

Mesurer l'urgence

Quantification des risques et identification des priorités

Hy Dao

Reçu le 26.11.2015 – Accepté le 13.02.2016

Título / Title / Titolo

Medir la urgencia: cuantificación de riesgos e identificación de prioridades
Measuring Urgency: Risk Quantification and Identification of Priorities
Misurare l'urgenza: quantificazione del rischio e l'individuazione delle priorità

Résumé / Resumen / Abstract / Sommario

Dans ce texte nous nous proposons d'aborder le processus de quantification de l'environnement à l'œuvre depuis les années 1960 et de voir dans quelle mesure il permet d'interpréter en termes de durabilité et d'urgence les informations produites. L'explosion des moyens de collecte de données (débouchant sur ce qu'on appelle aujourd'hui le Big Data) semble ouvrir des horizons infinis pour l'analyse de toutes sortes de phénomènes socio-économiques ou environnementaux. Simultanément, les changements environnementaux actuels remettent à l'agenda scientifique et politique la notion contestée de limite. Les nouvelles données à disposition sont vues par certains comme la possibilité d'identifier de manière plus robuste des limites environnementales ou de développement. A contrario, la notion de limite, en particulier celle de « limites planétaires » semble procéder d'une double restriction, quantitative (fin des croissances illimitées) et conceptuelle (simplification de réalités complexes avec quelques valeurs critiques). Mais nous verrons que la limite ouvre également des possibilités de traduire les multiples données sur l'environnement en information régulatrice sur les équilibres fondamentaux à préserver et les priorités d'action. La première urgence est peut-être bien celle de produire cette information régulatrice dont les gouvernements, les entreprises, les individus doivent absolument disposer pour agir de manière pertinente et efficace dans un monde complexe et en changement.

En este texto vamos a abordar los procesos de cuantificación del medio ambiente en curso desde los años 60, para ver en qué medida es posible interpretar la información en términos de durabilidad y de urgencia. La explosión de medios de colecta de datos (lo que hoy se llama el Big Data) parece abrir horizontes infinitos para analizar todo tipo de fenómenos socio-económicos y ambientales. Simultáneamente, los cambios ambientales actuales ponen nuevamente en la agenda científica y política la noción, cuestionada, de límite. Algunos ven los nuevos datos a disposición como una nueva posibilidad para identificar mejor los límites ambientales o de desarrollo. A contrario, la noción de límite, en particular la de «límites planetarios», parece proceder de una doble restricción, cuantitativa (fin del crecimiento ilimitado) y conceptual (simplificación de realidades complejas). Veremos sin embargo que el límite abre también posibilidades para traducir la multiplicidad de datos ambientales en información reguladora sobre los equilibrios fundamentales que hay que preservar y sobre las prioridades de acción. La primera urgencia es quizás la de producir esta información reguladora para actuar de manera pertinente y eficaz en un mundo complejo en transformación.

In this text we will address the process of quantification of the environment at work since the 1960's, to see to what extent it allows us to interpret information in terms of sustainability and urgency. The explosion of means to collect data (known as Big Data) seems to open infinite horizons for the analyses of all kinds of socio-economic and environmental phenomena. Simultaneously, current environmental changes put the contested notion of limits back on scientific and political agendas. Some perceive the new available data as the possibility to better identify environmental or developmental limits. A contrario, the notion of limits, in particular that of «planetary boundaries», seems to stem from a double restriction: quantitative (the end of unlimited growth) and conceptual (simplification of complex realities). We will see, however, that limits also open the possibility of translating multiple data on the environment into regulatory information on fundamental equilibriums to be preserved and on priorities for action. Maybe the utmost urgency is to produce this regulatory information, which government, businesses, and individuals absolutely need to have access to in order to act more efficiently and with more pertinence in a complex and changing world.

In questo testo tratteremo i processi di quantificazione ambientale in atto a partire dagli anni '60, per constatare fino a che punto è possibile interpretare l'informazione in termini di durata e di urgenza. L'enorme interesse contemporaneo alla raccolta dati (quello che oggi si chiama Big Data) sembra aprire orizzonti infiniti all'analisi di una molteplicità di fenomeni socio-economici e ambientali. Allo stesso tempo, i cambiamenti ambientali attuali hanno rimesso nell'agenda scientifica e politica la nozione di limite, messa in discussione in precedenza. Alcuni vedono i nuovi dati disponibili come una nuova opportunità per meglio identificare i limiti ambientali o di sviluppo. Al contrario, la nozione di limite, in particolare quella di «confini planetari», sembra provenire da una doppia restrizione, quantitativa (la fine della crescita illimitata) e concettuale (la semplificazione di realtà complesse). Vedremo, comunque, che il limite apre anche alla possibilità di tradurre la molteplicità dei dati ambientali in informazione normativa sugli equilibri fondamentali da preservare e sulle priorità di azione. La prima urgenza è forse la produzione di tale informazione normativa di riferimento per agire in modo pertinente ed efficace in un mondo complesso in trasformazione.

