

De la mesure des émissions des gaz à effet de serre à celle du service de régulation du climat, les traductions de l'indicateur carbone

Yoan Paillet et Gabrielle Bouleau

Volume 16, numéro 2, septembre 2016

La trajectoire socio-politique des indicateurs écologiques

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1038179ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Paillet, Y. & Bouleau, G. (2016). De la mesure des émissions des gaz à effet de serre à celle du service de régulation du climat, les traductions de l'indicateur carbone. *VertigO*, 16(2).

Résumé de l'article

L'évaluation – directe ou indirecte – des quantités de services rendus par les écosystèmes nécessite de construire des indicateurs. Nous nous interrogeons sur la construction et l'utilisation d'un indicateur de régulation des effets du changement climatique, que nous nommons « indicateur carbone », avec un accent sur les données qui ont permis de le générer, de le renseigner (notamment pour l'écosystème forestier) et les mécanismes qui ont prévalu à son acceptation par les communautés scientifiques et politiques des services écosystémiques. Nous nous basons sur une analyse critique des documents produits par le *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA) et par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour expliciter la rationalité de cet indicateur. Nous avons également cherché à repérer dans la littérature scientifique des éléments de débat sur cet indicateur, et de rendre explicite les arènes et les arguments. Nous essayons ainsi de voir en quoi ces deux processus diffèrent et dans quelle mesure les innovations conceptuelles et les indicateurs produits par l'un sont traduits par l'autre. Les évaluations des émissions de gaz à effet de serre sont réalisées par le GIEC sur un principe d'équivalence entre le CO₂ et d'autres gaz. Cette équivalence a ensuite été traduite dans le cadre des services écosystémiques, qui se sont focalisés sur des bilans dits « carbone », dans les évaluations des services de régulation. Cette traduction omet en grande partie les incertitudes et les limites liées à cet indicateur. La préexistence de données à large échelle, notamment pour les écosystèmes forestiers, a également été un élément moteur du recyclage de cet indicateur dans les différentes sphères.



De la mesure des émissions des gaz à effet de serre à celle du service de régulation du climat, les traductions de l'indicateur carbone

Yoan Paillet et Gabrielle Bouleau

Introduction

- 1 Depuis le Millenium Ecosystem Assessment (MEA)(2005), les services écosystémiques sont entrés dans les arènes scientifique et politique pour finalement prendre une position centrale dans la formulation des politiques environnementales (Hrabanski et Valette, 2012; Hrabanski, 2013). Dans leur acception générale et originelle (c.-à-d. celle du MEA), ils sont définis comme les bénéfiques que les humains tirent des écosystèmes (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Cette définition a depuis évolué en devenant à la fois plus spécifique et évaluative (par ex. Patterson et Coelho, 2009). La polysémie assumée de cette définition permet un dialogue entre sciences écologiques et économiques (Méral et al., 2010), mais également une multiplicité d'interprétations, notamment vis-à-vis des paiements pour services (Serpantié et al., 2012; Arnaud De Sartre et al., 2014). D'un point de vue historique, le cadre conceptuel des services écosystémiques a très largement hérité de l'approche dite « écosystémique » au sein de la Convention sur la diversité biologique (CBD) et d'un premier exercice d'évaluation mondiale de la biodiversité (Global Biodiversity Assessment, 1993-1994) qui avait échoué (Méral et al., 2010; Pesche, 2011). Ce cadre ne constitue pas en ce sens une nouveauté, comme cela a été mis en évidence par les travaux de Castro et Ollivier (2012). Conçu à l'origine comme une tentative de dépasser la difficile émergence et visibilité internationale des questions de biodiversité, le cadre des services écosystémiques avait pour but d'atteindre plus directement les décideurs par de nouveaux leviers d'action (Méral et al., 2010; Pesche, 2011; Hrabanski et

Valette, 2012) suggérant une approche plus pragmatique et permettant notamment aux Organisations non gouvernementales de dialoguer avec les entreprises (Hrabanski et Valette, 2012). Cette approche a néanmoins assez rapidement été critiquée pour sa vision anthropocentrée et utilitariste de la nature (voir par exemple Serpantié et al., 2012; Boisvert et Foyer, 2015).

- 2 Les premiers bilans mondiaux d'évolution de la biodiversité menés à la suite de la Convention sur la diversité biologique avaient un caractère dénonciateur (Castro et Ollivier, 2012). Cet objectif a été atténué par la suite au profit de démarches cherchant à quantifier la valeur de la biodiversité. C'est notamment le cas de *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB, Patterson et Coelho, 2009) qui a proposé des méthodes et les premières évaluations économiques des services. Comme de nombreux services ne peuvent être directement quantifiés (Egoh et al., 2012), des indicateurs ont été utilisés pour évaluer, de manière directe ou indirecte, des quantités de services rendus par les écosystèmes (Millennium Ecosystem Assessment, 2005 ; ten Brink et al., 2011). La rapidité du recours aux indicateurs (en particulier pour la cartographie de services, voir Egoh et al., 2012) a conduit à la réutilisation d'indicateurs préexistants. Cela amène à s'interroger sur les risques associés à la réutilisation d'indicateurs environnementaux conçus pour d'autres objectifs. En particulier, pour mesurer les émissions de gaz à effet de serre dans les années 1990, un principe d'équivalence entre le CO₂ et les autres gaz a été adopté de manière consensuelle par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Vingt ans après, ce même principe a été utilisé pour construire un indicateur « carbone » utilisé pour évaluer les services rendus par les écosystèmes dans la régulation du climat. Alors que des critiques avaient alerté sur les limites de l'équivalence carbone pour mesurer les émissions, ces arguments n'ont pas été relayés lors de la réutilisation de l'indicateur pour produire des recommandations notamment dans le domaine de la gestion des forêts.
- 3 Les indicateurs écologiques peuvent être étudiés comme des outils informationnels pour l'action publique, selon la catégorisation proposée par Lascoumes et Le Galès (2004). Leur construction répond à un enjeu public particulier et demande du temps, des moyens et des arbitrages sociopolitiques. Une fois qu'un indicateur écologique est adopté et mesuré en routine, des données sont produites régulièrement qui permettent des comparaisons et la construction de modèles explicatifs. Dans certaines situations, lorsqu'une nouvelle problématique environnementale surgit, les spécialistes et les gestionnaires préfèrent fonder leurs diagnostics et recommandations sur des indicateurs existants au prix de certaines « traductions » (Lascoumes, 2004) qui permettent le « recyclage » de certaines données (Lascoumes et Simard, 2011, p.6). Or les outils ne sont pas neutres, ils véhiculent un certain cadrage des problèmes et des valeurs. Leur recyclage peut conduire à hiérarchiser de manière implicite des problèmes et des solutions au détriment d'autres. Bouleau et Deuffic (2016) s'appuient sur les travaux de Desrosières (2008) pour analyser ce qui véhicule du sens et des valeurs dans la structure des indicateurs. Ils identifient deux mécanismes ayant des répercussions sur la hiérarchisation des problèmes et des solutions : la mise en équivalence par catégorisation et par traduction. Lorsqu'un phénomène se manifeste sous différentes formes, la mise en équivalence de ces formes sous une même catégorie permet de mesurer le phénomène, au prix de certaines conventions de conversion qui portent en elles une hiérarchie. Lorsque les manifestations elles-mêmes sont trop complexes à mesurer, le phénomène peut être appréhendé à travers diverses traductions qui font appel aux causes ou conséquences du phénomène ou

bien l'une de ses parties. Ce déplacement du regard met en avant un facteur et prend le risque que l'action publique cible ce facteur mesuré plutôt que le phénomène initial. Cette mécanique ne se fait pas sans acteur. À tout moment, des groupes sociaux peuvent questionner les mises en équivalence et les traductions. Cependant en absence de mobilisation, la traduction d'un indicateur renvoie une image de la réalité dont toutes les implications ne sont pas forcément explicites. Il nous semble que les conséquences de la traduction des métriques du GIEC en bilan carbone pour l'évaluation des services rendus par les écosystèmes méritent d'être plus explicitées. Cet article constitue ainsi une forme intellectuelle de résistance aux logiques de quantification qui vient « en seconde ligne des actions de résistance proprement dites » (Le Bourhis et Lascoumes, 2014, p. 497).

