


**Effet climatique et
émissions d'équivalents CO₂
des substances
à courte durée de vie**

MENTIONS LÉGALES

EDITRICE ET CONTACT

Académie suisse des sciences naturelle (SCNAT)
ProClim – Forum sur le climat et les changements globaux
Maison des Académies • Laupenstrasse 7 • Postfach • 3001 Berne • Suisse
+41 31 306 93 50 • proclim@scnat.ch • proclim.scnat.ch  @proclimCH

PROPOSITION DE CITATION

Neu U (2022) Effet climatique et émissions d'équivalents CO₂ des substances à courte durée de vie.
Swiss Academies Communications 17 (5).

AUTEUR ET RÉDACTION

Urs Neu, ProClim – Forum sur le climat et les changements globaux de la SCNAT

CONTRIBUTEURS

Fortunat Joos, Université de Berne • Cyril Brunner, ETH Zurich • Marcel Bühler, HAFL/BFH •
Erich Fischer, ETH Zurich • Thomas Kupper HAFL/BFH • Ivo Wallimann-Helmer, Université de Fribourg •
Axel Michaelowa, Université de Zurich • Adrian Müller, FiBL • Christian Schader, FiBL • Philippe Thalmann, EPFL

TRADUCTION

Fachübersetzungsdienst GmbH, Baar

MISE EN PAGE

Olivia Zwygart

PHOTO DE COUVERTURE

[photoprojektrm/stock.adobe.com](https://www.gettyimages.com/detail/stock-photo/123456789)

Ce rapport a été élaboré avec le soutien financier de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

1^{er} édition, 2022 (en ligne)

Ce rapport est disponible sous proclim.ch/id/MneaW

ISSN (en ligne) 2297-1823

DOI: doi.org/10.5281/zenodo.6343995



Avec cette publication, l'Académie suisse des sciences naturelles apporte une contribution à ODD 13.

> sustainabledevelopment.un.org

> eda.admin.ch/agenda2030/fr/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung.html

Contenu

1	Introduction et contexte	5
1.1	Objectifs climatiques internationaux	5
1.2	Politique climatique internationale	5
2	Scénarios d'émissions et conséquences pour le climat	5
2.1	Modélisation du climat.....	5
2.2	Conditions pour le respect des objectifs climatiques	5
3	Différence entre les effets climatiques des substances à vie longue et des substances à vie courte	6
3.1	Différences dans les effets climatiques.....	6
3.2	Comparaison des effets climatiques.....	7
4	Différentes métriques de comparaison	7
4.1	Objectif d'une métrique de comparaison	7
4.2	Effet climatique des impulsions d'émission	7
4.3	Effet climatique de l'évolution des émissions	9
4.4	Problème de la métrique établie pour les courbes d'émission	9
4.5	Développement d'une nouvelle métrique pour les substances à courte durée de vie.....	10
5	Choix de la métrique	11
6	Répercussions du choix de la métrique dans un contexte international/mondial	12
7	Répercussions du choix de la métrique pour la Suisse	12
8	Bibliographie	13

Les points essentiels en bref

Effet climatique des substances à courte durée de vie

- Les effets climatiques des substances à longue durée de vie comme le CO₂ et des substances à courte durée de vie comme le méthane ont une évolution très différente dans le temps: L'effet climatique d'une **impulsion d'émission** (c'est-à-dire d'une certaine quantité émise une fois¹) de CO₂ reste pratiquement constant sur une longue période, alors que pour le méthane, l'effet est très élevé immédiatement après l'émission et diminue ensuite relativement rapidement. Cela s'explique par le fait que le méthane se dégrade chimiquement assez rapidement dans l'atmosphère. (Chap. 3.1, 4.2, fig. 1)
- Si les émissions de méthane ou d'autres substances à courte durée de vie restent constantes sur une longue période, leur effet climatique reste lui aussi quasiment constant, c'est-à-dire que la quantité de méthane décomposée est presque égale à celle émise. Il n'y a pratiquement pas de réchauffement supplémentaire. (Chap. 3.1)
- Une réduction durable du **taux d'émission** (c'est-à-dire des émissions régulières) de méthane a le même effet climatique qu'une impulsion d'émission « négative » de CO₂ (élimination du CO₂ de l'atmosphère). Une augmentation durable du taux d'émission de méthane a le même effet climatique qu'une impulsion d'émission positive de CO₂. (Chap. 3.1)
- La réduction du taux d'émission de méthane est un moyen important et très efficace à court terme pour respecter les objectifs de température (1,5 ou 2 °C). Il n'existe aucun scénario envisageable pour atteindre ces objectifs sans une réduction substantielle des émissions de méthane. (Chap. 3.1, 7)
- Pour atteindre les objectifs climatiques, les émissions de méthane ne doivent pas être réduites à zéro net. En d'autres termes, les émissions de méthane restantes ne doivent pas être compensées par des émissions négatives de CO₂ correspondantes. (Chap. 3.1, 7)

Conversion en équivalent CO₂

- Afin de prendre en compte les différents effets des gaz à effet de serre sur le climat, les émissions de différentes substances sont regroupées en **émissions équivalentes de CO₂** (CO_{2eq}). La convention sur le climat (CCNUCC) a défini à cet effet une métrique de conversion qui représente la somme des effets climatiques d'une impulsion d'émission d'une substance sur 100 ans (« Global Warming Potential » sur 100 ans, GWP₁₀₀). L'utilisation du GWP₁₀₀ s'est établie et est appliquée par tous les pays. (Chap. 1.2, 4.1)
- L'utilisation du GWP₁₀₀ ne tient pas compte de l'évolution de l'effet climatique du méthane au fil du temps: L'effet climatique du méthane est largement sous-estimé à court terme (prochaines décennies), mais surestimé à plus long terme. (Chap. 4.4; fig. 3, 4)
- L'utilisation du GWP₁₀₀ comme métrique ne donne pas une représentation suffisante de l'effet climatique du méthane lorsqu'il s'agit d'examiner les trajectoires de réduction des émissions ou le respect des objectifs de température au cours du XXI^e siècle. (Chap. 4.4; fig. 3, 4)
- La réduction des émissions de méthane peut contribuer de manière bien plus significative à freiner le réchauffement climatique dans les décennies à venir ou à empêcher le dépassement de certains niveaux de température par rapport à ce qui serait attendu sur la base des émissions d'équivalent CO₂ selon le mode de calcul actuel des inventaires de gaz à effet de serre. (Chap. 4.4)
- La science en matière de climat a récemment développé une nouvelle métrique (GWP*) qui représente bien mieux les effets climatiques des substances à courte durée de vie au fil du temps que la métrique GWP₁₀₀ utilisée jusqu'à présent. Cela permet d'obtenir une représentation beaucoup plus réaliste de l'effet des mesures de réduction des émissions. (Chap. 4.5)
- Le choix de la métrique de conversion dépend de la question posée: Pour les questions relatives à des effets climatiques de pulsations d'émissions (p. ex., l'effet climatique de la consommation d'un seul produit), il convient d'utiliser le GWP. Pour la prise en compte de tout effet climatique à court terme, le GWP₂₀ est approprié, tandis que pour l'effet à long terme, il s'agit du GWP₁₀₀. (Chap. 5)
- Dans le contexte des trajectoires de réduction des émissions, du respect des objectifs de température ou des budgets d'émissions restants, l'utilisation du GWP* est recommandée d'un point de vue scientifique. (Chap. 5)
- Que ce soit l'objectif, l'évaluation des mesures ou le contrôle de la réalisation des objectifs de la politique climatique nationale, tous ces éléments sont basés sur les directives de la Convention sur le climat (CCNUCC). Une adaptation de la métrique nécessite une approche coordonnée. (Chap. 6)
- La formulation de l'objectif climatique à long terme de la Suisse, à savoir une réduction à net zéro des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050, devrait être précisée. En fonction de la métrique utilisée pour calculer les émissions d'équivalent CO₂, des quantités plus ou moins importantes d'émissions négatives de CO₂ sont nécessaires pour atteindre zéro net. Pour représenter l'effet climatique effectif des émissions de méthane, une conversion avec le GWP* serait appropriée. (Chap. 7)

