



n°48

Juin
2024

DECRYPTAGE

LE MÉTHANE DANS LES STRATÉGIES D'ATTÉNUATION : UN ENJEU MAJEUR

A LA RECHERCHE DES BONNES ÉQUIVALENCES
CLIMATIQUES ENTRE CO₂ ET MÉTHANE

Christian DE PERTHUIS - *Professeur d'économie à
l'Université Paris Dauphine-PSL*

Christian COUTURIER - *Directeur général de Solagro*

Sophie SZOPA - *Directrice de recherche du CEA, Laboratoire
des sciences du climat et de l'environnement (IPSL – Université
Paris-Saclay)*

Messages clés

Le pouvoir de réchauffement global (PRG) permet de calculer un équivalent-CO₂ à tous les gaz à effet de serre et est utilisé dans tous les accords internationaux. Il intègre les effets de ces gaz, en général sur 100 ans, mais ne reflète qu'imparfaitement les dynamiques différentes entre gaz à vie très longue comme le CO₂ (plusieurs siècles) et le méthane, dont le pouvoir de réchauffement est très élevé mais qui disparaît dans l'atmosphère en quelques dizaines d'années.

D'autres métriques ont été proposées, qui visent à caractériser les effets des variations des émissions. Mais elles ne peuvent pas jouer le même rôle que le PRG dans les inventaires, décisions et programmes d'action, dans un contexte de croissance rapide de la teneur moyenne en méthane de l'atmosphère terrestre. Mieux vaudrait donc continuer à perfectionner le calcul et l'utilisation du PRG pour la conduite de politiques ambitieuses.

Ce décryptage a pour objectif d'approfondir la question de l'instrument de mesure des effets du méthane sur le climat, et constitue un signal d'alerte sur ce sujet.

Face à des résultats insuffisants en matière de politique écologique, il peut être tentant de vouloir modifier l'indicateur de référence et ainsi de « casser le thermomètre ». C'est ce qui est en train de se passer en matière de pesticides à la suite des manifestations du monde agricole.

Cette même tentation pourrait exister également pour le méthane, qui donne lieu lui aussi à des tentatives de remise en cause. Pour pouvoir comparer et additionner les émissions des différents gaz à effet de serre (GES), la communauté internationale s'appuie sur un paramètre qui ramène tous les gaz à un « équivalent-CO₂ ». Mais des voix s'élèvent pour proposer d'autres « métriques » qui, selon elles, autoriseraient à alléger l'effort de réduction des émissions pour atteindre la « neutralité » climatique. Le présent décryptage démontre que, malgré certaines utilisations possibles, celles-ci ne peuvent pas jouer le même rôle dans les inventaires, décisions et programmes d'action.

Ce texte s'inscrit dans toute une série de travaux de La Fabrique Ecologique autour du méthane :

- un premier décryptage rédigé par Benjamin Dessus et Bernard Laponche¹, plaidant pour une politique beaucoup plus active de diminution des émissions de ce gaz ;
- un deuxième rédigé par Christian Couturier et François Demarcq² soulignant l'importance majeure de la réduction des émissions de méthane, renforcée par la durée de vie limitée de ce gaz dans l'atmosphère terrestre, et appelant à une action rapide et ordonnée dans notre pays dont les émissions « territoriales » proviennent essentiellement de l'élevage des ruminants ;
- et enfin une note sur « Les prairies et l'élevage des ruminants au cœur de la transition agricole et alimentaire » (octobre 2022) examinant notamment les enjeux liés au climat, à la biodiversité et à la santé publique pour proposer une vision et des propositions pour l'avenir de l'élevage des ruminants dans notre pays.

Le lecteur pourra aussi se reporter à tous ces travaux.

Les auteurs tiennent à remercier Olivier Boucher (IPSL), Jonathan Hercule (CITEPA) et Katsumasa Tanaka (IPSL), pour leur relecture d'une première version de cet article, ainsi que François Demarcq pour sa relecture et contribution à l'article.

¹ « Climat : omerta sur le méthane », janvier 2017.

² « L'urgence de réduire les émissions de méthane - Focus sur l'élevage », novembre 2022.

Introduction

On ne peut pas additionner des choux et des carottes, avons-nous appris à l'école élémentaire. De même, on ne peut pas additionner les tonnes de CO₂ et les tonnes de méthane, les deux principaux gaz à effet de serre rejetés par l'activité humaine. Si on veut mesurer leurs contributions respectives au réchauffement global, on doit les convertir dans une unité commune.

La méthode standard, adoptée par la convention cadre de 1992 sur le climat³, consiste à utiliser le « pouvoir de réchauffement global » sur 100 ans (PRG₁₀₀) calculé et publié dans les rapports du GIEC. Comme toute convention comptable, cette méthode simplifie une réalité bien plus complexe.

A la suite de l'adoption de l'Accord de Paris, la COP de Katowice a précisé en 2018 que cette métrique standard doit être utilisée pour confectionner les inventaires d'émission de gaz à effet de serre (GES) permettant d'établir et de rendre compte des objectifs d'atténuation de chaque pays. Elle ajoute qu'il est possible, le cas échéant, de compléter ces informations à l'aide d'autres métriques issues des travaux du GIEC⁴.

Au-delà de la confection des inventaires, la métrique du PRG est utilisée de multiples façons dans l'action climatique. Elle est à la base des calculs d'empreintes carbone mesurant l'impact climatique des différents biens et services. Elle permet également de mettre au point des instruments tarifaires pour donner une valeur économique aux externalités climatiques du méthane.

Dans ce contexte, certains acteurs se sont exprimés en faveur d'utilisation de métriques alternatives pour mieux tenir compte des spécificités du méthane dans sa contribution au réchauffement du climat. Sur la période récente, une proposition a particulièrement retenu l'attention, en particulier pour le secteur de l'élevage des ruminants⁵ et ⁶ : celle d'appliquer le PRG du méthane, non plus au montant absolu de ses émissions, mais à leur variation en utilisant un indicateur dénommé PRG*.

Cette note examine les principales méthodes mentionnées dans les travaux du GIEC pour calculer les équivalences climatiques du méthane et du CO₂. Elle passe ensuite en revue leurs implications pour la conduite des politiques climatiques. Elle préconise enfin de maintenir la métrique actuelle tout en l'améliorant à mesure des progrès des connaissances scientifiques.

³ <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/french/cop1/g9561656.pdf?download>

⁴ FCCC/PA/CMA/2018/3/Add.2., Decision 18/CMA.1, P.25 : <https://unfccc.int/resource/tet/0/00mpg.pdf>

⁵ Caspar L Donnison and Donal Murphy-Bokern 2024, Are climate neutrality claims in the livestock sector too good to be true? *Environ. Res. Lett.* 19 011001DOI 10.1088/1748-9326/ad0f75.

⁶ GWP* More Useful in Measuring Warming Cause by Livestock Methane Emissions, CLEAR center, UC-Davis, January 2023.

I. Les données du problème : le méthane réchauffe plus fort mais moins longtemps

Quand ils sont dans l'atmosphère, CO_2 et méthane rejetés par l'homme piègent l'un et l'autre les rayons infrarouges réfléchis à la surface de la terre. L'accroissement de leur stock exerce un « forçage radiatif positif » (piégeage des rayons infrarouges) à l'origine du réchauffement planétaire. Pour stabiliser ce réchauffement, il faut stabiliser ce stock, autrement dit, viser la « neutralité ».

Pour comparer les contributions respectives au réchauffement planétaire des rejets atmosphériques du CO_2 et du méthane, il faut donc rattacher le flux annuel de leurs émissions à l'évolution de leur stock dans l'atmosphère. C'est là que les choses se compliquent.

