

# À la recherche des bonnes équivalences climatiques entre CO<sub>2</sub> et méthane

Christian de Perthuis<sup>1\*</sup>, Christian Couturier<sup>2</sup>, Sophie Szopa<sup>3</sup>

1. Université Paris Dauphine-PSL, Paris

2. Solagro, Toulouse

3. Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, IPSL, Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette

## Résumé

À quantité égale émise, le méthane exerce un réchauffement plus intense que le CO<sub>2</sub>, mais sur une période plus courte. Cet article se penche sur les différentes métriques permettant de comparer les impacts climatiques des deux gaz qui présentent toutes des limites. Il recommande de maintenir celle en vigueur dans le cadre de la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques, tout en améliorant son usage à mesure des progrès de la connaissance scientifique.

## Abstract – Looking for right climatic equivalences between CO<sub>2</sub> and methane

For the same quantity emitted, methane causes more intense global warming than CO<sub>2</sub>, but over a shorter period. This article looks at the different metrics used to compare the climate impacts of the two gases, all of which have limits. It recommends maintaining that in force under the United Nations Framework Convention on Climate Change while improving its usage as scientific knowledge progresses.



Couverture du rapport de l'OMM 2023.

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 CO<sub>2</sub> et les tonnes de méthane, les deux principaux gaz à effet de serre rejetés dans l'atmosphère par l'activité humaine. Si on veut mesurer leur contribution respective au réchauffement global, on doit les convertir dans une unité commune.

La méthode standard, adoptée par la convention cadre de 1992 sur le climat<sup>1</sup>, consiste à utiliser le « pouvoir de réchauffement global » sur 100 ans (PRG<sub>100</sub>) calculé et publié dans les rapports d'évaluation du Giec. À la suite de l'adoption de l'Accord de Paris, la COP (Conference of the Parties) 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 permettant d'établir et de rendre compte des objectifs d'atténuation de chaque pays<sup>2</sup>.

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 dommages climatiques provoqués par les émissions de méthane.

Comme toute convention comptable, cette méthode simplifie une réalité bien plus complexe ainsi que le montrent les rapports successifs du Giec ayant examiné la question. Dans ce contexte, certains acteurs se sont exprimés en faveur de l'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 été portée par certains émetteurs historiques de méthane, notamment dans le secteur de l'élevage des ruminants<sup>3</sup> [1] : celle d'appliquer le PRG du méthane, non plus au montant absolu de ses émissions, mais à leur variation en utilisant un indicateur dénommé

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

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

3. <https://clear.ucdavis.edu/news/gwp-more-useful-measuring-warming-cause-livestock-methane-emissions>

PRG\*. D'après ces émetteurs, l'urgence de la baisse des émissions de méthane, de loin le second contributeur au réchauffement après le CO<sub>2</sub>, serait relativisée sitôt que le volume des émissions de méthane est en diminution.

Cet article examine les principales méthodes mentionnées dans les travaux du Giec pour calculer les équivalences climatiques du méthane et du CO<sub>2</sub>. Il montre que la méthode du PRG\* peut être un outil de simulation utile, mais en aucun cas un instrument de comptabilisation des émissions. Il préconise en conséquence de maintenir la métrique actuelle du PRG<sub>100</sub> tout en l'améliorant à mesure des progrès des connaissances scientifiques.

## Le méthane réchauffe plus fort mais moins longtemps

Quand ils sont dans l'atmosphère, le CO<sub>2</sub> et le méthane rejetés par l'homme absorbent une partie du rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre pour le réémettre à la fois vers le haut et vers le sol. Ainsi, l'accroissement de leur stock atmosphérique exerce un « forçage radiatif positif » à l'origine du réchauffement planétaire.

Pour comparer les contributions respectives au réchauffement planétaire des rejets atmosphériques du CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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 en millénaires. Les modèles climatiques qui prennent en compte le cycle du carbone permettent d'établir le lien entre le cumul des rejets de CO<sub>2</sub> et la variation de son stock dans l'atmosphère ainsi que le forçage radiatif induit. On peut alors définir un PRG d'une unité de CO<sub>2</sub> 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

### 1. Les facteurs d'équivalence calculés par le Giec

À 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. Le tableau ci-dessous donne les PRG à 20 et 100 ans du méthane tels qu'ils ont été évalués dans les rapports successifs. Par construction, le PRG du CO<sub>2</sub> est égal à l'unité.

Tableau. Pouvoir de réchauffement global (PRG) du méthane.