¹ Une impulsion d'émission est la quantité d'émissions cumulée sur une période donnée et provenant d'une ou de plusieurs sources (p. ex., la quantité de CO₂ émise un jour donné à un endroit donné). Une impulsion d'émission « négative » désigne l'élimination d'une certaine quantité de CO₂ de l'atmosphère.

1 Introduction et contexte

1.1 Objectifs climatiques internationaux

La communauté internationale a défini des objectifs climatiques dans la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et dans l'accord de Paris sur le climat : Ils sont basés sur des connaissances scientifiques, notamment sur les rapports d'évaluation et les rapports spécifiques du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Les objectifs climatiques concernent en premier le changement de température globale, c'est-à-dire la limitation du réchauffement global à un certain niveau de réchauffement (1,5 °C ou nettement moins de 2 °C).

Le respect des objectifs de température dépend de l'effet cumulé sur la température de toutes les émissions de substances agissant sur le climat. Pour atteindre l'objectif climatique, un objectif d'émissions a donc également été défini en deuxième dans la Convention sur le climat de Paris :

« parvenir à un équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre au cours de la deuxième moitié du siècle » (Art. 4.1).

De nombreux Etats, mais aussi des entreprises, des cantons ou des communes, en ont déduit l'objectif « zéro net d'émission de gaz à effet de serre d'ici 2050 ».

1.2 Politique climatique internationale

Certaines conditions générales pour la mise en œuvre opérationnelle des accords ont déjà été définies dans le protocole de Kyoto :

- Chaque pays ne comptabilise que les émissions à l'intérieur de son propre pays. Les émissions du trafic aérien et maritime international sont certes calculées par chaque pays selon le principe des paragraphes et indiquées pour information, mais elles ne sont mises au crédit d'aucun pays.
- Seules les émissions des principaux gaz à effet de serre (CO₂, méthane et protoxyde d'azote ainsi que les principaux gaz synthétiques) sont prises en compte, à l'exclusion d'autres substances actives sur le climat, comme p.ex. la suie, les aérosols, les traînées de condensation des avions ou d'autres hydrocarbures.
- Afin de tenir compte des différents effets climatiques des gaz à effet de serre et des autres substances ayant un effet climatique, une métrique de conversion a été définie qui normalise les différentes substances par des équivalents CO₂ (voir section 4.1).

Ces conditions-cadres sont des décisions politiques prises par les États signataires lors des conférences sur le climat et s'appuient sur des connaissances scientifiques.

2 Scénarios d'émissions et conséquences pour le climat

2.1 Modélisation du climat

Les rapports d'évaluation du GIEC contiennent à chaque fois les derniers scénarios climatiques issus des calculs des nombreux modèles climatiques mondiaux. Ces scénarios montrent les changements attendus de la température globale, qui résultent de l'évolution des émissions des substances agissant sur le climat ainsi que de l'effet des sources et des puits naturels. Les substances et les sources qui ne sont pas comprises dans les accords internationaux sur le climat, telles que les particules atmosphériques (aérosols) ou l'effet climatique total du transport maritime et aérien international, y sont prises en compte.

Dans les modélisations climatiques, les différents effets climatiques des différentes substances sont calculés directement à partir de leurs concentrations dans l'atmosphère, en tenant compte des éventuelles réactions chimiques consécutives. Ces calculs permettent de comparer directement entre eux les effets climatiques des différentes substances, aussi bien pour le passé que pour l'avenir, si l'évolution des émissions est donnée (IPCC AR6 WGI, fi-

gure 2) Les conditions générales des accords climatiques mentionnées ci-dessus (sélection des substances prises en compte, imputation des émissions aux différents pays, métriques de conversion) ne jouent aucun rôle dans ces calculs.

2.2 Conditions pour le respect des objectifs climatiques

Tous les scénarios climatiques qui sont inférieurs au seuil de réchauffement de 1,5 °C ou de 2 °C impliquent d'atteindre des émissions zéro nettes de CO₂ aux alentours de 2050 pour 1,5 °C ou de 2075 pour 2 °C, ainsi qu'une réduction massive des émissions autres que celles de CO₂, notamment de méthane et de polluants atmosphériques tels que le dioxyde de soufre, qui contribuent à la formation d'aérosols et à un refroidissement. Les scientifiques estiment qu'avec la réduction des émissions de CO₂ associées à l'énergie, la concentration d'aérosols diminuera également et que leur effet refroidissant disparaîtra. La disparition des aérosols refroidissants doit donc être com-

pensée par une réduction supplémentaire des substances entraînant un réchauffement. Cet effet est également pris

en compte dans les scénarios des modèles climatiques.