Le CO_2 appartient à la catégorie des gaz à longue durée de séjour dans l'atmosphère. La quantité émise qui n'a pas été absorbée par les « puits de carbone » que sont l'océan et la végétation s'y accumule pour des durées se comptant en siècles, voire millénaires. Les modèles climatiques qui prennent en compte le cycle du carbone permettent d'établir le lien entre le cumul des rejets de CO_2 et la variation de son stock dans l'atmosphère ainsi qu'au forçage radiatif induit. On peut alors définir un « Pouvoir de Réchauffement Global » (PRG) d'une unité de CO_2 émise sur un horizon donné (par exemple : 20 ans, 100 ans, 500 ans). Ce PRG va servir d'étalon pour les autres gaz à effet de serre.

Une fois dans l'atmosphère, une molécule de méthane exerce une intensité radiative nettement plus forte que celle du CO_2 . Dans l'atmosphère, le méthane est transformé en CO_2 par des processus chimiques. Au bout de 12 ans, il ne subsiste que 37 % de la quantité initiale émise et cette décroissance se poursuit dans les décennies suivantes. Le temps de résidence du méthane dans l'atmosphère est donc bien inférieur à celui du CO_2 . Lors du processus de transformation, d'autres composés sont formés, notamment de l'ozone lui-même à effet de serre, ou détruits. La dégradation chimique du méthane dans l'atmosphère produit d'autres gaz à effet de serre (CO_2 et ozone) qui prolongent son forçage radiatif.

De ces caractéristiques générales, on doit retenir un point important. La réduction des émissions de méthane apporte des bénéfices climatiques très élevés à court terme. Ceux des réductions d'émission de CO_2 sont plus longs à apparaître, mais plus décisifs pour stabiliser le réchauffement à long terme. On pressent intuitivement que le poids du méthane relativement au CO_2 va varier suivant l'échéance temporelle considérée. Mais de combien ?

II. La métrique du PRG et ses utilisations en matière d'action climatique

Dès son premier rapport d'évaluation⁷ (1990), le GIEC a introduit une métrique permettant d'agréger les différents gaz à effet de serre sur la base de leurs PRG respectifs, toujours ramenés à celui du CO₂ considéré comme l'unité de référence. Les tonnes physiques de gaz sont alors converties en « tonnes équivalent CO₂ » notées CO_{2eq}. Ces CO_{2eq} permettent d'agréger les différents gaz à effet de serre, en particulier le CO₂ et le méthane. Concernant ce dernier gaz, deux points importants sont à mentionner :

- sans surprise, le PRG du méthane est très sensible à l'horizon temporel retenu. Dans le 6^{ème} rapport d'évaluation du GIEC, le PRG du méthane d'origine fossile est estimé à 82,5 sur 20 ans, 29,8 à 100 ans et 10 à 500 ans (voir annexe 1). Le PRG du méthane biogénique est légèrement inférieur car le CO₂ issu de sa transformation chimique dans l'atmosphère s'inscrit dans le cycle court du carbone ;
- depuis le premier rapport d'évaluation du GIEC, le PRG du méthane a été significativement réévalué. Cette réévaluation traduit les progrès de la connaissance scientifique qui appréhende mieux les effets indirects du méthane dans l'atmosphère.

Dans la pratique, le PRG₁₀₀ est devenu l'étalon à la base de la métrique permettant de comptabiliser les gaz à effet de serre. Les inventaires nationaux que les pays doivent remettre aux Nations Unies dans le cadre de la convention cadre sur le climat de 1992 sont ainsi calculés en utilisant le PRG₁₀₀. Les décisions de la COP24 sur la mise en œuvre de l'Accord de Paris le rappellent explicitement (texte reproduit dans l'Annexe 2). Ainsi, la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) française utilise cette métrique pour établir les trajectoires conduisant à la neutralité en 2050, comme l'ensemble des pays européens qui sont alignés sur cet objectif.

Du coup, le PRG₁₀₀ est utilisé dans bien des domaines de l'action climatique. Les outils de tarification utilisent le PRG₁₀₀ quand il s'agit de valoriser la réduction d'une émission de méthane sur un marché de compensation ou de taxer le dommage climatique provoqué par son rejet dans l'atmosphère. Enfin, le PRG₁₀₀ est utilisé dans les analyses de cycle de vie et les calculs d'empreinte carbone.

III. Les méthodes alternatives de conversion du méthane en équivalent-CO₂

Comme toute représentation comptable, le PRG₁₀₀ repose sur des conventions qui fournissent une image simplifiée de la réalité. D'autres conventions peuvent être retenues. On pourrait par exemple comptabiliser les émissions de GES sur la base des PRG à 20 ans, ce qui multiplierait par trois le poids du méthane.

D'autres métriques ont été proposées. Dans un article de 2005, Shine et ses co-auteurs ont introduit une méthode dite du « *global temperature-change potential* » (GTP), basée sur la hausse de température induite par l'émission d'une unité de GES pour un horizon donné⁸. Le GTP donne un

⁷ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc_90_92_assessments_far_full_report_fr.pdf, P.78.

⁸ Shine, K.P., Fuglestad, J.S., Hailemariam, K. et al. Alternatives to the Global Warming Potential for Comparing Climate Impacts of Emissions of Greenhouse Gases. *Climatic Change* **68**, 281–302 (2005). <https://doi.org/10.1007/s10584-005-1146-9>

poids plus faible au méthane que la méthode du PRG, à durée de séjour équivalente dans l'atmosphère. Les coefficients de conversion obtenus à partir de cette méthode sont tenus à jour dans chaque rapport d'évaluation du GIEC.

Des économistes ont également proposé de convertir les différents GES en une unité commune sur la base de l'estimation des dommages futurs provoqués par leurs émissions⁹ et ¹⁰. Stimulante au plan intellectuel, cette voie est cependant semée d'embûches dans sa mise en œuvre pratique.

Un autre débat a été ouvert ces dernières années, portant sur le domaine d'application du PRG₁₀₀. Dans le cas du méthane, comme des autres GES à courte durée de séjour dans l'atmosphère, la méthode standard comporte un biais car elle ne tient qu'imparfaitement compte de l'élimination progressive des émissions de méthane dans l'atmosphère.

IV. Du PRG au PRG*

Pour définir des trajectoires de réduction d'émission et leur bénéfice sur les températures, une façon de concilier la prise en compte de la forte intensité radiative du méthane et sa courte durée de séjour dans l'atmosphère consiste à appliquer le PRG₁₀₀ non plus aux émissions, mais à leurs variations (que l'on multiplie par l'horizon temporel choisi, ici 100 ans). On parle alors de PRG*.

Cette méthode a été proposée en 2016 par Allen et ses co-auteurs¹¹. Elle a fait l'objet d'une discussion dans le rapport spécial du GIEC sur un réchauffement de 1,5°C publié en 2019¹². Les auteurs y présentent des simulations utilisant le PRG* (GWP* en anglais) à la place des métriques conventionnelles GWP₁₀₀ ou GTP₁₀₀ où on atteint la neutralité (« *net zero emissions* »)¹³ avec plusieurs décennies d'avance dans les scénarios fortement réducteurs d'émissions (figure 1). Dans ces scénarios, la réduction des émissions de méthane permet en quelques décennies de faire baisser sa teneur atmosphérique du fait de sa courte durée de séjour dans l'atmosphère. Il en résulte un effet de refroidissement mis en évidence par le PRG* qui capture la sensibilité de la température à toute variation du rythme d'évolution des émissions.

Tel qu'il a été introduit en 2016, le PRG* comporte cependant une limite importante : il ne prend pas en considération les impacts indirects des émissions de méthane qui perdurent au-delà de son séjour dans l'atmosphère.