	Année de publication	PRG à 20 ans	PRG à 100 ans	Références
1 <sup>er</sup> rapport	1990	63	21	<a href="https://www.ipcc.ch/report/ar1/wg1/">https://www.ipcc.ch/report/ar1/wg1/</a>
2 <sup>e</sup> rapport	1995	56	21	<a href="https://www.ipcc.ch/report/ar2/wg1/">https://www.ipcc.ch/report/ar2/wg1/</a>
3 <sup>e</sup> rapport	2001	62	23	<a href="https://www.ipcc.ch/report/ar3/wg1/">https://www.ipcc.ch/report/ar3/wg1/</a>
4 <sup>e</sup> rapport	2007	72	25	<a href="https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/">https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/</a>
5 <sup>e</sup> rapport	2013	84	28	<a href="https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/">https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/</a>
6 <sup>e</sup> rapport	2021	82,5*	29,8*	<a href="https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/">https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/</a>
6 <sup>e</sup> rapport	2021	79,7**	27**	<a href="https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/">https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/</a>

\* Méthane d'origine fossile

\*\* Méthane d'origine biogénique

#### La distinction entre méthane d'origine fossile ou biogénique

Le 6<sup>e</sup> rapport du Giec introduit une distinction entre méthane émis par l'industrie des énergies fossiles et méthane d'origine biogénique issu de l'agriculture et du traitement des déchets organiques. Les impacts climatiques du méthane biogénique sont légèrement moindres que ceux du méthane d'origine fossile, car le CO<sub>2</sub> qui reste dans l'atmosphère après sa décomposition chimique s'inscrit dans le cycle court du carbone. Il n'est donc pas comptabilisé comme une émission supplémentaire puisqu'il renvoie

dans l'atmosphère la quantité de CO<sub>2</sub> préalablement capturée par les plantes grâce à la photosynthèse.

#### Utilisation dans les inventaires nationaux d'émission de gaz à effet de serre

- Jusqu'en 2015, les facteurs d'émission du 2<sup>e</sup> rapport sont utilisés dans les inventaires nationaux établis par les différents pays dans le cadre de la Convention climat de 1992 (CCNUCC).
- Entre 2016 et 2022, ce sont les facteurs d'émission du 4<sup>e</sup> rapport qui sont utilisés.
- Depuis 2023, ce sont les facteurs d'émission du 5<sup>e</sup> rapport qui sont utilisés.

du CO<sub>2</sub>. Dans l'atmosphère, le méthane est transformé en CO<sub>2</sub> par des processus chimiques. Au bout de 12 ans, il ne subsiste qu'une faible quantité par rapport à celle émise (37 % environ). Le temps de perturbation climatique induit par une émission de méthane dans l'atmosphère est donc bien inférieur à celui induit par une émission de CO<sub>2</sub>. 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 donc d'autres gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub> et ozone) qui prolongent, de façon atténuée son effet climatique.

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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> va varier suivant l'échéance temporelle considérée. Mais de combien ?

## Le PRG et ses utilisations en matière d'action climatique

Dès son premier rapport d'évaluation (1990)<sup>4</sup>, 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 CO<sub>2</sub> considéré comme l'unité de référence. Les tonnes physiques de gaz sont alors converties en « tonnes équivalent CO<sub>2</sub> » notées CO<sub>2</sub>-eq. Ces CO<sub>2</sub>-eq permettent d'agréger les différents gaz à effet de serre, en particulier le CO<sub>2</sub> 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<sup>e</sup> rapport d'évaluation du Giec, le PRG du méthane d'origine fossile est estimé à 82,5 sur 20 ans,

4. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc\\_90\\_92\\_assessments\\_far\\_full\\_report\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc_90_92_assessments_far_full_report_fr.pdf), p. 78.

29,8 à 100 ans et 10 à 500 ans. Le PRG du méthane biogénique, issu de l'agriculture et du traitement des déchets organiques, est légèrement inférieur, car le  $\text{CO}_2$  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 (encadré 1). Ces réévaluations traduisent les progrès de la connaissance scientifique qui appréhende mieux les effets indirects du méthane qui perdurent après sa décomposition dans l'atmosphère.

Dans la pratique, le  $\text{PRG}_{100}$  est devenu l'étalon à la base de la métrique permettant d'agréger les gaz à effet de serre en fonction de leur impact climatique respectif. Les inventaires nationaux que les pays doivent remettre aux Nations unies dans le cadre de la Convention cadre sur le climat de 1992 sont calculés en utilisant le  $\text{PRG}_{100}$ . Les décisions de la COP24 sur la mise en œuvre de l'Accord de Paris le rappellent explicitement. En particulier, 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.

Ainsi, le  $\text{PRG}_{100}$  est utilisé dans bien des domaines de l'action climatique. Les outils de tarification utilisent le  $\text{PRG}_{100}$  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  $\text{PRG}_{100}$  est utilisé dans les analyses de cycle de vie et les calculs d'empreinte carbone.