- 4 Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés à la trajectoire d'un indicateur en particulier que nous nommons de manière générique « indicateur carbone », avec un accent sur les données qui ont permis de le générer, de le renseigner (notamment pour l'écosystème forestier) et les mécanismes qui ont prévalu à son acceptation par les communautés scientifiques et politiques des services écosystémiques. Notre travail ne vise pas à saisir le sens de ce processus pour les acteurs qui y ont participé, car nous n'avons pas procédé à des enquêtes sociologiques. Il s'agit plutôt d'une analyse critique des documents produits par les instances en charge de ces processus. Nous avons travaillé sur les traces écrites en collectant les différents rapports d'évaluation des services écosystémiques à travers le monde, ainsi que ceux du processus concomitant mené par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou le Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC en anglais). Nous cherchons ainsi à identifier les proximités et les décalages entre les deux types de sources pour montrer les convergences ou divergences au travers des indicateurs de la régulation du climat en général, et en particulier de l'utilisation du carbone comme métrique commune. Nous avons également cherché à repérer dans la littérature scientifique des traces de débat sur cet indicateur, et à rendre explicite les arènes et les arguments. Cette contribution ne se veut pas une revue de littérature exhaustive, mais cherche à mettre en évidence des éléments structurants du processus de sélection et de traduction d'un indicateur environnemental, au travers de l'exemple de celui du carbone. Nous faisons l'hypothèse que l'indicateur carbone, qui préexistait aux évaluations du MEA et qui avait donné lieu à des investissements spécifiques pour son développement puis sa mesure, a créé un sentier de dépendance (Pierson, 2000).
- 5 Pour étayer cette hypothèse, nous nous appuyons sur l'ensemble des rapports réalisés par le GIEC et les rapports préparés en amont ou à la suite du MEA (liste complète en fin d'article). Il s'agit d'expertises collectives caractéristiques du recours à la collégialité scientifique pour traiter des risques dans le domaine environnemental ou sanitaire (Lascoumes, 2002). Ces rapports relèvent d'une « éthique de l'objectivation » (Granjou, 2003). Le débat contradictoire entre pairs produit une « connaissance raisonnable aussi objectivement fondée que possible » qui est censée éclairer la décision publique rationnelle, avec une conscience réflexive des experts vis-à-vis de la fonction politique de leur travail (Granjou et Barbier, 2010). Cette conscience se traduit notamment par l'euphémisation de certaines controverses qui s'expriment plus librement dans des articles indépendants. Pour expliciter celles relatives à l'indicateur carbone, nous avons eu recours à une recherche bibliographique de ses critiques.
- 6 Nous abordons dans un premier temps des éléments de contexte en précisant les définitions que nous utilisons et en posant quelques jalons historiques liés au MEA et au

GIEC qu'il nous paraît important de rappeler ici. Dans un second temps, nous nous concentrons sur les travaux du GIEC – au travers des différents rapports d'évaluation (Assessment Reports 1-5) – afin de préciser la manière dont ce groupe d'expert rend compte des contributions respectives des différents gaz à effet de serre dans le changement climatique grâce à l'indicateur carbone. Enfin, nous cherchons à comprendre les mécanismes qui ont donné lieu à la réutilisation de l'indicateur carbone – une traduction – dans les différents processus liés au MEA, sur la base des documents d'évaluations globales et régionales publiés à ce jour.

Contexte, définitions et jalons historiques

- 7 Le premier état des connaissances scientifiques concernant l'impact de l'homme sur l'environnement global « Study of Critical Environmental Problems » a été réalisé par un collectif de chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT), publié en 1970 pour préparer la Conférence des Nations Unies sur l'Homme et l'Environnement de 1972. Ce rapport mentionnait la notion de services environnementaux qui risquaient d'être perdus, mais sans les définir (Bonin et Antona, 2012; Serpantié, Méral et al., 2012). Entre 1993 et 1995, un bilan scientifique de l'évolution mondiale de la biodiversité a été réalisé au sein du Global Biodiversity Assessment sans mentionner la notion de services. Les décideurs à qui ce constat s'adressait ne se sont pas approprié ses conclusions (Hrabanski 2013). Le MEA est un processus plus politique mené entre 2001 et 2005 qui a associé des chercheurs et des décideurs dans le but d'établir un consensus international sur la capacité des écosystèmes à maintenir un certain nombre de services rendus aux hommes (Hrabanski 2013; Arnaud De Sartre et al., 2014). Issu des travaux séminaux de Costanza et al. (1997) et Daily (1997), le MEA pose ainsi un cadre conceptuel et définit quatre catégories de services illustrées dans le rapport publié en 2005 (Millenium Ecosystem Assessment, 2005) : les services de support, d'approvisionnement, de régulation et les services culturels. Dans ce cadre conceptuel, les services de support ont un rôle de base qui sous-tend la production des autres types de services et qui traduit les fonctions écologiques inhérentes à l'écosystème (Tableau 1).

Tableau 1. Classification des services dans le Millenium Ecosystem Assessment.

Support Formation des sols; Photosynthèse; Production primaire (biomasse); Cycles des nutriments et de l'eau	Approvisionnement Nourriture (culture, élevage, pêche, aquaculture, plantes sauvages et nourriture animale); fibres (bois, coton, bois énergie...); ressources génétiques; biochimie et biopharmacie; eau potable
	Régulation Qualité de l'air; climatique (globale et régionale/locale); régulation, purification et traitement de l'eau, de l'érosion, des maladies, des espèces nuisibles et des risques naturels; pollinisation

	<p>Services culturels</p> <p>Valeurs esthétiques; religieuses et spirituelles; récréatives; loisirs et écotourisme</p>
--	---

Source : D'après Arnaud De Sartre et al., 2014.

- 8 Dans les années 2010, plusieurs économistes ont adopté le cadre des services pour évaluer (monétairement) les bénéfices liés à la nature et aux écosystèmes, en utilisant les méthodes proposées par le rapport du TEEB, dont certains auteurs faisaient partie du MEA (on y retrouve notamment les économistes R. de Groot et R. Costanza). Enfin, sur le modèle du GIEC, le processus qui fait suite à ces deux rapports inaugure la plateforme internationale sur la biodiversité et les services écosystémiques en avril 2012 (IPBES)¹.
- 9 Au niveau européen, dans le cadre de sa stratégie pour la biodiversité en 2020, la Commission a développé un programme de cartographie des services écosystémiques sur la base de cas d'étude, puis d'évaluation de l'état des écosystèmes et les services qu'ils fournissent dans une démarche intégrée (cf. figure 2 dans Maes et al., 2014, p. 22). En France, plusieurs évaluations ont été tentées récemment, notamment le rapport de Chevassus-au-Louis et al. (2009), les travaux de Maresca et al. (2011) et du comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature². Le processus a récemment été décliné au travers de l'évaluation française des écosystèmes et services écosystémiques (EFESE) piloté par le ministère en charge de l'écologie³.
- 10 Ainsi, le processus de construction des indicateurs de services écosystémiques s'articule autour de trois processus : (i) le MEA dont le rapport est publié en 2005; (ii) le rapport sur l'économie des services et de la biodiversité (TEEB, 2010); (iii) et plus récemment, l'émergence et la structuration progressive de l'IPBES (avril 2012). Le long de ces jalons historiques, un certain nombre de rapports nationaux et régionaux (ils sont nommés globaux et sub-globaux dans le jargon du MEA) ont été produits (Tableau 2). Ceux publiés avant 2005 ont servi de base à la production du rapport du MEA (par ex. Portugal), alors que les suivants s'inspiraient directement du cadre conceptuel mis en avant par le MEA (notamment la première évaluation de la Grande-Bretagne publiée en 2011). Enfin, les plus récents faisant suite au TEEB, ont graduellement orienté leur réflexion sur des approches plus monétaires que biophysiques, mais bénéficiaient également d'un travail préexistant important sur les approches biophysiques (c'est très clairement le cas de la Finlande, dont le rapport a été publié en 2015).

Tableau 2. Inventaire des indicateurs utilisés pour quantifier le service de régulation du climat global dans les rapports pré et post-MEA.

Région évaluée	Année	Indicateur de service de régulation du climat	Autres indicateurs	Source
Région sud-africaine	2004	Non explicite (mais le CO ₂ est mentionné dans les gaz à effet de serre)	Autres gaz à effets de serre (NO ₂ , CH ₄)	Scholes et Biggs (2004)
Portugal	2004	Séquestration du carbone (forêt seulement)		Pereira et al. (2004)

Norvège	2004	Non explicite		Norwegian Millennium Ecosystem Assessment (2002)
Rapport du MEA (2005) Rapport TEEB (2010) ⁴				
Grande-Bretagne	2011	Séquestration du carbone	Effet tampon sur les stress climatiques	UK National Ecosystem Assessment (2011)
Népal	2012	Séquestration du carbone	Autres gaz à effets de serre (NO ₂ , CH ₄)	BCN et DNPWC (2012)
Norvège	2013	Séquestration du carbone (forêt et zones humides)		The Norwegian Expert Commission on Values of Ecosystem Services (2013)
Espagne	2014	Séquestration du carbone	Régulation du microclimat local	Spanish National Ecosystem Assessment (2013)
Grande-Bretagne	2014	Séquestration du carbone (milieux marin et côtier)		UK National Ecosystem Assessment (2014)
Finlande	2015	Séquestration du carbone		Jäppinen et Heliölä (2015)

Source : Y. Paillet

- 11 Le processus d'évaluation des services écosystémiques se déroule en parallèle des travaux du GIEC qui a produit depuis 1990 cinq rapports sur les mécanismes et les effets du changement climatique, ainsi que les solutions d'atténuation et d'adaptation : les rapports d'évaluation ou « Assessment Reports » en anglais (IPCC, 1990 ; IPCC, 1995 ; IPCC, 2001 ; IPCC, 2007 ; IPCC, 2014).

