



HAL
open science

Quantifier la frugalité de la recherche ?

Antoine Hardy, Camille Noûs

► **To cite this version:**

Antoine Hardy, Camille Noûs. Quantifier la frugalité de la recherche ?. *Socio - La nouvelle revue des sciences sociales*, 2023, La frugalité de la recherche, 17, pp.83-117. 10.4000/socio.14157 . halshs-03879755

HAL Id: halshs-03879755

<https://shs.hal.science/halshs-03879755>

Submitted on 15 May 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Socio

Socio

La nouvelle revue des sciences sociales

17 | 2023

La frugalité de la recherche

Quantifier la frugalité de la recherche ?

Antoine Hardy et Camille Noûs



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/socio/14157>

DOI : [10.4000/socio.14157](https://doi.org/10.4000/socio.14157)

ISSN : 2425-2158

Éditeur

Les éditions de la Maison des sciences de l'Homme

Édition imprimée

Date de publication : 15 janvier 2023

Pagination : 83-117

ISSN : 2266-3134

Ce document vous est offert par INIST - Centre national de la recherche scientifique (CNRS)



Référence électronique

Antoine Hardy et Camille Noûs, « Quantifier la frugalité de la recherche ? », *Socio* [En ligne], 17 | 2023, mis en ligne le 24 novembre 2022, consulté le 15 mai 2023. URL : <http://journals.openedition.org/socio/14157> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/socio.14157>



Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International
- CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Quantifier la frugalité de la recherche ?

Antoine HARDY et Camille NOÛS

À quoi ressemblerait l'activité scientifique dans un monde où le réchauffement climatique global atteindrait + 2, 3 ou 4° C par rapport à l'ère préindustrielle et où les événements climatiques extrêmes seraient toujours plus intenses, fréquents et longs ? Comment s'interroger, enquêter, présenter ses résultats ou échanger avec ses collègues si les incendies géants et les inondations, les vagues de chaleur et la déstabilisation des systèmes agricoles, les pénuries d'eau et les tempêtes s'accroissent encore davantage ? Les rapports du Groupement intergouvernemental des experts sur le changement climatique (GIEC) attribuent le changement climatique de façon incontestable à l'« influence humaine », pour reprendre cette formule qui ne souligne pas que la principale cause est la production des énergies fossiles et les systèmes économiques, politiques et sociaux fondés sur l'exploitation de ces énergies et les garantissant. L'ampleur des changements en cours est sans précédent à l'échelle des siècles ou des millénaires pour certains d'entre eux (GIEC, 2021) et il est possible de faire l'hypothèse qu'ils auront des répercussions politiques d'ampleur sur tous les aspects de nos vies et

de nos politiques publiques. Les épisodes de chaleur en Europe durant l'été 2022 ont rappelé la dimension interconnectée des chocs climatiques.

Au tournant des années 2000, des publications ont commencé à s'interroger sur les gaz à effet de serre émis par les activités scientifiques. De cette littérature, un premier constat très sommaire peut être tiré : ces activités, comme d'autres, émettent des gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement climatique. Depuis la fin des années 2010, le nombre de travaux portant sur la quantification de l'« empreinte carbone » de la recherche s'est intensifié. Le choix du terme « quantification » permet de souligner, comme l'écrit Olivier Martin (2020), que ce processus constitue bien une pratique (« les chiffres ne s'offrent pas à nous de manière naturelle » [*ibid.* : 7]) qui rend compte de la « transformation de qualités en quantités » (Christin, 2020). La catégorie d'empreinte carbone agrège différents gaz à effet de serre émis par une activité au sens large (une conférence ou un télescope), exprimés dans leur équivalent en dioxyde de carbone. Cette nouvelle littérature a dessiné une vaste cartographie d'une relation carbonée aux savoirs et connaissances. Sortir de cette relation n'est pas renoncer à la *libido sciendi*. C'est l'organiser autrement, réfléchir sur les conséquences des pratiques de recherche et comprendre ce qu'il pourrait y avoir à gagner, sur le plan épistémologique, dans cette transformation des manières d'informer notre compréhension du monde.

Pour cela, il s'agit d'abord d'identifier les formes de temporalité en jeu dans le présent de cette empreinte carbone et de mettre en avant les constats et limites de ce champ émergent de la littérature pour montrer ensuite que les pratiques engagées ne sont pas réductibles à une seule conception, comme le montre mon enquête menée dans le cadre d'une thèse de science politique et actuellement financée par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE). Depuis novembre 2020, j'enquête auprès du groupe Labos 1point5¹, qui a notamment pour objectif d'estimer l'empreinte carbone des laboratoires publics de recherche en France à l'aide d'un calculateur indépendant,

1. Pour une présentation de Labos 1point5 par ses deux cofondatrices, voir l'entretien du présent numéro avec Olivier Berné et Tamara Ben Ari, p. 67-82.

un logiciel accessible en ligne gratuitement, qui a été élaboré au sein du groupe². Ce calculateur permet de relier plusieurs dimensions de l'activité d'un laboratoire (les missions, les déplacements entre le domicile et le laboratoire, les bâtiments, les achats, le matériel informatique) aux gaz à effet de serre qu'elles émettent. Les données afférentes à ces postes d'émission sont collectées, renseignées dans ce calculateur puis, certains laboratoires tâchent de faire évoluer leurs pratiques professionnelles en fonction des résultats obtenus. Le processus est ici, à l'image d'autres formes de quantification, cognitif et social. La création de Labos 1point5 ne visait pas, en effet, l'estimation *pour l'estimation* mais *pour le changement des pratiques de recherche* au nom de « l'urgence environnementale » (Labos 1point5, 2019). Pour comprendre ce qui s'y joue, j'ai fait jusqu'à présent usage de méthodes qualitatives. Outre une recherche bibliographique sur ces questions, que j'aborde par un ancrage en sociologie des sciences, sociologie de la quantification et sociologie politique, et un accès à des documents internes et externes produits par le groupe, je participe à ses activités et observe ce qui s'y passe. J'ai pu mener trois campagnes d'entretiens (n = 43) pour chercher à comprendre aussi bien la structuration de son action que le rapport à cette quantification pour les personnes qui y engagent une partie de leur temps, en plus de leurs activités professionnelles. Ce processus de quantification ne met pas seulement en nombre un coût environnemental de la recherche : il quantifie des formes de temps dans la vie scientifique. Cet article entend ainsi contribuer à l'élargissement de la sociologie de la quantification, au-delà des statistiques et chiffres sociaux (Martin, 2020).

Les temporalités de l'empreinte carbone

Plusieurs strates de temporalités distinctes doivent être identifiées afin de déplier le singulier du terme « empreinte carbone ». Je dois cette approche au sociologue Andrew Abbott (2001). La première strate est celle qui renvoie à la filiation terminologique entre l'« empreinte environnementale » et

2. Pour des raisons de place et parce que le présent numéro contient déjà un entretien avec deux membres fondateurs de ce groupe, je ne détaille pas davantage les origines de ce groupe.

l’empreinte carbone. L’empreinte environnementale, conceptualisée sous différents noms et avec des approches variées au cours des années 1980-1990 par des universitaires nord-américains, décrit la surface nécessaire au développement d’une région (Rees, 1992) et s’inscrit dans les débats, plus anciens, à propos du lien entre usage des ressources et croissance démographique, une question qui se structure au XX^e siècle aux États-Unis autour des déclinaisons de la « bombe démographique » : la dénonciation de la croissance de la population comme outil de naturalisation à la fois de l’inégale répartition des richesses et des modes de production et de consommation (Merchant, 2021).

Au cours des années 2000, le recours à l’empreinte environnementale a décru et l’empreinte carbone est devenue la catégorie la plus employée dans les publications scientifiques. Lebunu Hewage Udara Willhelm Abeydeera et ses coauteures (2019) analysent, par une recherche scientométrique, « la tendance à la hausse dans le domaine de recherche sur les émissions carbonées » entre 1981 et 2019, particulièrement dans les années 2016-2019. De leur côté, Kai Fang et ses coauteurs (2014) ont comptabilisé les occurrences des différents membres de cette « famille de l’empreinte » (Galli, 2014), dans les sujets des articles de la base *Web of Science*, entre 1992 et 2012, à savoir l’empreinte écologique, énergétique, carbone et l’empreinte des ressources hydriques, et constatent que les « statistiques de l’empreinte carbone ont commencé à s’envoler en 2007 et ont même dépassé celles de l’empreinte écologique depuis 2009 ». C’est en réalité de manière progressive que la question du dioxyde de carbone apparaît comme un problème en soi. Cette évolution pose la question de l’origine et de la transformation d’un phénomène en objet scientifique (Daston, 1999). Pour ce qui concerne la science de l’effet de serre et des émissions de dioxyde de carbone, ce processus, à la fois matériel et conceptuel, débute au XIX^e siècle et porte la marque de certaines inflexions scientifiques, par exemple celle de Guy Stewart Callendar qui associe combustion des énergies fossiles et hausse des températures en 1938 (Hawkins et Jones, 2013) ou de Charles Keeling qui effectue à partir de la fin des années 1950 des relevés de la concentration du CO₂ atmosphérique. Aux États-Unis, l’industrie pétrolière est informée dès les années 1950 de la nature et de la trajectoire du réchauffement (Franta, 2018).

En revanche, le fétichisme de la datation ou la régression vers un imaginaire héroïsant de pionnier³ risqueraient d'effacer aussi bien la lente sédimentation des savoirs climatiques que les spécificités des contextes où s'est développée chacune de ses couches, sans compter le risque de la déformation induit par un regard rétrospectif. Callendar jugeait en 1938 le réchauffement bénéfique pour le développement de l'agriculture et pour éviter le retour des « glaciers meurtriers ». Keeling estimait de son côté, en 1970, que l'augmentation du CO₂ était « si lente que la plupart d'entre nous vivront très probablement leur vie sans se rendre compte qu'il existe un problème ». Par ailleurs, ce qui peut apparaître aujourd'hui patrimonialisé sous le nom de « courbe de Keeling » ne doit pas occulter que la trajectoire de cette mesure a été marquée par des conflits avec les financeurs, qui jugeaient que son travail de « routine » ne relevait pas d'une recherche fondamentale apte à bénéficier des financements (Keeling, 1998).