Mots-clé / Palabras clave / Keywords / Parole chiave

Quantification de l'environnement, Big Data, limites planétaires, durabilité et urgence

Cuantificación del medio ambiente, Big Data, límites planetarios, sostenibilidad y urgencia

Quantification of the environment, Big Data, planetary limits, sustainability and urgency

Quantificazione dell'ambiente, Big Data, i confini planetari, sostenibilità ed urgenza

Dans ce texte nous nous proposons d'aborder le processus de quantification de l'environnement à l'œuvre depuis les années 1960 et de voir dans quelle mesure il permet d'interpréter en termes de durabilité et d'urgence les informations produites. L'explosion des moyens de collecte de données (débouchant sur ce qu'on appelle aujourd'hui le *Big Data*) semble ouvrir des horizons infinis pour l'analyse de toutes sortes de phénomènes socio-économiques ou environnementaux.

Simultanément, les changements environnementaux actuels remettent à l'agenda scientifique et politique la notion contestée de limite. Les nouvelles données à disposition sont vues par certains comme la possibilité d'identifier de manière plus robuste des limites environnementales ou de développement. A contrario, la notion de limite, en particulier celle de « limites planétaires » semble procéder d'une double restriction, quantitative (fin des croissances illimitées) et conceptuelle (simplification de réalités complexes avec quelques valeurs critiques).

Mais nous verrons que la limite ouvre également des possibilités de traduire les multiples données sur l'environnement en information régulatrice sur les équilibres fondamentaux à préserver et les priorités d'action. La première urgence est peut-être bien celle de produire cette information régulatrice dont les gouvernements, les entreprises, les individus doivent absolument disposer pour agir de manière pertinente et efficace dans un monde complexe et en changement.

1. Emergences de perspectives globales

Depuis les années 1960 s'est développée une prise de conscience globale des problèmes environnementaux générés par les activités humaines. Considéré comme l'ouvrage à la base du mouvement écologiste, « Le printemps silencieux » de Rachel Carson (1963) met en garde sur un ton alarmiste (annonce d'un prochain printemps sans le chant des oiseaux) contre l'utilisation abusive de pesticides qui pourrait entraîner une surmortalité animale et humaine. Ecrit par une biologiste, ce livre est aussi une critique sociale contre l'industrie chimique et

les autorités publiques accusées de désinformation. Basé sur des recherches scientifiques, ce livre a eu un très fort impact dans la société, qu'il ait été vu comme un impératif pour l'action écologiste, ou au contraire comme une attaque contre le progrès technique et économique.

Les années 1960 voient également apparaître les premières images de la Terre depuis l'espace, offrant une perspective nouvelle sur notre planète, un petit point bleu vivant et fini au milieu d'un infini froid (Figures 1 et 2).

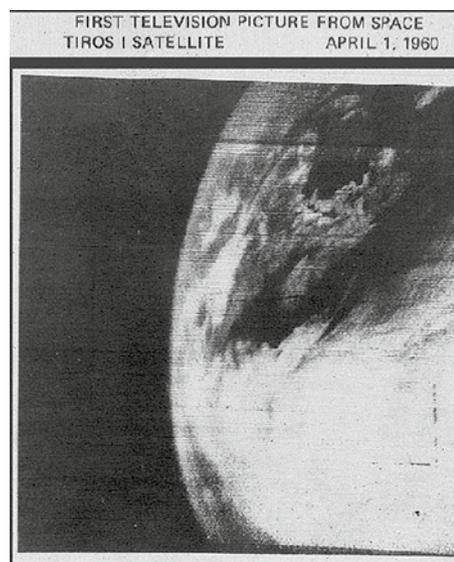


Figure 1. Première image de la Terre depuis l'espace, satellite TIROS 1, 1er avril 1960. "Source: NASA" http://www.nasa.gov/vision/earth/features/bm_gallery_3.html



Figure 2. Lever de Terre, mission d'Apollo 8, 24 décembre 1968. "Source: NASA" https://www.nasa.gov/topics/history/features/apollo_8.html

L'observation de la Terre connaît un développement décisif avec Landsat, le premier programme de satellites de prises de vues à usage civil, dont des images à une résolution spatiale de 80 mètres sont fournies dès 1972 (la résolution maximale actuelle est de 15 mètres).