## Les méthodes alternatives de conversion du méthane en équivalent $\text{CO}_2$

Comme toute représentation comptable, le  $\text{PRG}_{100}$  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 gaz à effet de serre 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 *global temperature change potential* (GTP), basée sur la hausse de température induite par l'émission d'une unité de gaz à effet de serre à un horizon donné [2]. Le GTP donne un poids plus faible au méthane que la méthode du PRG, à horizons temporels équivalents. 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 gaz à effet de serre en une unité commune sur la base de l'estimation des dommages futurs provoqués par leurs émissions [3, 4]. Stimulante sur le 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  $\text{PRG}_{100}$ . Dans le cas du

méthane, comme des autres gaz à effet de serre à courte durée de séjour dans l'atmosphère, la méthode standard comporte un biais, car elle ne tient qu'imparfaitement compte de l'élimination rapide du méthane émis dans l'atmosphère au bout de 12 ans.

## 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 PRG non plus aux émissions, mais à leurs variations. On parle alors de PRG\*.

Cette méthode a été proposée en 2016 par Allen et ses co-auteurs [5] et a fait l'objet d'une discussion dans le rapport spécial<sup>5</sup> du Giec sur un réchauffement de 1,5 °C. Les auteurs proposent de convertir les émissions de méthane en équivalent  $\text{CO}_2$  en appliquant le PRG standard à la variation des émissions et en multipliant le résultat par le nombre d'années considérées.

Une simulation numérique sur 100 ans permet de comprendre la méthode. Supposons que les émissions de méthane augmentent d'une unité par an pendant 50 ans, puis décroissent de la même quantité à partir de la 51<sup>e</sup> année pour s'annuler en fin de période. Avec le  $\text{PRG}_{100}$ , les émissions de méthane converties en équivalents  $\text{CO}_2$  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  $\text{PRG}_{100}^*$ , les émissions de méthane en équivalent  $\text{CO}_2$  se fixent à un niveau bien plus élevé tant que les émissions s'accroissent. La 51<sup>e</sup> année, la baisse des émissions se traduit en émissions négatives d'équivalent  $\text{CO}_2$ . Chaque année de baisse des émissions efface la trace climatique d'une année de hausse, si bien que leur cumul sur la période est égal à zéro (figure 1).

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. Pour corriger cette lacune, une nouvelle version du PRG\*, que nous noterons  $\text{PRG}^{*P}$ , a

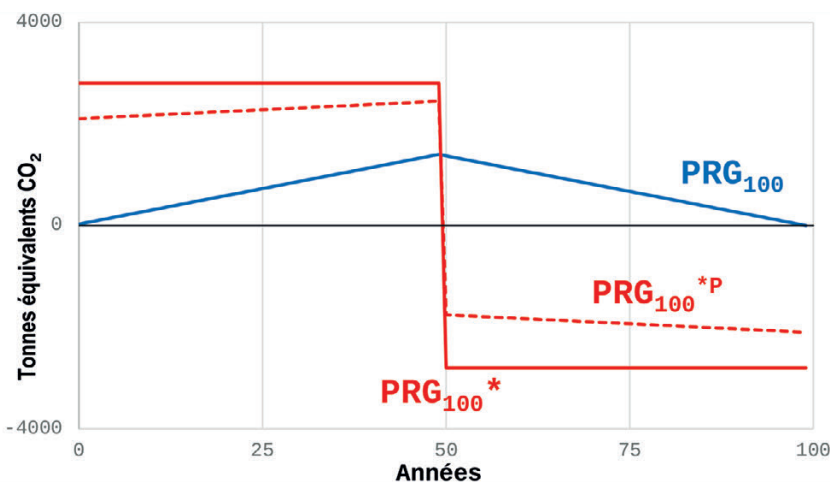


Figure 1. Représentation schématique du PRG et du PRG\* sur une période de 100 ans avec des émissions de méthane augmentant d'une unité par an pendant 50 ans puis diminuant d'une unité à partir de la 51<sup>e</sup> année. Calculs utilisant le PRG du 5<sup>e</sup> rapport du Giec.

5. IPCC, 2018. Global Warming of 1,5 °C. Special Report, 66-68.



été proposée en 2019 par Cain et ses co-auteurs [6]. 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. Comme le  $PRG^*$ , l'indicateur pondéré  $PRG^{*P}$  prend une valeur positive tant que les émissions de méthane augmentent et une valeur négative dans le cas contraire. Mais avec le  $PRG^{*P}$ , le cumul des émissions sur les 100 ans est désormais positif dans notre simulation (figure 1), ce qui traduit les effets climatiques à long terme des émissions de méthane.