3 Différence entre les effets climatiques des substances à vie longue et des substances à vie courte

3.1 Différences dans les effets climatiques

Les effets climatiques d'une substance sont déterminés en fonction de l'effet d'une augmentation de sa concentration dans l'atmosphère sur la température globale (réchauffement ou refroidissement). L'effet climatique des différentes substances est calculé à l'aide de modèles climatiques. Il dépend du temps de présence et de la concentration dans l'atmosphère ainsi que de l'effet de serre relatif:

- L'augmentation de la concentration d'une substance dans l'atmosphère due aux émissions se maintient plus ou moins longtemps: Pour les substances à longue durée de vie, dont les gaz à effet de serre CO₂, le protoxyde d'azote et de nombreux gaz synthétiques, la concentration dans l'atmosphère reste nettement élevée pendant plusieurs décennies, voire plusieurs siècles, après une impulsion d'émission. Une impulsion d'émission est la quantité d'émissions cumulée sur une période donnée et provenant d'une ou de plusieurs sources (p.ex., la quantité de CO₂ émise un jour donné à un endroit donné). Une impulsion d'émission «négative» désigne l'élimination d'une certaine quantité de CO₂ de l'atmosphère.
 - Les substances à courte durée de vie se dégradent assez rapidement et leur concentration revient assez vite à un niveau proche de la valeur initiale après une impulsion d'émission, comme p. ex. pour le méthane après 10 à 20 ans ou même après quelques heures ou jours pour les aérosols et les traînées de condensation.
 - Les substances à longue durée de vie s'accumulent dans l'atmosphère, ce qui signifie que l'effet climatique dépend des émissions cumulées dans le temps. En revanche, pour les substances à courte durée de vie, les effets climatiques dépendent en premier lieu des émissions du passé proche.
 - Les effets climatiques des différents gaz par masse sont très différents. Ainsi, sur une échelle de temps de 100 ans, l'effet climatique du protoxyde d'azote est environ 270 fois plus fort que celui du CO₂, et celui de certains hydrocarbures fluorés est plus de 1000 fois plus fort. Mais c'est le CO₂ qui a le plus grand effet de réchauffement en raison de sa quantité beaucoup plus importante dans l'atmosphère.
 - Si les émissions de méthane ou d'autres substances à courte durée de vie restent constantes sur une longue période, l'effet climatique reste lui aussi quasiment constant, c'est-à-dire que la quantité de méthane décomposée est presque égale à celle émise et que le réchauffement supplémentaire est faible.
- La différence entre les effets climatiques des substances à courte et à longue durée de vie a des conséquences sur la définition des trajectoires de réduction des émissions, sur le respect des objectifs climatiques ou sur le calcul des émissions de CO₂ qui peuvent encore être émises pour ne pas dépasser un certain niveau de réchauffement («budget d'émissions»):
- Une **réduction** durable du taux d'émission de méthane a le même effet climatique qu'une impulsion d'émission «négative» de CO₂ (élimination du CO₂ de l'atmosphère).
 - Une **réduction** durable du taux d'émission de méthane augmente le budget d'émission de CO₂ restant et permet donc un certain gain de temps pour la réduction du CO₂.
 - Une **augmentation** durable du taux d'émission de méthane a le même effet climatique qu'une impulsion d'émission positive de CO₂.
 - En revanche, une **augmentation** durable du taux d'émission de méthane diminue le budget d'émission de CO₂.
 - Les émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre à longue durée de vie doivent être totalement évitées pour stabiliser la température globale, quel que soit le niveau de température, ou compensées par des puits de CO₂ durables tels que l'élimination biologique ou technique du CO₂ de l'air («émissions zéro nettes»).
 - Une réduction du méthane est indispensable au niveau mondial pour respecter les niveaux de réchauffement de 1,5 °C et 2 °C, car les émissions de CO₂ ne peuvent pas être réduites suffisamment rapidement. La réduction du taux d'émission de méthane est donc un moyen important et très efficace à court terme pour respecter les objectifs climatiques. Les émissions de méthane ne doivent toutefois pas être réduites à zéro en termes nets. Il suffit qu'elles diminuent d'environ 0,3 % par an (Cain et al. 2019) ou que la valeur correspondante soit compensée par des émissions négatives pour qu'elles ne provoquent plus de réchauffement supplémentaire.

3.2 Comparaison des effets climatiques

Les effets climatiques d'une émission de substances à longue durée de vie peuvent être comparés assez facilement à ceux du CO₂, car ils ne changent que très peu avec le temps et l'horizon temporel pris en compte pour la comparaison ne joue donc pratiquement aucun rôle. Un facteur constant peut donc être utilisé pour la comparaison. La comparaison des effets climatiques des substances à courte durée de vie avec ceux du CO₂ dépend toutefois fortement de l'horizon temporel considéré : Plus l'horizon temporel considéré est

court, plus les effets climatiques de la substance à courte durée de vie sont importants par rapport au CO₂. Ainsi, sur 100 ans, les effets climatiques du méthane sont environ 25 à 30 fois plus importants que ceux du CO₂, alors que sur 20 ans, ils sont environ 100 fois plus importants. Il n'existe donc pas de métrique de comparaison ou de formule de conversion universellement applicable pour le méthane et les autres substances à courte durée de vie. Pourtant, jusqu'à présent, les accords sur le climat ont toujours utilisé la même métrique pour le méthane que pour les gaz à effet de serre à longue durée de vie.

4 Différentes métriques de comparaison

4.1 Objectif d'une métrique de comparaison

Afin de pouvoir se prononcer sur les effets climatiques totaux de plusieurs substances sans devoir recourir à une modélisation complexe, des méthodes ou métriques de comparaison ont été développées, qui permettent de convertir les émissions de chaque substance en une échelle commune. L'échelle commune utilisée est celle des émissions d'équivalent CO₂ (« CO_{2eq} ») :

Les **émissions d'équivalent CO₂ (CO_{2eq})** désignent la quantité d'émissions de CO₂ nécessaire pour produire le même effet climatique qu'une quantité donnée d'un autre gaz à effet de serre. P.ex., selon la métrique de comparaison utilisée aujourd'hui dans les inventaires des gaz à effet de serre, 25 tonnes de CO_{2eq} correspondent à une tonne de méthane.

Différentes métriques ont été développées, chacune d'entre elles étant axée sur des conditions ou des questions spécifiques. Une seule métrique ne peut toutefois pas refléter précisément les effets climatiques sous tous leurs aspects. P.ex., pour certaines métriques, l'horizon temporel considéré est très important et elles fournissent des évaluations différentes des substances selon que l'on considère le court ou le long terme.

Les métriques sont un élément important de la politique climatique internationale. Elles servent p.ex. à quantifier les émissions totales dans les inventaires nationaux de gaz à effet de serre des États signataires, à formuler et à vérifier les objectifs nationaux de réduction des émissions ou de délivrer des certificats de CO₂ négociables. Il est important que la métrique utilisée soit clairement définie afin, d'une part, de garantir la cohérence entre les objectifs et la vérification de leur réalisation et, d'autre part, de pouvoir établir des normes pour l'échange international d'émissions ou de certificats.