Quand il s'agit de trouver une date de naissance à un problème ou à une manière de penser, l'enquêteur est ainsi piégé entre l'exigence de rigueur et l'impératif de précision. La première rend le second très difficile et le second souffre de la confrontation avec la première. Lorsque Lorraine Daston et Peter Galison (2007) étudient l'émergence de l'objectivité scientifique, considérer qu'il puisse y avoir un déclencheur en particulier leur apparaît comme la résultante d'un « fantasme historique persistant⁴ » (Daston et Galison, 2012 : 50 (version originale : *id.*, 2007 : 64). Ils recourent à la métaphore de l'avalanche :

On peut identifier un ensemble d'idéaux qui prolifèrent rapidement et entrent en conflit, chacun revendiquant la juste manière de représenter l'éclaboussure d'une gouttelette ou la structure d'une cellule sanguine ; mais on ne peut statuer

3. Cette posture de pionnier est parfois alimentée par les prises de position de scientifiques eux-mêmes et de leurs collègues. L'historien James Rodger Fleming décrit comment Roger Revelle a cherché à se positionner comme « "le grand-père" de la théorie du changement climatique » (Fleming, 1998 : 122) jusqu'à écrire une « courte, révisionniste "histoire scientifique du dioxyde de carbone" » (*ibid.* : 128).

4. Traduction de Sophie Renaut et Hélène Quiniou. En l'absence de mention particulière, les traductions sont de l'auteur du présent article.

avec exactitude sur le moment ou les raisons qui poussent les scientifiques d'un domaine donné à parler de « vue objective ». Ainsi, au lieu de frontières tranchées entre les périodes, il faut plutôt s'attendre à une série d'interventions dispersées qui brusquement s'amplifient et se transforment en un mouvement global, à mesure que s'expriment les inquiétudes et que des alternatives sont trouvées – qui déclenche une avalanche (ibid. : 64).

Daston et Galison nous invitent à voir une série de changements épars qui finissent par s'agréger pour constituer quelque chose de massif, une manière de sortir d'une histoire des sciences qui a pu être coincée entre deux imaginaires en étant vue « soit comme une progression constante et régulière des connaissances, soit comme une éruption intermittente de nouveautés révolutionnaires » (ibid. : 63). Paul N. Edwards (2010) parle d'infrastructures de connaissances (*knowledge infrastructures*), qui concernent aussi bien l'aspect humain et technique que les institutions, universitaires ou légales en permettant la production, la transmission, la circulation ou la préservation :

Débarrassez-vous de l'infrastructure et il vous reste des affirmations que vous ne pouvez pas étayer, des faits que vous ne pouvez pas vérifier, une compréhension que vous ne pouvez pas partager et des données auxquelles vous ne pouvez pas faire confiance (ibid. : 19).

L'histoire du climat de la Terre, pour être reconstruite, a nécessité le déploiement du vaste dispositif de l'*ice core science* dont Morgan Jouvenet (2022) a retracé la constitution. Des missions satellites sont en cours ou en passe d'être lancées, comme le MicroCarb du Centre national d'étude spatiale (CNES), pour mesurer la concentration du CO₂ dans l'atmosphère. Ainsi se dessine une longue chaîne faite de savoirs accumulés, complétés ou corrigés, d'outils et d'instruments, de collaborateurs et de postes d'observation, de « mise en réseau puis en série de ces relevés » (Martin, 2020 : 122) et de mise en connaissance de ces données (Edwards, 2010), d'institutions qui financent, encadrent ou contraignent ces recherches et des espaces (scientifiques, politiques, administratifs, médiatiques, etc.) où sont discutées de telles mesures.

D'une certaine façon, l'empreinte carbone cherche à rendre visible ce qui n'est pas immédiatement perçu par nos sens, si l'on s'en tient au seul dioxyde de carbone et non aux conséquences du changement climatique. Pour la prendre à son niveau le plus générique, l'empreinte carbone peut s'assimiler au processus qui associe à une activité la quantité de gaz à effet de serre que celle-ci émet, que ce soit du dioxyde de carbone ou un autre gaz à effet de serre, alors retraduit dans la quantité de dioxyde de carbone qui produirait un réchauffement similaire sur une période de cent ans (Brohé, 2013). Cette notion, le « potentiel de réchauffement global », est à la fois scientifique et politique, comme d'autres notions au cœur des questions climatiques à l'image de l'objectif consistant à limiter le réchauffement sous le seuil de + 2° C, « véritable coproduction scientifico-politique » dont Amy Dahan et Hélène Guillemot (2015) ont retracé la fabrication et la circulation. Une empreinte carbone passe donc par des opérations de traduction et de calculs, qui ont leurs limites et leurs incertitudes. D'où l'importance de parler d'« estimation », comme le rappelait déjà Bernard Bourges, dans la conclusion de l'ouvrage qu'il a codirigé avec Thomas Gourdon et Jean-Sébastien Broc (2015), d'autant plus qu'il existe une grande diversité de définitions, de périmètres, d'hypothèses et de méthodologies derrière l'apparent singulier du terme empreinte carbone, aussi bien dans la littérature secondaire que dans la littérature scientifique (Wiedmann et Minx, 2007 ; Williams *et al.*, 2012).

La deuxième strate de temporalité situe un processus de quantification carbone entre la fin des années 1990 et le début des années 2000. Dans les années 1990, les États-Unis sont les principaux acteurs à défendre un marché des droits à polluer qui protégerait leur industrie pour éviter des réductions contraignantes et à pousser cette position lors du protocole de Kyoto en 1997 (Engels, 2006). Il s'agit alors de « ramener les émissions dans le cadre du calcul économique en leur donnant un prix » (MacKenzie, 2009), même si l'histoire de cette mise en calcul est plus diverse et complexe (Engels, 2006 ; Lohmann, 2008). Toujours aux États-Unis, le Greenhouse Gas Protocol (GGP) émerge à la fin des années 1990. L'idée de ses promoteurs est d'associer croissance économique et protection du climat à travers une compatibilité standardisée des gaz à effet de serre liée à l'activité économique. Mais, dans les faits, le GGP a contribué de façon

durable à fonder le principe de la responsabilité des émissions sur une définition étroite de la propriété et n'a finalement pas permis une limitation quelconque du changement climatique (Walenta, 2021)⁵. Ce n'est pas le seul outil : au début des années 2000, le Carbon Disclosure Project, destiné aux investisseurs, consiste à envoyer un questionnaire à des entreprises sur leurs pratiques et à leur attribuer une note de transparence et de performance, de façon à attirer les investissements sur les entreprises correctement notées (Le Breton, 2017 : 154).

Ces initiatives s'inscrivent dans l'histoire longue de la « rationalité quantificatrice » (Boudia, 2016) et du développement de la mise en nombre par les États modernes (Desrosières, 1993) et dans celle, à partir des années 1970, du rôle accru confié au marché et aux « formes neuves de la mise en économie » de l'environnement (Boudia et Pestre, 2016) : des instruments économiques sont présentés comme les solutions les plus efficaces aux dégradations environnementales, bien que n'étant ni, en soi, un phénomène récent, ni les seules mesures mises en œuvre – les compensations, les permis d'installation ou les normes en fournissent l'illustration (Pestre, 2016). Soraya Boudia a bien montré l'évolution, et la dimension plurielle, de l'économicisation des problèmes environnementaux qui participent à l'émergence de ce qu'Ève Chiapello et Anita Engels appellent des « incorporels environnementaux ». Cette sous-classe des actifs incorporels est produite « par des processus spéciaux de marchandisation qui visent à transformer les impacts environnementaux en marchandises. Dans la plupart des cas, ce qui est vendu est une unité d'impact qui peut être positive ou négative : une unité de restauration de l'environnement (un crédit) ou de destruction de l'environnement (un permis) » (Chiapello et Engels, 2021). Ce qui rejoint ce que Jayme Walenta (2021) écrit : « L'empreinte carbone d'une entreprise est un instrument de mesure de l'impact qui traduit la complexité du comportement des molécules de carbone dans l'atmosphère en unités discrètes quantifiables dans une feuille de calcul appartenant à un émetteur de carbone planétaire spécifique » afin de rendre ces émissions « commercialisables et gouvernables » (Walenta, 2021). Cette façon

5. Il est en effet organisé en trois « *scopes* » (périmètres) dont le troisième, optionnel, est censé relever moins directement de la responsabilité de l'entreprise.

de jouer avec les règles ou d'en produire de nouvelles n'est pas la seule attitude face aux dégradations environnementales qui restent en bien des cas marquées par la violence (Pestre, 2016 ; Boudia, 2016), la corruption ou encore la production du doute et de l'ignorance (Oreskes et Conway, 2010 ; Supranet Oreskes, 2021 ; Bonneuil, Franta et Choquet, 2021).

L'empreinte carbone peut ainsi se lire, à l'image d'autres catégories, comme les systèmes de classification (Bowker et Star, 1999) ou les normes techniques (MacKenzie, 1990), comme un lieu de conflits, investi par des acteurs qui n'ont pas les mêmes visées. L'élaboration des outils ainsi que leurs conséquences ne sont pas à considérer comme figées et immuables tant elles peuvent être discutées, sinon disputées. En France, la thèse de Morgane Le Breton (2017) a montré à la fois le rôle des acteurs privés dans la mobilisation pour la comptabilité carbone et l'histoire du développement de la méthodologie Bilan Carbone, portée par une agence gouvernementale à ses débuts, l'ADEME, et par l'ingénieur Jean-Marc Jancovici qui signe avec l'ADEME un contrat de six mois, après qu'il a présenté une première méthode de calcul des émissions carbone qui deviendra la marque déposée « Bilan Carbone® » (Le Breton, 2017). L'année où cette méthodologie est officiellement lancée, en 2004, l'entreprise Beyond Petroleum met en ligne un calculateur d'empreinte carbone individuel ; des articles dans la littérature secondaire anglophone vont ainsi attribuer la « création » de l'empreinte carbone à cette entreprise et y voir une campagne de désinformation attribuant la responsabilité du réchauffement climatique aux comportements individuels et non aux stratégies des entreprises du secteur des énergies fossiles. Lorsque cette entreprise s'appelait encore British Petroleum, et alors que son dirigeant, John Browne, annonçait dans un discours à l'université de Stanford vouloir « surveiller et contrôler » les émissions de dioxyde de carbone de l'entreprise⁶, elle promouvait une empreinte carbone distinguant les émissions « directes » et « indirectes » – ce découplage aura une longue postérité (Walenta, 2021). Pour l'historienne des sciences Amy Dahan et le sociologue Stefan C. Aykut :

6. Pour une introduction à l'action de l'entreprise BP dans cette période, mais aussi d'autres entreprises du secteur des énergies fossiles, comme ExxonMobil, je recommande le documentaire *Big Oil vs the World* (BBC2, 2022).

L'indicateur des « bilans-carbone » présente l'avantage considérable de permettre une comparaison et un classement universels, plus simples à utiliser que ceux consacrés au capital naturel ou à l'empreinte écologique, tandis que la plupart des autres questions environnementales (eau, biodiversité, pollutions) ont d'abord un caractère local qui empêche la perception commune d'un risque global (Dahan et Aykut, 2015 : 57).