L'indicateur  $PRG^{*P}$  reflète donc mieux la complexité des interactions entre flux annuel d'émissions de méthane et évolution du stock de gaz à effet de serre présent dans l'atmosphère. Il semble 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. Mais cela ne préjuge en rien de sa capacité à fournir un outil pertinent de comptabilisation des émissions.

## Le $PRG^*$ et la comptabilisation des émissions historiques

Si on recalculait les émissions historiques de méthane en utilisant le  $PRG^*$ , la première observation serait la grande instabilité des chroniques obtenues, comme le montre la figure 2, où nous avons recalculé la chronique des émissions mondiales en utilisant le  $PRG$  et le  $PRG^*$ . L'indicateur  $PRG^*$  est en effet un indicateur « sans mémoire » : son niveau à 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. Il ne serait donc possible d'utiliser un tel indicateur dans les inventaires qu'à la condition de lisser sur plusieurs années les données, ce qui priverait les utilisateurs des informations annuelles dont ils ont besoin pour le suivi des politiques climatiques.

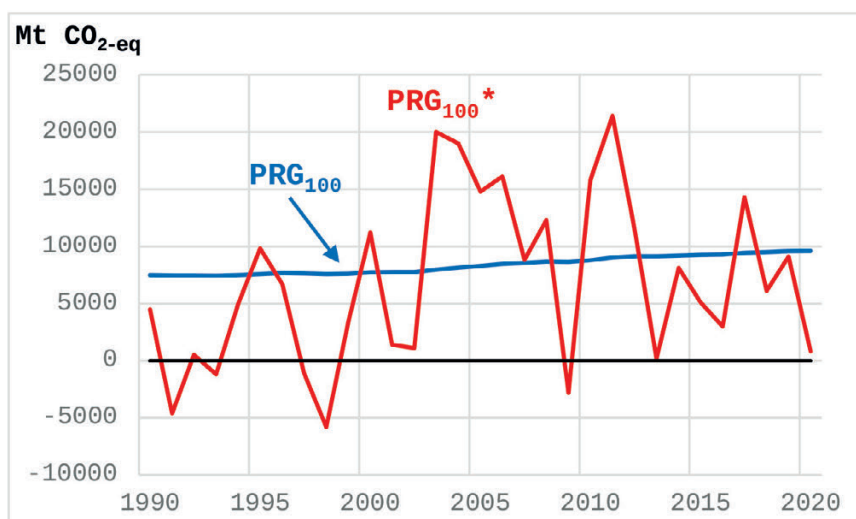


Figure 2. Émissions mondiales de méthane en équivalent  $CO_2$ . Source : base de données Edgar, [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\\_2023](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023).

Tableau 1. Émissions cumulées de méthane en équivalents  $CO_2$  (1990-2020).

	Avec $PRG$ standard		Avec $PRG^*$	
	GtCO <sub>2-éq</sub>	% du total	GtCO <sub>2-éq</sub>	
Chine	43,5	16,8	Chine	55,0
Inde	21,8	8,4	Brésil	24,6
États-Unis	20,9	8,1	Inde	15,8
Union européenne	17,1	6,6	États-Unis	-9,6
Brésil	15,0	5,8	Union européenne	-21,6
<b>Monde</b>	<b>259</b>	<b>100</b>	<b>Monde</b>	<b>211</b>

Source des données : base de données Edgar. [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\\_2023](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023)

Du fait de son caractère amnésique, l'utilisation du  $PRG^*$  modifierait de plus la vision des contributions respectives des différents émetteurs au réchauffement global. Avec le  $PRG^*$ , 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 exprimées en  $CO_{2-éq}$ . Ce sont les pays d'industrialisation ancienne qui ont rejeté beaucoup de méthane dans le passé. D'autres, comme la Chine ou le Brésil, verraient leurs émissions de méthane en équivalent  $CO_2$  croître plus rapidement qu'avec l'indicateur standard. La hiérarchie des grands émetteurs serait modifiée (tableau 1).

Dans le cas de la France, les émissions de méthane ont reculé entre 1990 et 2021 (à un rythme un peu plus lent que le  $CO_2$ ). Un fois converties en équivalents  $CO_2$  avec le  $PRG^*$  (avec ou sans pondération), cela donnerait des émissions négatives d'équivalents  $CO_2$  sur les trente dernières années. Ce changement de métrique aurait également une

incidence sur le calcul des objectifs de « neutralité » affichés par les différents pays dans le cadre de l'application de l'Accord de Paris.