Dans le cadre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), la communauté internationale a défini dans les années 1990 le « Global Warming Potential » sur 100 ans (**GWP₁₀₀**) comme mé-

trique pour le calcul des **émissions d'équivalent CO₂ (CO_{2eq})**. Cette méthode s'est depuis établie comme une approche pragmatique de la politique climatique internationale.

L'utilisation répandue du GWP₁₀₀ est toutefois critiquée depuis longtemps par les scientifiques. Le problème est que le GWP₁₀₀ n'est pas représentatif pour les gaz à effet de serre à courte durée de vie comme le méthane, surtout si l'on considère des périodes plus courtes ou l'évolution des émissions dans le temps. Comme la réduction des émissions de méthane joue un rôle important dans la réalisation des objectifs climatiques, cette problématique a pris une importance supplémentaire. C'est pourquoi de nouvelles métriques ont été développées ces dernières années pour le calcul de CO_{2eq}, qui tiennent mieux compte des différents effets climatiques des gaz à effet de serre à courte et à longue durée de vie (Allen et al. 2018, Cain et al. 2019).

Les principales métriques de comparaison, leurs caractéristiques ainsi que leurs possibilités et limites d'utilisation sont expliquées ci-après.

4.2 Effet climatique des impulsions d'émission

La figure 1 montre schématiquement l'évolution dans le temps de l'effet climatique résultant d'une impulsion d'émission d'une substance à courte durée de vie et d'une substance à longue durée de vie, en comparaison avec l'effet d'une impulsion d'émission de CO₂. L'effet climatique d'une substance à longue durée de vie, augmenté par une impulsion d'émission, présente une évolution similaire à celle du CO₂ et reste donc largement inchangé après 100 ans par rapport au CO₂ (ligne jaune). En revanche, dans le cas d'une impulsion d'émission d'une substance à courte durée de vie, les effets climatiques augmentent d'abord fortement, puis diminuent continuellement par rapport aux effets climatiques du CO₂, pour revenir presque à leur niveau initial après 100 ans dans le cas du méthane (ligne bleue²).

² Étant donné que certaines parties du climat ne s'adaptent que lentement (sur plusieurs siècles) au forçage radiatif et que les substances agissant sur le climat sont en partie transformées en substances à longue durée de vie (p.ex. le méthane en CO₂), l'effet climatique des substances à courte durée de vie est parfois encore un peu plus grand que zéro, même après 100 ans.

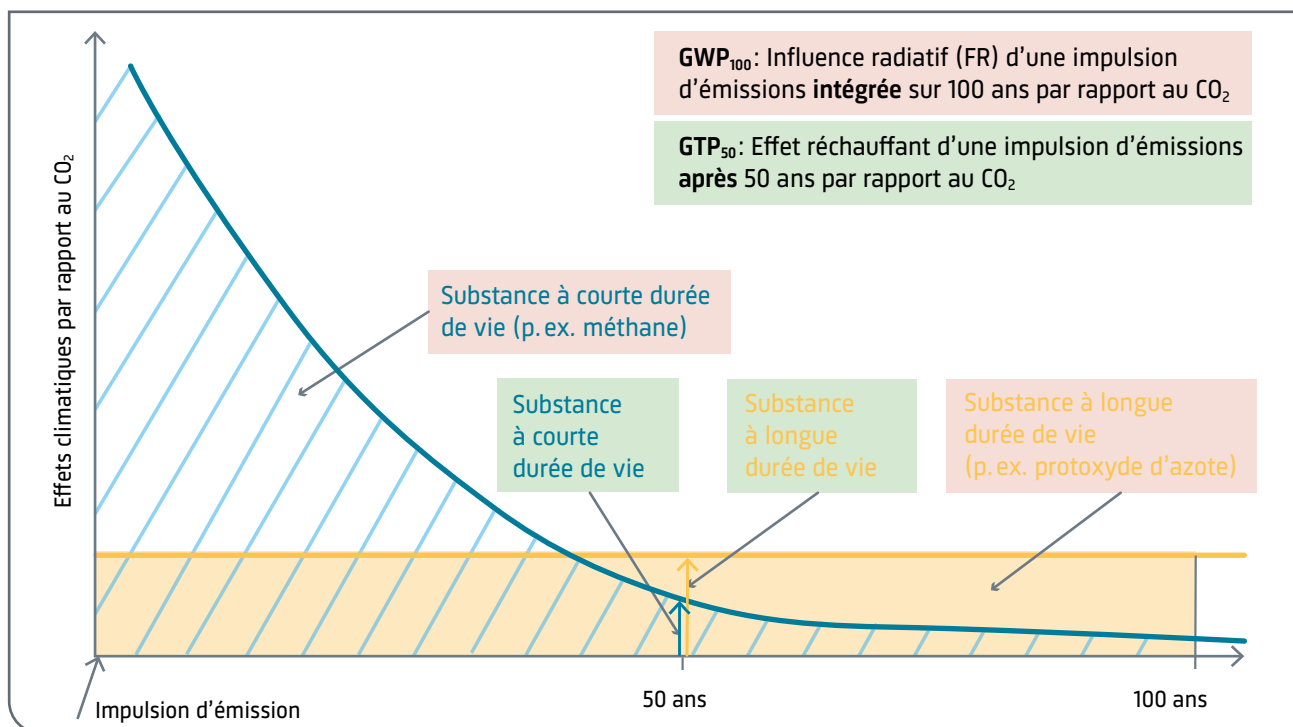


Figure 1: L'évolution dans le temps des effets climatiques d'une impulsion d'émission de gaz à effet de serre à courte durée de vie (à l'exemple du méthane; ligne bleue²) et à longue durée de vie (à l'exemple du protoxyde d'azote; ligne jaune) par rapport aux effets climatiques du CO₂. Pour déterminer un facteur de conversion pour les émissions d'équivalent CO₂, on intègre soit la surface sous les courbes sur une période donnée (« Global Warming Potential » GWP), soit l'effet climatique à un moment donné (« Global Temperature Potential » GTP; flèche bleue ou jaune).

Les effets climatiques d'une impulsion d'émission sont classiquement décrits à l'aide de deux métriques (figure 1). Ces métriques comparent les effets climatiques d'une impulsion d'émission d'une substance considérée avec les effets climatiques correspondants d'une impulsion d'émission de la même masse de CO₂, comme suit :

Le « **Global Warming Potential** » (GWP) mesure les effets climatiques cumulés sur une période donnée. Cela correspond à chaque fois à la surface située sous la ligne bleue ou jaune de la figure 1. Le GWP d'une substance S est donc le rapport entre ces surfaces et celle du CO₂. Le GWP du CO₂ est toujours égal à 1. Le GWP₁₀₀ est le GWP sur une période de 100 ans.