⁹ Boucher, O.: Comparison of physically- and economically-based CO₂-equivalences for methane, *Earth Syst. Dynam.*, 3, 49–61, <https://doi.org/10.5194/esd-3-49-2012>, 2012

¹⁰ R. S. J. Tol, T. K. Berntsen, B. C. O'Neill, J. S. Fuglestedt, K. P. Shine, A unifying framework for metrics for aggregating the climate effect of different emissions. *Environ. Res. Lett.* 7, 044006 (2012)

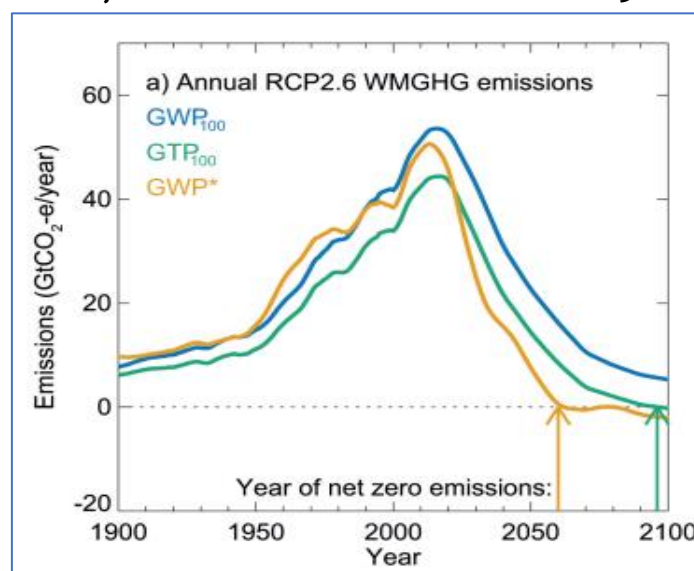
¹¹ Allen, M., Fuglestedt, J., Shine, K. *et al.* New use of global warming potentials to compare cumulative and short-lived climate pollutants. *Nature Clim Change* 6, 773–776 (2016). <https://doi.org/10.1038/nclimate2998>

¹² IPCC, *Global Warming of 1,5°C*, Special Report, PP.66-68.

¹³ La « neutralité » est ici considérée comme un équilibre entre les émissions de tous les gaz à effet de serre (et non du seul CO₂) et le retrait atmosphérique (de CO₂) par les puits de carbone ; elle repose donc sur une métrique qui permet d'agréger les émissions des différents gaz en équivalents CO₂. Ceci implique que cette neutralité « tous gaz » ne correspond pas à la même réalité physique selon la métrique choisie et donc que sa contribution à l'atteinte des objectifs définis par l'accord de Paris ne serait pas de même efficacité selon le choix réalisé (voir *infra* : *Du bon usage du concept de « neutralité »*).

Pour corriger cette lacune, une nouvelle version du PRG*, que nous noterons PRG*^p, a été proposée en 2019 par Cain et ses co-auteurs¹⁴. Le PRG*^p est la moyenne pondérée de deux termes. Le premier, comptant pour 75%, est le PRG* qui mesure l'impact de la variation des émissions de méthane sur le réchauffement. Le second, comptant pour 25%, n'est autre que le PRG standard qui intègre les effets indirects qui continueront à s'exercer au-delà de la durée de séjour du méthane dans l'atmosphère. L'indicateur PRG*^p reflète donc mieux la complexité des interactions entre flux annuel d'émission de méthane et évolution du stock de GES présent dans l'atmosphère. Il semble donc bien adapté pour transcrire des engagements globaux d'atténuation en effets sur la température tel que le ferait un modèle physique tenant compte de la chimie du méthane et du cycle du carbone.

Figure 1 : Trajectoires mondiales de neutralité suivant 3 métriques



Source : IPCC, *Global Warming of 1,5°C*, Special Report, 2019, P68.

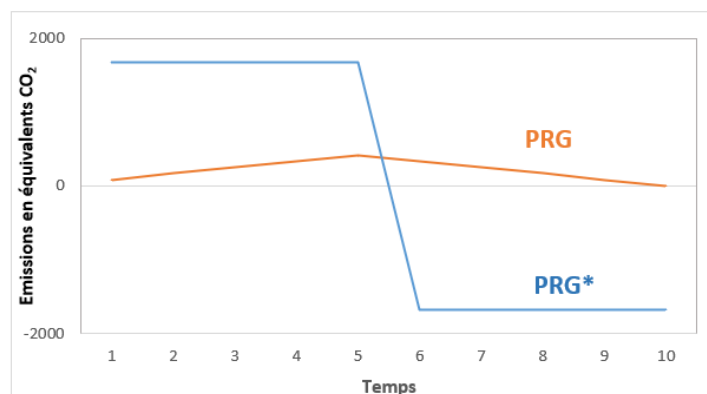
Avant d'étudier les implications de l'utilisation possible des indicateurs PRG* et PRG*^p à la place ou en complément du PRG standard, examinons plus en détail comment ces trois indicateurs reflèteraient les trajectoires d'émissions de méthane dans un cas théorique.

V. Une simulation numérique

Commençons par une représentation très schématique sur 10 ans. Les émissions de méthane augmentent d'une unité par an pendant cinq ans puis décroissent de la même quantité à partir de la 6^{ème} année pour s'annuler en fin de période (figure 2).

¹⁴ Cain, M., Lynch, J., Allen, M.R. et al. Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants. *npj Clim Atmos Sci* 2, 29 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0086-4>

Figure 2 : PRG et PRG* en schéma



Source : auteurs

Avec le PRG, les émissions de méthane converties en équivalent CO₂ suivent celles des émissions physiques, leur cumul sur la période égalant la quantité de méthane rejetée multipliée par le coefficient de conversion du PRG. Avec le PRG*, les émissions de méthane en équivalent CO₂ se fixent à un niveau bien plus élevé tant que les émissions s'accroissent. La sixième année, la baisse des émissions se traduit en émissions négatives d'équivalents CO₂. Chaque année de baisse des émissions efface la trace climatique d'une année de hausse si bien que le cumul sur la période est égal à zéro.

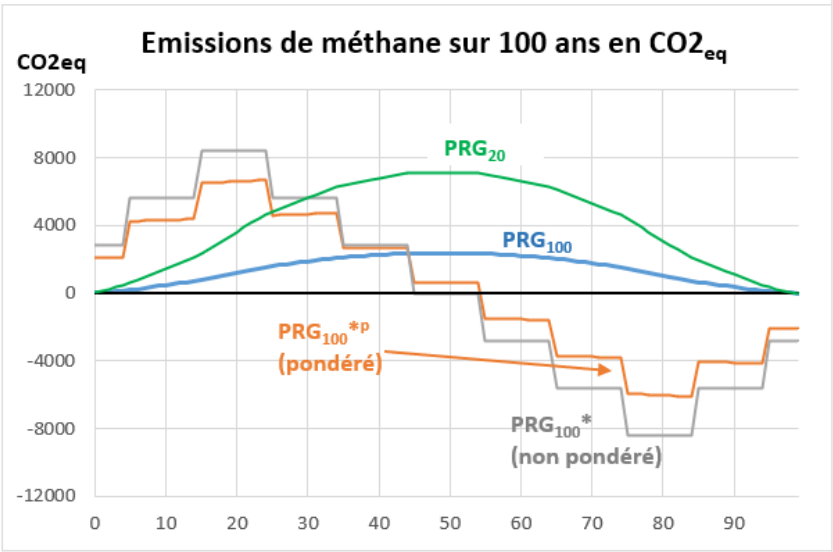
Dans la réalité, les émissions de méthane peuvent changer de rythme, à la hausse comme à la baisse. C'est ce que simule la figure 3, sur une période de cent ans, avec des hypothèses détaillées à l'annexe 3.