Cette année-là est un marqueur de la conscience environnementale globale à plusieurs titres. C'est en 1972 qu'est établi le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) à l'issue de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain de Stockholm. Le PNUE, dont le siège est à Nairobi, se veut être l'autorité environnementale au sein du système des Nations Unies. Il est le témoin d'une reconnaissance de la nécessité d'améliorer la gouvernance de l'environnement planétaire à travers des institutions internationales. Le PNUE est une institution politique, qui chapeaute notamment les principaux accords environnementaux multilatéraux (les conventions environnementales), mais c'est aussi une organisation qui produit une information technique et scientifique à travers de nombreux rapports sur l'état et l'avenir de l'environnement, ainsi que sur la politique, l'économie et les technologies de l'environnement.

En 1972 est également publié le rapport du Club de Rome « The limits to growth » (Meadows et al. : 1972) dans un contexte naissant de critique de la société de consommation. Cette étude se base sur des modèles numériques de simulation débouchant sur des projections quantitatives dans différents domaines (production industrielle, population, utilisation des ressources, pollutions, alimentation). Une notion importante développée dans ce rapport est celle de croissance exponentielle qu'on retrouve dans la citation attribuée à Kenneth Boulding (1973) « Celui qui croit qu'une croissance exponentielle peut continuer indéfiniment dans un monde fini est soit un fou, soit un économiste ». L'étude, basée sur le modèle de simulation World3 développé au Massachusetts Institute of Technology¹, prédisait dans un

¹ World3 est un modèle de type « dynamique des systèmes » qui simule l'interaction de plusieurs systèmes entre eux, notamment les systèmes alimentaire, industriel, démographique, de ressources non renouvelables, de pollution. Il permet de générer des prédictions selon différents scénarii.

des trois scénarii développés un effondrement du système mondial dans la deuxième moitié du 21^{ème} siècle. Elle a connu un succès mondial, fait l'objet de plusieurs mises à jour (la dernière datant de 2012), ainsi que de critiques, notamment en raison de certaines évolutions constatées ne correspondant pas aux projections proposées.

D'autres scientifiques ont également soutenu l'idée de limiter la croissance dans différents domaines. Georgescu-Roegen (1971 ; 1979) a appliqué à l'économie les lois de Newton sur la thermodynamique afin de démontrer l'impossibilité d'une croissance continue basée sur l'extraction de ressources naturelles. Les biologistes des populations ont pour leur part développé depuis le milieu du 20^{ème} siècle le concept de capacité de charge qui aborde la question de la population (nombre d'individus) maximale qu'une aire peut soutenir sur le long terme. Dépassant une vision néo-malthusienne des limites démographiques qui seraient imposées par des ressources fixes, l'équation $I=P*A*T$ proposée par Ehrlich et Holdren en 1971 met en formule l'idée que les impacts sur l'environnement (I) sont non seulement fonction de la taille des populations (P), mais aussi de la consommation (A, affluence) et de la technologie (T), chaque élément de l'équation pouvant renforcer ou atténuer l'impact résultant (Ehrlich et Holdren, 1971).

En résumé on peut dire que cette période des années 1960-70 est marquée par un triple mouvement : une prise de conscience des impacts environnementaux négatifs à large échelle dus aux activités humaines, les débuts d'une gouvernance mondiale de l'environnement et des développements technologiques dans l'acquisition et le traitement des données.

On peut également ajouter à cette liste un intérêt nouveau pour des approches intégratrices capables de rendre compte des enjeux environnementaux dans une perspective élargie, systémique et non plus seulement sectorielle. C'est un des principes à la base de la pensée durabiliste qui sera formalisée en 1987 dans le rapport Brundlandt, validée politiquement au sommet de Rio en 1992, et qui marque encore aujourd'hui les agendas environnementaux et du développement.

2. La quantification de l'environnement

Dans ce contexte, la quantification de l'environnement, et des politiques liées, a explosé. Les données et les indicateurs sont devenus depuis quarante ans des instruments privilégiés des politiques publiques, aux échelles internationales, nationales ou locales. Ils sont vus comme un moyen d'aborder la complexité des phénomènes en jeu, qui sont par nature multidimensionnels et dynamiques. Ils sont promus comme des outils d'aide à la décision face à des situations complexes. Ils sont aussi une réponse à la demande sociétale de transparence, de participation et d'accès à l'information, en particulier dans les domaines de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Des systèmes d'information institutionnels sont mis en place à toutes les échelles, pour rendre plus efficace la production et l'utilisation des données par les divers acteurs des politiques publiques.