Les CO_{2eq} d'une impulsion d'émission E_s de la substance S pour l'horizon temporel de 100 ans se calculent donc comme suit :

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = \text{GWP}_{100} \times E_s$$

Le « **Global Temperature Potential** » (GTP) enregistre le changement de température provoqué par une impulsion d'émission à un moment donné après l'émission, p. ex. après 50 ans (flèche bleue ou jaune dans la figure 1). Le GTP d'une substance est le réchauffement provoqué à ce moment-là par rapport au réchauffement correspondant provoqué par une impulsion d'émission de la même quantité de CO₂. Le GTP du CO₂ est toujours égal à 1. Le GTP₅₀ est le GTP 50 ans après son émission.

Les CO_{2eq} d'une impulsion d'émission E_s de la substance S pour l'horizon temporel de 50 ans se calculent donc comme suit :

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = \text{GTP}_{50} \times E_s$$

En ce qui concerne les gaz à effet de serre à longue durée de vie, le GWP et le GTP ne changent que très peu avec l'augmentation de l'horizon temporel. En revanche, pour les gaz à effet de serre à courte durée de vie comme le méthane, les deux métriques dépendent fortement de l'horizon temporel considéré. Le GWP du méthane calculé sur 100 ans ne représente qu'un quart environ du GWP calculé sur (les premières) 20 années (voir tableau 1).

Tableau 1: Global Warming Potential (GWP) et Global Temperature Potential (GTP) après 20, 50 et 100 ans respectivement (GWP₂₀ ou GWP₁₀₀ et GTP₅₀ ou GTP₁₀₀) pour les gaz à effet de serre CO₂, protoxyde d'azote et méthane (source: IPCC AR6 WGI chap. 7 Supporting Material). Par définition, le GWP et le GTP du CO₂ sont toujours égaux à 1.

Substance	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	GTP ₅₀	GTP ₁₀₀
CO ₂	1	1	1	1
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	273	273	290	233
Méthane (CH ₄) fossile	83	30	13	8
Méthane (CH ₄) biogène	81	27	10	5

4.3 Effet climatique de l'évolution des émissions

En cas d'émissions constantes dans le temps (schématisées dans la figure 2a), les effets climatiques des substances à longue durée de vie (exemple: CO₂) et des substances à courte durée de vie (exemple: méthane) se distinguent de la manière suivante :

- Dans le cas du **CO₂**, les effets climatiques sont de plus en plus importants, car il reste à long terme dans l'atmosphère. En cas d'émissions constantes, la concentration

et donc le réchauffement provoqué augmentent de manière constante.

- En revanche, dans le cas du **méthane**, les effets climatiques n'augmentent plus après un certain temps, car ces substances se décomposent relativement rapidement. Les effets climatiques d'une émission constante de méthane présentent la même évolution que ceux d'une impulsion d'émission de CO₂, comme le montre la figure 2a :

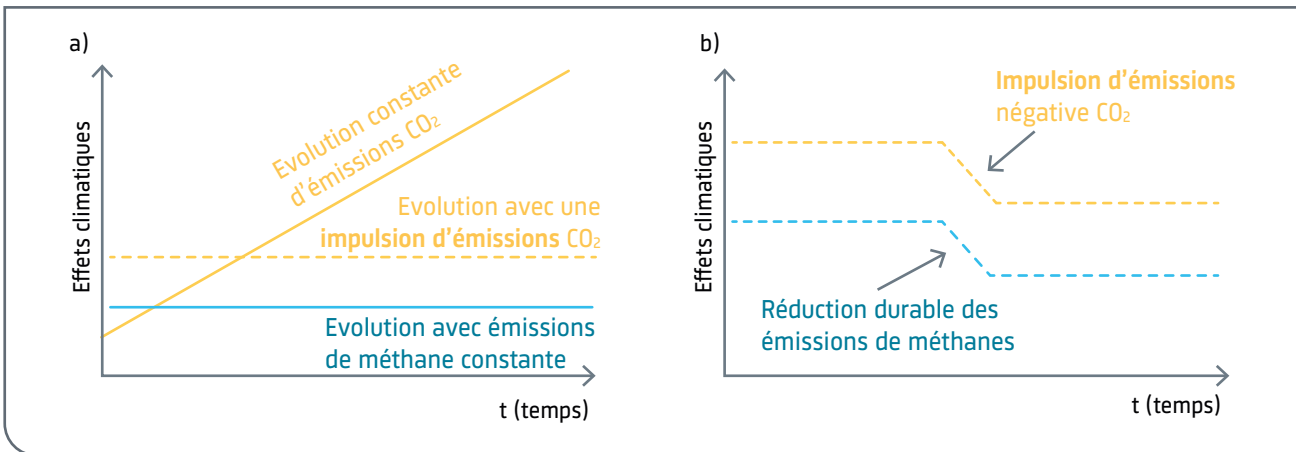


Figure 2 : Comparaison des effets climatiques de l'évolution des émissions de substances à longue durée de vie (p. ex. le CO₂) et de substances à courte durée de vie (p. ex. le méthane): a) en cas d'émissions constantes et b) en cas de réduction des émissions.

En conséquence, une réduction durable des émissions de méthane a le même effet climatique que la réduction d'une impulsion d'émission de CO₂ (figure 2b) :

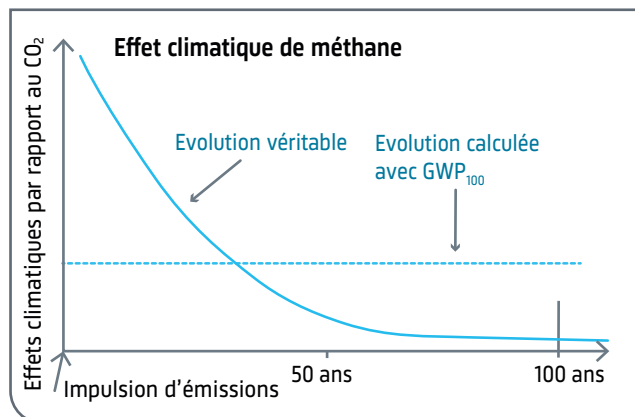
- Dans le cas du **méthane**, une réduction durable des émissions entraîne une réduction durable des effets climatiques.
- Dans le cas du **CO₂**, une impulsion d'émission négative (retrait d'une certaine quantité de l'atmosphère) entraîne également une réduction durable des effets climatiques.

