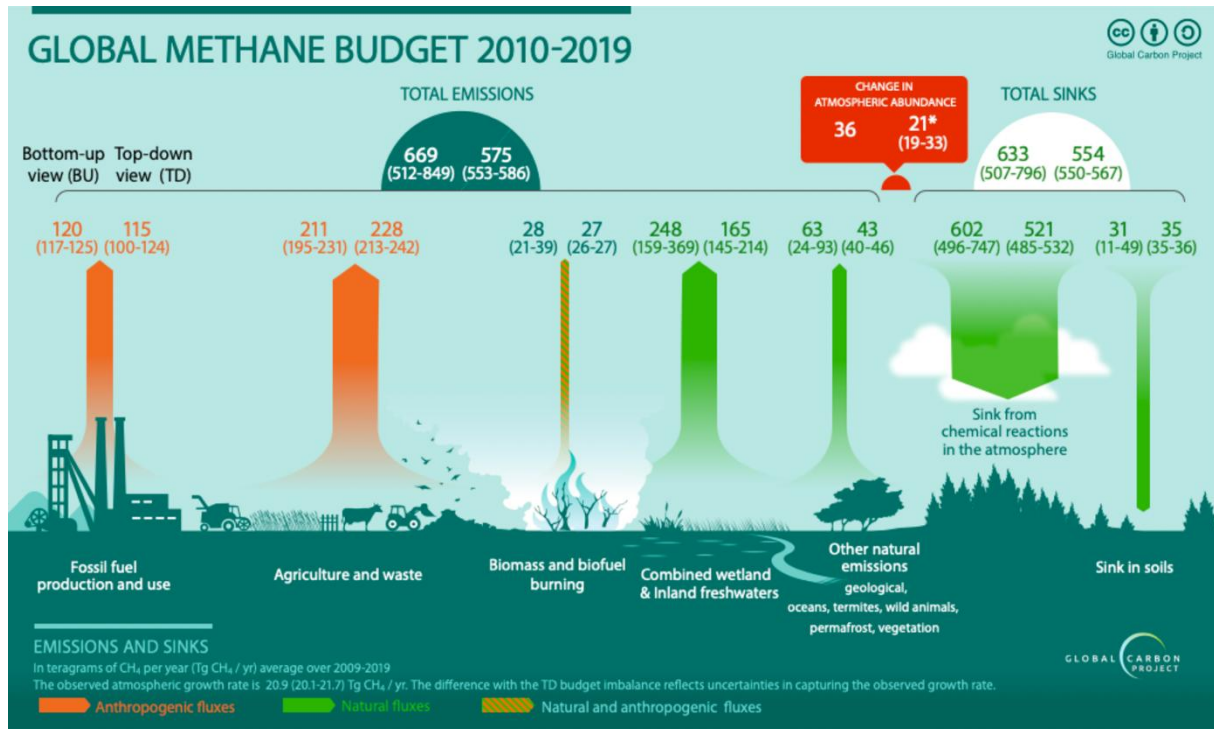
La valeur du PRG dépend fortement de l'horizon temporel retenu. Sur 20 ans, le PRG du méthane est très élevé, de l'ordre de 80, car l'essentiel de son effet radiatif se manifeste rapidement après l'émission. Sur 100 ans, sa valeur est plus faible, autour de 28 selon les estimations récentes du GIEC, car le méthane a largement disparu de l'atmosphère bien avant la fin de cette période, tandis que le CO₂ continue à exercer un forçage durable. Le choix de l'horizon temporel n'est donc pas neutre : il reflète implicitement une priorité donnée soit aux impacts climatiques à court terme, soit au contrôle du réchauffement à long terme.

Ainsi, le méthane est un gaz à effet de serre particulièrement important pour le rythme du réchauffement climatique. La réduction de ses émissions permet de ralentir rapidement l'augmentation des températures à l'échelle de quelques décennies, mais elle ne se substitue pas à la réduction des émissions de CO₂, qui reste indispensable pour stabiliser le climat à long terme.