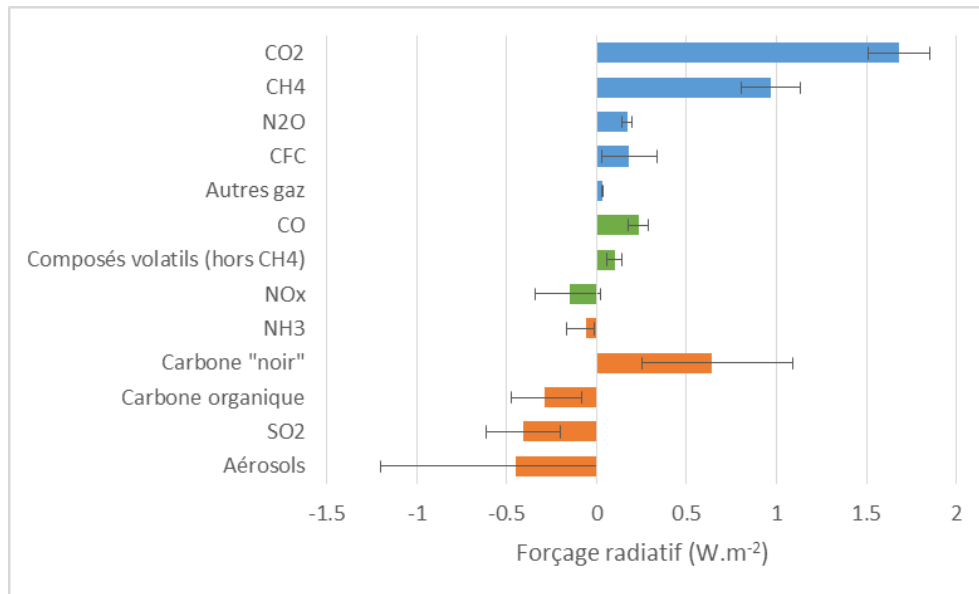
Rôle du carbone et des autres gaz à effet de serre dans le réchauffement climatique

L'émergence d'une métrique unique

- 12 Dès le début du processus d'évaluation mondiale des effets du changement climatique et des travaux du GIEC dans les années 1990, l'accent est mis sur le rôle des gaz à effet de serre. Plusieurs catégories de ces gaz sont pointées : elles comprennent le dioxyde de carbone (CO₂), les Chlorofluorocarbures (CFC), le méthane (CH₄) et les oxydes d'azote (NO_x) (IPCC, 1990). Chacun de ces gaz a une durée de vie et un forçage radiatif global dans l'atmosphère qui lui sont propres. Le forçage radiatif global de chaque gaz est la quantité de chaleur qu'il piège dans l'atmosphère à chaque instant. Le forçage radiatif d'un kilogramme de CO₂ est moindre que ceux produits par un kilogramme de méthane et un

kilogramme de CFC qui sont 21 fois et de 11 à 12 000 fois supérieurs (IPCC, 1990). Mais le méthane et les CFC sont en quantités beaucoup plus faibles dans l'atmosphère que le CO₂ (Figure 1) et ont des durées de vie différentes.

Figure 1. Les principales émissions influençant le forçage radiatif global pour la période 1750-2011.



Source : D'après la figure 8.17, p.698, chapitre 8 de l'AR5, IPCC 2013. Cette illustration montre que la part attribuée au CO₂ est largement supérieure à celui des autres GES pour la période étudiée. En bleu : GES bien répartis dans l'atmosphère; En vert : Gaz à durée de vie courte; En orange : Aérosols et précurseurs de GES. Le carbone « noir » et le carbone organique quantifiés ici sont ceux issus de la combustion imparfaite de combustibles fossiles et de matière organique (biomasse).

- 13 Pour prendre en compte les proportions de ces gaz dans l'atmosphère, leur forçage radiatif par unité de masse et leurs durées de vie différentes, le concept de Potentiel de Réchauffement Global relatif (Global Warming Potentials - GWP - IPCC, 1990) est créé. Cet indice compare le réchauffement causé pendant un temps donné (20, 100 ou 500 ans) par l'émission instantanée d'une unité de masse (par ex. : 1 kg) d'un gaz à effet de serre, à celui qu'aurait produit la même quantité de CO₂ (qui a donc un GWP de 1). L'usage du CO₂ comme unité de référence est une décision entérinée par le premier rapport du GIEC en 1990. Le GWP permet d'estimer le potentiel de réchauffement lié à un gaz donné pour un horizon donné, en lien avec sa durée de persistance dans l'atmosphère (aussi nommé forçage radiatif global, IPCC, 1990; IPCC, 1995). Même si le CO₂ est l'un des gaz ayant le plus faible forçage radiatif par unité de masse, son utilisation comme étalon du réchauffement global est justifiée ainsi :

- sa contribution au réchauffement climatique, qui résulte du produit GWP par la quantité émise, est la plus grande par rapport aux autres gaz, car c'est celui dont les émissions sont les plus grandes;
- de longues séries de données sont disponibles, car il a été mesuré depuis longtemps et du fait de sa longue persistance dans l'atmosphère;
- son augmentation a clairement une origine anthropique, attribuée majoritairement à l'utilisation de combustibles fossiles (charbon, puis pétrole et gaz) au cours des 150 dernières années.

- 14 Le choix du GWP comme métrique est souvent justifié par sa simplicité. Cette qualité est subjective et mériterait d'être interrogée sociologiquement et politiquement, ce qui dépasse l'ambition de cet article. On peut considérer que cet indicateur participe à l'économicisation de l'environnement (Pestre, 2014) du fait des possibilités de traduction en équivalence (en l'occurrence en CO₂) qu'il offre. L'existence de longues séries temporelles et la grande persistance atmosphérique du CO₂ ont permis de caler sur le passé des modèles dont la pertinence pour les périodes contemporaines et futures repose sur la conversion en équivalent CO₂ de gaz émis plus récemment. Cette traduction simplifie aussi les calculs. Par la suite, et assez rapidement, cette commune mesure est devenue un outil de communication commode tant du point de vue des médias que dans les négociations politiques. L'équivalence en CO₂ permise par le GWP a été largement reprise dans les décisions concomitantes aux travaux du GIEC (notamment le protocole de Kyoto), en particulier parce que cette approche facilitait les négociations (Tanaka et al., 2010) et leurs publicisations dans les discours médiatiques et politiques, où les réductions d'émissions de « gaz à effet de serre » se résument souvent à une « réduction des émissions de CO₂ »⁵.

Mise en évidence des limites du GWP

- 15 Le forçage radiatif de chaque gaz et le GWP (son intégrale sur un temps donné) sont largement employés dans la littérature scientifique. Ainsi une recherche sur la base bibliographique SCOPUS⁶ avec le terme « Global Warming Potentials » renvoie plus de 3000 items. Sur la même base, une recherche associant ce même terme et « Criticism » ne renvoie qu'une petite dizaine d'articles, qui constituent une forme intellectuelle de résistance à la logique de mise en équivalence de tous les gaz. Ces rares critiques émanent essentiellement d'un groupe interdisciplinaire de chercheurs piloté par S. Fuglestedt (p. ex. Fuglestedt et al., 2003), chercheur en chimie de l'atmosphère, actuellement en poste au Center for International Climate and Environmental Research à Oslo (CICERO) et membre du GIEC⁷. Ces arguments sont intéressants parce qu'ils révèlent les compromis sur lesquels repose l'usage des GWP comme unité de mesure commune :
- i. L'approche est réductionniste : elle simplifie la réalité en postulant l'équivalence entre le CO₂ et les autres gaz, et elle repose sur des approximations des temps de persistance dans l'atmosphère du CO₂. En effet, des valeurs de GWP ne sont pas simples à développer pour toutes les substances susceptibles de produire un effet de serre, notamment celles dont la durée de vie est inférieure à leur propagation dans les couches supérieures de l'atmosphère (Fuglestedt et al., 2003). Il se pourrait donc que les NO_x – par exemple –, qui pèsent peu dans le calcul du GWP, produisent des réchauffements importants lorsqu'ils atteignent les couches inférieures de l'atmosphère, ce qui conduirait à sous-estimer le bilan radiatif global (Shine et al., 2005). De plus, la durée de demi-vie du CO₂ semble fortement sous-estimée par le GWP : 120 ans dans le premier rapport du GIEC contre des estimations allant de 300 à 400 ans selon les études citées par Marchettini et al. (2009);
 - ii. Il n'y a pas de lien direct entre indicateur et les variations de température : du fait de la mauvaise prise en compte des gaz à courte durée de vie mentionnée ci-dessus et de la limite de validité des GWP à un horizon temporel moyen, les équivalences en termes d'émissions ne se traduisent pas forcément par des équivalences en termes d'évolution temporelle de la température (Sygna et al., 2002; Fuglestedt et al., 2003). De plus, ces évolutions peuvent être complexes et non linéaires ce qui rend la notion d'équivalence assez peu intelligible pour le décideur politique et peut conduire à des interprétations erronées (Fuglestedt et