## Le $PRG^*$ et l'objectif de « neutralité » au plan mondial

Dans son article 4, l'Accord climatique de Paris indique que pour limiter le réchauffement planétaire « bien en dessous de 2 °C », il faut atteindre avant la fin du XXI<sup>e</sup> siècle « un équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre »<sup>6</sup>. Cet objectif qualifié de « net zéro » émissions dans le 6<sup>e</sup> rapport du Giec est souvent dénommé objectif de « neutralité ». Il s'applique à l'ensemble des gaz à effet de serre d'origine anthropique et pas seulement au  $CO_2$ .

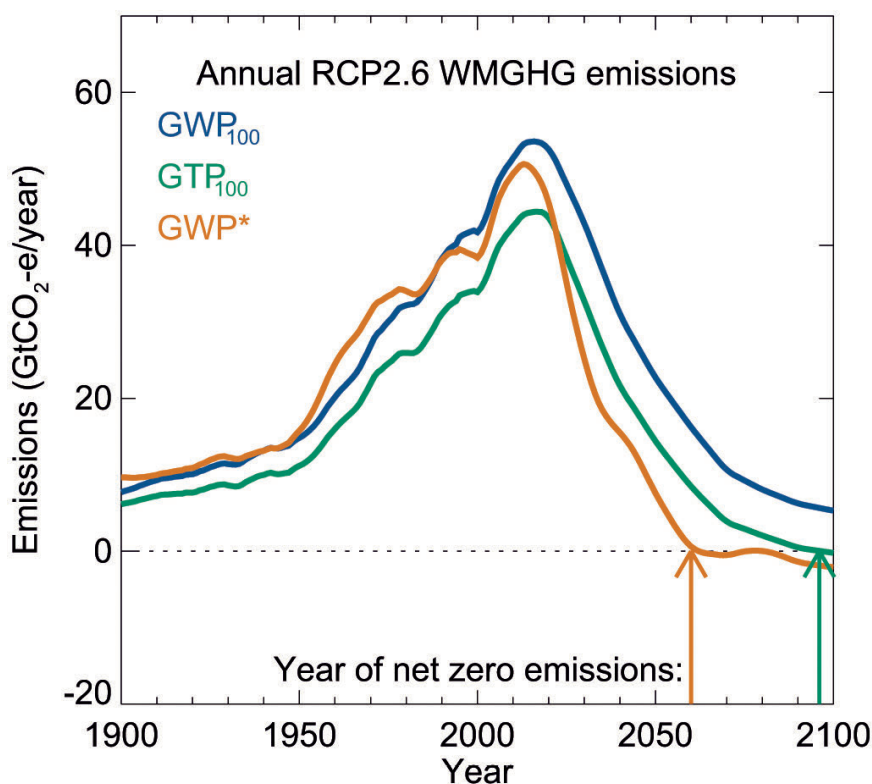
6. [https://unfccc.int/sites/default/files/french\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/french_paris_agreement.pdf)

Le 6<sup>e</sup> rapport du Giec analyse en détail les conditions à réunir pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris. Pour avoir deux chances sur trois de stabiliser l'augmentation de la température en dessous de 2 °C, les émissions de CO<sub>2</sub> doivent passer leur pic durant la décennie 2020, puis atteindre le « net zéro » (pour le seul CO<sub>2</sub>) 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 2050<sup>7</sup>, les scénarios permettant de limiter le réchauffement en dessous de 2 °C n'exigeant pas que les émissions brutes de méthane tombent à zéro.

En utilisant le PRG<sub>100</sub>, ces cibles de températures peuvent être traduites en trajectoires d'émission multi-gaz. Selon le 6<sup>e</sup> rapport de synthèse du Giec, il faudra réduire de 43 % les émissions de l'ensemble des gaz à effet de serre 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 siècle<sup>8</sup>. 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.

Toujours à l'aide du PRG<sub>100</sub>, le 6<sup>e</sup> rapport du Giec fournit une estimation du « net zéro » ou neutralité globale pour l'ensemble des gaz à effet de serre au sens de l'article 4 de l'Accord de Paris. Sans surprise, ce « net zéro » global est atteint plus tardivement que pour le seul CO<sub>2</sub>, car il n'est pas envisageable d'atteindre des émissions nulles de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O, ce qui nécessite des puits de carbone additionnels pour compenser les émissions résiduelles de méthane et des autres gaz à effet de serre hors CO<sub>2</sub>. L'atteinte de cette neutralité est envisagée au moins 20 ans plus tard que la neutralité CO<sub>2</sub>. Si on changeait de métrique, le résultat serait modifié, puisque le poids du méthane est différent dans l'ensemble des calculs.