En utilisant l'indicateur standard du PRG sur 100 ans, les émissions de méthane exprimées en équivalent CO₂ épousent la forme d'une courbe en cloche. Chaque point de la courbe est obtenu à partir des émissions, multipliées par le PRG sur 100 ans. Les émissions en CO_{2eq} atteignent leur maximum au milieu du siècle pour rejoindre la droite des abscisses en fin de période. En utilisant un PRG à vingt ans, on obtient une courbe avec des pentes ascendantes et descendantes plus abruptes et un sommet trois fois supérieur (le PRG sur 20 ans est trois fois supérieur au PRG standard).

Avec le PRG*, les émissions de méthane évoluent suivant des marches d'escalier. Chaque changement de rythme des émissions provoque en-effet un saut, à la hausse ou à la baisse, des émissions exprimées en équivalent CO₂. Leur progression est bien plus rapide qu'avec la mesure standard durant les premières décennies. L'effet des émissions s'annule au-milieu du siècle avec la stabilisation des rejets de méthane. Elles sont ensuite comptées comme des émissions négatives de CO₂, leur cumul sur les 100 ans étant égal à zéro.

En utilisant le PRG*^p pour convertir les rejets de méthane en CO_{2eq}, on retrouve une courbe en marches d'escalier, mais avec des dénivelés amortis et une légère inclinaison des paliers. Les émissions en équivalent CO₂ ne sont plus nulles lorsque les rejets physiques de méthane se stabilisent ; elles atteignent le quart de celles calculées de façon standard (comme leur cumul sur les 100 années), ce qui traduit les effets de réchauffement du méthane au-delà de sa durée moyenne de 12 ans dans l'atmosphère.

Figure 3 : Quatre modes d'utilisation du PRG



Source : simulation des auteurs (avec les PRG calculés dans le 5^{ème} rapport d'évaluation du GIEC)

VI. Retour au réel : le PRG* indicateur frappé d'amnésie

Si on recalculait les émissions historiques de méthane en utilisant le PRG*, la première observation serait la grande instabilité des chroniques obtenues. L'indicateur PRG* est en effet un indicateur « sans mémoire » : son niveau l'année t dépend uniquement de l'écart entre t et t-1. Il est totalement indépendant du montant total des émissions qui reflète l'historique. Cette grande variabilité n'est que partiellement gommée par l'introduction du PRG*^p que l'on peut qualifier d'indicateur à mémoire courte.

Du fait de son caractère amnésique, l'utilisation du PRG* modifierait la vision des contributions respectives des différents émetteurs au réchauffement global. Avec le PRG*₁₀₀, la hiérarchie des différents émetteurs ne se superposerait plus avec leurs poids dans les émissions. Sur la période 1990-2020, certains pays auraient des émissions négatives de méthane exprimé en CO₂eq. Ce sont les pays d'industrialisation ancienne qui ont rejeté beaucoup de méthane dans le passé et partent d'un niveau d'émissions élevé. D'autres, comme la Chine ou le Brésil, verraient leurs émissions de méthane en équivalent-CO₂ croître plus rapidement qu'avec l'indicateur standard. La hiérarchie des grands émetteurs serait modifiée.

Emissions cumulées de méthane en équivalents CO ₂ (1990-2020)				
	Avec PRG standard		Avec PRG*	
	GtCO ₂ eq	% du total	GtCO ₂ eq	
Chine	43,5	16,8	Chine	55,0
Inde	21,8	8,4	Brésil	24,6
Etats-Unis	20,9	8,1	Inde	15,8
Union européenne	17,1	6,6	Etats-Unis	-9,6
Brésil	15,0	5,8	UE	-21,6
Monde	259	100	Monde	211

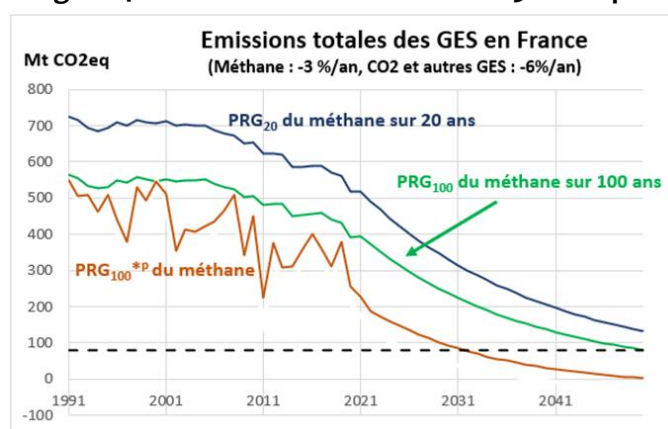
Source des données : base de données EDGAR (voir annexe 3), calculs auteurs pour le PRG*

Les émissions de méthane ont reculé en France entre 1990 et 2021 (à un rythme un peu plus lent que le CO₂). Un fois converties en équivalents CO₂ avec le PRG*₁₀₀ (avec ou sans pondération), cela donnerait des émissions négatives d'équivalents CO₂ sur les trente dernières années. Ce changement de métrique aurait également une incidence sur le calcul de l'objectif de « neutralité » visé par la SNBC en 2050.

VII. Du bon usage du concept de « neutralité »

Depuis l'Accord climatique de Paris, la majorité des pays visent un objectif dit de « neutralité » défini comme l'égalisation entre les émissions brutes résiduelles de GES et l'absorption du CO₂ par les puits de carbone à leur échelle géographique. Le calcul de cette neutralité multi-gaz s'effectue en utilisant les équivalences du PRG standard à 100 ans.

Figure 4 : la cible de neutralité suivant 3 métriques



Source des données : CITEPA, inventaire national.

La France s'est alignée sur l'objectif européen de neutralité en 2050. Le graphique 3 indique comment on peut atteindre l'objectif avec la métrique standard en combinant trois hypothèses : une baisse de 3 % par an des émissions de méthane entre 2022 et 2050, de 6% de celles de l'ensemble des autres GES (CO₂ inclus) et une capacité d'absorption des puits de carbone de 80 Mt de CO₂ en 2050 (hypothèse retenue par la SNBC¹⁵ adoptée en avril 2020).

Comme dans le cas des émissions mondiales analysé par le GIEC dans le rapport spécial sur le 1,5°C, si l'on changeait la métrique utilisée, on modifierait les trajectoires conduisant à la neutralité.

En utilisant un PRG à 20 ans du méthane et en conservant les valeurs standards pour les autres GES, la neutralité ne serait plus atteinte en 2050, mais seulement après 2060, du fait de la très forte réévaluation du poids du méthane exprimé en CO_{2eq}.

Si on utilisait le PRG*^P à 100 ans, la neutralité serait atteinte dès 2031, à hypothèses inchangées sur les émissions de GES. La diminution des rejets de méthane serait en effet comptabilisée comme émission négative de CO₂, ce qui abaisserait le montant estimé des émissions totales de GES et accélérerait leur réduction. Après 2031, le pays passerait en régime d'émission négative. Dans le cas d'un PRG* non pondéré, l'impact serait encore plus violent. La neutralité serait atteinte dès 2023.

¹⁵ https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf

La question du choix de l'indicateur d'équivalence climatique à retenir pour le méthane est tout sauf anodine en ce qui concerne les objectifs climatiques. Elle ne peut se trancher à l'échelle d'un pays. La neutralité climat, telle que définie à l'article 4 de l'Accord de Paris (« un équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre »¹⁶) n'a de sens qu'à l'échelle globale.

Le 6^{ème} rapport du GIEC analyse en détail les conditions à réunir pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris. Pour stabiliser la température en dessous de 2°C, les trajectoires requises pour le CO₂ doivent passer le pic d'émission durant la décennie 2020, puis viser la neutralité carbone¹⁷ au plus tard dans la décennie 2070. Simultanément, les émissions globales de méthane doivent reculer de moitié d'ici 2050 : -46% pour la cible de 2°C et -56% pour 1,5°C. Le rythme de baisse peut s'atténuer après 2050¹⁸, les scénarios visant les cibles de 1,5 ou 2 °C n'exigeant pas que les émissions brutes de méthane tombent à zéro.