- al., 2003). Au final, au regard des accords internationaux de limitation du réchauffement planétaire à 2 °C – réaffirmés récemment lors de la COP21 en décembre 2015 à Paris – le GWP ne permet pas de décrire directement les variations de température (Smith et al., 2012);
- iii. Les incertitudes restent importantes : La propagation des incertitudes liées aux points précédents le long de la chaîne de modélisation conduit à des estimations des variations de température statistiquement assez bruitées : Prather et al. (2009) estiment que l'élévation de température en 2030 liée aux émissions de gaz à effet de serre par les pays développés est comprise entre +0.08 °C et +0.14 °C (intervalle à 68 %) avec une moyenne située à +0.11 °C. Cet intervalle de confiance reste assez conséquent dans la mesure où, malgré certaines approximations, les émissions de gaz à effet de serre des pays développés sont par ailleurs assez bien connues pour la période utilisée (1990-2002), et permettent une modélisation relativement robuste des variations de température. Les incertitudes concernant l'augmentation de température à venir seront probablement plus fortes parce que les émissions des pays émergents sont moins bien connues. Ainsi, le long de la chaîne de modélisation, la métrique qui est pertinente et intelligible pour le politique devient plus incertaine du fait de la traduction du GWP en température (Tanaka et al., 2010).
- 16 Ce n'est pas la robustesse de l'indicateur qui est ici remise en cause, notamment dans sa capacité à hiérarchiser les différents pays émetteurs en fonction de leurs émissions (voir par exemple den Elzen et al., 2005), mais bien sa capacité à représenter de manière fiable et précise un objet donné (aussi nommé « indicandum » : ce qu'il faudrait mesurer dans l'atmosphère), pour pouvoir ensuite le traduire sans ambiguïté en objectif politique (stabilisation de température, élévation du niveau de la mer, événements extrêmes...). Des alternatives ont été proposées sous le nom d'approche par « paniers multiples » (*multibasket approach*, par ex. Tanaka et al., 2010). Au lieu de considérer tous les gaz comme équivalents, comme le fait le protocole de Kyoto (qui adopte une approche en « panier unique » centré sur le CO₂), une métrique dédiée à chaque gaz pourrait permettre une évaluation plus fine et une multiplication des leviers d'action (Daniel et al., 2012). Une politique mixte basée sur une réduction des émissions de méthane à court terme et de CO₂ à plus long terme pourrait potentiellement être plus efficace que celles basées uniquement sur une réduction des émissions de CO₂ (Sygna et al., 2002; Smith et al., 2012) et se traduirait par une réduction substantielle du coût des mesures de mitigation (par ex. évaluées à 1.3 à 1.5 fois plus élevées pour des mesures basées sur l'approche carbone uniquement par Sygna et al., 2002).
- 17 Malgré ces travaux, les discussions autour de l'usage du GWP au sein du GIEC et de l'établissement d'un état de l'art cohérent sont en général restées confinées dans les disciplines des sciences naturelles (voir par exemple le rapport IPCC, 2009). Des métriques alternatives du changement climatique, issues largement des sciences sociales – notamment de l'économie – ont été assez peu représentées dans les évaluations et le corpus de littérature scientifique de même que le débat général autour du GWP n'a finalement eu que peu d'écho dans les rapports du GIEC (Godal, 2003), ou bien de manière euphémisée. Le rapport WPIII IPCC 2014 explique ainsi que « les gaz à courte durée de vie dans l'atmosphère font l'objet de plus d'attention depuis le rapport d'évaluation numéro 4 » et que « si les stratégies d'adaptation conduisent à leur augmentation, il faudrait développer d'autres métriques que les GWP » (p.122)⁸. Le sujet reste une question de recherche actuelle (par ex. Smith et al., 2012; Bowerman et al., 2013). Hors du cercle des scientifiques du GIEC, les limites du GWP sont globalement ignorées. La métrique est reprise sans discussion par d'autres disciplines, notamment l'analyse du cycle de vie (Peters et al., 2011) et de l'empreinte carbone, et est utilisée par ces

communautés sans réelles précautions⁹ (voir les exemples cités par Tanaka et al., 2010). Or ce transfert disciplinaire, ou traduction est sensible lorsqu'il s'agit d'évaluations de services de régulation du climat.

Statu quo, recyclage et traduction au sein des indicateurs de services écosystémiques

- 18 Les études préalables au MEA dans les années 2000 (évaluations globales et régionales) ont toutes pointé la difficulté de définir et mesurer de manière directe les services écosystémiques, ce qui a très rapidement mis en évidence la nécessité de procéder par approximation pour quantifier certains services (Millennium Ecosystem Assessment, 2005 ; Egoth et al., 2012). Au cours des évaluations préalables au MEA, de nombreux « proxies¹⁰ » de services ont ainsi été proposés, notamment en recyclant des données facilement accessibles et permettant d'évaluer, avec plus ou moins d'approximation, certains services ou catégories de services (Feld et al., 2007). Dans cette mouvance, les services d'approvisionnement sont apparus les mieux lotis (Egoth et al., 2012; Layke et al., 2012), sans doute parce que les produits directs de la nature étaient déjà évalués depuis longtemps dans le cadre d'autres processus de quantification biophysique (Cowling et al., 2008). Nous illustrons ce propos par le cas de l'utilisation des données d'inventaire forestier pour l'évaluation du service de stockage de carbone (Encadré 1).

Encadré 1 : L'apport des inventaires forestiers nationaux dans l'évaluation du stock et des flux de carbone

Les inventaires forestiers nationaux ont été très largement développés dans de nombreux pays, notamment après la Deuxième Guerre mondiale, pour évaluer la ressource en bois (Tomppo et al., 2010). Ces évaluations sont agrégées au niveau mondial par la Food and Agriculture Organization (FAO) qui produit un rapport quinquennal sur l'évaluation de la ressource forestière (Forest Resource Assessment, FRA, www.fao.org/forest-resources-assessment). Au niveau européen, le processus Forest Europe (www.forest-europe.org) édite également tous les cinq ans un rapport sur l'état des forêts en Europe (State of Europe's Forest, SoEF) basé sur les rapportages nationaux qui a pour but d'évaluer les progrès vers la gestion forestière durable. Ces deux processus, mondial et européen, sont globalement conçus de la même manière sur la base de faisceaux d'indicateurs permettant de répondre à des questions pour le FRA (19 questions, 46 tableaux d'indicateurs) ou hiérarchiquement structurés en six critères (35 indicateurs quantitatifs) pour le SoEF. Parmi les indicateurs de chaque processus, relativement peu sont consacrés au changement climatique (qui n'était au départ pas l'objet de l'évaluation centrée sur la gestion forestière durable), mais des indicateurs ont été ajoutés dans les deux processus :

Pour le FRA, et sous la bannière « stock et accroissement », on trouve deux indicateurs : stock de carbone dans les forêts et autres terres boisées et stock de carbone dans la biomasse vivante;

Pour le SoEF, le premier critère de « Maintien et amélioration appropriée des ressources forestières et leur contribution aux cycles globaux du carbone » comporte un indicateur de stock de carbone (1.4).

De fait, et d'une manière générale, les données d'inventaires forestiers nationaux ont permis des évaluations de stock et de flux de carbone (notamment de capacités de stockage). En dehors de la préexistence des données, il s'avère également que la forêt, avec les océans, est l'un des puits principaux de carbone au niveau planétaire. Du fait de cette importance, il est facile de comprendre pourquoi les données des inventaires forestiers ont été recyclées pour différents processus. Par contre, aucun indicateur ne renseigne sur les capacités de cet écosystème à stocker d'autres gaz (notamment du CH₄ dans la matière organique des sols des forêts boréales), mais il est vrai que la forêt joue un rôle moindre sur ceux-là.

