

Introduction

Florian FIZAINE¹ et Xavier GALIÈGUE²

¹ IREGÉ, Université Savoie Mont Blanc, Annecy, France

² LEO, Université d'Orléans, Orléans, France

Nous avons vu dans le volume 1 de cet ouvrage que le contexte des ressources minérales fait intervenir des interactions fortes entre les contraintes matérielles et physiques des industries extractives et celles de l'économie et des représentations sociales. Ces interactions sont maintenant suffisamment fortes pour que l'on considère que nous sommes d'ores et déjà entrés dans une nouvelle ère géologique, celle de l'anthropocène, pour laquelle le métabolisme de la planète serait modelé par l'activité humaine. Mais contrairement aux autres ères géologiques, si l'anthropocène engendre des évolutions qui sont des conséquences non intentionnelles des activités humaines, celles-ci pourraient être infléchies de manière volontaire... à la condition que les opinions publiques en prennent conscience et assument les conséquences de politiques volontaristes dans ce domaine.

Une grande partie de ce volume 2 sera consacrée à l'examen des leviers d'action dont nous disposons pour rendre la transition énergétique compatible avec l'utilisation de nos ressources minérales. Mais avant de les examiner, il sera également nécessaire d'aborder un certain nombre d'enjeux, liés aux régimes juridiques qui encadrent l'accès aux ressources minérales, aux interactions géopolitiques entre les pays producteurs et consommateurs mais aussi à l'impact des activités extractives sur les populations.

I.1. Les enjeux : entre règles juridiques, interdépendance des nations et intérêts des populations locales

Tout d'abord, il va sans dire que la perpétuation d'un modèle de croissance continue des besoins en matières premières auxquels vont très probablement se rajouter ceux (peut-être ponctuels) de la transition énergétique, place les pays importateurs de ressources dans une situation difficile. Dans ce cadre, la multiplication des études de criticité de matières premières témoigne de l'inquiétude croissante des pays et des entreprises largement appuyés sur des flux internationaux de ressources naturelles. La contribution d'[Emmanuel Hache](#) et de ses [co-auteurs](#) (chapitre 1) montre bien que ces études de criticité biaisent néanmoins la réalité en dépaignant des consommateurs à la merci de pays producteurs tout-puissants. Pourtant cette interdépendance est bien souvent mutuelle, il convient donc de pondérer le risque d'approvisionnement en analysant également la diversité des exportations des pays producteurs. En outre, dans ce jeu d'échec géant, la disponibilité de ressources nationales (même non exploitées), la menace de substitution d'une ressource alternative ou d'une voie d'approvisionnement à partir d'un pays coopératif peut à coup sûr réduire le risque de rupture d'approvisionnement même dans le cas d'un haut niveau de dépendance. Toujours est-il que la réduction du besoin en ressources (sobriété et efficacité matérielle) paraît toujours moins empreinte d'incertitude que la sécurisation de l'accès aux ressources primaires.

Par ailleurs, l'accès aux ressources minérales est modelé fondamentalement par les règles et régimes juridiques, comme le démontre la contribution de [Stéphanie Reich-de Vigan](#) (chapitre 2). Des différences importantes subsistent entre les régimes de droit dans le domaine de la propriété des ressources minérales territoriales et extraterritoriales, qui ne sont pas neutres sur les incitations à extraire ou à protéger l'environnement. Si nos modèles socioculturels mettent l'accent sur la partie économique du développement durable, il y a fort à parier que les régimes juridiques d'extraction des ressources seront mis en cohérence pour refléter cet objectif prioritaire. Cela se fera probablement au détriment de l'environnement et en accentuant la pression anthropique sur les derniers espaces naturels relativement épargnés jusqu'alors (antarctique, fonds marins en eaux internationales).