En utilisant le PRG₁₀₀, ces cibles de températures peuvent être traduites en trajectoires d'émission multi-gaz. Selon le 6^{ème} rapport de synthèse du GIEC, il faudra réduire de 43 % les émissions de l'ensemble des GES d'ici 2030 et de 84 % d'ici 2050 pour avoir une chance sur deux de stabiliser la température moyenne à 1,5°C d'ici la fin du siècle¹⁹. Ces trajectoires de référence sont celles utilisées dans les COP pour appliquer l'Accord de Paris. Elles ont servi de base à l'établissement du premier bilan global de mise en œuvre de cet accord, lors de la COP28 à Dubaï.

A partir de ces trajectoires multi-gaz, la négociation climatique a pour objet d'aligner les stratégies d'atténuation des différents pays pour atteindre les cibles de l'Accord de Paris. La « neutralité » - avec une définition fondée ici sur l'utilisation du PRG₁₀₀ - constitue un outil commun efficace pour exprimer les stratégies à suivre. Suivant les compromis trouvés, certains pays viseront des trajectoires permettant d'atteindre le « net-zéro » avant la neutralité climat globale. D'autres y parviendront plus tard.

Dans les deux cas, l'utilisation du terme de « neutralité » à l'échelle d'un pays, *a fortiori* à l'échelle d'un secteur, d'une organisation ou... d'un voyage en avion, est une facilité de langage. Les objectifs nationaux ou sectoriels visant le « net-zéro » ne sont que des contributions, dont l'agrégation devrait permettre d'atteindre la neutralité globale, synonyme de stabilisation des stocks atmosphériques de GES et donc de la température globale. Y a-t-il, à cette échelle globale, de bons arguments pour changer de métrique ?

¹⁶ https://unfccc.int/sites/default/files/french_paris_agreement.pdf

¹⁷ Entendue ici comme un équilibre entre les seules sources de CO₂ (excluant donc les autres GES) et les puits.

¹⁸ IPCC AR6-WG1, figure SPM.4, P.13

¹⁹ AR6-SYNT, Table 3.1, P.84.

VIII. Ne pas changer de thermomètre

Comme toute norme comptable, la métrique des inventaires doit s'imposer à tous et ne pas subir de modifications incessantes. Elle doit cependant intégrer les progrès des connaissances scientifiques. Tanaka et ses co-auteurs le rappellent dans un article récent²⁰ : jusqu'à présent, ces progrès ont conduit à améliorer le réglage du thermomètre en actualisant les coefficients du PRG₁₀₀. Changer l'horizon temporel du PRG₁₀₀ ou basculer vers un PRG* reviendrait à changer de thermomètre. Un tel changement ne devrait être envisagé que s'il y a des raisons avérées de le faire.

La plupart des ONG environnementales se réfèrent au PRG du méthane sur 20 ans qui est trois fois supérieur à celui du PRG₁₀₀, afin de pousser à la réduction des émissions. Cependant, pour guider les stratégies visant à endiguer le réchauffement global, il est pertinent de retenir l'horizon de cent ans. Les familles de scénarios analysés à chaque rapport d'évaluation du GIEC s'inscrivent dans cette temporalité. Ils servent de balises à l'établissement d'objectifs intermédiaires et nourrissent le chapitre du rapport du GIEC consacré aux stratégies à court et moyen terme²¹. L'horizon de 100 ans semble par ailleurs le mieux adapté à la recherche des trajectoires réduisant au moindre coût les émissions. Il ne serait pertinent, ni de raccourcir cet horizon de 100 ans, ni de l'allonger, même s'il est utile de comprendre les limites de ce choix.

Doit-on dès lors maintenir l'horizon de 100 ans et basculer au PRG* pour le méthane ? L'idée est que l'indicateur PRG* traduirait plus finement les effets des modifications de trajectoire du méthane. C'est pourquoi il existe un véritable débat au sein de la communauté scientifique sur cette question dont les rapports récents du GIEC se font l'écho tout en conservant la métrique traditionnelle pour établir les trajectoires multi-gaz limitant le réchauffement en dessous de 2°C.

En dehors des difficultés pratiques, en particulier l'illisibilité à court terme des données d'inventaires, converties en équivalent CO₂ avec le PRG*, nous voyons quatre raisons de fond pour conserver le PRG₁₀₀ :

- En utilisant le PRG*, le rejet d'une unité physique de méthane serait comptabilisé de façon différente suivant l'historique d'émission du secteur ou du périmètre géographique de l'inventaire considéré. Une tonne de méthane en plus ou en moins dans l'atmosphère engendre pourtant le même dommage ou le même bénéfice pour le climat quelle qu'en soit l'origine. Elle doit être comptabilisée de la même façon, indépendamment de l'historique de son lieu ou de son secteur d'émission. Le PRG respecte cette règle de base. Pas le PRG* qui est plus un outil de modélisation que de comptabilisation²².
- Le PRG* étant un indicateur sans mémoire, ou avec une mémoire très courte quand il est pondéré, son introduction dans la métrique des inventaires remettrait immédiatement au premier plan le débat sur la responsabilité des émetteurs « historiques » constitués des

²⁰ Katsumasa Tanaka & ali. Cost-effective implementation of the Paris Agreement using flexible greenhouse gas metrics, *SCIENCE ADVANCES*, 28 May 2021, Vol 7, Issue 22, DOI: [10.1126/sciadv.abf902](https://doi.org/10.1126/sciadv.abf902)

²¹ https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf, P.409 et suivantes.

²² Malte Meinshausen and Zebedee Nicholls 2022, *Environmental Research Letters*, Volume 17, Number 4.

pays développés. Son introduction dédouanerait ces émetteurs d'une partie de leur responsabilité. Du point de vue des pays du Sud global, elle réduirait de façon artificielle la dette climatique des pays riches²³ ;

- Le PRG* ne pourrait guère être utilisé pour la tarification des émissions de méthane. Il pourrait servir à calculer des crédits de compensation, la composante la plus discutée de cette tarification, mais pas à mettre en place les instruments renchérissant le coût des émissions (taxes ou systèmes de quotas). De même, l'utilisation du PRG* pour les analyses du cycle de vie et le calcul des empreintes carbone serait problématique sitôt que le PRG* devient négatif. Faudrait-il consommer plus de produits ayant rejeté du méthane dans l'atmosphère sitôt que ses rejets sont en diminution ?
- Enfin, l'introduction du PRG* risquerait d'envoyer des incitations très contreproductives aux émetteurs, à cause de l'ambiguïté de la notion de neutralité à l'échelle microéconomique. Avec cette métrique, ceux-ci pourraient afficher la « neutralité » sitôt qu'ils stabiliseraient le volume de leurs émissions et prétendre qu'ils n'ont plus d'effort d'atténuation à consentir au-delà.

Les risques d'incitations contreproductives sont d'autant plus dommageables que, sans une action d'ampleur sur les émissions de méthane, l'atteinte des objectifs de neutralité définis dans l'Accord de Paris relève de la mission impossible. Le poids des émissions de méthane dans le réchauffement observé ne doit pas être sous-estimé : 0,5°C depuis l'ère préindustrielle contre 0,8°C pour celles du CO₂ d'après le 6^{ème} rapport d'évaluation du GIEC. Sur la période récente, les émissions mondiales de méthane n'ont donné aucun signe de ralentissement et l'accroissement de sa concentration dans l'atmosphère s'est accéléré (annexe 4).

Conclusion : améliorer la métrique actuelle pour accélérer l'action

Du fait de la courte durée de séjour du méthane dans l'atmosphère et de son intensité radiative élevée, il n'est pas possible d'avoir une équivalence climatique totale entre méthane et CO₂. Comme le soulignent les travaux de recherche s'étant penchés sur la question, il n'y a pas de solution idéale pour opérer cette conversion des deux gaz en unité commune.