- 19 Plus difficiles à évaluer, les services de régulation, culturels, et a fortiori de soutien, ne disposaient pour la plupart pas d'indicateurs prêts à utiliser, ni même de données équivalentes à celles utilisées pour quantifier les services d'approvisionnement. Une exception notable dans ce paysage était, et semble toujours être, le service de régulation du climat qui a bénéficié d'un grand nombre d'évaluations et d'un effort de recherche conséquent. En effet, parmi les services rendus par les écosystèmes, la régulation du climat global – et secondairement local – fait partie des services les plus souvent évalués. Dans un contexte de changement climatique, tous les écosystèmes qui peuvent stocker les GES – en particulier le CO₂ qui peut être stocké sous forme de matière organique – rendent un service de régulation du climat global. Par ailleurs, selon les régions et le type de couvert, les forêts pourraient avoir aussi des effets sur le climat local (modification de l'albedo, refroidissement par évapotranspiration, etc.)
- 20 Notre analyse porte sur l'évaluation de ce service de régulation climatique dans neuf rapports (nationaux et régionaux) publiés entre la période du MEA (2005) et celle, récente, postérieure au TEEB (2010) disponible dans la ressource documentaire de l'IPBES¹¹. Nous cherchons à savoir comment le service de régulation du climat a été évalué, au travers de quel(s) indicateur(s), et s'il y a eu une évolution dans l'évaluation de ce service.

Indicateurs primaires et secondaires de régulation du climat

- 21 Dans leur synthèse sur les indicateurs permettant de cartographier les services écosystémiques, Egoh et al. (2012) distinguent deux types d'indicateurs : les indicateurs primaires reflètent le proxy utilisé pour qualifier le service (par ex. « attractivité touristique d'un site naturel »), alors que les indicateurs secondaires fournissent l'information nécessaire pour composer l'indicateur primaire (dans le cas de l'attractivité touristique, les indicateurs secondaires peuvent être l'« accessibilité » et la « naturalité », Egoh et al., 2012, p. 7). Nous reprenons cette classification qui permet de pointer deux niveaux de traduction pour faire l'inventaire des indicateurs utilisés pour quantifier le service de régulation du climat global.
- 22 Sur la base des neuf rapports mentionnés ici (Tableau 2), le service de régulation du climat est dans la majorité des cas évalué au travers de la capacité des écosystèmes à stocker du CO₂ – donc du carbone –, capacité qui est utilisée en l'occurrence comme indicateur primaire (sensu Egoh et al., 2012) :
- seules deux évaluations, issues du processus préalable au MEA, ne mentionnent pas explicitement le stockage du carbone comme indicateur primaire de régulation du climat (la Norvège et la région sud-africaine), même si elles font référence au CO₂ comme gaz à effet de serre (par ex. Scholes et Biggs, 2004, p. 55). En particulier, l'évaluation sud-africaine et

l'évaluation népalaise en 2012 insistent plus sur d'autres gaz à effets de serre (NO_2 , CH_4) et des précurseurs d'ozone (par ex. NO_x) avec une approche par la toxicité des différents gaz atmosphériques;

- les autres évaluations mentionnent toutes la séquestration de carbone comme (unique) indicateur primaire de régulation du climat global, y compris d'évaluation du Portugal qui avait eu lieu avant le MEA;
 - Enfin, seules la première évaluation britannique et l'évaluation espagnole font état d'autres types de services de régulation du climat que la séquestration de carbone. Il s'agit alors de services plus locaux qui concernent le microclimat ou l'atténuation des stress liés aux variations climatiques.
- 23 En termes d'indicateurs secondaires et de données utilisées, l'ensemble des études mobilise tout ou partie des mesures citées par Egoh et al. (2012, Tableau 1, pp. 14-15) : type de couverture du sol, production primaire nette, flux de nutriments, carbone du sol, biomasse forestière aérienne et souterraine. C'est au niveau de ces indicateurs secondaires que les travaux liés au MEA et ceux du GIEC convergent le plus. Les évaluations et cartographies des stocks (principalement) et des flux de carbone utilisent en général les sorties des modèles globaux développés dans le cadre du GIEC (Layke et al., 2012), ce qui nous laisse supposer que l'existence des GWP légitime en quelque sorte la focalisation sur le carbone. La plupart insistent sur l'importance de la prise en compte du carbone du sol, même si tous ne l'utilisent pas dans leur évaluation.
- 24 Il y a ainsi une distinction assez nette entre évaluations pré-MEA et post-MEA. Les premières ont tendance à embrasser de manière assez large le service de régulation du climat en utilisant une grande variété d'indicateurs autres que celui basé sur le carbone (voir notamment le Tableau 3 dans Layke et al., 2012) : évapo-transpiration, albedo de surface. Les évaluations qui suivent le MEA, quant à elles, privilégient une métrique unique centrée sur le stockage de carbone et ne mentionnent ni les autres gaz à effet de serre (CH_4 , NO_x), ni les autres échelles – plus locales – pour lesquelles les écosystèmes peuvent contribuer à réguler le climat. En cela, le MEA et les évaluations des services écosystémiques qui ont suivi ont adopté un cadrage global de la problématique du climat par le GIEC, qui se justifie au regard des dynamiques atmosphériques des principaux gaz à effet de serre, mais qui occulte des phénomènes plus locaux dont la connaissance, plus ancienne, ne repose pas sur des modèles de circulation globale (Miller, 2004). Ce cadrage global, associé à une focalisation sur le stockage de carbone, se fait au détriment des autres indicateurs possibles (notamment des autres gaz à effets de serre) et des autres échelles que celle planétaire. On retrouvera d'ailleurs ce cadrage dans les négociations intergouvernementales sur les crédits carbone (par ex. Naeem et al., 2015).

Influence des (autres) processus internationaux et préexistence des données

- 25 Du fait de la difficulté de réunir des données à large échelle permettant d'alimenter les modèles climatiques aussi bien que les évaluations de services écosystémiques, les métriques qui sont utilisées dans les deux évaluations sont globalement de même nature et possèdent à la fois les mêmes avantages et inconvénients. Le MEA, postérieur aux premiers travaux du GIEC, et les évaluations qui l'ont précédé ou en ont découlé ont par conséquent eu tendance à traduire les travaux du GIEC pour effectuer leurs bilans carbone (cf. également encadré 1 pour l'exemple de recyclage des données forestières).

En effet, de par l'existence de mesures issues à la fois des données existantes (inventaires forestiers nationaux, évaluation du carbone des sols par le Réseau de Mesure de la Qualité des Sols en France...) et des modélisations issues des travaux sur le changement climatique, les bilans « carbone » utilisés pour l'évaluation des services sont relativement faciles à renseigner à large échelle. Par ailleurs, l'existence d'un cours mondial du carbone et de dispositifs de compensation ont également contribué à généraliser l'évaluation monétaire consécutive au TEEB (c'est typiquement le cas du rapport finlandais de 2015). Les traductions opérées au cours de l'exercice du MEA et ses déclinaisons régionales pour quantifier le service rendu par les écosystèmes au titre de la régulation du climat n'ont pas conduit à rediscuter la métrique GWP et son principe d'équivalence entre les différents gaz à effet de serre et le CO₂. Au contraire, le processus du MEA a plutôt eu tendance à évacuer les incertitudes – tout du moins à ne pas les mentionner – et à réduire encore la problématique en se centrant sur les forêts et la séquestration du carbone. Notre analyse menée sur les rapports écrits et la littérature scientifique ne permet pas de conclure sur les motivations des acteurs. Nous pouvons en revanche émettre quelques hypothèses sur ces raisons et insister sur les conséquences de ce choix.

Conclusion : traductions, prime à l'indicateur existant et outil de gestion politique

- 26 Dans son acception générale, « un indicateur écologique permet de mesurer des grandeurs ou des phénomènes physiques ou biologiques trop compliqués (ou coûteux) à mesurer de manière directe » (Levrel et al., 2007). Cette définition est assez équivalente à celle qu'utilise le TEEB : « An indicator serves to indicate or give a suggestion of something of interest and is derived from measures » (TEEB 2010, cité par Egoh et al. 2012). Le recours à un indicateur relève ainsi d'un processus de traduction (Bouleau et Deuffic, ce numéro) pour permettre l'évaluation. Dans les deux expertises intergouvernementales sur le changement climatique et sur l'évaluation des services écosystémiques, les émissions de gaz à effet de serre ont été traduites par ce que nous nommons ici indicateur carbone, c'est-à-dire une émission de CO₂ d'effets équivalents sous certaines hypothèses. Cette traduction soulève néanmoins quelques difficultés, déjà identifiées par Alain Desrosières (2008), relatives à la mise en équivalence de deux grandeurs et aux effets de cliquets entre la production et l'utilisation des données.
- 27 Tout d'abord, la construction d'un indicateur de changement climatique par le GIEC s'est appuyée sur la mise en équivalence des contributions des différents gaz à effet de serre dans une même catégorie (le GWP et son corollaire instantané le forçage radiatif). Cette catégorie a elle-même été traduite par modélisation en variations de température à l'échelle du globe. Ces traductions successives ont permis d'inclure tous les pays, quelle que soit la nature de leurs émissions, dans un même cadre de négociation centré sur les émissions de carbone et leurs effets sur la température. Comme nous avons pu le voir, ces deux types d'équivalence ont donné lieu à des débats parmi les scientifiques, mais qui sont restés globalement minoritaires au sein du panel d'experts et qui dans tous les cas ne transparaissent que très peu dans les rapports d'évaluation produits par le GIEC. Les auteurs qui remettent en cause l'usage du GWP et du CO₂ comme références pointent la non-linéarité du comportement des gaz à effet de serre, qui est à la fois temporelle du fait de durées de vie différentes, et spatiale en raison d'effets variables selon leur position

dans les différentes strates atmosphériques. Cela induit une perte de lien causal entre indicateur (le GWP traduit en équivalents CO₂) et indicandum (la température) sur lequel porte une incertitude non négligeable. Dans des arènes scientifiques, des alternatives au GWP ont été proposées, qui permettraient de distinguer plusieurs catégories de gaz à effets de serre au comportement différent (Fuglestad et al., 2003), mais n'ont finalement pas été retenues dans les rapports suivants du GIEC (IPCC, 2009) ce qui nous renvoie à la difficulté de mettre en débat des indicateurs déjà établis.