Il existe pourtant d'autres options mises en avant par l'exemple de la Nouvelle-Zélande. En effet, la Nouvelle-Zélande est un des pays emblématiques ayant exploité l'extension de la frontière, c'est-à-dire s'étant développé en s'appuyant sur une région géographique adjacente exceptionnellement dotée en ressources naturelles et caractérisé par un faible ratio Homme-Terre (Barbier 2011). Pourtant, là où les États-Unis continuent d'ouvrir juridiquement les autres frontières tous azimuts – on pense notamment au traité légalisant l'exploitation privée des astéroïdes – la Nouvelle-Zélande a

opté pour un autre choix en 2017. En effet, sous la pression des Iwi (Maoris) qui prêtent au fleuve Whanganui une représentation culturelle différente des Britanniques, ce dernier s'est vu doté d'une personnalité juridique, permettant de défendre ses intérêts dans des procédures judiciaires à l'aide de deux avocats. On peut légitimement penser que cela va sans nul doute modifier les trajectoires extractives futures à proximité du fleuve. C'est là encore un bon exemple de l'importance de la rétroaction des sciences humaines sur la pression opposée par l'Homme sur la biosphère et la géosphère.

Dans ce cadre, l'étude de l'occupation de l'espace, des peuplements et des territoires occupés par l'activité minière peut fournir des éclairages adéquats sur les paramètres susceptibles de modifier ces trajectoires. C'est d'ailleurs à cela que s'emploie [Michel Deshaies](#) dans sa contribution (chapitre 3). Par ce biais, il confirme l'absence de déterminisme sur la trajectoire de cette pression anthropique. Il relève d'ailleurs les difficultés croissantes à perpétuer le modèle d'extraction actuel face à des populations locales de plus en plus hostiles aux projets miniers. Or là encore, nous constatons que les conflits liés à des projets miniers sont essentiellement présents en Amérique du Sud et Amérique centrale alors même qu'une part non négligeable de l'extraction se situe également en Afrique et dans d'autres pays de l'OCDE. C'est bien là la preuve que l'organisation sociale, les institutions et la culture jouent un rôle non négligeable dans le maintien ou le blocage de l'activité d'extraction tous azimuts des ressources minérales.

I.2. Les leviers d'action : ce que l'on peut attendre et ce qui reste à explorer

De quels leviers disposons-nous pour parvenir à une économie plus sobre et à un développement soutenable ? Un des enseignements qui peut être tiré des chapitres précédents, est que l'existence d'interactions fortes entre les différentes contraintes affectant les ressources minérales empêche de considérer que l'on pourrait s'en libérer en recourant à des solutions univoques, purement techniques, économiques, ou sociétales : proposer une solution simple à un problème complexe, c'est aller à l'échec. Nous allons examiner dans ce volume 2 ce que nous pouvons potentiellement espérer du déploiement de plusieurs leviers d'action souvent évoqués dans la littérature : l'extraction domestique, la substitution, le recyclage, l'efficacité matérielle (ou découplage) et les solutions de *low-tech* alliées à la sobriété.

Pour commencer, le maintien ou le développement d'une extraction domestique nationale ou européenne est souvent évoquée à la fois par certains experts géopolitiques ou par des comités stratégiques tels que le COMES (comité pour les métaux stratégiques) soucieux de réduire l'impact des ruptures d'approvisionnement. On retrouve

aussi parfois cette même recommandation avec cette fois-ci une visée de préservation de l'environnement. Toutefois, bien que l'objectif affiché soit environnemental, ce levier d'action demeure rarement formulé par les écologistes eux-mêmes. On pense notamment au dernier ouvrage grand public de Guillaume Pitron (2018) où l'auteur appelle à davantage de production nationale pour éviter une délocalisation des impacts écologiques de la transition énergétique et numérique (dans son chapitre « La fin des derniers sanctuaires »). Ce levier d'action serait à la fois un moyen efficace de relocaliser les externalités négatives minières tout en les réduisant fortement (grâce des conditions d'extraction locales plus respectueuses), mais également un appui formidable pour sensibiliser les consommateurs au coût environnemental de leur mode de vie. L'auteur y voit même un bon moyen d'accentuer la pression des consommateurs sur les pays émergents pour qu'ils modifient leur technique d'extraction socialement et environnementalement désastreuses. Il reproche aux ONG écologistes de ne pas comprendre le véritable impact de la transition énergétique :

« Les ONG écologistes font la preuve d'une certaine incohérence, puisqu'elles dénoncent les effets du nouveau monde plus durables qu'elles ont elles-mêmes appelé de leurs vœux. Elles n'admettent pas que la transition énergétique et numérique est aussi une transition des champs de pétrole vers les gisements de métaux rares, et que la lutte contre le réchauffement climatique appelle à une réponse minière qu'il faut bien assumer. » (Pitron 2018)