Le rapport spécial du Giec sur le 1,5 °C s'est penché sur cette question. Il montre que si on utilise le PRG\* (GWP\* en anglais) à la place des métriques conventionnelles GWP<sub>100</sub> ou GTP<sub>100</sub>, on atteint la neutralité avec plusieurs décennies d'avance dans les scénarios fortement réducteurs d'émissions (figure 3). Cette atteinte plus rapide de la neutralité provient du très fort effet de refroidissement résultant de la réduction des rejets de méthane



calculé avec le PRG\*. Relativement aux métriques traditionnelles, le PRG\* capture mieux la sensibilité de la température à toute variation du rythme d'évolution des émissions de méthane. Bien entendu, ce changement de norme comptable ne change en rien l'exigence de réduction des émissions physiques de méthane pour stabiliser le réchauffement global.

## Le PRG\* et l'objectif de « neutralité » à l'échelle d'un pays ou d'un secteur

Depuis l'adoption de l'Accord de Paris, les objectifs climatiques de long terme sont généralement fixés par les pays en termes de neutralité globale (« net zéro » sur l'ensemble des gaz à effet de serre). Ainsi, la France, à l'instar de l'Union européenne, s'est engagée à atteindre la « neutralité climat » à l'horizon 2050.

La figure 4 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 gaz à

effet de serre (CO<sub>2</sub> inclus) et une capacité d'absorption des puits de carbone de 80 Mt de CO<sub>2</sub> en 2050 (hypothèse retenue par la « stratégie nationale bas carbone »<sup>9</sup> adoptée en avril 2020).

Comme dans le cas des émissions mondiales analysé dans le rapport spécial du Giec 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 gaz à effet de serre, 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<sub>2</sub>-eq.

Avec un PRG\*<sup>p</sup> à 100 ans, la neutralité serait atteinte dès 2031, à hypothèses inchangées sur les émissions de gaz à effet de serre. La diminution des rejets de méthane serait en effet comptabilisée comme émission négative de CO<sub>2</sub>, ce qui abaisserait le montant estimé des émissions totales de gaz à effet de serre et accélérerait leur réduction. Après 2031, le pays passerait en régime

7. IPCC, 2021. AR6-WG1, figure SPM.4, p. 13.

8. IPCC, 2021. AR6-SYNT, Table 3.1, p. 84.

9. [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25\\_MTES\\_SNBC2.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf)

d'émission négative. Dans le cas d'un PRG\* non pondéré, l'impact serait encore plus violent. La neutralité serait atteinte dès 2023.

Une erreur d'interprétation majeure serait d'imaginer qu'en substituant le PRG\* au PRG on pourrait assouplir les objectifs de réduction des émissions puisque la neutralité est atteinte plus rapidement. La neutralité climat, telle que définie à l'article 4 de l'Accord de Paris, n'a de sens qu'à l'échelle globale. Elle est documentée par les trajectoires d'émission issues des modélisations sur les grandeurs physiques qui permettent de rattacher les flux annuels anthropiques aux stocks de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Si on change le coefficient de conversion du méthane, on ne change en rien l'exigence de réduction de ces émissions.

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 seule l'agrégation à l'échelle mondiale peut permettre d'atteindre la neutralité globale et une stabilisation de la température globale. Y a-t-il, à cette échelle globale, de bons arguments pour changer de métrique ?

## Ne pas changer de thermomètre

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 récent [7] : jusqu'à présent, ces progrès ont conduit à améliorer le réglage du thermomètre en actualisant les coefficients du PRG<sub>100</sub>. Changer l'horizon temporel du PRG<sub>100</sub> 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 PRG<sub>100</sub>, 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 100 ans. Les familles de scénarios analysés à chaque rapport d'évaluation du Giec

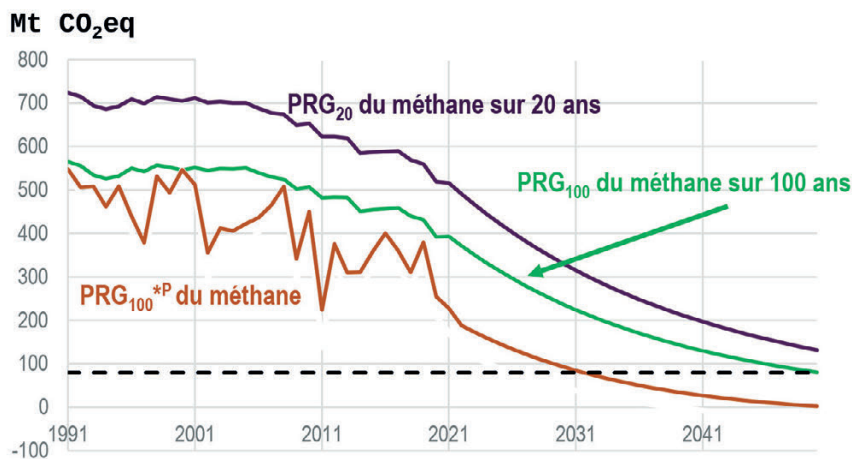


Figure 4. Cible de neutralité en France suivant trois métriques en supposant une réduction de 3 % par an des émissions de méthane et de 6 % des autres gaz à effet de serre et une capacité d'absorption des puits de carbone de 80 Mt de CO<sub>2</sub> (tireté). D'après les données du Citepa, inventaire national.