28 Plusieurs phénomènes peuvent expliquer la dépendance à l'indicateur carbone :

- Tout d'abord, on peut constater que les incertitudes et les débats ayant eu lieu sur le GWP n'ont pas été repris lors des différentes évaluations de services de régulation du climat. Au contraire, l'équivalence en carbone a été adoptée comme métrique (unique) de ce service en tenant à la fois peu compte des autres gaz à effet de serre, sans réellement mentionner les possibilités d'équivalence entre gaz, et en ne considérant que des capacités de régulation à l'échelle globale, alors que des effets plus locaux existent (albédo, évapo-transpiration). Alain Desrosières (2008) attribue ce manque de transmission des controverses entre la construction d'un indicateur et son usage à la division du travail entre ceux qui le renseignent et ceux qui l'utilisent comme une donnée (recyclage). On peut faire aussi l'hypothèse que les investissements conceptuels (modèles) et institutionnels (marché de carbone) qui ont été faits autour des services de régulation du climat rendent difficile l'adoption d'autres métriques. Ils contribuent à verrouiller davantage le choix initial de focalisation sur le CO₂ (Pierson, 2000);
- Dans ce processus de traduction des indicateurs et de recyclage des données, il nous semble que la dépendance au sentier est particulièrement forte pour l'écosystème forestier. Du fait de la préexistence de données à larges échelles spatiale et temporelle issues des inventaires forestiers nationaux, et de la traduction assez aisée de biomasse en carbone, les évaluations des services de régulation du climat sous la forme de stockage (et de stock) de carbone ont été beaucoup plus développées pour la forêt que pour les autres écosystèmes et pour le compartiment bois plus que pour le compartiment sol. Cela s'est fait au détriment de la prise en compte de rôles spécifiques tels que celui des sols des forêts boréales qui pourraient relarguer du CH₄. Il est évident que cette évaluation tient en grande partie au fait que l'écosystème forestier constitue un important réservoir de carbone, mais ces évaluations ont aussi été facilitées par l'existence de données. D'ailleurs, ces évaluations ont également été reprises dans les processus de rapportage internationaux sur la forêt.

29 Au final, le passage des indicateurs carbone de la sphère scientifique à la sphère politique a été très rapide. Mais cette rapidité de transfert a probablement accentué les difficultés de remise en cause, et semble focaliser le débat politique sur des solutions à long terme de réduction des émissions de CO₂ (« single basket approach »), alors qu'un couplage avec des solutions à court et moyen termes portant sur d'autres gaz (« multibasket approach » incluant le CH₄ et les NO_x) permettrait une lutte plus efficace contre les effets du changement climatique. On peut donc se poser la question de la difficulté de mise en œuvre de politiques efficaces sur des bases qui omettent les incertitudes et les précautions scientifiques mentionnées dans les sphères dont sont issus les indicateurs. Cela concerne entre autres les paiements pour services environnementaux, les crédits carbone ou encore le programme des Nations Unies pour la réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation forestière (UN-REDD).

Remerciements

- 30 Nous remercions deux relecteurs anonymes pour leurs commentaires constructifs sur la première version de ce manuscrit ainsi que Marie Baltzinger pour ses suggestions. Ce travail a été mené dans le cadre du séminaire de recherche CHIFFRE (construction historique des indicateurs de faune et flore pour la gestion de la forêt et des ressources en eau) financé par l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, Irstea, France.
-

BIBLIOGRAPHIE

- Arnaud De Sartre, X., M. Castro, S. Dufour et J. Oszwald, 2014, *Political Ecology des services écosystémiques*. Bruxelles, Bern, Berlin, Frankfurt am Main, New York, Oxford, Wien, 288 p.
- Bird Conservation Nepal (BCN) et Department of National Parks and Wildlife Conservation, and BirdLife International (DNPWC), 2012, *Conserving biodiversity and delivering ecosystem services at Important Bird Areas in Nepal*, Katmandu and Cambridge, UK, Bird Conservation Nepal, Department of National Parks and Wildlife Conservation, and BirdLife International, 40 p.
- Boisvert, V. et J. Foyer, 2015, *L'économie verte : généalogie et mise à l'épreuve d'un concept technocratique.*, Regards croisés sur Rio+20. La modernisation écologique à l'épreuve. J. Foyer, CNRS Editions, pp. 139-161.
- Bonin, M. et M. Antona, 2012, Généalogie scientifique et mise en politique des services écosystémiques et services environnementaux. Introduction au dossier, Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 12 numéro 3, [En ligne] URL : <http://vertigo.revues.org/13147>; DOI : 10.4000/vertigo.13147
- Bouleau, G. et P. Deuffic, 2016, Qu'y a-t-il de politique dans les indicateurs écologiques? Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 16 numéro 2, [En ligne] URL : <https://vertigo.revues.org/17581>, DOI : 10.4000/vertigo.17581
- Bowerman, N. H. A., D. J. Frame, C. Huntingford, J. A. Lowe, S. M. Smith et M. R. Allen, 2013, The role of short-lived climate pollutants in meeting temperature goals, *Nature Climate Change*, 3, 12, pp. 1021-1024.
- Castro, M. et G. Ollivier, 2012, *Political ecology des discours environnementaux internationaux : le cas de l'approche par écosystème de la Convention de la diversité biologique (CDB)*, L'approche Political Ecology : Pouvoir, savoir, environnement D. Gautier et T. Benjaminsen (coord). Versailles, France, Quae, pp. 87-110.
- Chevassus-au-Louis, B., J. M. Salles et J. Pujol, 2009, *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Contribution à la décision publique*, Rapports et Documents, Paris, France, Centre d'Analyse Stratégique, 378 p.
-