Si ce dernier argument peut apparaître comme valable dans le cas d'une transition énergétique sous le format d'une « croissance verte », l'argument en faveur d'un renouveau minier national pour les raisons citées plus haut semble souffrir d'au moins quatre écueils :

– en premier lieu, la relance de l'offre minière domestique souffre de multiples problèmes de perception par la population et les parties prenantes comme l'expose très justement [Johan Yans](#) (chapitre 4). Toutefois, le même auteur propose des pistes pour atténuer ces perceptions négatives ;

– en deuxième lieu, il apparaît étrange d'un point de vue éthique d'exposer personnellement des individus à un problème dans l'intention de les sensibiliser. De même que nous ne déversons pas nos déchets dans les jardins et les appartements des Français pour les sensibiliser au tri, il apparaît comme douteux de devoir les exposer aux nuisances des mines pour les inciter à réduire leur consommation de ressources minérales ;

– en troisième lieu, les analyses statistiques empiriques montrent que les pays possédant une extraction domestique importante ne consomment pas moins de ressources

pour soutenir le mode de vie de leurs habitants, bien au contraire. La comparaison des États-Unis et du Japon présente un contre-exemple de la modération du mode de vie par la proximité aux mines. Si l'on suit l'assertion décrite plus haut, le Japon, qui n'est plus un pays minier majeur depuis la fin du XIX^e siècle, devrait consommer plus de matière par habitant que les États-Unis, le Canada ou l'Australie qui sont, au contraire, d'importants producteurs miniers. Or nous observons exactement l'inverse. En 2015, le Japon possédait une empreinte matière de 23 tonnes par habitant contre 30, 34 et 42 tonnes respectivement pour les trois pays miniers (PNUE 2016). Il pourrait être contesté que ces trois pays miniers sont beaucoup moins denses que ne l'est le Japon, ce qui implique plus de consommation pour la construction et l'entretien des infrastructures. C'est vrai, mais ce dernier pays ne reflète-t-il pas mieux, justement, le cas des pays européens ? Décidément les faits sont têtus car une étude publiée là encore par le PNAS (Wiedmann *et al.* 2015) montre au travers d'une analyse statistique réalisée sur 137 pays, et contrôlant la densité du territoire, que le volume d'extraction minière par habitant est corrélé positivement à l'empreinte matière par habitant et la consommation intérieure par habitant. En d'autres mots, les pays qui extraient plus de minerais et de ressources sur leur territoire consomment également davantage de matières pour soutenir le mode de vie de leurs citoyens (l'étude le montre aussi pour le sous-ensemble des métaux) ;

– cela nous amène naturellement au quatrième point. Il faut cesser de percevoir la transition énergétique comme un problème d'offre ne pouvant être résolue que par un recours plus important aux énergies renouvelables (même si nous ne disqualifions pas pour autant ces dernières). À l'exception de problématiques spécifiques et locales (comme les chlorofluorocarbures pour le trou dans la couche d'ozone), les politiques d'offre ne sont jamais parvenues à résoudre à elles seules nos problématiques environnementales globales (Dinda 2004), substituant la plupart du temps un problème par un autre. Il faut aussi s'intéresser à la demande pour couper court aux reports de pression en aval. Aussi, dans le cas de la transition énergétique à venir, il faut s'autoriser des solutions d'efficacité énergétique et surtout aboutir à une plus grande sobriété.

On peut également s'interroger sur la place de la substitution comme réponse naturelle du marché aux tensions qui affectent les marchés des ressources minérales. Celle-ci pourrait-elle modifier durablement le paysage des ressources minérales dans les décennies à venir ? La substitution intramatérielle a toujours existé et continuera probablement d'être une réponse majoritaire aux problèmes locaux ou ponctuels. Les aimants permanents utilisant des terres rares ont ainsi été remplacés par des rotors bobinés en cuivre dans un certain nombre de moteurs de véhicules électriques, à la suite des conflits géopolitiques survenus sur ces matériaux produits quasi-exclusivement en Chine. Pourtant, comme le montre Florian Fizaine (chapitre 5), cette réponse par la substitution dépend des possibilités techniques bien sûr mais également de l'échelle de sa

mise en œuvre (interéléments, intercomposants, intersystème, etc.) auxquels s'ajoutent de multiples contraintes qualitatives d'ordre culturel, juridique, économique, physique, etc. Quand bien même cette réponse par la substitution existerait et serait mobilisable dans un ordre de grandeur suffisant, la question de la mise en œuvre d'une substitution « forcée » suscite des doutes encore plus légitimes.