Une voie pour faire face à cette difficulté serait d'utiliser plusieurs métriques, par exemple suivant les horizons temporels visés ou l'historique des émissions passées. Si la pluralité des indicateurs est nécessaire pour la compréhension des mécanismes physiques, elle ne répond pas aux besoins de l'action climatique qui exige d'aligner les engagements des Etats et les comportements des acteurs grâce à une métrique unique. Comme dans l'économie des flux monétaires, la coexistence de deux métriques ou de deux monnaies serait très contreproductive.

Le meilleur des compromis possibles nous semble de conserver la métrique traditionnelle du PRG₁₀₀ permettant d'aligner les stratégies d'atténuation des acteurs, tout en l'améliorant au gré des

²³ Joeri Rogelj and Carl-Friedrich Schleussner. Unintentional unfairness when applying new greenhouse gas emissions metrics at country level 2019 *Environ. Res. Lett.* **14** 114039 DOI 10.1088/1748-9326/ab4928

progrès de la connaissance scientifique. Sous cet angle, un apport utile sera d'intégrer les apports du 6^{ème} rapport d'évaluation du GIEC qui distingue le PRG du méthane d'origine biogénique de celui rejeté par l'industrie des énergies fossiles.

Cette distinction permet de mieux positionner le secteur agricole, premier émetteur de méthane, dans les stratégies d'atténuation²⁴. De par son caractère biogénique, les émissions de ce secteur devraient être comptabilisées avec un PRG₁₀₀ légèrement plus faible que celui utilisé pour l'industrie des fossiles. Par ailleurs, les scénarios de stabilisation de la température à terme sont compatibles avec le maintien d'émissions résiduelles d'origine agricole à un niveau nettement plus bas que celles de la période récente. En revanche, l'utilisation du PRG* pour suggérer l'existence d'une neutralité atteinte sitôt que les rejets de méthane se stabilisent n'a pas de justification sérieuse au plan scientifique.

Pour renforcer l'action d'atténuation, il conviendrait également d'améliorer la qualité et la fiabilité des inventaires nationaux de GES qui constituent l'infrastructure sur laquelle repose l'établissement et le suivi des politiques d'atténuation. Pour les rejets de méthane d'origine fossile, les progrès de l'imagerie satellitaire suggèrent que les inventaires nationaux sont fortement sous-estimés^{25, 26}. Les émissions de méthane provenant de l'agriculture et de la gestion des déchets sont dans de nombreux pays calculés à partir de coefficients forfaitaires (méthodologie dite « Tier 1 ») qui simplifient la réalité. Pour mieux guider les actions de réduction, il conviendrait d'encourager la mise en œuvre de méthodes plus fines de calcul, documentées dans les guides méthodologiques du GIEC, mais encore trop rarement utilisées car demandant plus de moyens.

Autre voie prometteuse : la confection de budgets méthane associés aux budgets carbone calculés par le GIEC qui sont devenus des outils largement utilisés pour orienter l'action climatique. Le calcul des budgets méthane pose cependant de grandes difficultés méthodologiques du fait de la difficulté à caractériser les flux d'émission naturels et anthropiques²⁷. Ainsi, sur la période récente, l'augmentation rapide du stock atmosphérique de méthane ne s'explique pas par les émissions anthropiques calculées dans les inventaires (annexe 4).

La comptabilisation du méthane repose sur le calcul de ses émissions et la métrique utilisée pour le convertir en équivalents CO₂. Pour l'améliorer, l'urgent n'est pas de changer le thermomètre existant, mais de continuer à le perfectionner en fonction de l'évolution des connaissances.

²⁴ FAO. 2023. *Methane emissions in livestock and rice systems – Sources, quantification, mitigation and metrics*. Rome.
<https://doi.org/10.4060/cc7607en>

²⁵ T. Lauvaux et al. Global assessment of oil and gas methane ultra-emitters, *SCIENCE*, 3 Feb 2022, Vol 375, Issue 6580 ,pp. 557-561
DOI: [10.1126/science.abj4351](https://doi.org/10.1126/science.abj4351)

²⁶ <https://www.cnrs.fr/fr/presse/des-emissions-massives-de-methane-par-lindustrie-petroliere-et-gaziere-detectees-depuis>

²⁷ Saunio, M. & al., The Global Methane Budget 2000–2017, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 1561–1623, <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>, 2020.

ANNEXE 1

Les facteurs d'équivalence calculés par le GIEC

A chaque rapport d'évaluation, le premier groupe de travail du GIEC actualise la métrique utilisée pour ramener les différents gaz à effet de serre à un équivalent climatique, en fonction des connaissances scientifiques disponibles. Nous reproduisons ci-dessous les tableaux de synthèse du premier rapport de 1990 et du 6^{ème} rapport publié en 2021.

Table 3 Global Warming Potentials The warming effect of an emission of 1kg of each gas relative to that of CO₂
These figures are best estimates calculated on the basis of the present day atmospheric composition

	TIME HORIZON		
	20 yr	100 yr	500 yr
Carbon dioxide	1	1	1
Methane (including indirect)	63	21	9
Nitrous oxide	270	290	190
CFC-11	4500	3500	1500
CFC-12	7100	7300	4500
HCFC-22	4100	1500	510

Source : IPCC, AR1-WG1, Résumé pour décideurs, P.21.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_1_full_report.pdf

Table 7.15 | Emissions metrics for selected species: global warming potential (GWP), global temperature-change potential (GTP). All values include carbon cycle responses as described in Section 7.6.1.3. Combined GTPs (CGTPs) are shown only for species with a lifetime less than 20 years (Section 7.6.1.4). Note CGTP has units of years and is applied to a change in emissions rate rather than a change in emissions amount. The radiative efficiencies are as described in Section 7.3.2 and include tropospheric adjustments where assessed to be non-zero in Section 7.6.1.1. The climate response function is from Supplementary Material 7.SM.5.2. Uncertainty calculations are presented in Supplementary Tables 7.SM.8 to 7.SM.13. Chemical effects of CH₄ and N₂O are included (Section 7.6.1.3). Contributions from stratospheric ozone depletion to halogenated species metrics are not included. Supplementary Table 7.SM.7 presents the full table.

Species	Lifetime (Years)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	GWP-20	GWP-100	GWP-500	GTP-50	GTP-100	CGTP-50 (years)	CGTP-100 (years)
CO ₂	Multiple	1.33 ± 0.16 × 10 ⁻⁵	1.	1.000	1.000	1.000	1.000		
CH ₄ -fossil	11.8 ± 1.8	5.7 ± 1.4 × 10 ⁻⁴	82.5 ± 25.8	29.8 ± 11	10.0 ± 3.8	13.2 ± 6.1	7.5 ± 2.9	2823 ± 1060	3531 ± 1385
CH ₄ -non fossil	11.8 ± 1.8	5.7 ± 1.4 × 10 ⁻⁴	79.7 ± 25.8	27.0 ± 11	7.2 ± 3.8	10.4 ± 6.1	4.7 ± 2.9	2675 ± 1057	3228 ± 1364
N ₂ O	109 ± 10	2.8 ± 1.1 × 10 ⁻³	273 ± 118	273 ± 130	130 ± 64	290 ± 140	233 ± 110		
HFC-32	5.4 ± 1.1	1.1 ± 0.2 × 10 ⁻¹	2693 ± 842	771 ± 292	220 ± 87	181 ± 83	142 ± 51	78,175 ± 29,402	92,888 ± 36,534
HFC-134a	14.0 ± 2.8	1.67 ± 0.32 × 10 ⁻¹	4144 ± 1160	1526 ± 577	436 ± 173	733 ± 410	306 ± 119	146,670 ± 53,318	181,408 ± 71,365
CFC-11	52.0 ± 10.4	2.91 ± 0.65 × 10 ⁻¹	8321 ± 2419	6226 ± 2297	2093 ± 865	6351 ± 2342	3536 ± 1511		
PFC-14	50,000	9.89 ± 0.19 × 10 ⁻²	5301 ± 1395	7380 ± 2430	10,587 ± 3692	7660 ± 2464	9055 ± 3128		

Source : IPCC, AR6-WG1, Chapitre 7, P.1017

<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

ANNEXE 2

Incidence de la métrique sur les données historiques

Les inventaires nationaux permettent de suivre les émissions de GES dans le monde. Ils sont utilisés pour l'établissement et le suivi des objectifs d'atténuation dans le cadre de la Convention cadre des Nations Unies sur le climat (CCNUCC ou UNFCC pour l'acronyme anglais). Leurs méthodologies sont normées sur la base des recommandations du GIEC qui a publié deux guides de référence en 2006 et 2016, actualisés chaque année. Toutes les informations sont accessibles sur le site dédié du GIEC : <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/index.html>.