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 termes<sup>10</sup>. 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.

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 des trajectoires d'émission du méthane. En dehors des difficultés pratiques, en particulier l'illibilité à court terme des données d'inventaires converties en équivalents CO<sub>2</sub> avec le PRG\*, nous voyons quatre raisons de fond pour conserver le PRG<sub>100</sub> :  
- Avec le PRG\*, l'intensité des émissions de méthane devient secondaire et seule importe la variation de celles-ci. Dans l'établissement des inventaires, cela conduirait à compter positivement les émissions de nouveaux émetteurs et négativement celles d'émetteurs historiques réduisant les leurs. 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 peut être utile comme outil de modélisation, mais est discrédité comme instrument de comptabilisation des émissions [8].

- 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 pays développés. Son introduction dédouanerait ces émetteurs d'une partie de leur responsabilité. Du point de vue global des pays du Sud, elle réduirait de façon artificielle la dette climatique des pays riches [9].

- 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 contre-productives aux émetteurs de méthane, à cause de l'ambiguïté de la notion de neutralité à l'échelle micro-économique. Avec cette métrique, ces émetteurs 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 contre-productives 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

10. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf), p. 409 et suivantes.



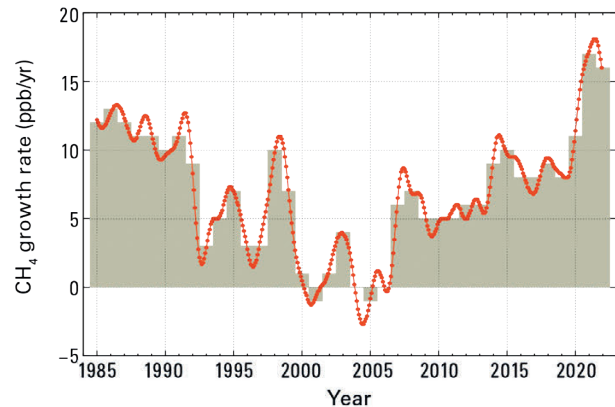
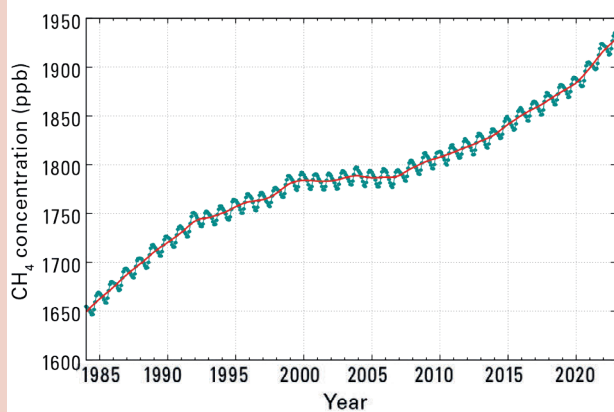
## 2. Émissions et concentration atmosphérique de méthane

Contrairement à celle du  $\text{CO}_2$ , 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 (OMM) alerte régulièrement

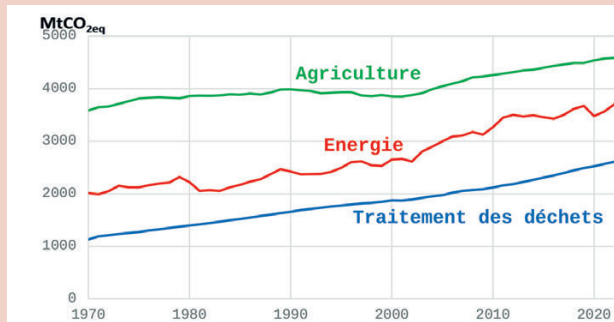
sur la forte accélération du stock qui ne s'explique pas par un changement observé des émissions anthropiques<sup>11</sup>. D'où la grande difficulté de rattacher les flux annuels d'émission à la variation du stock et d'établir des budgets méthane similaires à ceux estimés par le Giec

pour le  $\text{CO}_2$  dans ses différents rapports d'évaluation.