Cette catégorie est aussi mobilisée par l'organisation non gouvernementale Oxfam pour dénoncer l'empreinte carbone des banques ou des « 10 % les plus riches » (2021). De nombreux acteurs ont ainsi conceptualisé, utilisé ou discuté cette catégorie, ce qui montre que les temporalités de l'empreinte carbone sont également à appréhender de manière relationnelle, par rapport aux temporalités des acteurs qui s'y engagent.

La troisième strate est l'utilisation de cette catégorie dans de nombreuses publications scientifiques. L'empreinte carbone de la recherche, dans la littérature, est une partie d'un ensemble plus vaste. En 2004, Odile Blanchard, alors maître de conférences en économie à l'université Pierre Mendès-France de Grenoble, fait une communication aux journées de l'Association française de science économique dans laquelle elle détaille la mise en place d'une stratégie pour réduire les émissions de gaz à effet de serre de son université. Dix-huit ans plus tard, avec trois autres chercheurs, membres comme elle de Labos 1point5, elle propose une analyse de 104 publications qui, de 2004 à 2022, quantifient l'empreinte carbone de la recherche⁷. Elle souligne la diversité des formes, des disciplines, des outils employés et des méthodes d'estimation, même si une thématique principale se dessine autour des transports. Ma propre constitution d'une base bibliographique parvient à des constats similaires, avec pour limite évidente de ne concerner que la littérature produite en langue anglaise et française, qui ne dit ainsi rien des éventuels recours à cette catégorie dans d'autres contextes linguistiques et hors des publications scientifiques. Même si la dimension collective des processus instituant le savoir incite à faire confiance à ceux qui ont approuvé scientifiquement ces travaux,

7. Intervention lors de la 2^e journée nationale de Labos 1point5, 1^{er} juin 2022, Paris, à laquelle j'ai assisté et participé.

ces publications reposent sur des hypothèses, périmètres et conventions de calculs si divers qu'il faudrait, pour chaque article, pouvoir les analyser en profondeur. L'une des caractéristiques de ce champ émergent de la littérature est la grande diversité de ce qui est quantifié sous la catégorie d'empreinte carbone.

L'émergence d'un espace de commensurabilité scientifique

Le coût carbone de la recherche

Pour des astronomes australiens, l'empreinte carbone liée à l'utilisation des supercalculateurs représenterait une empreinte carbone environ 3,5 fois supérieure à celle de leur transport aérien (Stevens *et al.*, 2020). Celle des télescopes de cette même discipline est estimée à 36,6 tonnes par astronome et par an (Knödlseder *et al.*, 2022). En réalité, l'empreinte carbone peut aussi bien être estimée pour une discipline ou des instruments que pour des conférences ou des déplacements, des campus ou des universités ou même une publication ou un doctorat dans son ensemble. Le descriptif y voisine parfois avec le prescriptif ou la modélisation de scénarios. Alexandra G. Ponette-González et Jarrett E. Byrnes (2013), en se fondant sur neuf ans de données des rencontres annuelles de deux sociétés savantes américaines, estiment que des horaires en alternance couplés à des réunions régionales peuvent réduire les émissions de ces conférences jusqu'à 73 %. James T. Stroud et Kenneth J. Feeley (2015) invitent à accroître la part virtuelle des conférences en même temps qu'à choisir des lieux plus optimaux sur le plan géographique. Entre l'édition de la conférence annuelle de la European Astronomical Society de 2019 organisée à Lyon et celle tenue en ligne pendant la pandémie en 2020, l'empreinte carbone est 3 000 fois inférieure pour la seconde (Burtscher *et al.*, 2020) et si, de leur côté, les 10 000 participants du Congrès de l'*American Geophysical Union* ne se déplaçaient pas, au profit d'un congrès complètement virtuel, l'économie en termes d'émissions serait de 99,9 % (Klöwer *et al.*, 2020). En matière de conférences, les émissions liées au logement et aux repas sont importantes selon certaines recherches (Cluzel *et al.*, 2020), et négligeables selon d'autres (Astudillo et

Azarijafari, 2018). L'empreinte d'un trajet en avion varie également selon qu'il y a ou non des correspondances (*ibid.*) et s'avère plus importante pour les vols long-courrier (Ewijk et Hoekman, 2021). Pour d'autres, si la mobilité dans le cadre des quatre années d'un doctorat en Belgique est ce qui contribue le plus à faire augmenter l'empreinte carbone du doctorant, elle n'est pas seulement liée aux conférences, mais aussi à des réunions et au travail de terrain (Achten *et al.*, 2013). L'empreinte carbone de toutes les phases d'une conférence internationale sur le développement durable est estimée correspondre presque à celle d'un habitant du Rwanda sur une année complète (Neugebauer *et al.*, 2019).

Les possibilités de déplacements sont par ailleurs inégales. En ce qui concerne deux années de l'empreinte carbone de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Joachim Ciers et ses coauteures identifient que le transport aérien en représente les deux tiers et que cette empreinte est très inégalement distribuée, celle des professeurs étant dix fois supérieure à celle des étudiants en doctorat et 10 % des chercheurs étant responsable de 60 % des émissions du transport aérien de l'EPFL (2018). Une enquête auprès d'historiens du transport identifie la double influence du genre (Passalacqua, 2021). Les femmes font un choix plus important en faveur de l'avion comme mode de transport, pour des raisons de sécurité dans les trains de nuit ou par manque de temps, mais l'empreinte carbone des hommes reste 25 % fois supérieure à ces dernières parce qu'ils prennent tout simplement beaucoup plus l'avion. Matthew Skiles et ses coauteures (2021) observent que trois conférences de science et d'ingénierie devenues « virtuelles », en incluant plusieurs facteurs (coût, genre, étape de la carrière, localisation géographique), conduisent à une présence accrue, en particulier de participant-e-s internationaux, de femmes, de chercheurs et chercheuses en début de carrière et en provenance d'institutions traditionnellement sous-représentées.

Le lien entre empreinte carbone et critères de « réussite professionnelle » est discuté. Pour certaines publications, les trajets aériens ont des effets limités sur le succès professionnel (Wynes *et al.*, 2019; Chalvatzis et Ormosi, 2021), tandis que d'autres estiment qu'il existe bien une relation entre un important h-index ou taux de publication, d'un côté, et, de l'autre, le nombre de trajets en avion (Berné *et al.*, 2022). Même interrogation par rapport à la structure des financements. En 2010, Ingrid C. Burke

considérerait que « les agences de financements de la recherche et les sociétés scientifiques devraient être les leaders en termes de réduction de gaz à effet de serre lié au déplacement » et qu'elles devraient développer des solutions technologiques en alternative aux rencontres en face-à-face. Des auteurs tels que Bousema *et al.* (2022) s'interrogent sur l'empreinte carbone du programme de l'Union européenne Horizon 2020 et demandent que des « pratiques soutenables » deviennent « un critère d'éligibilité et d'évaluation dans les candidatures aux financements ». D'autres plaident pour un « code de conduite du carbone » (Favaro, 2014), pour dix règles en faveur d'une recherche plus soutenable (Ligozat *et al.*, 2020) ou pour un engagement des instituts de recherche à travers le monde afin qu'ils réduisent d'eux-mêmes les émissions de leur personnel de 5 % par an (Caset *et al.*, 2018).

Cette littérature participe de l'émergence d'un espace de commensurabilité scientifique ; à travers ces publications, plusieurs dimensions du travail scientifique sont rendues comparables, à la fois à l'intérieur de chaque publication (l'empreinte carbone d'une conférence est sous-divisée par les différents composants qui la constituent) et, potentiellement, entre chaque publication. Lorsque des articles citent les résultats de cette littérature, et sans préjuger de leur justesse scientifique, ils s'inscrivent bien dans cet espace de commensurabilité qu'ils contribuent aussi, en les faisant circuler, à façonner. Cet espace doit se comprendre comme la mise en relation entre, d'une part, des processus immatériels (les enquêtes scientifiques correspondent à une manière de documenter une fraction du monde social et physique, les conférences à des lieux pour nouer des contacts, présenter des résultats, etc.) et, d'autre part, des processus matériels (la recherche repose sur des infrastructures qui sont parfois plus directement liées au travail scientifique – les télescopes – et parfois plus indirectement, comme le transport aérien qui est utilisé pour bien d'autres raisons que la seule recherche).

Formes et limites de la mise en équivalence

La catégorie d'empreinte carbone apparaît comme une classe d'équivalence et même une double classe d'équivalence : à travers les opérations de mise en équivalence CO₂ de différents gaz à effet de serre et également entre des activités, ou des segments d'activités variés qui, une fois sous la forme de cet équivalent

CO₂, pourraient être comparés. Pour chaque publication, il conviendrait, d'une part, d'analyser la collecte de données et, d'autre part, de prêter attention aux conventions et hypothèses qui ont prévalu dans les méthodes d'estimation. Les facteurs d'estimation, qui indiquent combien de CO₂ a été émis par quantité consommée, peuvent être aussi bien monétaires que physiques et varier d'un pays à un autre, par exemple selon la dimension plus ou moins carbonée de la production d'électricité. Des comparaisons terme à terme de ces publications, en plus d'être complexes, ne seraient pas rigoureuses. Surtout, qu'y a-t-il de *réellement* équivalent entre des pratiques scientifiques qui concernent la Nouvelle-Zélande, le Canada, l'Australie, les États-Unis ou la Norvège ? Ou entre un colloque, un doctorat et un trajet en avion ? Ou même entre deux colloques ? Cette métrique commune permet techniquement une comparaison entre des activités qui ne relèvent pourtant pas du tout des mêmes conditions sociales et matérielles. Lorsqu'Alain Desrosières et Sandrine Kott défendent l'usage du terme « quantifier » pour les sciences sociales, plutôt que celui de mesurer, ils soulignent que son mérite est de rappeler « qu'il existe une série de conventions préalables, de négociations, de compromis, de traductions, d'inscriptions, de codages et de calculs conduisant à la mise en nombre » (Desrosières et Kott, 2005). Quantifier, explique Desrosières, c'est à la fois convenir et mesurer alors même que la première étape est souvent oubliée, ce qui marque le « passage du caractère "visiblement conventionnel" d'une pratique quantitative (à ses débuts) à sa "naturalisation" progressive ultérieure, mais aussi la dimension sociale de ce passage [...] » (Desrosières, 2008 : chapitre 10, § 15). D'autres travaux ont montré le rôle crucial des opérations de mise en équivalence dans le processus de quantification (Desrosières, 1993 ; Bouleau, 2017 ; Martin, 2020). Si cette métrique carbone de la recherche se trouvait embarquée dans une même entreprise de comparaison globale et désencastrée, le risque serait de reconstituer une sorte de communauté symbolique essentialisée (la « science », « le travail scientifique ») tant la métrique commune ne rend pas équivalents les contextes politiques, sociaux, économiques et culturels dans lesquels elle s'inscrit. Trois exemples illustrent davantage les effets d'une mise en équivalence.