La COP24 de Katowice a précisé les règles d'application de l'article 13 de l'Accord de Paris sur le reporting des différents pays. Concernant la métrique des inventaires, elles indiquent que chaque pays doit utiliser les PRG₁₀₀ calculés par le GIEC pour convertir les différents GES en équivalent-CO₂. Elle ajoute que des informations complémentaires peuvent être apportées en utilisant d'autres métriques, à condition qu'elles soient elles-mêmes issues d'un rapport du GIEC :

“Each Party shall use the 100-year time-horizon global warming potential (GWP) values from the IPCC Fifth Assessment Report, or 100-year time-horizon GWP values from a subsequent IPCC assessment report as agreed upon by the CMA, to report aggregate emissions and removals of GHGs, expressed in CO₂ eq. Each Party may in addition also use other metrics (e.g. global temperature potential) to report supplemental information on aggregate emissions and removals of GHGs, expressed in CO₂ eq. In such cases, the Party shall provide in the national inventory document information on the values of the metrics used and the IPCC assessment report they were sourced from”.
<https://unfccc.int/resource/tet/o/oompg.pdf> (P.34).

Si on modifiait ces coefficients d'équivalence, on modifierait la représentation des tendances passées d'émission. Dans le cas du méthane, l'utilisation de coefficients alternatifs pourrait minorer (par ex : PRG₅₀₀ ou utilisation de la métrique GPT) ou majorer (par ex : PRG₂₀) son poids dans le total des GES, sans toutefois modifier la hiérarchie des différents émetteurs.

L'utilisation du PRG* aurait des effets d'une autre nature. D'une part, il augmenterait la variabilité à court terme des émissions de méthane. De l'autre, il modifierait la mesure des contributions respectives des différents pays au réchauffement global en modifiant le rang des différents émetteurs. Cette annexe illustre ces deux points en recalculant les émissions passées de méthane avec le PRG standard et le PRG*, dans les deux cas sur une période de 100 ans.

Les émissions passées de méthane (1970-2020) sont issues de la base européenne de données EDGAR, reproduite dans le tableau de synthèse fourni par le rapport de synthèse de l'agence environnementale néerlandaise²⁸. Les données sont accessibles ici :

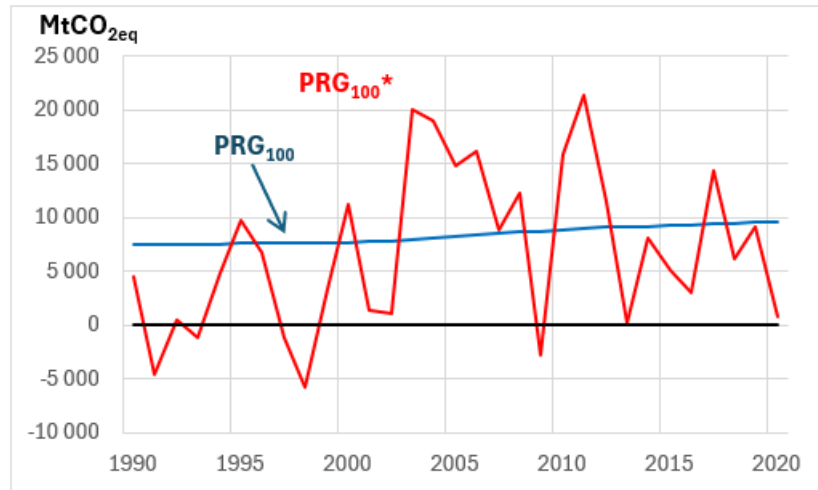
<https://www.pbl.nl/en/trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions>

Le graphique ci-dessous reproduit l'évolution des émissions mondiales de méthane converties en équivalents CO₂ pour les deux métriques PRG et PRG*. La variabilité des émissions nationales serait

²⁸ Olivier J.G.J. (2021), Trends in global CO₂ and total greenhouse gas emissions: 2021 Summary report. Report no. 4758. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.

supérieure dans la majorité des cas, car l'agrégation des données nationales amortit les changements de tendance. L'utilisation de l'indicateur pondéré PRG^*P ne la réduit que modérément.

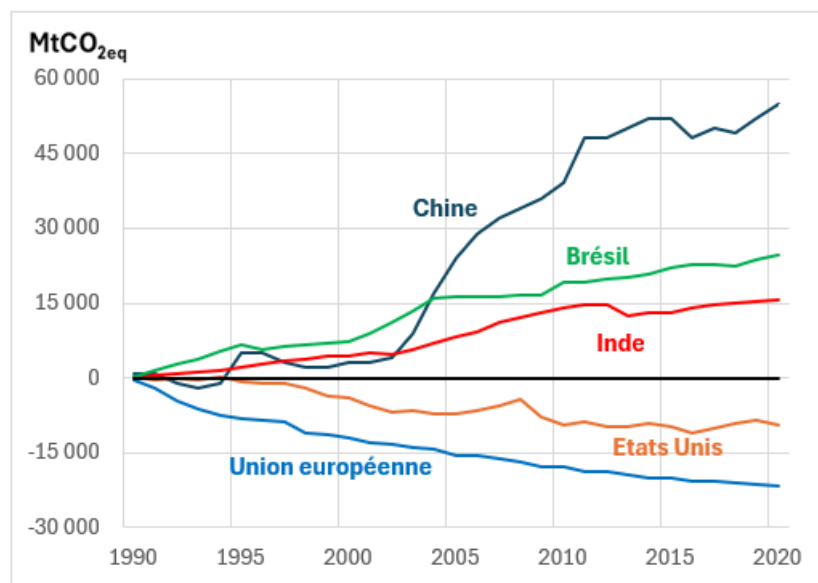
Emissions mondiales de méthane en équivalents CO_2



Source des données : base EDGAR

Du fait de leurs grandes variabilités annuelles, les séries annuelles d'émission de méthane calculées à partir du PRG^* ne sont pas d'une grande utilité pour suivre les émissions des différents pays. On peut en revanche utiliser les cumuls sur des périodes suffisamment longues. Le graphique ci-dessous montre le résultat de ces calculs pour les cinq premiers émetteurs mondiaux de méthane en 2020. D'après l'indicateur PRG^* , les gros émetteurs historiques ont contribué à refroidir la planète (émissions cumulées négatives) depuis l'année 1990. Dans cette représentation, seuls les pays émergents semblent contribuer au réchauffement du fait de la croissance du niveau absolu de leurs émissions de méthane, contrairement à celles des Etats-Unis et de l'Union européenne.