C'est une chose de constater que la substitution a lieu sous l'effet de forces « naturelles », cela en est une autre de déclencher ce mécanisme par le jeu des taxes et autres outils à la disposition des États. D'une part, l'objectif à atteindre est parfois totalement manqué ou contribue à faire émerger une autre problématique du fait d'une mauvaise anticipation du comportement des agents et du jeu complexe de l'économie. Par exemple, Söderholm (2011) revient sur le cas de la Suède, un pays ayant taxé l'extraction de graviers produits sur place et destinés à l'exportation (10 % d'augmentation des prix). Initialement, la mesure visait la protection des paysages et le maintien de la disposition d'une eau saine pour lequel les réservoirs de graviers jouent un rôle majeur. Cette mesure très indirecte de réduction de l'extraction primaire *via* la taxe est théoriquement assez risquée tant elle peut échouer sur différents écueils ou passer par d'autres canaux : une faible réaction de la demande au prix de la matière, une augmentation des importations de la matière (ici non taxée), une hausse du recyclage, une substitution vers des matériaux alternatifs non taxés comme les roches broyées à partir de matériaux de démolition. Or sur cet exemple précis, le retour sur expérience montre que la taxe a modifié le comportement des agents en les poussant davantage à la substitution des roches broyées plutôt que vers les autres leviers. Il n'y a pas eu de réduction de l'usage des matières premières ni de véritable hausse du recyclage. De plus, les roches broyées sont plus intensives en énergie que l'extraction de gravier primaire et la production de béton à partir de roches broyées réclame plus de ciment, ce qui conduit Söderholm à estimer que la politique est discutable d'un point de vue environnemental. Si l'objectif était de réduire l'extraction, l'économiste aurait plutôt préconisé d'utiliser la réglementation comme des licences d'exploitation plutôt que des outils économiques comme la taxe. D'autre part, la mobilisation du levier de la substitution peut aussi se heurter à une résistance sociale. Créer une indisponibilité « artificielle » sur une ressource peut ainsi créer du mécontentement et entraîner le retrait des outils à l'origine de cette première sous la pression sociale (on pense notamment à la taxe carbone). Autant de raisons qui font penser que nous ne modifierons pas profondément le paysage des ressources minérales de notre plein gré *via* le mécanisme de la substitution.

Dans une perspective plus macroéconomique, [Thierry Lefèvre](#) (chapitre 6) développe dans sa contribution les questions liées à la possibilité de découplage entre le PIB et les ressources naturelles. Cette question du découplage est complexe et mobilise

aujourd'hui un grand nombre de chercheurs, notamment au sein de la section environnement et ressources de l'ONU (PNUE). La question du découplage renvoie bien évidemment à l'outil d'efficacité matérielle qui vise à créer plus avec moins. En augmentant la productivité matérielle de nos activités nous pourrions ainsi gagner sur les deux plans : poursuivre l'accroissement du PIB, tout en réduisant notre consommation de ressources et les impacts laissés dans son sillon. Ce postulat de dématérialisation de l'économie est ancien à travers notamment le concept d'éphéméralisation évoqué par Philippe Bihouix (2019) dans son dernier ouvrage. On le croise aussi sous le terme de découplage (*decoupling*), déconnexion (*delinking*) ou *via* la courbe de Kuznets matérielle. Mais là encore, la mise en pratique montre de piètres résultats. La plupart du temps, le découplage est bien en deçà de l'importance de l'effet taille (population et PIB par habitant). Sur ce point d'ailleurs, la contribution du chercheur douche quelque peu nos espérances en montrant que l'empreinte matière de la plupart des pays industrialisés a crû au fur et à mesure du temps.