Le premier concerne le champ universitaire aux États-Unis. Wendy Nelson Espeland et Michael Sauder (2007) décrivent l'effet de l'introduction d'un classement sur les *law schools* américaines. Leur recherche fait entendre la parole de personnels de l'université complètement dépassés par ces phénomènes. Le doyen d'une université raconte comment des étudiants et des collègues l'ont tenu

pour responsable après que son école a perdu des places dans le classement. Et pourtant, rien n'y avait fondamentalement changé. Des variations infimes ont, à la suite de ce déclassement, eu des conséquences très concrètes, pour récolter de l'argent auprès des anciens élèves (pourquoi donnerais-je vu la mauvaise pente sur laquelle est mon université?) ou dans le choix de candidats acceptés dans deux écoles en même temps qui, d'une année sur l'autre, optent pour la mieux classée. La modification d'une place ou deux dans un classement ne traduit pas une mutation des qualités de cet établissement mais une modification du score quantitatif qui lui est attribué. Espeland et Sauder expliquent que cette confusion pose deux problèmes. Le premier est la prophétie auto-réalisatrice, un concept dont l'origine revient au sociologue des sciences Robert Merton : la description d'un phénomène conduit à sa survenue. Le second est la commensuration qui consiste à « transformer différentes qualités en une métrique commune » (Espeland et Stevens, 1998). La commensuration n'est pas propre aux activités scientifiques ou universitaires. Elle traverse plus largement la sociologie de la quantification. Larry Lohmann (2008) a critiqué, dans le cas du marché du carbone, « des équivalences qui sont scientifiquement douteuses » non seulement pour faire abstraction de comment et où les émissions sont produites mais aussi pour minimiser l'impact différencié de ces émissions, l'effet du réchauffement climatique n'étant pas un phénomène homogène. Benoît Dauguet, dans sa thèse puis son livre sur les « mythes et rouages de la compensation écologique » (Dauguet, 2021), décrit comment celle-ci conduit à compenser une perte à un endroit (la destruction d'une forêt) par un prétendu gain à un autre (la plantation d'une forêt). Ce « principe d'équivalence écologique implique donc tout un travail de production de concepts, de catégories, de métriques, d'équations par lesquelles les milieux écologiques peuvent être *mis en équivalence* et *saisis* pour être échangés sur la base de leurs qualités » (*ibid.* : 29). Cette mise en équivalence est aussi une mise en pratique, précise Dauguet : immatérialité et matérialité sont imbriquées et les idées, là encore, ne vont pas sans infrastructures ni réseau de pratiques.

Gabrielle Bouleau a étudié les catégories socionaturelles⁸ qualifiant les rivières. Elle identifie, au-delà de l'équivalence, deux autres effets d'un pro-

8. Gabrielle Bouleau aborde dans son article « deux catégories servant à qualifier les rivières » : le patrimoine piscicole fluvial et la pollution.

cessus de quantification : la distinction et l'essentialisation (Bouleau, 2017). Quantifier, c'est là aussi choisir ce qui est quantifié et ce qui ne le sera pas. Lors d'un entretien avec un astrophysicien qui a participé au développement du calculateur, la question de l'exhaustivité, c'est-à-dire, en la circonstance, de ce qu'il faut ou non compter dans l'empreinte carbone d'un laboratoire, est apparue :

Un bilan carbone⁹, pratiquement par définition, c'est toujours incomplet. Parce qu'on peut toujours rajouter des postes d'émission et on ne sait pas bien jusqu'où on s'arrête. Est-ce qu'il faut compter le bilan carbone de l'alimentation des gens qui déjeunent sur le site comme partie de l'empreinte de la recherche sachant qu'ils auraient mangé quand même, même s'ils ne travaillaient pas ?

L'émergence de la catégorie d'empreinte carbone a été marquée par des questions similaires, les entreprises se demandant ce qu'elles devaient estimer et quelles émissions étaient-elles tenues de diminuer (Walenta, 2021). Une catégorie instaure « de l'isotropie en interne et une séparation avec l'extérieur » (Bouleau, 2017). Autrement dit, il y a ce qui est regroupé et estimé sous la catégorie d'empreinte carbone et ce qui est laissé à l'extérieur. La sociologue Mimi Sheller (2022) souligne combien ses déplacements ont été rendus possibles par le travail domestique gratuit de son partenaire, invisible dans sa tentative d'auto-quantification de son empreinte carbone.

Mais l'empreinte carbone n'est pas la seule manière d'estimer ce que peut coûter la science. Pour ne citer que quelques travaux, Megan Raby (2019) a revisité les expériences de Howard Odum, cet écologiste qui pouvait faire déposer un cylindre de césium dans une partie d'une forêt de Porto Rico pour en étudier les radiations; Kate Crawford et Vladan Joler (2018) ont cartographié tout ce que l'enceinte connectée Echo d'Amazon nécessite de matières et de labeurs et Pascal Marichalar (2021a et b) a documenté très finement les oppositions à l'installation du Thirty Meter Telescope au sommet d'une montagne à Hawaï. Quand Diarmid A. Finnegan parle

9. Ce terme, qui renvoie à la marque déposée par l'ADEME, est souvent employé en lieu et place de l'expression plus générique d'empreinte carbone.

d'un tournant spatial dans « les approches géographiques de l'histoire des sciences », il rappelle que :

Lorsque les connaissances scientifiques voyagent, elles se transforment et d'énormes investissements en main-d'œuvre et en ressources sont nécessaires pour traduire les connaissances d'un endroit à un autre de manière littérale ou métaphorique. Pour ces raisons et d'autres, il a été suggéré que la circulation des connaissances scientifiques, des instruments, du personnel et des objets soit soigneusement cartographiée et comptabilisée (Finnegan, 2008).

Pas besoin non plus d'utiliser la catégorie d'empreinte carbone pour constater que l'accès aux visas, et donc aux déplacements internationaux, dépend de facteurs qui ne sont pas entre les mains des scientifiques (Pasek, 2020) ou que les femmes, et les femmes racisées, sont moins invitées à certaines conférences scientifiques (Fournier *et al.*, 2020). En 2010, Karl G. Høyer et Petter Naess décrivent les effets du « tourisme de conférence », qui n'est toutefois pas le monopole des universitaires. Les auteurs questionnent la contribution des conférences à la « qualité de la recherche ». Plus encore, à partir du moment où les hommes sont surreprésentés dans les conférences et que le nombre de ces dernières croît fortement, cela entraîne un surplus de tâches domestiques pour les femmes qui se fait au bénéfice de ces espaces où elles sont sous-représentées. Debbie Hopkins et ses coauteures (2019), à propos de l'université Aotearoa New Zealand, montrent que la position excentrée de la Nouvelle-Zélande par rapport à l'hémisphère nord constitue une difficulté pour les déplacements physiques et pour les participations en ligne à des conférences, mais aussi parce que la mobilité peut « reproduire des inégalités au sein des départements, où les scientifiques juniors et souvent employés de façon précaire prennent la charge de cours de professeurs plus établis pour leur permettre de se déplacer, pendant qu'ils restent immobiles (ou moins mobiles) ». Toujours en Nouvelle-Zélande, Scott Cohen et ses coauteures documentent l'essentialisation de la nécessité de voyager et la manière dont en sont exclues certaines chercheuses mais aussi des « poches de résistance à l'hétéronormativité et aux idéaux hégémoniques » (2020) : des pères qui voyagent expriment de la culpabilité et du stress et tentent de trouver une position d'équilibre entre le rôle de « bon père » et celui de « bon

académique » dans la limitation des déplacements ou la réduction de leur durée. Marie Sautier (2021) parle utilement de la viscosité (*stickiness*) des mobilités pour envisager le rapport aux déplacements non pas comme un problème féminin mais comme une question de genre et pour dépasser la dichotomie entre mobilité et immobilité. Ces publications ne recourent pas à la catégorie d’empreinte carbone dans leur démonstration. Pourtant, toutes décrivent le coût de certaines manières de faire de la science.

L’essentialisation, enfin, est une opération qui consiste à prêter à une catégorie des caractéristiques permanentes et inchangeables jusqu’à donner le sentiment qu’une catégorie « agit de son propre chef comme un acteur : “la pollution menace les ressources en eau.” La catégorie devient alors une variable que l’on peut suivre dans le temps et l’espace en imputant une signification morale à ses évolutions » (Bouleau, 2017). L’empreinte carbone pourrait alors être évoquée comme une entité aussi matérielle que les phénomènes qu’elle prétend décrire. La boîte noire des opérations permettant l’estimation serait alors refermée et les mesures solidifiées voire réifiées. Or, le juriste Alain Supiot rappelle que :

Pour être légitime en sciences sociales, la quantification doit être limitée à ce qui peut être exactement dénombré, et ne jamais s’autoriser à des modélisations qui extrapolent des lois générales à partir de mesures partielles d’ensembles de faits hétérogènes (Supiot, 2015 : 155).

Une manière climatique de penser le travail scientifique ?

Premiers résultats d’une enquête en cours

S’attacher à la quantification comme processus peut déjouer les effets induits par l’équivalence, la distinction et l’essentialisation. D’une part, pour en revenir, c’est l’un des constats de mon enquête, à l’ensemble du soubassement matériel sur lequel repose ce processus de quantification. Ce sont les infrastructures numériques (ordinateurs, réseau Internet, logiciels, serveurs, courriels) qui servent aussi bien à la coordination des activités du groupe qu’à l’utilisation du calculateur et à la sauvegarde des

données. Ce sont aussi les espaces physiques où se déroule l'estimation qui, si elle peut se faire à distance, nécessite l'obtention de données qui ne sont pas à libre disposition des membres du laboratoire (factures de chauffage, par exemple). Comme le notent Ève Chiapello et Anita Engels (2021), il y a à la fois un travail politique pour s'accorder sur les estimations et un investissement pour en maintenir les outils. J'ai pu, dans un cas comme dans l'autre, assister à des réunions dont l'objectif était de réfléchir à l'inclusion de nouveaux périmètres dans l'estimation ou l'amélioration des fonctionnalités existantes de l'outil. L'obtention des données nécessite de décider ce qu'il convient de faire et comment le faire.