Inversement, une augmentation durable des émissions de méthane ou une impulsion d'émission positive de CO₂ conduit de la même manière à une augmentation durable des effets climatiques.

Figure 3 : Le calcul de CO_{2eq} à l'aide de la métrique GWP₁₀₀ masque l'évolution réelle dans le temps (ligne bleue continue) de l'effet climatique des gaz à effet de serre à courte durée de vie et les « transforme » pour ainsi dire en un gaz à effet de serre à longue durée de vie et à effet constant (ligne bleue pointillée). L'information de l'effet climatique très élevé à court terme et beaucoup plus faible ensuite disparaît.

4.4 Problème de la métrique établie pour les courbes d'émission

Les métriques GWP et GTP développées pour les impulsions d'émission ne contiennent pas d'informations sur l'évolution très variable dans le temps des effets climatiques des substances à courte durée de vie. L'évolution typique des effets climatiques des substances à courte durée de vie, qui est d'abord élevée puis diminue rapidement, est transformée en un effet climatiques constant dans le temps lors de la conversion (figure 3).



Il en résulte notamment les problèmes suivants dans l'utilisation du GWP_{100} :

- Sur un horizon de 20 ans, le GWP_{100} sous-estime de quatre à cinq fois les effets climatiques d'une augmentation des émissions de méthane (Lynch et al. 2020) et présente, en cas de réduction des émissions de méthane, un effet climatique de réchauffement au lieu d'un effet climatique unique de refroidissement plusieurs fois plus important.
- Lors du calcul des effets climatiques des scénarios d'émissions pour limiter le réchauffement à 1,5 °C, l'utilisation de la métrique GWP_{100} pour le calcul de CO_{2eq} ne reflète pas correctement l'effet d'une réduction des émissions de méthane. L'utilisation du GWP_{100} entraîne un réchauffement trop important dans le temps. Cela signifie que l'utilisation du GWP_{100} surestime parfois nettement le dépassement temporaire des niveaux de réchauffement (jusqu'à 0,17 °C; Denison et al. 2019).

4.5 Développement d'une nouvelle métrique pour les substances à courte durée de vie

Par conséquent, des métriques ont été développées ces dernières années pour comparer la variation du taux d'émission d'une substance à courte durée de vie avec une impulsion d'émission de CO_2 (voir section 4.3). Il a été démontré qu'une formule relativement simple (métrique GWP^*) permet de comparer les effets climatiques d'une modification du taux d'émission d'une substance à courte durée de vie avec ceux d'une impulsion d'émission de CO_2 (Allen et al. 2018, Cain et al. 2019, Smith et al. 2021).

La métrique GWP^* compare la variation moyenne du taux d'émission de la substance à courte durée de vie au cours des 20 dernières années³ avec une impulsion d'émission de CO_2 . Les CO_{2eq}^* d'une substance S sont calculés à partir de la variation d'émission ΔE_s de la substance S sur les 20 années précédentes et de l'émission E_s de la substance S au cours de l'année: $CO_{2eq}^* = GWP_{100} \times [(4,24 \times \Delta E_s) + (0,28 \times E_s)]$

Pour le méthane ($GWP_{100} = 28$):

$$CO_{2eq}^* = (120 \times \Delta E_s) + (8 \times E_s)$$

La métrique GWP^* est assez indépendante de l'horizon temporel et reflète bien mieux que le GWP ou le PTR les effets climatiques des trajectoires d'émissions de substances à courte durée de vie ayant un effet climatique (Cain et al. 2019, Denison et al. 2019, Collins et al. 2020, Lynch et al. 2021). Etant donné que le GWP_{100} est également utilisé dans la métrique GWP^* , les mêmes effets physico-chimiques inclus dans le GWP_{100} sont également intégrés dans la métrique GWP^* . En revanche, la métrique GWP^* réintègre les informations issues de l'évolution dans le temps et les spécificités associées à l'effet climatique des substances à courte durée de vie. Il convient de noter que le « GWP^* » n'est pas un facteur constant comme le GWP_{100} , mais désigne le mode de calcul de la métrique.

La figure 4 montre que le CO_{2eq}^* cumulé du méthane calculé à l'aide du GWP^* reflète nettement mieux l'évolution du réchauffement provoqué qu'un calcul basé sur le GWP_{100} « classique ».

³ Une période plus longue de 10 à 20 ans a été choisie pour compenser les influences à court terme telles que les récessions, les pandémies et autres.

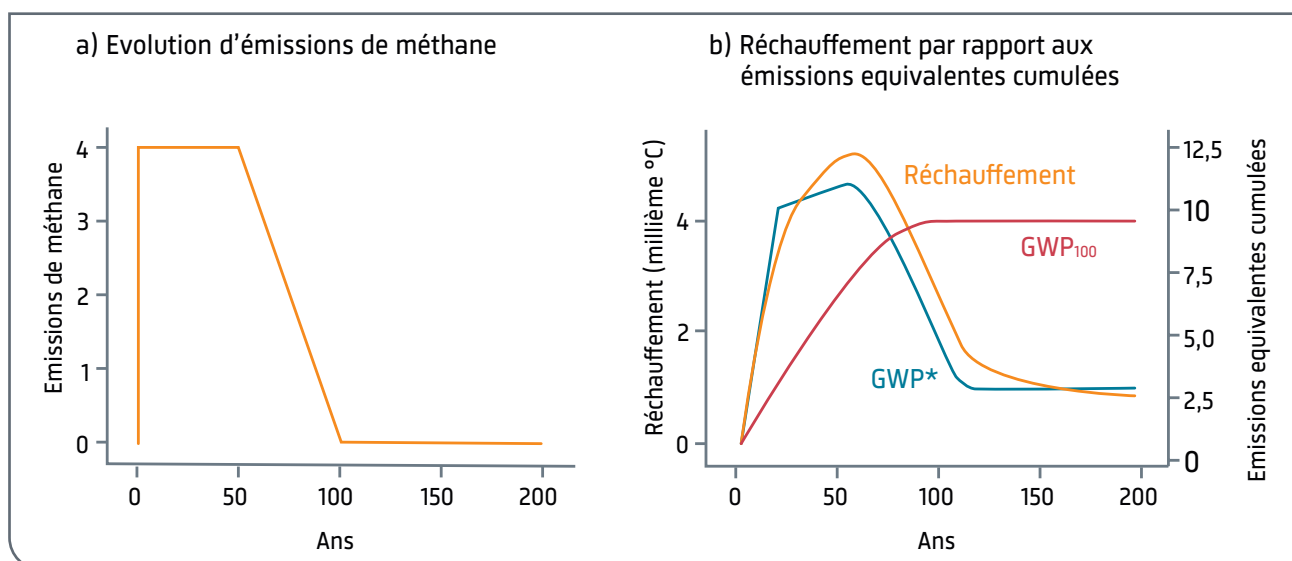


Figure 4 : Comparaison de la représentativité des effets climatiques d'une évolution donnée des émissions de méthane, calculée à l'aide du GWP_{100} ou du GWP^* : a) évolution supposée des émissions de méthane et b) évolution des CO_{2eq} cumulés du méthane, en rouge pour un calcul classique via le GWP_{100} et en bleu pour un calcul via le GWP^* , ainsi que l'évolution du réchauffement réel causé par ces émissions pour une évolution des émissions selon a) (source: Lynch et al. 2020).