Les différentes sources de méthane

La quantification des principales sources de méthane est plus difficile, et donc plus incertaine, que celles du CO₂. En effet, en ce qui concerne les émissions de CO₂ en lien avec l'utilisation des combustibles fossiles, on peut généralement faire un "bilan matière" : La masse de CO₂ émise est directement reliée à la masse de carbone dans le combustible utilisé. A l'inverse, les émissions de méthane dépendent de processus bio-physiques à l'efficacité très variable. Les estimations reposent soit sur des études de processus, avec une extrapolation de mesures faites sur quelques sites en conditions bien contrôlées (approche dite "Bottom-Up"), soit sur l'analyse des mesures de concentration faites sur une centaine de stations dans le monde (approche dite "Top-Down"). Les deux méthodes conduisent à des estimations significativement différentes qui reflètent notre méconnaissance des processus. Les chiffres donnés ci-dessous doivent donc être considérés comme des ordres de grandeur.

Le total des émissions de méthane dans le monde est estimé à 600 millions de tonnes par an⁴ (à comparer aux émissions de CO₂ qui sont de l'ordre de 40 milliards de tonnes par an). On distingue classiquement les sources anthropiques et les sources naturelles. À l'échelle mondiale, environ 60 % des émissions de CH₄ sont d'origine humaine, et 40 % d'origine naturelle



Estimation des émissions globales de méthane par secteur d'émission. On distingue les sources anthropiques (orange) des sources naturelles (vert). Pour chaque secteur d'émission, on dispose d'une estimation basée sur l'analyse des processus (Bottom-Up) et une estimation basée sur les mesures de concentration atmosphérique (Top-Down).

L'agriculture est la première source anthropique de méthane, avec environ 40% du total. La source dominante est l'élevage des ruminants (bovins, ovins, caprins), via la fermentation entérique : les micro-organismes du rumen produisent du méthane qui est ensuite rejeté principalement par éructation. Cette source est structurellement liée au nombre d'animaux et à leur alimentation. À cela s'ajoutent les rizières inondées, où la décomposition anaérobie de la matière organique dans les sols saturés en eau génère du méthane, qui s'échappe vers l'atmosphère via les plantes de riz. Les déjections animales (lisiers, fumiers) contribuent également, surtout lorsqu'elles sont stockées en conditions anaérobies (i.e. sans oxygène). La deuxième grande catégorie est l'exploitation des combustibles fossiles (environ 34 % des émissions anthropiques). Le méthane est le principal constituant du gaz fossile, et des émissions se produisent tout au long de la chaîne : extraction, traitement, transport et distribution. Les fuites de gaz (volontaires ou accidentelles) dans les infrastructures pétrolières et gazières constituent une source majeure, souvent sous-estimée avant l'essor des observations satellitaires. L'extraction du charbon est également une source importante, car le méthane est naturellement présent dans les veines de charbon et est libéré lors de l'exploitation minière.

⁴ Global methane budget. Sur <https://www.globalcarbonproject.org/methanebudget/>

La troisième source anthropique importante est la gestion des déchets (environ 19 %). Les décharges produisent du méthane lors de la décomposition anaérobie des déchets organiques. Les eaux usées, notamment dans les régions où le traitement est incomplet ou absent, contribuent également via des processus biologiques anaérobies.

Les principales sources naturelles sont dominées par les zones humides (marais, tourbières, plaines inondables), qui représentent la plus grande source globale de méthane, souvent estimée à 30 % ou plus des émissions totales mondiales. Dans ces environnements saturés en eau, l'absence d'oxygène favorise l'activité de micro-organismes méthanogènes qui produisent du CH₄ à partir de matière organique. Ces émissions varient fortement selon la température, l'hydrologie et la saison.

D'autres sources naturelles existent mais sont plus modestes à l'échelle globale : les lacs et réservoirs, les termites, certains feux naturels, ainsi que les suintements géologiques (émissions naturelles de méthane depuis les fonds marins ou les zones continentales riches en hydrocarbures). Le pergélisol⁵ est une source potentiellement importante à long terme, mais il contribue encore aujourd'hui relativement peu aux émissions globales, bien qu'il suscite une forte attention en raison du risque d'amplification avec le réchauffement.