La littérature de l'empreinte carbone s'attarde peu sur les motivations des scientifiques même si elles peuvent parfois être évoquées en introduction sous la forme d'un rappel de la littérature portant sur les conséquences du changement climatique ou sur les diverses formes de l'empreinte carbone. Que pensent les auteurices de ces articles ? Pourquoi s'engager dans cette estimation de l'empreinte carbone ? J'ai pu constater au cours de mon enquête une variété de réponses à ces questions. Une chercheuse m'a ainsi décrit la nécessité de « défendre la science » face au risque que les contradictions entre les discours scientifiques et les pratiques personnelles ne finissent par miner l'audience de la parole scientifique. Un chercheur m'a raconté qu'il s'agissait, pour lui, de défendre des idées politiques promouvant une recherche plus collaborative et moins compétitive : « Cette sobriété-là, c'est aussi quelque chose qu'on peut faire avancer en disant : "Regardez, ça c'est aussi une manière de réduire notre empreinte". ». C'est ce que je retrouve chez une enseignante-chercheuse qui m'explique :

L'idée c'est aussi de réfléchir à comment transformer la recherche, non pas seulement pour réduire son empreinte environnementale, mais aussi sur la façon dont à l'heure actuelle on administre la recherche, j'utilise bien ce terme d'administrer la recherche, pour évaluer les gens sur des critères de nombre de conférences internationales auxquelles j'ai participé, de colloques internationaux que j'ai organisés, etc. Et en particulier bien entendu avec des déplacements à chaque fois.

Pour d'autres membres de l'équipe qui ont développé le calculateur ou ses fonctionnalités, l'empreinte carbone est un « un bon moyen d'en-

trée » pour agir ou une façon d’appréhender ce problème « gigantesque ». Pour d’autres encore, il s’agit de se préparer à d’éventuelles évolutions réglementaires, un objectif parfois lié à d’autres, exprimés lors du même entretien. Ainsi, une personne chargée du « développement durable » dans un établissement public à caractère scientifique et technologique me décrit le recours à l’empreinte carbone des laboratoires de recherche à la fois comme une manière de répondre à une « poussée » des laboratoires, d’anticiper sur des contraintes réglementaires à venir, de travailler avec une « plus grande efficacité » (« c’est un gros mot pour la fonction publique [rires] mais sous l’angle de la performance »), et, enfin, parce qu’il y a une question de « crédibilité » de la recherche :

Il y a aussi la notion de crédibilité vis-à-vis du grand public, de faire entendre la parole de la recherche dans le monde politique auprès du grand public [...] si on est en décalage, si nos pratiques métiers sont en décalage avec la science qu’on produit, ça va ça être compliqué.

Pour des membres du groupe que je suis dans le cadre de mon enquête, cette quantification est une étape vers un changement des pratiques professionnelles afin de réduire les gaz à effet de serre émis par les activités scientifiques. Partir d’un besoin, et non d’un instrument, rejoint d’autres constats de la sociologie de la quantification. La précision des instruments de mesure du temps ne s’est pas développée en raison d’une passion savante pour la sophistication des mécanismes d’horlogerie mais parce que les nécessités de coordination se sont accrues :

Ce ne sont pas, en premier lieu, les pratiques et instruments de mesure qui façonnent les pratiques sociales d’organisation des temporalités, mais bien les usages et besoins sociaux qui engendrent la recherche de solutions techniques pour mesurer et pour se repérer dans le temps. Ce sont bien davantage les exigences sociales et les besoins humains de coordinations qui ont incité à des solutions techniques (Martin, 2020 : 67).

L’empreinte carbone de la recherche apparaît comme un « objet symbolique contesté » (Christin, 2020). Y recourir ne se fait ni pour les mêmes raisons ni de la même manière. Les résultats sont aussi perçus au prisme des contextes

dans lesquelles ces données ont été produites. Dans une autre enquête, Uwe Vormbusch (2022), qui a étudié le mouvement pour la quantification de soi (*quantified self*), a démontré, là aussi, une diversité de motivations puisque cette quantification était entreprise aussi bien pour la santé et le bien-être, la performance ou la gestion des émotions. Plus largement, l'empreinte carbone montre l'extension continue de la quantification, au-delà des statistiques produites par l'État ou de la comptabilité des entreprises. Parce que l'estimation de l'empreinte carbone des laboratoires implique aussi la question des déplacements physiques (monter dans un avion, se rendre à un séminaire, se déplacer jusqu'à son lieu de travail) et celle des gestes professionnels, elle est aussi à mettre en relation avec l'émergence d'une « comptabilité corporelle » (Vormbusch, 2015). C'est dire l'intérêt d'« enquêter plus systématiquement sur les interactions entre différents régimes de quantification » (Mennicken et Espeland, 2019) et sur les « moyens dont dispose une société pour se représenter et agir sur elle-même » (Desrosières, 2001).

Mon enquête montre aussi que le processus de quantification conduit à réinterroger des pratiques ou des perceptions. La donnée quantitative vient frotter, en un sens, sur l'expérience qualitative. Au printemps 2022, je mène une autre campagne d'entretiens (n=18), cette fois auprès de personnes (chargé-e de recherche, ingénieur-e d'études, etc.) qui ont utilisé le calculateur d'empreinte carbone dans leur laboratoire. Ces entretiens permettent notamment de revenir sur la façon dont ces personnes ont vécu le moment des résultats, souvent exprimée sous la forme d'une surprise¹⁰. Lors d'un entretien avec trois chercheuses d'un laboratoire de sciences de la vie et de la terre dans l'ouest de la France, ces dernières m'expliquent que la majeure partie de l'empreinte carbone de leur laboratoire provient des achats et des déplacements, et non, comme une grande partie du personnel le pensait, d'un bâtiment des années 1960 :

C'est plutôt le ressenti de chacun qui fait qu'on se pèle l'hiver et inversement l'été

10. Il ne s'agit pas, bien entendu, de dire que ces résultats sont représentatifs de l'ensemble des estimations de l'empreinte carbone dans la mesure où tous nos entretiens n'ont pas fait ressortir de rapport à la surprise et que nous n'avons pas, non plus, interrogé l'ensemble des personnes ayant utilisé le calculateur. Cela n'invalide pas en soi la description de cette surprise lorsqu'elle a été vécue.

qui faisait penser ça. Ce n'est pas juste psychologique parce qu'il date d'une année. Non. C'est une passoire thermique. Mais ça n'empêche que c'est pas le premier pôle d'émission carbone.

Sa collègue poursuit :

Et comme c'est une passoire thermique, on est très nombreux à mettre des chauffages soufflants, électriques, en supplément des chauffages qui fonctionnent dans le labo, mais vu que les fenêtres ne sont pas étanches, on a un peu froid [...]. Et du coup, voilà on se disait tous que, comme on allume des chauffages électriques, ça veut dire qu'on allait avoir une facture d'électricité très importante. Donc c'est un poste de dépense, mais ce n'est pas le poste majoritaire.

Les résultats ont ainsi bien entraîné un effet de surprise et contredit le sentiment général. Un enseignant-chercheur dans un laboratoire de sciences de la vie et de la terre dans l'est de la France a lui aussi éprouvé une forme de surprise :

La conclusion que j'en ai, c'est surtout que je n'avais pas du tout conscience, et je pense que mes collègues non plus n'avaient pas du tout conscience, que c'était essentiellement nos achats qui étaient finalement... dont l'empreinte carbone était la plus forte. On aurait tous parié sur nos déplacements domicile-travail. Ou nos missions. Ou le chauffage des bâtiments.

De son côté, une étudiante qui a estimé, lors d'un stage, l'empreinte carbone d'un laboratoire de sciences de la vie et de la terre dans l'ouest de la France me relate également que la part la plus importante de l'empreinte carbone concerne les achats. Les déplacements, pour les missions ou pour se rendre au laboratoire, représentent moins d'un cinquième de l'empreinte, à part presque égale entre ces deux postes. Le résultat a fait « tiquer » son encadrante. Elles se demandent s'il n'y a pas une erreur dans le logiciel puis s'interrogent sur la portée de ce résultat :

À la base, en fait, on s'était dit que le premier angle d'attaque pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ça serait de réduire les missions des chercheurs. Sauf qu'en fait comment on peut justifier ça si finalement ça représente le même

pourcentage que les déplacements domicile-travail et que ce n'est pas si important que ça par rapport aux achats, par rapport à l'empreinte des bâtiments ?

Les interrogations surviennent aussi lors de la restitution des résultats. Une personne occupant un poste de soutien à la recherche dans un laboratoire de sciences de la vie et de la terre dans le sud de la France a encadré un stagiaire qui a fait l'estimation et l'accompagne lors de la restitution des résultats à la direction. « La direction n'a pas voulu croire qu'il y avait encore des gens qui faisaient des voyages Marseille-Paris... en avion [il rit]. Mais si. Il y en a. Ils ne leur disent pas, mais ils le font. » Autrement dit, ce qui pouvait être figé ou sédimenté apparaît, dans le processus de quantification, plus instable que ce qu'il semblait être au premier abord.

Je relie ces constats à l'anthropologie du changement climatique ouverte par Hannah Knox, qui dans son passionnant livre *Thinking Like a Climate: Governing a City in Times of Environmental Change* (2020) rend compte de son enquête consacrée au processus d'estimation de l'empreinte carbone de la ville de Manchester. Les imperfections de cette catégorie ne sont pas à comprendre de manière métrologique. Elle décrit l'émergence d'une manière de penser climatique, se démarquant de formes de pensée qu'elle qualifie d'administrative ou de comptable.

[...] je veux suggérer que ces failles dans l'armure de l'empreinte carbone indiquent quelque chose de plus fondamentalement perturbateur dans l'application des méthodes comptables aux problèmes écologiques. Je me demande ce que nous pourrions apprendre si nous considérons ces complexités non pas comme les externalités périphériques d'une méthode de comptabilité qui doivent être résolues par de légers ajustements de la technique, mais plutôt comme des traces de réflexion sur les processus écologiques qui sapent fondamentalement les pratiques de comptabilité déployées pour y faire face. En d'autres termes, que se passerait-il si nous envisageons la comptabilité du carbone comme une demande pour penser en termes climatologiques plutôt que comptables ? (ibid. : 101).

Pour Knox, penser de manière climatique revient à « mettre en évidence les causes interconnectées de problèmes complexes d'une manière qui transcende les frontières établies entre les disciplines, comme celles entre la nature et la culture, la science et le gouvernement, l'économie et

l'environnement, l'individu et les espèces » (*ibid.* : 162). Au-delà de la frugalité de la recherche, les tentatives de quantifier le coût de la recherche sous la catégorie d'empreinte carbone peuvent ainsi se lire comme la manifestation d'une des traces sociales de la géophysique du climat et de la possible émergence d'une manière climatique de penser le travail scientifique.