- Costanza, R., R. D'Arge, R. De Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton et M. Van Den Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387, 6630, pp. 253-260.
- Cowling, R. M., B. Egoh, A. T. Knight, P. J. O'Farrell, B. Reyers, M. Rouget, D. J. Roux, A. Welz et A. Wilhelm-Rechman, 2008, An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 28, pp. 9483-9488.
- Daily, G. C., 1997, *Nature's Services : Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, DC, Island Press, 412 p.
- Daniel, J. S., S. Solomon, T. J. Sanford, M. McFarland, J. S. Fuglestedt et P. Friedlingstein, 2012, Limitations of single-basket trading : Lessons from the Montreal Protocol for climate policy, *Climatic Change*, 111, 2, pp. 241-248.
- den Elzen, M., J. Fuglestedt, N. Höhne, C. Trudinger, J. Lowe, B. Matthews, B. Romstad, C. P. de Campos et N. Andronova, 2005, Analysing countries' contribution to climate change : Scientific and policy-related choices, *Environmental Science and Policy*, 8, 6, pp. 614-636.
- Desrosières, A., 2008, Pour une sociologie historique de la quantification : l'argument statistique, Paris, Presses des Mines ParisTech, 330 p.
- Egoh, B., E. G. Drakou, M. B. Dunbar, J. Maes et L. Willemen, 2012, *Indicators for mapping ecosystem services : a review*, JRC Scientific and Policy Reports, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, 113 p.
- Feld, C. K., F. de Bello, B. Bugter, U. Grandin, D. Hering, S. Lavorel, O. Mountford, I. Pardo, M. Partel, J. Römbke, P. M. da Silva, J. P. Sousa et K. B. Jones, 2007, *Assessing and Monitoring Ecosystems-Indicators, Concepts and their Linkage to Biodiversity and Ecosystem Services*, The RUBICODE Project - Rationalising Biodiversity Conservation in Dynamic Ecosystems, 108 p.
- Finkbeiner, M., 2009, Carbon footprinting-opportunities and threats, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14, 2, pp. 91-94.
- Fuglestedt, J. S., T. K. Berntsen, O. Godal, R. Sausen, K. P. Shine et T. Skodvin, 2003, Metrics of climate change : Assessing radiative forcing and emission indices, *Climatic Change*, 58, 3, pp. 267-331.
- Godal, O., 2003, The IPCC's assessment of multidisciplinary issues: The case of greenhouse gas indices. An editorial essay, *Climatic Change*, 58, 3, pp. 243-249.
- Granjou, C. et M. Barbier, 2010, Métamorphoses de l'expertise : Précaution et maladies à prions, *Quae*, 304 p.
- Granjou, C., 2003, L'expertise scientifique à destination politique, *Cahiers internationaux de sociologie*, 1, 114, pp. 175-183
- Hrabanski, M. et E. Valette, 2012, Organisations environnementales et services écosystémiques : stratégies de diffusion du concept et opportunités politiques, *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 12 numéro 3, [En ligne] URL : <http://vertigo.revues.org/12904>; DOI : 10.4000/vertigo.12904
- Hrabanski, M., 2013, Les experts scientifiques français dans le Millenium Ecosystem Assessment (2001-2005) : les raisons de leur absence, *Natures Sciences et Sociétés*, 21, p. 8.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1990, *Climate Change 1990: First Assessment Report*, 332 p.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1995, *Climate Change 1995 : A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, WMO, UNEP, 73 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001, *Climate Change 2001: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, R. T. Watson et Core Writing Team, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, IPCC, 398 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Core Writing Team, R. K. Pachauri et A. Reisinger, Geneva, Switzerland, IPCC, 104 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2009, *Meeting Report of the Expert Meeting on the Science of Alternative Metrics*, G.-K. Plattner, T. F. Stocker, P. Midgley et M. Tignor, Bern, Switzerland, University of Bern, 75 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Core Writing Team, R. K. Pachauri et L. A. Meyer, Geneva, Switzerland, IPCC, 151 p.
- Jäppinen, J.-P. et J. Heliölä, 2015, *Towards a sustainable and genuinely green economy. The value and social significance of ecosystem services in Finland (TEEB for Finland). Synthesis and roadmap*, The Finnish Environment 1en/2015, Helsinki, The Finnish Ministry of Environment, 144 p.
- Lascoumes, P., 2002. L'expertise, de la recherche d'une action rationnelle à la démocratisation des connaissances et des choix, *Revue française d'administration publique* 3,103, pp. 369-377.
- Lascoumes, P., 2004, Traduction. *Dictionnaire des politiques publiques*, L. Boussaguet, S. Jacquot et P. Ravinet, pp. 439-446..
- Lascoumes, P., 2011, L'action publique au prisme de ses instruments, *Revue française de science politique* 1, vol 61, pp. 5-22.
- Layke, C., A. Mapendembe, C. Brown, M. Walpole et J. Winn, 2012, Indicators from the global and sub-global Millennium Ecosystem Assessments: an analysis and next steps, *Ecological Indicators*, 17, pp. 77-87.
- Le Bourhis, J.-P. et P. Lascoumes, 2014, En guise de conclusion. Les résistances aux instruments de gouvernement. Essai d'inventaire et de typologie des pratiques, *L'instrumentation de l'action publique*, C. Halpern, P. Lascoumes et P. Le Galès (coord.), Paris, Presses de Sciences Po, p. 493-520.
- Maes, J., A. Teller, M. Erhard, C. Liqueste, L. Braat, P. Berry, B. Egoh, P. Puydarrieux, C. Fiorina, F. Santos, M. L. Paracchini, H. Keune, H. Wittmer, J. Hauck, I. Fiala, P. H. Verburg, S. Condé, J. P. Schägner, J. San Miguel, C. Estreguil, Ostermann O, J. I. Barredo, H. M. Pereira, A. Stott, V. Laporte, A. Meiner, B. Olah, E. Royo Gelabert, R. Spyropoulou, J. E. Petersen, C. Maguire, N. Zal, E. Achilleos, A. Rubin, L. Ledoux, C. Brown, C. Raes, S. Jacobs, M. Vandewalle, D. Connor et G. Bidoglio, 2013, *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020*, Publications office of the European Union, Luxembourg, European Commission, 57 p.
- Maes, J., A. Teller, M. Erhard, P. Murphy, M. L. Paracchini, J. I. Barredo, B. Grizzetti, A. Cardoso, F. Somma, J.-E. Petersen, A. Meiner, E. Royo Gelabert, N. Zal, P. Kristensen, A. Bastrup-Birk, K. Biala, C. Romao, C. Piroddi, B. Egoh, C. Fiorina, F. Santos, V. Naruševičius, J. Verboven, H. Pereira, J. Bengtsson, K. Gocheva, C. Marta-Pedroso, T. Snall, C. Estreguil, J. San Miguel, L. Braat, A. Gret-Regamey, M. Perez-Soba, P. Degeorges, G. Beaufaron, A. Lillebo, D. Abdul Malak, C. Liqueste, S.

- Conde, J. Moen, H. Ostergard, B. Czucz, E. G. Drakou, G. Zulian et C. Lavalle, 2014, *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Indicators for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020. 2nd Report - Final, February 2014*, Publications office of the European Union, Luxembourg, European Commission, 81 p.
- Marchettini, N., M. Marchi et E. Tiezzi, 2009, *Global Warming Potential Revisited*, Ecosystems and Sustainable Development VII. C. A. Brebbia et E. Tiezzi, WIT Press, 122, p. 9.
- Maresca, B., X. Mordret, A.-L. Ughetto et P. Blancher, 2011, Évaluation des services rendus par les écosystèmes en France : Les enseignements d'une application du Millenium Ecosystem Assessment au territoire français, *Développement durable et territoires*, 2, 3, p. 17.
- Méral, P., D. Pesche, M. Antona et O. Aznar, 2010, *Les 10 principaux résultats des 18 premiers mois du programmes SERENA*, IRD, CIRAD, Cemagref, Document de travail n°2010-11, 15 p.
- Millenium Ecosystem Assessment (MEA), 2005, *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Washington, DC., World Resources Institute, 155 p.
- Miller, Clark A., 2004. Climate science and the making of a global political order. *States of Knowledge. The co-production of science and social order*, S. Jasanoff (coord.), Londres et New York, Routledge, p. 46-66.
- Naeem, S., J. C. Ingram, A. Varga, T. Agardy, P. Barten, G. Bennett, E. Bloomgarden, L. L. Bremer, P. Burkill, M. Cattau, C. Ching, M. Colby, D. C. Cook, R. Costanza, F. DeClerck, C. Freund, T. Gartner, R. Goldman-Benner, J. Gunderson, D. Jarrett, A. P. Kinzig, A. Kiss, A. Koontz, P. Kumar, J. R. Lasky, M. Masozera, D. Meyers, F. Milano, L. Naughton-Treves, E. Nichols, L. Olander, P. Olmsted, E. Perge, C. Perrings, S. Polasky, J. Potent, C. Prager, F. Quétier, K. Redford, K. Saterson, G. Thoumi, M. T. Vargas, S. Vickerman, W. Weisser, D. Wilkie et S. Wunder, 2015. Get the science right when paying for nature's services: Few projects adequately address design and evaluation, *Science*, 347, 6227, pp. 1206-1207.
- Norwegian Millennium Ecosystem Assessment, 2002, *Pilot Study*, DN Report 2002-1b, Trondheim, The Directorate for Nature Management, 101 p.
- Patterson, T. M. et D. L. Coelho, 2009, Ecosystem services : Foundations, opportunities, and challenges for the forest products sector, *Forest Ecology and Management*, 257, 8, pp. 1637-1646.
- Pereira, H. M., T. Domingos et L. Vicente, 2004, *Portugal Millennium Ecosystem Assessment: State of the Assessment Report*, Lisboa, Centro de Biologia Ambiental, Faculdade de Ciências da Universidade, 68 p.
- Pesche, D., 2011, *Le Millenium Ecosystem Assessment : Évaluation globale et circulation des idées dans la production des politiques*, CIRAD UMR ART-Dev n°5281, Document de travail n°2011-12, 40 p.
- Pestre, D., 2014, Néolibéralisme et gouvernement. Retour sur une catégorie et ses usages. *Le gouvernement des technosciences. Gouverner le progrès et ses dégâts depuis 1945*, D. Pestre (coord.), La découverte, p. 261-284.
- Peters, G. P., B. Aamaas, M. T. Lund, C. Solli et J. S. Fuglestedt, 2011, Alternative "global warming" metrics in life cycle assessment : A case study with existing transportation data, *Environmental Science and Technology*, 45, 20, pp. 8633-8641.
- Pierson, P., 2000, Increasing returns, path dependence, and the study of politics, *American Political Science Review*, 94, 2, pp. 251-267.
- Prather, M. J., J. E. Penner, J. S. Fuglestedt, A. Kurosawa, J. A. Lowe, N. Höhne, A. K. Jain, N. Andronova, L. Pinguelli, C. P. De Campos, S. C. B. Raper, R. B. Skeie, P. A. Stott, J. Van Aardenne et