En France

En France, selon le CITEPA⁶, les émissions de méthane sont de 2 millions de tonnes par an (MtCH₄), avec une contribution largement dominante de l'agriculture (71%) et la gestion des déchets (21%). On peut comparer cette estimation à celle des émissions nationales de CO₂ qui sont de l'ordre de 270 MtCO₂. En prenant un PRG avec un horizon temporel à 100 ans, on arrive à des émissions de méthane estimées, en équivalent CO₂, à 60 MtCO₂e. Si on choisit un horizon temporel de 20 ans pour se focaliser sur l'impact climatique à court terme, on trouve que les émissions nationales de CH₄ sont équivalentes à 170 MtCO₂e, ce qui est donc inférieur mais comparable à celles du CO₂. Ce chiffre indique le potentiel de réduction des émissions de méthane en France pour limiter son impact sur le réchauffement climatique des toutes prochaines décennies.

Sur la dernière décennie, les émissions de méthane sont en baisse en France, essentiellement du fait de la diminution du cheptel. Pour le futur, les recommandations du CITEPA pour la diminution des émissions de méthane en France sont décrites aux pages 139-140 du rapport déjà cité. L'élevage est le principal secteur d'émission, et les recommandations portent donc principalement sur celui-ci

- Optimiser la conduite des troupeaux pour diminuer les périodes improductives ou pour faire évoluer les produits mis sur le marché (gestion de l'état sanitaire, diminution de la mortalité à la naissance, optimisation de l'âge au premier vêlage, évolution des systèmes d'engraissement...) ;
- Limiter la fermentation entérique, via des ajustements de l'alimentation animale (apport de lin par exemple), ou via la sélection génétique.

⁵ Le pergélisol est la couche de sol gelé en permanence que l'on trouve aux hautes latitudes. Il contient des quantités importantes de carbone. Avec le réchauffement climatique en cours, une fraction va dégeler et le carbone va être libéré par les micro-organismes, soit sous forme de CO₂, soit sous forme de méthane. Ce processus a été considéré comme une potentielle bombe à retardement climatique, mais les études récentes ont largement réduit le potentiel d'émissions de méthane.

⁶ <https://www.citepa.org/donnees-air-climat/donnees-gaz-a-effet-de-serre/secten/>

- Améliorer la gestion des déchets et en faire une ressource via le développement de la méthanisation : Les déjections animales sont utilisées dans des installations spécifiques visant à valoriser la matière et capter le méthane produit.

Pour les secteurs autres que l'agriculture, les recommandations principales portent sur la maintenance des réseaux de distribution de gaz, et une optimisation de la gestion des décharges.

Objectifs internationaux

Après de nombreux travaux et recommandations scientifiques depuis le début des années 2000, la question du méthane et le rôle de la réduction de ses émissions sur l'atténuation du changement climatique a atteint le niveau politique depuis quelques années. Ainsi, dans le cadre de la COP26, plus de 100 pays se sont engagés dans le « Global Methane Pledge »⁷ avec pour objectif la réduction des émissions anthropiques mondiales de méthane de 30% d'ici 2030 par rapport à 2020. Ces pays reconnaissent que « Réduire les émissions de méthane d'origine humaine est l'une des stratégies les plus rapides et les plus rentables pour ralentir le réchauffement climatique et contribuer aux efforts mondiaux visant à limiter la hausse des températures à 1,5 °C ». Les cibles d'actions portent sur

- La détection et la réparation des fuites sur tout le secteur de la production et le transport du gaz fossile
- Une meilleure gestion des déchets pour éviter la mise en décharge des déchets organiques, et la récupération du méthane sur ces décharges
- Optimisation du secteur agricole avec un focus sur l'amélioration de l'élevage et la limitation des cultures inondées
- Limitation par inondation des émissions des mines de charbon abandonnées
- Modification du traitement des eaux usées avec récupération du méthane émis et gestion aérobie des résidus.

Conclusions

Le méthane est le second gaz à effet de serre d'origine anthropique, avec une durée de vie dans l'atmosphère nettement plus courte que celle du CO₂. La réduction de ses émissions apparaît plus facile que celle du CO₂. Elle a le potentiel de limiter le réchauffement climatique des prochaines décennies, tandis que la réduction des émissions de CO₂ est nécessaire pour cibler le changement climatique sur le plus long terme. En France, le potentiel porte principalement sur le secteur agricole. La méthanisation des déchets de l'élevage offre une opportunité de réduction des émissions tout en étant une ressource économique.

⁷ <https://www.globalmethanepledge.org/>