Les temps de la recherche

Ce qui est mis en nombre n'est pas seulement un « coût » de l'activité de recherche. C'est aussi un rapport au temps¹¹. En effet, ce qui est rendu commensurable, dans cet espace d'estimation, ce sont aussi différentes formes de temps de l'activité scientifique : la métrique carbone rend comparable le temps annuel pour chauffer un bâtiment, le temps des missions, dont la durée peut varier de quelques jours à des séjours plus longs, les temps de trajets quotidiens pour se rendre au laboratoire ou encore la durée de vie des produits employés, du produit jetable valable pour une seule expérience à celui employé à plusieurs reprises, le temps de l'usure d'un bâtiment amené, selon une personne enquêtée, à un coefficient trois en s'appuyant sur des données existant hors du laboratoire afin d'élaborer un calcul « arbitraire » et « approximatif » tenant compte de la vétusté d'un bâtiment du laboratoire. À ces quelques exemples s'ajoute le frottement entre le temps de travail dans les laboratoires et celui exigé pour effectuer cette estimation, le temps, aussi, de la restitution des données qui renvoie à des rythmes et des régimes de publicité différents selon les laboratoires et, enfin, le temps de ses effets, lorsque s'ouvrent des discussions sur les suites à donner à cette estimation, qui peuvent exercer diverses contraintes sur l'avenir.

Ces temps, ici, ne sont pas des processus abstraits bien qu'ils participent, d'une manière ou d'une autre, à la réalisation d'idées scientifiques. Ils sont aussi à penser en rapport avec l'espace (distance parcourue par les missions, contraintes géographiques pour des enquêtes, éloignement de certains lieux de la recherche des pôles centraux de l'activité scientifique mondiale, etc.). Lorsque des personnels de recherche entrent dans le calculateur les missions

11. Je remercie le sociologue Kamel Boukir pour nos échanges sur ce point, qui ont grandement contribué à ma réflexion.

du laboratoire sur une année, ce sont aussi des marqueurs temporels. Une mission peut durer quelques jours, ou plus, et l'incidence de cette durée est aussi fonction de la distance. Lors d'un entretien avec une chercheuse, alors que nous abordons la question de la collecte des données, elle évoque le « choc énorme » qu'a provoqué chez elle l'analyse de la partie consacrée aux missions. Elle a remarqué à ce moment-là que beaucoup de missions concernaient des colloques à l'étranger, impliquant des déplacements en avion pour des durées souvent inférieures à une semaine. Les résultats de l'estimation indiquent d'ailleurs que les colloques représentent une part importante de l'empreinte des missions :

On le sait tous, ça. On l'a tous entendu. Enfin ceux qui s'y intéressent au moins. Mais là... Là, voilà, j'avais les chiffres, c'est vrai que ça m'a [elle souffle, deux fois]... À la fois ça encourage [...] parce qu'on a un levier pour diminuer. Et en même temps... je me doute que les discussions avec les collègues vont être compliquées.

Le temps et l'espace, même liés en une seule métrique, dépendent d'infrastructures que l'empreinte carbone peut rendre autrement visible. Mais ces temps de la vie scientifique rendus ainsi comparables sont eux-mêmes à articuler avec d'autres formes de temps. Certains sont davantage sociaux et conventionnels (par exemple le potentiel de réchauffement sur cent ans des gaz à effet de serre). D'autres sont plus clairement géophysiques et existent au-delà même de l'espace de commensurabilité¹². Ces derniers ont des inscriptions temporelles variables : parfois soudaines sous la forme d'événements climatiques extrêmes, parfois plus longues. Le réchauffement climatique étant cumulatif, il est aussi la résultante physique d'une sédimentation sociale, c'est-à-dire un rapport au temps, celui de l'inaction sur ce qui en est à l'origine. Estimer pour chercher à faire baisser les émissions, c'est ainsi conduire un processus qui trouve son origine dans le passé, produit une réalité sur celui-ci et organise la fabrique d'un

12. De fait, que certaines activités émettent des gaz à effet de serre et que leurs effets se manifestent adviendra que ces gaz soient ou non estimés sous la forme d'une empreinte carbone. Pour le dire dans les termes de Ian Hacking, il s'agirait là de la différence entre l'objet « réchauffement climatique » et l'« idée » réchauffement climatique (Hacking, 1999), à cela près qu'il y aurait à l'œuvre plusieurs objets et idées.

autre ordre de grandeur temporel, consistant non pas à réparer (revenir au temps antérieur) mais à arrêter de continuer (empêcher l'avènement d'une forme, parmi d'autres, de futur). C'est aussi organiser autrement le présent au nom de l'avenir.

Conclusion

Dans son autobiographie, le chimiste Erwin Chargaff écrivait :

Les hommes n'ont toujours pas appris qu'il est peut-être nécessaire de mettre Prométhée à la portion congrue. Si on me demandait s'il est plus urgent d'aider les pauvres à se faire soigner les dents ou d'aller prélever des échantillons géologiques sur Mars, ce que je répondrais sans hésiter ne manquerait pas de décevoir les camelots de la liberté de la recherche (Chargaff, 2006 : 237).

Sa critique des « intérêts scientifiques » devenus « des droits patentés » (*ibid.* : 240) le conduit à plaider pour des « petites sciences », loin de cette « énorme technique, toujours plus lourde et coûteuse » et « vivant toujours plus de gigantesques promesses forcément impossibles à tenir » (*ibid.* : 196). L'année suivante, un rapport conduit par le météorologue Jule Gregory Charney affirmait dans son avant-propos :

Nous disposons désormais de preuves irréfutables que l'atmosphère est effectivement en train de changer et que nous contribuons à ce changement. Les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone augmentent régulièrement, et ces changements sont liés à l'utilisation par l'homme de combustibles fossiles et à l'exploitation des terres (Charney, 1979).

À ces preuves scientifiques, largement connues par les entreprises du secteur des énergies fossiles quand elles ne disposaient pas d'études conduites par leurs propres scientifiques, se sont ajoutés de nombreux travaux de recherche, jusqu'au consensus scientifique total, et les manifestations toujours croissantes des conséquences du changement climatique.

Lorsque Erwin Chargaff fait paraître son autobiographie, Prométhée n'est effectivement pas mis à la portion congrue. Le monde scientifique est en pleine transformation. Dans les pays du Nord, les lendemains de

la Seconde Guerre mondiale ont vu se structurer, dans le contexte de la guerre froide, de vastes programmes de recherche avec un double accroissement des financements publics et du nombre de personnels de recherche formés, labellisés sous le nom de « *Big Science* » (Oreskes et Krige, 2014). À partir des années 1970 se développent ainsi une nouvelle « économie politique et morale des savoirs » (Pestre, 2015) et un imaginaire de la promesse technicienne (Compagnon et Saint-Martin, 2019) qui participent d'une véritable économie de la promesse (Joly, 2010). Progressivement, la course aux publications et aux financements, l'injonction à la mobilité et le rôle attribué aux déplacements dans la réussite de la carrière, qui ne concernent pas seulement le secteur de la recherche, n'ont pas dessiné la mesure et la retenue comme mot d'ordre ou possibilité matérielle (Young *et al.*, 2015; Glover *et al.*, 2018; Higham et Font, 2020; Nursey-Bray *et al.*, 2019). Manquer cet encastrement reviendrait à favoriser, pour reprendre la formule de Michael Maniates (2001), une individualisation des responsabilités qui laisserait « peu de marge de manœuvre pour réfléchir aux institutions, à la nature et l'exercice du pouvoir politiques, ou aux façons de collectivement changer la distribution du pouvoir et de l'influence dans la société – pour, en d'autres mots, “penser institutionnellement” » (*ibid.*).

Si l'empreinte carbone de la recherche s'ajoute aux quantifications déjà existantes pour qualifier, estimer, décrire, transformer ou contester les conditions du travail scientifique, elle n'est ni réductible à une entreprise de désinformation et d'individualisation d'un problème social, ni un instrument en soi de subversion des logiques qui lui donnent forme et maintiennent son emprise. L'empreinte carbone et les outils qui permettent de l'estimer ont beau être conventionnels et historiques, ils n'en sont pas moins réels (Desrosières, 1993; Daston, 1999), et sont à penser ainsi au plus près des personnes qui s'y engagent et de ce qu'elles en font. C'est une façon de continuer à chercher les traces sociales de la géophysique du climat et les effets qu'elles peuvent susciter et de ramener le climat à l'intérieur de la vie sociale afin de ne pas le décrire comme une force externe réduite à des modèles ou à des fléaux sur lesquels seuls pourraient s'exercer des efforts d'atténuation et de réduction (Lohmann, 2020). Instaurer un autre système énergétique relève de choix politiques (Malm, 2017; Mitchell, 2013). Quant aux activités de recherche, elles sont à penser comme encadrées dans un capitalisme contemporain massivement dépendant d'énergies fossiles

dont le profit financier revient à une minorité organisée pour préserver ses intérêts. C'est aussi sa transformation radicale qui pourra faire évoluer de manière structurelle les premières.

Remerciements : merci à Soline Massot de la revue Socio pour sa relecture précise ainsi qu'aux évaluateurs/ou évaluatrices de l'article pour leurs remarques qui ont permis de faire progresser ce travail.

Références bibliographiques

ABBOTT, Andrew, 2001, *Time Matters, On Theory and Method*, Chicago, The University of Chicago Press.

ABEYDEERA, Lebunu Hewage Udara Wilhelm, MESTHRIGE, Jayantha Wadumethilaka et SAMARASINGHALAGE, Tharushi Imalka, 2019,

« Global research on carbon emissions: A scientometric review », *Sustainability*, vol. 11, n° 14, p. 3972.

ACHTEN, Wouter M.J., ALMEIDA, Joana et Muys, Bart, 2013,
« Carbon footprint of science: More than flying », *Ecological Indicators*, vol. 34, p. 352-355.

ASTUDILLO, Miguel F. et AZARIJAFARI, Hessam, 2018,
« Estimating the global warming emissions of the LCAXVII conference: Connecting flights matter », *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 23, n° 7, p. 1512-1516.

AYKUT, Stefan C. et DAHAN, Amy, 2015,
Gouverner le climat ? Vingt ans de négociations internationales, Paris, Presses de Sciences Po.

BECK, Ernst-Georg, 2008,
« 50 years of continuous measurement of CO₂ on Mauna Loa », *Energy & Environment*, vol. 19, n° 7, p. 1017-1028.

BLANCHARD, Odile, 2004,
« Les outils économiques au service d'un projet d'université citoyenne », communication aux Journées de l'Association française de science économique (18 et 19 mai 2004).

BERNÉ, Olivier, AGIER, Lydiane, HARDY, Antoine, LELLOUCH, Emmanuel, AUMONT, Olivier, MARIETTE, Jérôme et BEN-ARI, Tamara, 2022,
« The carbon footprint of scientific visibility », *Environmental Research Letter* : <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac9b51>>.

BONNEUIL, Christophe, FRANTA, Benjamin et CHOQUET, Pierre-Louis, 2021,
« Early warnings and emerging accountability: Total's responses to global warming, 1971-2021 », *Global Environmental Change*, vol. 71, p. 102386.