- F. Wagner, 2009, Tracking uncertainties in the causal chain from human activities to climate, *Geophysical Research Letters*, 36, 5.
- Scholes, R. J. et R. Biggs, 2004, *Ecosystem Services in Southern Africa: A regional assessment*, Pretoria, South Africa, Council for Scientific and Industrial Research, 84 p.
- Serpantié, G., P. Méral et C. Bidaud, 2012, Des bienfaits de la nature aux services écosystémiques. Éléments pour l'histoire et l'interprétation d'une idée écologique, pp. 25, *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 12 numéro 3 | décembre 2012, mis en ligne le 15 décembre 2012, URL : <http://vertigo.revues.org/12924>; DOI : 10.4000/vertigo.12924
- Shine, K. P., J. S. Fuglestedt, K. Hailemariam et N. Stuber, 2005, Alternatives to the Global Warming Potential for comparing climate impacts of emissions of greenhouse gases, *Climatic Change*, 68, 3, pp. 281-302.
- Smith, S. M., J. A. Lowe, N. H. A. Bowerman, L. K. Gohar, C. Huntingford et M. R. Allen, 2012, Equivalence of greenhouse-gas emissions for peak temperature limits, *Nature Climate Change*, 2, 7, pp. 535-538.
- Spanish National Ecosystem Assessment, 2013, *Ecosystems and biodiversity for human wellbeing. Synthesis of the key findings*, Madrid, Spain, Biodiversity Foundation of the Spanish Ministry of Agriculture, Food and Environment, 90 p.
- Sygna, L., J. S. Fuglestedt et H. A. Aaheim, 2002, The adequacy of GWPs as indicators of damage costs incurred by global warming, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7, 1, pp. 45-62.
- Tanaka, K., G. P. Peters et J. S. Fuglestedt, 2010, Policy Update : Multicomponent climate policy: Why do emission metrics matter?, *Carbon Management*, 1, 2, pp. 191-197.
- ten Brink, P., S. Gantioler, H. Gundimeda, P. Sukhdev, G. Tucker et J. L. Weber, 2011, Strengthening indicators and accounting systems for natural capital, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity in National and International Policy Making*, pp. 79-128.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB), 2010, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations.*, P. Kumar, London and Washington, Earthscan, 456 p.
- The Norwegian Expert Commission on Values of Ecosystem Services, 2013, *Natural benefits - on the values of ecosystem services*, Official Norwegian Report NOU 2013: 10 Summary, Oslo, Norway, Norwegian Government to the Ministry of the Environment, 39 p.
- Tomppo, E., T. Gschwantner, M. Lawrence et R. E. Mc Roberts, 2010, *National forest inventories. Pathways for common reporting*, Heidelberg, Allemagne, Springer Science, 612 p.
- UK National Ecosystem Assessment, 2011, *The UK National Ecosystem Assessment Technical Report*, Cambridge, UK, UNEP-WCMC, 1466 p.
- UK National Ecosystem Assessment, 2014, *The UK National Ecosystem Assessment: Synthesis of the Key Findings.*, LWEC, UK, UNEP-WCMC, 100 p.
- Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (WG III IPCC), 2014, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Edenhofer, O et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 42 p.

NOTES

1. www.ipbes.net
 2. www.uicn.fr/Services-ecologiques
 3. L'EFESE constitue une réponse de la France à ses engagements internationaux (mise en œuvre des objectifs d'Aïchi, contribution à l'IPBES) et Européens (mise en œuvre de la stratégie européenne pour la biodiversité, notamment l'action 5, de l'objectif 2, [En ligne] URL : ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/strategy/ ; contribution au groupe de travail MAES, lui-même déclinaison du MEA, [En ligne] URL : biodiversity.europa.eu/maes).
 4. L'IPBES ne fait état d'aucun rapport publié entre 2005 et 2010, mais les travaux à l'origine des rapports publiés dans les années suivant immédiatement le TEEB (2011-2013) ont vraisemblablement été initiés avant 2010.
 5. Un exemple parmi d'autres : « Les engagements actuels des États pour la COP 21 représentent encore 10 gigatonnes de CO₂ pour respecter l'objectif de limiter le réchauffement climatique à 2 °C d'ici 2050. », [En ligne] URL : <http://www.euractiv.fr/sections/climat-environnement/la-cop21-10-gigatonnes-de-co2-de-son-objectif-317139>, en date du 28 août 2015.
 6. www.scopus.com
 7. <http://www.cicero.uio.no/en/employee/37/jan-s-fuglested>
 8. Traduction des auteurs.
 9. Par exemple, sur la base de l'empreinte carbone uniquement, l'énergie nucléaire est la meilleure option du bouquet énergétique en raison de son faible impact, et le recyclage du papier devrait être stoppé, car en comparaison avec de la production de papier vierge, son coût en carbone est plus fort (Finkbeiner, M., 2009. Carbon footprinting-opportunities and threats, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14, 2, pp. 91-94).
 10. Le terme anglophone de « proxy » est utilisé en modélisation pour parler d'une variable qui constitue une bonne approximation d'une autre variable. Le recours à un proxy correspond à ce que Bouleau et Deuffic (ce numéro) appellent une mise en équivalence par traduction dans leur article introductif.
 11. www.ipbes.net, Tableau 2
-

RÉSUMÉS

L'évaluation – directe ou indirecte – des quantités de services rendus par les écosystèmes nécessite de construire des indicateurs. Nous nous interrogeons sur la construction et l'utilisation d'un indicateur de régulation des effets du changement climatique, que nous nommons « indicateur carbone », avec un accent sur les données qui ont permis de le générer, de le renseigner (notamment pour l'écosystème forestier) et les mécanismes qui ont prévalu à son acceptation par les communautés scientifiques et politiques des services écosystémiques. Nous nous basons sur une analyse critique des documents produits par le *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA) et par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour expliciter la rationalité de cet indicateur. Nous avons également cherché à repérer dans la littérature scientifique des éléments de débat sur cet indicateur, et de rendre explicite les arènes et les arguments. Nous essayons ainsi de voir en quoi ces deux processus diffèrent et dans quelle

mesure les innovations conceptuelles et les indicateurs produits par l'un sont traduits par l'autre. Les évaluations des émissions de gaz à effet de serre sont réalisées par le GIEC sur un principe d'équivalence entre le CO₂ et d'autres gaz. Cette équivalence a ensuite été traduite dans le cadre des services écosystémiques, qui se sont focalisés sur des bilans dits « carbone », dans les évaluations des services de régulation. Cette traduction omet en grande partie les incertitudes et les limites liées à cet indicateur. La préexistence de données à large échelle, notamment pour les écosystèmes forestiers, a également été un élément moteur du recyclage de cet indicateur dans les différentes sphères.

The direct or indirect quantification of services provided by ecosystems requires the production of indicators. We investigated the construction and the use of an indicator of climate change regulation service, the so-called “carbon indicator”, with a special focus on the data that were processed to calculate and inform it (notably for forest ecosystems) and on the mechanisms that allowed this indicator to be accepted both in ecosystem services science and policy. We based our approach on a critical analysis of the documents produced by the Millenium Ecosystem Assessment (MEA), but also by the Intergovernmental Panel of Experts non Climate Change (IPCC) to relate the rationale of this indicator. We also highlighted, in the scientific literature, elements of debate and explained arguments used and spheres where this indicator has taken place. We thus identified the differences between the two processes, and analyzed to what extent innovations and indicators produced by a given process were translated in the other. The carbon indicator is based on the equivalence between CO₂ and other greenhouse gases and was first produced by the IPCC. Ecosystem services assessments translated this equivalence while focusing on carbon budget, omitting most of the controversies and approximations of concern. Preexisting large scale data, notably for forest ecosystems, was also a crucial element for the recycling of this indicator by different spheres.

INDEX

Mots-clés : services écosystémiques, indicateur, CO₂, changement climatique, carbone, climat

Keywords : ecosystem services, indicator, climate change, carbon, climate

AUTEURS

YOAN PAILLET

Ingénieur de Recherche, Irstea, UR EFNO, Domaine des Barres, 45290 Nogent-sur-Vernisson, France, courriel : yoan.paillet@irstea.fr

GABRIELLE BOULEAU

Ingénieure chercheuse, Irstea, UR ETBX, 50 avenue de Verdun, F-33612 Cestas, cedex, France, courriel : gabrielle.bouleau@irstea.fr