De même, d'autres études portées au niveau mondial (Krausmann *et al.* 2017) tempèrent également nos attentes quelles que soient les matières premières étudiées. Ainsi, il ne semble pas y avoir d'exception, et la croissance économique l'emporte toujours sur la productivité matérielle. Suffirait-il d'accroître la vitesse de dématérialisation pour compenser la hausse de l'activité ? Là encore, les faits entrent en contradiction avec cette idée, notamment à travers l'exemple de l'accroissement de la productivité du silicium dans le secteur de l'informatique entre 1970 et 2010 qui, bien que sans précédent (un facteur 10 millions !), a été associée à une augmentation de la consommation de silicium d'un facteur 60 sur la même période ! Une autre étude portant sur la productivité sectorielle parvient au même constat (Dahmus 2014) : les secteurs s'étant rapprochés (ou ayant atteint) du découplage absolu ne sont pas caractérisés par un haut niveau de productivité matérielle mais plutôt par une faible progression de leur activité (effet taille). Il faudrait donc là encore soit revoir nos objectifs soit logner du côté d'autres leviers d'action.

Un autre levier d'action est annoncé comme fortement prometteur, c'est le recyclage. La contribution très complète d'[Alain Geldron](#) (chapitre 7) sur le sujet du recyclage des métaux apparaît comme éclairante sous plusieurs points de vue. En premier lieu, loin de l'optimisme parfois béat dont fait preuve la presse environnementale sur la mine urbaine et l'économie circulaire, il existe un grand écart entre le discours et les faits empiriques : les taux de recyclage sont encore loin de la circularité pour les métaux de base, et sont même quasi nuls pour les métaux mineurs. En effet, il existe plusieurs différences fondamentales entre l'économie extractive des métaux et l'économie de recyclage des métaux, qui expliquent pourquoi nous ne pouvons pas passer de l'une à l'autre sans d'importants ajustements.

Tout d'abord, les rendements d'échelle tirés de la taille des acteurs et du volume des gisements sont bien différents entre les deux activités, contribuant clairement à la domination de la première sur la seconde. De plus, la part de l'informel est encore très importante dans l'économie du recyclage alors qu'elle reste très marginale dans l'économie extractive, du moins lorsque l'on s'intéresse aux volumes fournis. Ensuite, les qualités des matériaux issus des gisements primaires et secondaires diffèrent considérablement (Fizaine 2020), avec là encore un désavantage marqué pour l'activité secondaire (gisements dispersés, concentrations en métaux très variables et fluctuantes, complexité et diversité des métaux et coexistence avec des chaînes carbonées). Enfin, on retrouve l'opposition entre gestion de stock et gestion de flux comme trait de séparation déterminant entre l'ancienne économie extractive et la nouvelle économie secondaire, une opposition qui n'est pas sans rappeler le même schéma antagoniste existant dans la production d'énergie. Or, il est légitime de penser que la gestion d'un flux est plus complexe et moins flexible que celle d'un stock, qui plus est lorsque l'incertitude sur ce premier est importante.

Pour résumer, la recherche sur le recyclage reste encore marquée par des zones d'ombre conséquentes. Comme il existe aujourd'hui la volonté d'inscrire le recyclage dans une politique complète d'économie circulaire conjointement avec d'autres outils comme la réduction des matériaux primaires (efficacité) ou leur réutilisation, il semble que nous ne pouvons pas nous contenter d'optimiser les procédures de recyclage indépendamment des autres mesures d'économie circulaire (Berlingen 2020). Il y a en effet dans ce cas de fortes chances de voir apparaître des effets d'éviction entre les mesures. Le tollé soulevé par la mesure de consigne pour recyclage proposée par la secrétaire d'État à la Transition écologique Brune Poirson pour les bouteilles en plastique en constitue une bonne illustration. Cette mesure est contestée par les collectivités territoriales qui se verraient alors privées de la collecte et la revente de ces déchets pour lesquelles elles ont déjà investi des sommes conséquentes dans des infrastructures de recyclage. Selon les associations environnementales, ce projet pénaliserait aussi l'environnement car la consigne pour réutilisation est dans cette situation plus efficace que la consigne pour recyclage.

Autre illustration, la réduction du contenu en métaux précieux des cartes électroniques pour des raisons de coût et d'efficacité a considérablement réduit l'attrait pour le recyclage de ces derniers mais aussi pour l'ensemble des métaux mineurs les accompagnants (Cui et Roven 2011 ; Adie *et al.* 2016). Ces deux exemples présentent des incompatibilités possibles entre des mesures d'économie circulaire, ce qui nécessite de bien étudier les effets d'interaction lorsque l'on lance parallèlement plusieurs mesures. Nous devons aussi, dans chaque situation, privilégier certains leviers plutôt que de généraliser leur recours sur l'ensemble de l'économie circulaire.