5 Choix de la métrique

Il n'existe pas de métrique de conversion universelle pour les émissions d'équivalent CO₂ pour toutes les questions et toutes les approches. Pour le méthane et d'autres substances à courte durée de vie en particulier, le choix de la métrique dépend de l'objectif de la comparaison entre différentes émissions.

Tant le GWP que le GTP sont des métriques qui décrivent l'effet des impulsions d'émission sur un certain horizon temporel, indépendamment de l'évolution des autres substances impliquées. Elles peuvent p.ex. être utilisées pour calculer les émissions de CO₂ générées par la consommation d'un seul produit ou par un seul voyage en avion. Le choix de l'horizon temporel est important. Si l'on accorde une grande importance aux effets clima-

tiques dans les prochaines décennies, il faut choisir un horizon temporel court correspondant (p.ex. GWP₂₀) afin de saisir l'effet des substances à courte durée de vie.

En revanche, la métrique GWP* prend en compte l'évolution des émissions dans le temps. Dans le contexte des trajectoires d'émissions visant à respecter les objectifs climatiques, tels que ceux formulés dans la stratégie climatique à long terme de la Suisse, l'utilisation du GWP* est appropriée. Cette métrique est également appropriée pour considérer les effets de l'évolution des comportements de consommation individuels, qui peuvent conduire à une modification durable (réduction ou augmentation) des émissions. Quelques exemples concrets de choix de métrique sont présentés dans l'encadré.

Exemples d'application

Les différentes applications du GWP et du GWP* en rapport avec les effets climatiques dans le domaine de la consommation sont illustrées ci-dessous par deux exemples :

Exemple de la consommation de viande :

- Si l'on veut calculer l'effet climatique total de la consommation ou de la production d'un kilogramme de viande de bœuf (**événement de consommation isolé**), on utilise le GWP pour les émissions de méthane, car il s'agit d'une impulsion d'émission pour la production de ce morceau de viande. Cependant, pour l'évaluation, il faut définir l'horizon temporel pour lequel l'effet climatique est calculé. Le poids du méthane est d'autant plus important que l'horizon temporel choisi pour l'évaluation est court.
- Si l'on veut calculer l'effet climatique d'une modification durable de ma consommation de viande (évolution dans le temps), par exemple une réduction de cinq repas de viande à deux repas de viande par semaine, on utilise le GWP* pour les émissions de méthane, car il s'agit d'une modification durable du taux d'émission.

Exemple d'émissions cumulatives :

Si l'on souhaite calculer les émissions cumulées de plusieurs activités de manière régulière, par exemple mensuellement ou annuellement, le GWP* est également la métrique appropriée, puisqu'il s'agit d'émissions récurrentes.

L'exemple suivant montre la différence d'application entre GWP₁₀₀ et GWP* dans le cas des certificats d'émission :

Exemple d'échange de quotas d'émission :

Une entreprise empêche, par une mesure technique unique, l'émission de méthane d'une certaine quantité M par an. Selon la procédure actuelle, les émissions de méthane sont converties avec GWP₁₀₀ en la quantité Z de CO_{2eq}. Pour cette mesure, l'entreprise peut faire valoir chaque année une réduction des émissions équivalente à la quantité Z. En revanche, calculée avec GWP*, la même mesure, si elle est durable, ne générerait qu'une seule fois une réduction d'émissions de la quantité de CO_{2eq} de 3,75 × Z. Ainsi, après presque 4 ans, l'effet climatique réel de la réduction du méthane est inférieur à la réduction des émissions comptabilisée avec le système de calcul actuel.

Si des certificats de réduction des émissions sont délivrés pour une mesure qui sert à compenser les émissions de CO₂, la mesure technique ci-dessus ne peut compenser l'effet climatique des émissions de CO₂ que pendant 4 ans à peine. Afin de délivrer des certificats de réduction du méthane aussi appropriés que possible en termes d'effet climatique, il faudrait utiliser la métrique GWP* pour les réductions durables de méthane. Une réduction unique ou seulement temporaire des émissions de méthane ne serait ainsi pas suffisante pour obtenir un certificat.

6 Répercussions du choix de la métrique dans un contexte international/mondial

La conversion des émissions de méthane en $\text{CO}_{2\text{eq}}$ à l'aide du GWP_{100} entraîne des différences dans la politique climatique internationale entre les effets climatiques déduits du GWP_{100} et les effets climatiques réels (figure 4). Un calcul de $\text{CO}_{2\text{eq}}^*$ à l'aide de la métrique GWP^* nouvellement développée permettrait une évaluation nettement plus réaliste des effets climatiques des mesures liées aux substances à courte durée de vie. En particulier, l'effet refroidissant des réductions durables des émissions de méthane, qui est important pour la réalisation des objectifs climatiques, n'est pas du tout pris en compte par la métrique actuelle. C'est pourquoi, d'un point de vue scientifique, il est recommandé d'utiliser le GWP^* en relation avec les trajectoires d'émissions pour respecter les objectifs de température. Le dernier rapport du GIEC AR6 WGI (IPCC 2021 : SPM D1.8 ; chap. 7.6.1.4 ; chap. 7.6.2 ; encadré 7.3) fournit une discussion approfondie sur les effets de différentes métriques pour les substances à courte durée de vie ayant un effet climatique.

D'un point de vue scientifique, l'introduction du GWP^* serait tout à fait possible. Les $\text{CO}_{2\text{eq}}^*$ calculés à l'aide du GWP^* pour les gaz à effet de serre à courte durée de vie peuvent être calculés, pour les émissions actuelles, à partir des émissions passées des 20 dernières années (si elles sont connues ou estimées) et, pour l'avenir, à partir des scénarios d'émissions pour les différents gaz à effet de serre ou substances ayant un effet climatique. De tels scénarios sont de toute façon nécessaires comme base pour les calculs avec des modèles climatiques.