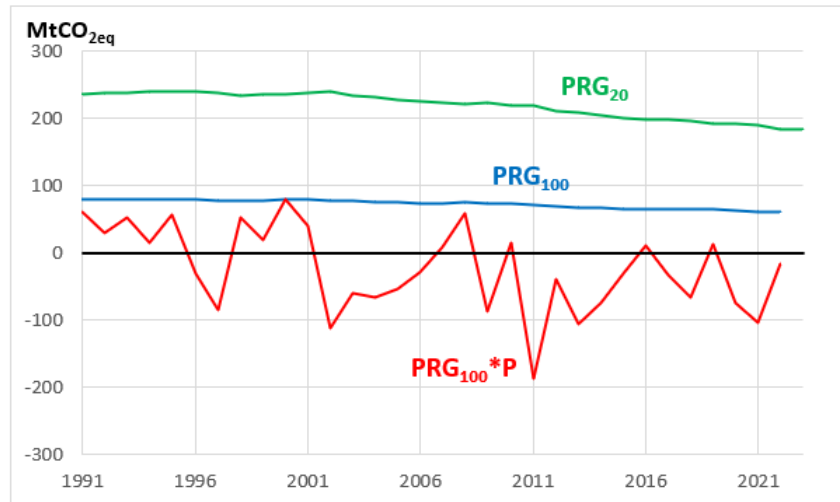
Emissions cumulées de méthane en équivalent CO_2 (calculées avec le PRG^* à 100 ans)



Source des données : base EDGAR

Le dernier graphe montre dans le cas de la France les chroniques historiques de méthane entre 1991 et 2021, telles qu'elles apparaissent dans l'inventaire national (PRG standard à 100 ans) et recalculées à partir du PRG sur 20 ans puis du PRG*^P à 100 ans. Ces trois métriques sont utilisées dans le paragraphe de la note consacré à l'impact des changements de métrique sur la définition de la cible de neutralité.

Emissions de méthane selon trois métriques (France)



Source des données : CITEPA, inventaire national

ANNEXE 3**Du PRG aux PRG* : simulations numériques**

Le tableau ci-dessous reproduit les données de la simulation utilisée pour confectionner la figure 3 de la note. La première colonne figure la quantité Q de méthane qui s'ajoute chaque année à la précédente. La deuxième colonne donne la quantité totale émise durant chaque période.

La façon standard de convertir le méthane en équivalent CO₂ est de multiplier sa valeur en unité physique (Q) par un coefficient fixe mesurant son PRG sur 100 ans (actuellement le coefficient utilisé est de 28). C'est la grandeur figurant dans la colonne PRG₁₀₀ du tableau.

La colonne PRG₁₀₀* est obtenue en multipliant les variations annuelles de Q par le coefficient 28 et par l'horizon temporel choisi (ici 100 ans). Par construction, les variations de PRG₁₀₀* sont positives tant que Q augmente, nulles quand Q est stabilisé et négatives quand Q décroît. Leur cumul sur la période s'annule en raison des hypothèses choisies, dans un but pédagogique.

La colonne PRG₁₀₀*^P est la moyenne pondérée des deux indicateurs précédents. Conformément à la préconisation de ses concepteurs, nous avons appliqué les coefficients de pondération de 0,75 pour le PRG* et de 0,25 pour le PRG. Les mouvements à la hausse comme à la baisse de l'indicateur sont moins prononcés que ceux du PRG₁₀₀*. Une autre différence importante est que le cumul des émissions de méthane exprimé en équivalent CO₂ n'est plus nul. Il équivaut au quart de celui calculé à partir du PRG standard.

	Emissions physiques de CH ₄		Emissions de CH ₄ en équivalent CO ₂		
	VAR/AN	MONTANT	PRG ₁₀₀	PRG ₁₀₀ * ^P	PRG ₁₀₀ *
Années 1-5	+1	15	420	10 612	14 000
Années 6-15	+2	160	4 480	43 120	56 000
Années 16-25	+3	415	11 620	65 905	84 000
Années 26-35	+2	660	18 480	46 620	56 000
Années 36-45	+1	805	22 540	26 635	28 000
Années 46-55	0	850	23 800	5 950	0
Années 56-65	-1	795	22 260	-15 435	-28 000
Années 66-75	-2	640	17 920	-37 520	-56 000
Années 76-85	-3	385	10 780	-60 305	-84 000
Années 86-95	-2	140	3 920	-41 020	-56 000
Années 96-100	-1	10	280	-10 430	-14 000
CUMUL	0	4 875	136 500	34 132	0

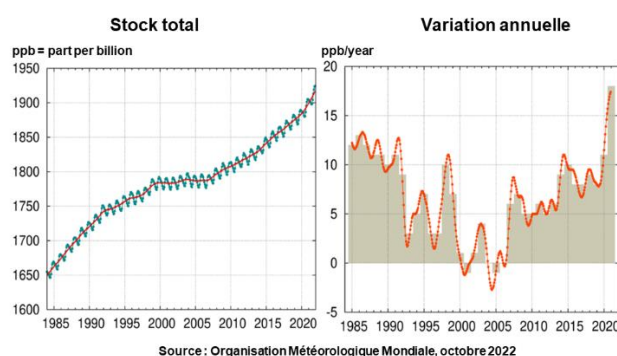
La figure 3 de la note donne une représentation visuelle des chroniques annuelles d'émission calculées à partir de ces hypothèses. Les marches d'escalier reflètent chaque fois le changement d'une unité de l'incrément annuel qui s'ajoute ou se retranche des émissions. Dans la réalité, les émissions de méthane ne suivent jamais des pentes d'une telle régularité. C'est pourquoi les données historiques d'émissions de méthane converties en équivalents CO₂ avec le PRG* présentent une grande irrégularité.

ANNEXE 4

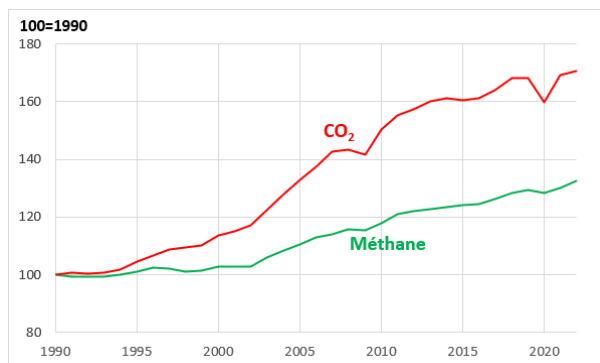
Emissions et concentration atmosphérique de méthane

Contrairement à celle du CO₂, la concentration atmosphérique de méthane n'augmente pas de façon régulière. Elle a même semblé se stabiliser au début des années 2000. Sur la période récente, l'Organisation Météorologique Mondiale alerte régulièrement sur la forte accélération du stock qui ne s'explique pas par un changement de rythme des émissions²⁹. D'où la grande difficulté de rattacher les flux annuels d'émission à la variation du stock et d'établir des budgets méthane similaires à ceux estimés par le GIEC pour le CO₂ dans ses différents rapports d'évaluation.

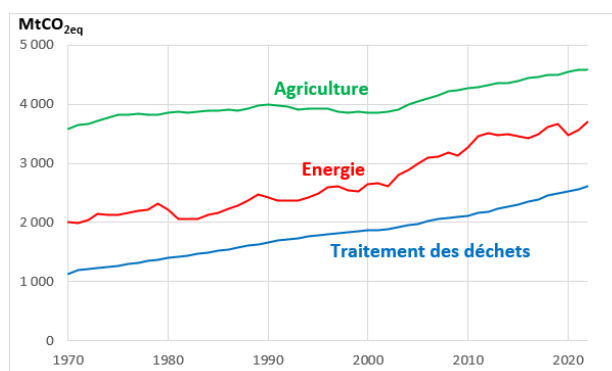
Concentration de méthane dans l'atmosphère



Emissions mondiales de méthane et de CO₂



Emissions mondiales de méthane par secteur



²⁹ https://library.wmo.int/viewer/66323/download?file=1316_Statement_2022_fr.pdf&type=pdf&navigator=1