Finalement, on verra que la sobriété reste le parent pauvre des politiques environnementales. Souvent appelée dans les rapports des organisations internationales et dans les vœux des entreprises pour verdir leur bilan environnemental, la modération est peu mise en pratique et rarement déployée sur le terrain... ou dans les décrets d'application. La contribution de **Philippe Bihouix** (chapitre 8) explore cette possibilité à travers une association d'objectifs comme l'écoconception (recyclabilité, durabilité des produits), le « machinisme mesuré » selon ses termes, le redimensionnement des activités et le travail sur la désirabilité d'un changement (en mettant en avant les gains liés au changement). Il décrit ainsi à partir de nombreux exemples ce que pourrait être une alternative à la recherche d'une croissance verte, confrontée à la complexité, et qui aboutit souvent à des effets rebonds. Effectivement, comme nous l'avons vu dans le volume 1 de cet ouvrage, l'efficacité (rendre un même service économique avec moins de matière/énergie) se concrétise rarement par une baisse de la consommation car celle-ci est de toute manière dépassée par l'augmentation du volume d'activité. Le renoncement et la modération pourraient ainsi intervenir là où l'efficacité échoue, en coupant à la source la cause première de l'augmentation exponentielle de la consommation de ressources naturelles. Néanmoins, comme on l'oublie souvent, la sobriété n'est pas *business-friendly* et la stagnation (voire la baisse) du volume d'activité ne va pas sans poser des problèmes en termes d'équilibre budgétaire, de soutenabilité de la dette et de financement des systèmes de retraite, sans oublier ses effets en termes d'emploi et de chômage. Autant de questions qui se posent à l'ouverture du volume 2 de cet ouvrage, consacré aux enjeux mais surtout aux leviers d'action susceptibles d'apporter une réponse aux différents défis qui doivent être relevés pour aboutir à une croissance soutenable évoquée dans le volume 1.

1.3. Bibliographie

- Adie, G.U., Sun, L., Zeng, X., Zheng, L., Osibanjo, O., Li, J. (2016). Examining the evolution of metals utilized in printed circuit boards. *Environmental Technology*, 1696–1701.
- Barbier, E.B. (2011). *Scarcity and Frontiers: How Economies Have Developed Through Natural Resource Exploitation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Berlingen, F. (2020). *Recyclage, le grand enfumage : comment l'économie circulaire est devenue l'alibi du jetable*. Éditions Rue de l'échiquier, Paris.
- Bihouix, P. (2019). *Le bonheur était pour demain*. Le Seuil, Paris.
- Cui, J., Roven, H.J. (2011). Electronic Waste [En ligne]. Dans *Waste*, Letcher, T., Vallero, D. (dir.). Academic Press, Cambridge, 281–296. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/266476604_Chapter_20_-_Electronic_Waste.

- Dahmus, J.B. (2014). Can Efficiency Improvements Reduce Resource Consumption?. *Journal of Industrial Ecology*, 18(6), 883–897.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49, 431–455.
- Fizaine, F. (2020). The Economics of Recycling Rate: new insights from a Waste Electrical and Electronic Equipment. *Resources Policy*, 67.
- Krausmann, F., Wiedenhofer, D., Lauk, C., Haas, W., Tanikawa, H., Fishman, T., Miatto, A., Schandl, H., Haberl, H. (2017). Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use. *PNAS*, 114(8), 1880–1885.
- Pitron, G. (2018). *La Guerre des métaux rares : la face cachée de la transition énergétique et numérique*. Les Liens qui libèrent, Paris.
- PNUE (2016). Global Material Flows and Resource Productivity – Assessment Report for the UNEP International Resource Panel. Programme des Nations unies pour l'environnement, Genève.
- Söderholm, P. (2011). Taxing virgin natural resources: Lessons from aggregates taxation in Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 911–922.
- Wiedmann, T.O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., Kanemoto, K. (2015). The material footprint of nations. *PNAS*, 112(20), 6271–6276.