BOUDIA, Soraya, 2016,
« Des instruments pour mettre en économie l'environnement. L'économicisation par approximation et occultation », *Ecologie & politique*, vol. 52, n° 1, p. 45-61.

BOUDIA, Soraya

et PESTRE, Dominique, 2016,
« Mises en économie de l'environnement et hégémonie politique. Remarques introductives », *Écologie & politique*, vol. 52, n° 1, p. 13-18.

BOULEAU, Gabrielle, 2017,

« La catégorisation politique des eaux sous l'angle de la *political ecology* : le patrimoine piscicole et la pollution en France », *Espace géographique*, n° 3, vol. 46, n° 3, p. 214-230.

BOULEAU, Gabrielle, MARCHAL, Pierre-Luc, MEYBECK, Michel

et LESTEL, Laurence, 2017,
« La construction politique de la commune mesure de la qualité des eaux superficielles en France : de l'équivalent-habitant au bon état (1959-2013) », *Développement durable et territoires*, vol. 8, n° 1 : <<http://journals.openedition.org/developpementdurable/11580>>.

BORGES, Bernard, GOURDON, Thomas et BROC, Jean-Sébastien (dir.), 2015,
Empreinte carbone : évaluer et agir, Paris, Presses des Mines.

BOUSEMA, Teun, BURTSCHER, Leonard, VAN RIJ, Ronald P, BARRET, Didier et WHITFIELD, Kate, 2022,

« The critical role of funders in shrinking the carbon footprint of research », *The Lancet Planetary Health*, vol. 6, n° 1, p. e4-e6.

BOWKER, Geoffrey C.

et Susan Leigh, STAR, 1999,
Sorting Things Out: Classification and its Consequences, Cambridge, MIT Press.

BROHÉ, Arnaud, 2013,

La comptabilité carbone, Paris, La Découverte.

BURKE, Ingrid B., 2010,

« Travel trade-offs for scientists », *Science*, vol. 330, p. 1476.

BURTSCHER, Leonard, BARRET, Didier, BORKAR, Abhijeet P., GRINBERG, Victoria, JAHNKE, Knud, KENDREW, Sarah, MAFFEY, Gina

et McCAUGHREAN, Mark J., 2020,
« The carbon footprint of large astronomy meetings », *Nature Astronomy*, vol. 4, n° 9, p. 823-825.

CASET, Freke, BOUSSAUW, Kobe et STORME, Tom, 2018,

« Meet & fly: Sustainable transport academics and the elephant in the room », *Journal of Transport Geography*, vol. 70, p. 64-67.

CHALVATZIS, Konstantinos et ORMOSSI, Peter L., 2021,

« The carbon impact of flying to economics conferences: is flying more associated with more citations? », *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 29, n° 1, p. 40-67.

CHARGAFF, Erwin, 2006,

Le feu d'Héraclite, Paris, Viviane Hamy.

CHARNEY, Jule Gregory, 1979,

« Carbon dioxide and climate: A scientific assessment », *National Academy of Sciences* : <<https://nap.nationalacademies.org/read/12181/chapter/1>>.

CHRISTIN, Angèle, 2020,

Metrics at Work. Journalism and the Contested Meaning of Algorithms, Princeton, Princeton University Press.

CHIAPELLO, Ève et ENGELS, Anita, 2021,

« The fabrication of environmental intangibles as a questionable response to environmental problems », *Journal of Cultural Economy*, vol. 14, n° 5, p. 517-532.

CIERS, Joachim, MANDIC, Aleksandra,

TOTH, Laszlo et Op't VELD, Giel, 2018,
« Carbon footprint of academic air travel: A case study in Switzerland », *Sustainability*, vol. 11, n° 1, p. 80.

- COHEN, Scott, HANNA, Paul, HIGHAM, James, HOPKINS, Debbie et ORCHISTON, Caroline**, 2020, « Gender discourses in academic mobility », *Gender, Work & Organization*, vol. 27, n° 2, p. 149-165.
- COMPAGNON, Daniel et SAINT-MARTIN, Arnaud**, 2019, « La technique : promesse, mirage et fatalité », *Socio*, n° 12, p. 7-25.
- CLUZEL, François, VALLET, Flore, LEROY, Yann et REBOURS, Pierre**, 2020, « Reflecting on the environmental impact of research activities: An exploratory study », *Procedia CIRP*, vol. 90, p. 754-758.
- CRAWFORD, Kate et JOLER, Vladan**, 2019, « Anatomy of an AI System », *Virtual Creativity*, vol. 9, n° 1, p. 117-120.
- DAHAN, Amy et GUILLEMOT, Hélène**, 2015, « Les relations entre science et politique dans le régime climatique : à la recherche d'un nouveau modèle d'expertise ? », *Natures Sciences Sociétés*, vol. 23, supplément 3, p. 6-18.
- DASTON, Lorraine (dir.)**, 2000, *Biographies of Scientific Objects*, Chicago, University of Chicago Press.
- DASTON, Lorraine et GALISON, Peter**, 2007, *Objectivity*, New York et Cambridge, Zone Books.
- , 2012, *Objectivité*, traduit par de l'anglais par Sophie Renaut et Hélène Quiniou, Dijon, Les Presses du réel.
- DAUGUET Benoît**, 2021, *Mesures contre nature, Mythes et rouages de la compensation écologique*, Caen, Grevis.
- DESROSIÈRES, Alain**, 1993, *La politique des grands nombres. Histoire de la raison statistique*, Paris, La Découverte.
- , 2001, « Entre réalisme métrologique et conventions d'équivalence : les ambiguïtés de la sociologie quantitative », *Genèses*, vol. 43, n° 2, p. 112-127.
- , 2008, *Pour une sociologie historique de la quantification : l'argument statistique I*, Paris, Presses des Mines.
- DESROSIÈRES, Alain et KOTT, Sandrine**, 2005, « Quantifier », *Genèses*, vol. 58, n° 1, p. 2-3.
- EDWARDS, Paul N.**, 2010, *A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming*, Cambridge, MIT Press.
- ENGELS, Anita**, 2006, « Market creation and transnational rule-making: The case of CO₂ emissions trading », dans Marie-Laure Djelic et Kerstin Sahlin-Andersson (dir.), *Transnational governance: institutional dynamics of regulation*, Cambridge et New York, Cambridge University Press, p. 329-348.
- ESPELAND, Wendy Nelson et SAUDER, Michael**, 2007, « Rankings and reactivity: How Public measures recreate social worlds », *American Journal of Sociology*, vol. 113, n° 1, p. 1-40.
- ESPELAND, Wendy Nelson et STEVENS, Mitchell L.**, 1998, « Commensuration as a social process », *Annual Review of Sociology*, vol. 24, n° 1, p. 313-343.
- FANG, Kai, HEIJUNGS, Reinout et DE SNOO, Geert R.**, 2014, « Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family », *Ecological Indicators*, vol. 36, p. 508-518.

- FAVARO, Brett**, 2014,
« A carbon code of conduct for science », *Science*, vol. 344, n° 6191, p. 1461.
- FINNEGAN, Diarmid A.**, 2008,
« The spatial turn: Geographical approaches in the history of science », *Journal of the History of Biology*, vol. 41, n° 2, p. 369-388 :
- FLEMING, James Rodger**, 1998,
Historical Perspectives on Climate Change, New York, Oxford University Press.
- FOURNIER, Lauren E., HOPPING, Grant C., ZHU, Liang, PEREZ-PINZON, Miguel A., OVBIAGELE, Bruce, McCULLOUGH, Louise D. et SHARRIEF, Anjail Z.**, 2020,
« Females are less likely invited speakers to the international stroke conference: Time's up to address sex disparity » *Stroke*, vol. 51, n° 2, p. 674-678 : <<https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STROKEAHA.119.027016>>.
- GALLI, Alessandro, WIEDMANN, Thomas, ERCIN, Ertug, KNOBLAUCH, Doris, EWING, Brad et GILJUM, Stefan**, 2012,
« Integrating ecological, carbon and water footprint into a "footprint Ffamily" of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet », *Ecological Indicators*, vol. 16, p. 100-112.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)**, 2021,
Climate Change 2021: The Physical Science Basis, rapport du groupe de travail 1 dans le cadre du 6^e rapport : <<https://www.ipcc.ch/report/sixthassessment-report-working-group-i/>>.
- GLOVER, Andrew, STRENGERS, Yolande et LEWIS, Tania**, 2018,
« Sustainability and academic air travel in Australian universities », *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 19, n° 4, p. 756-772.
- HARRIS, Daniel C.**, 2010,
« Charles David Keeling and the story of atmospheric CO₂ measurements », *Analytical Chemistry*, vol. 82, n° 19, p. 7865-7870.
- HIGHAM, James et FONT, Xavier**, 2020,
« Decarbonising academia: Confronting our climate hypocrisy », *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 28, n° 1, p. 1-9.
- HIGHAM, James E. S., HOPKINS, Debbie et ORCHISTON, Caroline**, 2019,
« The work-sociology of academic aeromobility at remote institutions », *Mobilities*, vol. 14, n° 5, p. 612-631.
- HOPKINS, Debbie, HIGHAM, James, ORCHISTON, Caroline et DUNCAN, Tara**, 2019,
« Practising academic mobilities: Bodies, networks and institutional rhythms », *The Geographical Journal*, vol. 185, n° 4, p. 472-484.
- HØYER, Karl G. et NAESS, Petter**, 2001,
« Conference tourism: A problem for the environment, as well as for research? », *Journal of Sustainable Tourism*, vol. 9, n° 6, p. 451-470.
- HULTMAN, Martin**, 2013,
« The making of an environmental hero: A history of ecomodern masculinity, fuel cells and Arnold Schwarzenegger », *Environmental Humanities*, vol. 2, n° 1, p. 79-99.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [Groupement intergouvernemental des experts sur le changement climatique, GIEC]), WORKING GROUP 1**, 2021,
« Climate change 2021: The physical science basis », Groupement intergouvernemental des experts sur le changement climatique : <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>>.