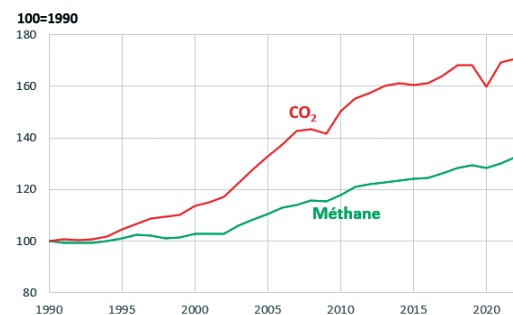
11. [https://library.wmo.int/viewer/66323/download?file=1316\\_Statement\\_2022\\_fr.pdf&type=pdf&navigator=1](https://library.wmo.int/viewer/66323/download?file=1316_Statement_2022_fr.pdf&type=pdf&navigator=1)



Stock de méthane dans l'atmosphère. Source : OMM, octobre 2022.



Émissions mondiales de méthane par secteur.  
Source : [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\\_2023](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023)



Émissions mondiales de méthane et de  $\text{CO}_2$ .

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  $\text{CO}_2$  d'après le 6<sup>e</sup> 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 (encadré 2).

## 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  $\text{CO}_2$ .

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 États 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 contre-productive.

Le meilleur des compromis possibles nous semble être de conserver la métrique traditionnelle du  $\text{PRG}_{100}$  permettant d'aligner les stratégies

d'atténuation des acteurs, tout en l'améliorant au gré des progrès de la connaissance scientifique. Sous cet angle, un apport utile sera d'intégrer les résultats du 6<sup>e</sup> 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'atténuation [10]. De par son caractère biogénique, les émissions de ce secteur devraient être comptabilisées avec un  $\text{PRG}_{100}$  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  $\text{PRG}^*$  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 gaz à effet de serre qui constituent l'infrastructure sur laquelle reposent 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<sup>12</sup> [11]. 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 de calcul plus fines, 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 anthropiques [12]. 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 (encadré 2).

La comptabilisation du méthane regroupe le calcul de ses émissions et la métrique utilisée pour le convertir en équivalents CO<sub>2</sub>. Pour l'améliorer, l'urgence n'est pas de changer le thermomètre existant, mais de continuer à le perfectionner en fonction de l'évolution des connaissances.

## Remerciements

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.

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

## Bibliographie

- [1] Donnison C.L., Murphy-Bokem D., 2024. Are climate neutrality claims in the livestock sector too good to be true? *Environ. Res. Lett.*, 19, 011001. doi: 10.1088/1748-9326/ad0f75
- [2] Shine K.P., Fuglestad J.S., Hailamariam K. *et al.*, 2005. Alternatives to the global warming potential for comparing climate impacts of emissions of greenhouse gases. *Clim. Change*, 68, 281-302. doi: 10.1007/s10584-005-1146-9
- [3] Boucher O., 2012. Comparison of physically- and economically-based CO<sub>2</sub>-equivalences for methane. *Earth Syst. Dynam.*, 3, 49-61. doi: 10.5194/esd-3-49-2012
- [4] Tol R.S.J., Berntsen T.K., O'Neill B.C., Fuglestad J.S., Shine K.P., 2012. A unifying framework for metrics for aggregating the climate effect of different emissions. *Environ. Res. Lett.*, 7, 044006.
- [5] Allen M., Fuglestad J.S., Shine K.P. *et al.*, 2016. New use of global warming potentials to compare cumulative and short-lived climate pollutants. *Nature Clim Change*, 6, 773-776. doi: 10.1038/nclimate2998
- [6] Cain M., Lynch J., Allen M.R. *et al.*, 2019. Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants. *NPJ Clim Atmos Sci*, 2, 29. doi: 10.1038/s41612-019-0086-4
- [7] Tanaka K. *et al.*, 2021. Cost-effective implementation of the Paris Agreement using flexible greenhouse gas metrics. *Sci. Adv.*, 7, 22. doi: 10.1126/sciadv.abf902
- [8] Meinshausen M., Nicholls Z., 2022. GWP\* is a model, not a metric. *Environ. Res. Lett.*, 17, 041002.
- [9] Rogelj J., Schleussner C.-F., 2019. Unintentional unfairness when applying new greenhouse gas emissions metrics at country level. *Environ. Res. Lett.*, 14, 114039. doi: 10.1088/1748-9326/ab4928
- [10] FAO, 2023. Methane emissions in livestock and rice systems – Sources, quantification, mitigation and metrics. FAO, Rome. doi: 10.4060/cc7607en
- [11] Lauvaux T. *et al.*, 2022. Global assessment of oil and gas methane ultra-emitters, *Science*, 375, 6580, 557-561. doi: 10.1126/science.abj4351
- [12] Saunio M. *et al.*, 2020. The Global Methane Budget 2000-2017. *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 1561-1623. doi: 10.5194/essd-12-1561-2020