Cependant, une modification de la métrique devrait se faire en accord avec le processus international de politique climatique, afin de garantir d'une part la comparabilité internationale et d'autre part de continuer à permettre les mécanismes de marché tels que le commerce des émissions. L'introduction de la métrique GWP^* a des conséquences directes sur les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, les objectifs formulés et la pondération des mesures.

Dans le cadre de l'introduction éventuelle de la nouvelle métrique GWP^* , diverses questions ont également été soulevées concernant l'équité, la responsabilité historique et d'autres sujets similaires (par exemple Rogelj et al. 2019). Ces questions se posent toutefois indépendamment de la métrique utilisée pour toutes les substances ayant un effet climatique et devraient donc être discutées dans le cadre des négociations internationales sur les engagements de réduction appropriés et ne pas être mélangées avec le choix de la métrique.

Une adaptation de la métrique a pour conséquence que les $\text{CO}_{2\text{eq}}$ du méthane dans les inventaires de gaz à effet de serre sont certes plus bas pour de nombreux pays que ceux présentés actuellement (voir l'exemple de la Suisse ci-après). Pour l'évaluation des mesures climatiques dans les 20 à 30 prochaines années, l'importance du méthane augmente cependant, car – au moins au niveau mondial – la réduction des émissions de méthane est indispensable pour atteindre les objectifs de température.

7 Répercussions du choix de la métrique pour la Suisse

En ratifiant la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques et l'Accord de Paris, la Suisse doit établir l'inventaire des gaz à effet de serre conformément aux directives de la CCNUCC et du GIEC. Au niveau national, elle peut certes s'écarter de la métrique prescrite, mais dans ce cas, les objectifs, les répercussions des mesures et la réalisation des objectifs doivent également être calculés à chaque fois avec les deux métriques.

Contrairement à l'évolution globale, les émissions de méthane ont légèrement diminué en Suisse au cours des 20 dernières années, principalement grâce à l'interdiction de la mise en décharge des déchets combustibles et à l'assainissement du réseau de gaz naturel. La principale source est aujourd'hui l'agriculture, avec une part de plus de 80%. Leurs émissions ont légèrement diminué au cours des 20 dernières années.

Grâce à cette baisse des émissions, les effets climatiques du méthane sont globalement en légère diminution en Suisse. Si l'on utilise pour l'année 2019 l'approche des $\text{CO}_{2\text{eq}}^*$ avec GWP^* , les émissions de méthane provenant de l'agriculture ne représenteraient plus que 0,6 Mt $\text{CO}_{2\text{eq}}^*$ au lieu de 3,9 Mt $\text{CO}_{2\text{eq}}$ (GWP_{100}) dans le bilan des gaz à effet de serre de la Suisse. Une réduction supplémentaire des émissions de méthane pourrait contribuer de manière décisive à la réalisation des objectifs climatiques. Cette contribution n'est toutefois visible que si l'on utilise la nouvelle métrique GWP^* au lieu du GWP_{100} .

La métrique utilisée pour convertir les émissions de méthane joue également un rôle important dans l'objectif de compenser les émissions de gaz à effet de serre en 2050 par des prestations de puits de carbone durables et devrait être précisée. En utilisant le GWP^* , il faudrait des quantités beaucoup plus faibles d'émissions négatives pour compenser l'effet climatique des émissions de méthane restantes en 2050. Cela refléterait bien mieux la réalité des effets climatiques.

8 Bibliographie

- Allen MR et al. (2018) **A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation.** *Npj Climate and Atmospheric Science* 1: 16. doi:10.1038/s41612-018-0026-8
- Cain M et al. (2019) **Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants.** *Npj Climate and Atmospheric Science* 2: 29. doi.org/10.1038/s41612-019-0086-4
- Collins et al. (2019) **Stable climate metrics for emissions of short and long-lived species combining steps and pulses.** *Environmental Research Letters*, 15(2), doi:10.1088/1748-9326/ab6039
- Denison et al. (2020) **Guidance on emissions metrics for nationally determined contributions under the Paris Agreement.** *Environmental Research Letters*, 14(12), 124002, doi:10.1088/1748-9326/ab4df4
- IPCC (2021): **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte V et al. (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Lee et al. (2021) Lee DS et al. (2021) **A comprehensive analysis of the contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing in 2018.** *Atmospheric Environment* 244: 117834. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834
- Lynch et al. (2020) **Demonstrating GWP*: a means of reporting warming-equivalent emissions that captures the contrasting impacts of short- and long-lived climate pollutants.** *Environmental Research Letters* 15: 044023. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab6d7e>
- Rogelj J, Schleussner CF (2019) **Unintentional unfairness when applying new greenhouse gas emissions metrics at country level** *Environ. Res. Lett.* 14 114039. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4928>
- Smith MA et al. (2021) **Further improvement of warming-equivalent emissions calculation.** *npj Climate and Atmospheric Science* 4:19. <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00169-8>

Qui sommes-nous ?

Les **Académies suisses des sciences (a+)** regroupent les cinq académies scientifiques suisses, l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT), l'Académie suisse des sciences humaines et sociales (ASSH), l'Académie suisse des sciences médicales (ASSM), l'Académie suisse des sciences techniques (SATW) et la Jeune Académie Suisse (JAS). Elles comprennent en outre les centres de compétences TA-SWISS et Science et Cité ainsi que d'autres réseaux scientifiques. Les Académies suisses des sciences promeuvent la collaboration entre les scientifiques à l'échelon régional, national et international. Elles représentent la communauté scientifique aussi bien sur le plan des disciplines qu'au niveau interdisciplinaire et indépendamment des institutions et des branches spécifiques. Leur activité est orientée vers le long terme et vise l'excellence scientifique. Elles se fondent sur les savoirs scientifiques pour conseiller les politiques et le public sur des questions touchant de près la société.

SCNAT – un savoir en réseau au service de la société

L'**Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT)** s'engage à l'échelle régionale, nationale et internationale pour l'avenir de la science et de la société. Elle renforce la prise de conscience à l'égard des sciences naturelles afin que celles-ci deviennent un pilier central de notre développement culturel et économique. Sa large implantation dans le milieu scientifique en fait un partenaire représentatif pour la politique. La SCNAT œuvre à la mise en réseau des sciences, met son expertise à disposition, encourage le dialogue entre la science et la société, identifie et évalue les progrès scientifiques de manière à construire et à renforcer les bases de travail de la prochaine génération de chercheuses et de chercheurs. Elle fait partie des Académies suisses des sciences.

ProClim est le forum pour le climat et les changements globaux de l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT). ProClim sert d'interface dans la communication entre la science, l'administration, la politique, l'économie et le public.