- JOLY, Pierre-Benoît**, 2010,
« On the economics of techno-scientific promises », dans Madeleine Akrich, Yannick Barthe, Fabian Muniesa et Philippe Mustar (dir.), *Débordements*, Presses des Mines, p. 203-222.
- JOUVENET, Morgan**, 2022,
Des glaces polaires au climat de la terre. Enquête sur une aventure scientifique, Paris, CNRS Éditions.
- KEELING, Charles D.**, 1998,
« Rewards and penalties of monitoring the Earth », *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 23, n° 1, p. 25-82.
- KEELING, Charles D., BACASTOW, Robert B., BAINBRIDGE, Arnold E., EKDAHL, Carl A., GUENTHER, Peter R., WATERMAN, Lee S. et CHIN, John F. S.**, 1976,
« Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii », *Tellus*, vol. 28, n° 6, p. 538-551.
- KLÖWER, Milan, HOPKINS, Debbie, ALLEN, Myles et HIGHAM, James**, 2020,
« An analysis of ways to decarbonize conference travel after COVID-19 », *Nature*, vol. 583, n° 7816, p. 356-359.
- KNÖDLSSEDER, Jürgen, BRAU-NOGUÉ, Sylvie, CORIAT, Mickael, GARNIER, Philippe, HUGHES, Annie, MARTIN, Pierrick et TIBALDO, Luigi**, 2022,
« Estimate of the carbon footprint of astronomical research infrastructures », *Nature Astronomy*, n° 6, p. 503-513.
- KNOX, Hannah**, 2020,
Thinking Like a Climate: Governing a City in Times of Environmental Change, Durham, Duke University Press.
- LABOS 1POINT 5**, 2019,
« Face à l'urgence climatique, les scientifiques doivent réduire leur impact sur l'environnement », *Le Monde*, 19 mars.
- LE BRETON, Morgane**, 2017,
« Performativité de la comptabilité carbone : de la construction des règles aux dispositifs de management du carbone », thèse de doctorat de l'université de recherche Paris Sciences et Lettres.
- LIGOZAT, Anne-Laure, NÉVÉOL, Aurélie, DALY, Bénédicte et FRENOUX, Emmanuelle**, 2020,
« Ten simple rules to make your research more sustainable », *PLOS Computational Biology*, vol. 16, n° 9, p. e1008148.
- LOHMANN, Larry**, 2008, « Carbon trading, climate justice and the production of ignorance: Ten examples », *Development*, vol. 51, n° 3, p. 359-365.
- , 2020, *Carbon Policy is not Climate Policy: Toward a Different Agenda for Climate Activism* : <https://www.academia.edu/43710863/Carbon_Policy_is_not_Climate_Policy_Toward_a_Different_Agenda_for_>.
- MACKENZIE, Donald**, 1990, *Inventing Accuracy: A Historical Sociology of Nuclear Missile Guidance*, Cambridge, MIT Press.
- , 2009, « Making things the same: Gases, emission rights and the politics of carbon markets », *Accounting, Organizations and Society*, vol. 34, n°s 3-4, p. 440-455.
- MALM, Andres**, 2017,
L'anthropocène contre l'histoire. Le réchauffement climatique à l'ère du capital, Paris, La Fabrique.
- MANIATES, Michael F.**, 2001,
« Individualization: Plant a tree, buy a bike, save the world? », *Global Environmental Politics*, vol. 1, n° 3, p. 31-52.

MARICHALAR, Pascal, 2021a,
« Skiing, science and sovereignty:
A material and political history
of the road to Hawai'i's Mauna
Kea (1936–2020) », *History and
Anthropology*, septembre, p. 1- 23.

–, 2021b, « This mountain is it': How
Hawai'i's Mauna Kea was "discovered"
for astronomy (1959–79) », *The Journal
of Pacific History*, vol. 56, n° 2, p. 119-143.

MARTIN, Olivier, 2020,
L'empire des chiffres, Paris, Armand
Colin.

**MENNICKEN, Andrea
et ESPELAND, Wendy Nelson**, 2019,
« What's new with numbers?
Sociological approaches to the study
of quantification », *Annual Review
of Sociology*, vol. 45, n° 1, p. 223-245.

MERCHANT, Emily Klancher, 2021,
« Environmental malthusianism and
demography », *Social Studies of Science*,
vol. 52, n° 4, p. 536-560.

MITCHELL, Timothy, 2013,
*Carbon Democracy: Political Power in
the Age of Oil*, Londres, Verso Books.

**NEUGEBAUER, Sabrina, BOLZ, Maren,
MANKAA, Rose
et TRAVERSO, Marzia**, 2020,
« How sustainable are sustainability
conferences? Comprehensive Life
Cycle Assessment of an international
conference series in Europe », *Journal
of Cleaner Production*, vol. 242,
p. 118516.

**NURSEY-BRAY, Melissa,
PALMER, Robert, MEYER-MCLEAN,
Bridie, WANNER, Thomas
et BIRZER, Cris**, 2019,
« The fear of not flying: Achieving
sustainable academic plane travel in
higher education based on Insights from
South Australia », *Sustainability*, vol. 11,
n° 9, p. 2694.

**ORESQUES, Naomi
et CONWAY, Erik M.**, 2010,
*Merchants of Doubt: How a Handful of
Scientists Obscured the Truth on Issues
from Tobacco Smoke to Global Warming*,
New York, Bloomsbury Press.

**ORESQUES, Naomi
et KRIGE, John (dir.)**, 2014,
*Science and Technology in the Global
Cold War*, Cambridge, MIT Press.

OXFAM, IEEP, 2021,
« Les inégalités des émissions en 2030 :
l'empreinte carbone par habitant.e
et l'objectif du 1,5 °C » : <[https://
www.oxfamfrance.org/wp-content/
uploads/2021/11/Briefing-Inegalites-
desemissions-en-2030_Vdef.pdf](https://www.oxfamfrance.org/wp-content/uploads/2021/11/Briefing-Inegalites-desemissions-en-2030_Vdef.pdf)>.

PASEK, Anne, 2020,
« Low-carbon research: Building
a greener and more inclusive academy
», *Engaging Science, Technology, and
Society*, vol. 6, p. 34-38.

PASSALACQUA, Arnaud, 2021,
« The carbon footprint of a scientific
community: A survey of the historians
of mobility and their normalized yet
abundant reliance on air travel », *The
Journal of Transport History*, vol. 42,
n° 1, p. 121-141.

PESTRE, Dominique (dir.), 2015,
Histoire des sciences et des savoirs,
t. 3 : *Le Siècle des technosciences*, Paris,
Seuil.

PESTRE, Dominique, 2016,
« La mise en économie
de l'environnement comme règle. Entre
théologie économique, pragmatisme
et hégémonie politique », *Écologie
& politique*, vol. 52, n° 1, p. 19-44.

**PONETTE, Alexandra G.
et BYRNES, Jarrett E.**, 2011,
« Sustainable science? Reducing the
carbon impact of scientific mega
meetings », *Ethnobiology Letters*, vol. 2,
p. 6571.

- RABY, Megan**, 2019,
« "Slash-and-burn ecology": Field science as land use », *History of Science*, vol. 57, n° 4, p. 441-468.
- REES, William**, 1992,
« Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out », *Environment and Urbanization*, vol. 4, n° 2, p. 121-130.
- SAUTIER, Marie**, 2021,
« Move or perish? Sticky mobilities in the Swiss academic context », *Higher Education*, vol. 82, n° 4, p. 799-822.
- SHELLER, Mimi**, 2022,
« The end of flying: Coronavirus confinement, academic (im)mobilities and me », dans Kristian Bjørkdahl et Adrian Santiago Franco Duharte (dir.), *Academic Flying and the Means of Communication*, Singapour, Springer Singapore, p. 53-77.
- SKILES, Matthew, YANG, Euijin, RESHEF, Orad, ROBALINO MUÑOZ, Diego, CINTRON, Diana, LIND, Mary Laura, RUSH, Alexander, PEREZ CALLEJA, Patricia, NERENBERG, Robert, ARMANI, Andrea, FAUST, Kasey M. et KUMAR, Manish**, 2022,
« Conference demographics and footprint changed by virtual platforms », *Nature Sustainability*, vol. 5, n° 2, p. 149-156.
- STEVENS, Adam R. H., BELLSTEDT, Sabine, ELAHI, Pascal J. et MURPHY, Michael T.**, 2020,
« The imperative to reduce carbon emissions in astronomy », *Nature Astronomy*, n° 4, p. 843-851 : <<https://www.nature.com/articles/s41550-020-1169-1>>.
- STROUD, James T. et FEELEY, Kenneth J.**, 2015,
« Responsible academia: Optimizing conference locations to minimize greenhouse gas emissions », *Ecography*, vol. 38, n° 4, p. 402-404
- SUNDQUIST, Eric T. et KEELING, Ralph F.**, 2009,
« The Mauna Loa carbon dioxide record: Lessons for long-term Earth observations », dans Brian J. McPherson et Eric T. Sundquist (dir.), *Geophysical Monograph Series*, Washington, American Geophysical Union, p. 27-35.
- SUPIOT, Alain**, 2015,
La gouvernance par les nombres. Cours au Collège de France (2012-2014), Paris, Fayard.
- SUPRAN, Geoffrey et ORESKES Naomi**, 2021,
« Rhetoric and frame analysis of ExxonMobil's climate change communications », *One Earth*, vol. 4, n° 5, p. 696-719.
- VAN EWIJK, Stijn et HOEKMAN PAUL**, 2021,
« Emission reduction potentials for academic conference travel », *Journal of Industrial Ecology*, vol. 25, n° 3, p. 778-788.
- VORMBUSCH, Uwe**, 2015,
« Corporeal accounting and the third advance of quantification », conférence présentée lors de l'atelier sur la quantification à l'Institut d'études avancées de Nantes, avril.
- , 2022, « Accounting for who we are and could be: Inventing taxonomies of the self in an age of uncertainty », dans Andrea Mennicken et Robert Salais (dir.), *The New Politics of Numbers*, Cham, Springer International Publishing, p. 97-134.

- WALENTA, Jayme**, 2021,
« The making of the corporate carbon footprint: the politics behind emission scoping », *Journal of Cultural Economy*, vol. 14, n° 5, p. 533-548.
- WIEDMANN, Thomas et MINX, Jan**, 2007,
« A definition of "carbon footprint" », *ISA^{UK} Research Report*, n° 0701.
- WILLIAMS, Ian, KEMP, Simon, COELLO, Jonathan, TURNER, David A. et WRIGHT, Laurence A.**, 2012,
« A beginner's guide to carbon footprinting », *Carbon Management*, vol. 3, n° 1, p. 55-67 : <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.4155/cmt.11.80>>.
- WRIGHT, Laurence A, KEMP, Simon et WILLIAMS, Ian**, 2011,
« "Carbon footprinting": Towards a universally accepted definition », *Carbon Management*, vol. 2, n° 1, p. 61-72.
- WYNES, Seth, DONNER, Simon D., TANNASON, Stuart et NABORS, Noni**, 2019,
« Academic air travel has a limited influence on professional success », *Journal of Cleaner Production*, vol. 226, p. 959-967.
- YOUNG, Martin, MARKHAM, Francis, REIS, Arianne C. et HIGHAM, James E. S.**, 2015,
« Flights of fantasy: A reformulation of the flyers' dilemma », *Annals of Tourism Research*, vol. 54, p. 1-15.