Les sources de données sont aujourd'hui multiples, que ce soit en termes d'acteurs – science, autorités politiques, entreprises, citoyens – ou de techniques – recensements, registres, satellites, capteurs terrestres, GPS, réseaux sociaux, etc. Au-delà de la donnée, dont le *Big Data* est le stade contemporain quelque peu absurde – des données produites en masse et de manière automatique, pour lesquelles on cherche des moyens et des buts d'utilisation – il convient de revenir aux approches conceptuelles qui à la fois génèrent et se nourrissent de la quantification de l'environnement. Quatre exemples seront abordés dans les chapitres suivants, qui contribuent chacun à leur manière à la « datafication » de la connaissance de l'environnement. Nous tenterons de voir dans quelle mesure ces diverses quantifications renseignent sur la durabilité et les urgences d'action.

2.1. Les évaluations de l'état de l'environnement selon les modèles PER et FPEIR

L'OCDE a ainsi développé un des premiers cadres systémiques pour l'évaluation intégrée de l'environnement, le modèle Pression – Etat – Réponse (PER) qui permet de décrire les interactions entre les activités humaines générant des pressions (P) sur l'état (E) de l'environnement ainsi que les réponses (R) sociétales pour répondre maintenir la qualité de l'environnement. Ce modèle a ensuite été étendu par l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA) pour inclure les forces motrices (F) profondes (par ex. démographie, économie) et les impacts (I) sur la santé, les écosystèmes, l'économie, etc (Figure 3).

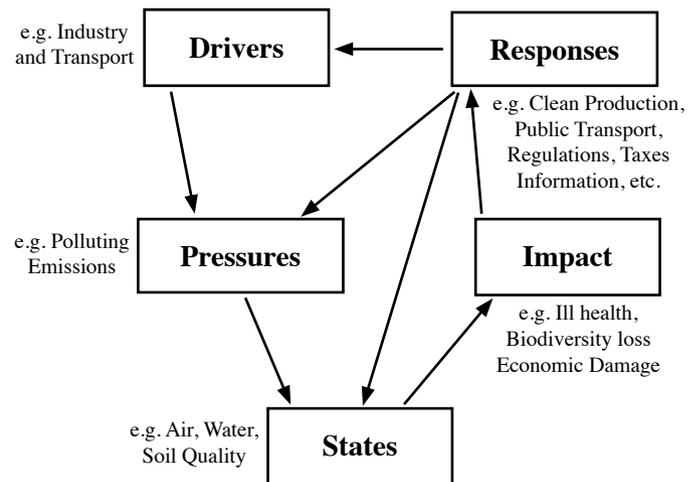


Figure 3. Modèle FPEIR (Jol et al. : 1997).

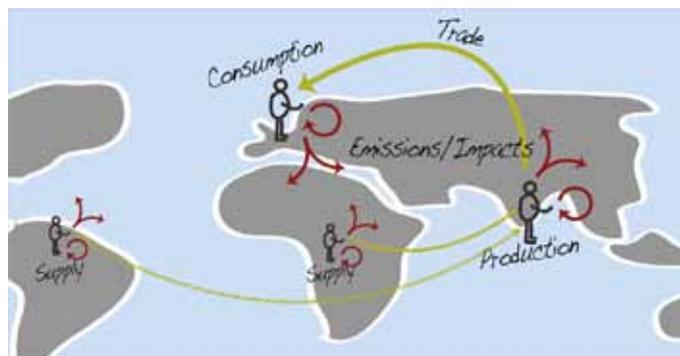
Ce cadre analytique est aujourd'hui largement utilisé pour les évaluations de l'environnement à toutes les échelles territoriales (*Global Environment Outlook* du PNUE, *State of the environment report* de l'Agence européenne de l'environnement, rapports « *Environnement suisse* »). Ces rapports font une large place à l'utilisation d'indicateurs chiffrés, ainsi qu'à des modélisations et des scénarii.

2.2. Les empreintes environnementales

Depuis les années 1990 une famille particulière d'indicateurs qu'on regroupe sous le terme d'*empreintes environnementales* permet de mesurer les impacts sur l'environnement selon une perspective dite de consommation ou de demande. Contrairement aux évaluations environnementales qui considèrent généralement les pollutions ou les impacts survenus sur un territoire donné (par ex. les émissions de gaz à effet de serre nationales telles que déclarées dans le cadre du Protocole de Kyoto), les empreintes prennent en compte les impacts tout au long des chaînes de production-consommation selon une perspective d'analyse du cycle de vie (ACV) d'un bien ou d'un service (« du berceau à la tombe »). Les indicateurs de type « empreinte », s'appuyant également sur des modèles économiques sur les échanges commerciaux, permettent de quantifier les impacts environnementaux induits par la consommation de biens et de services des habitants d'un territoire quel que soit le lieu où ces impacts se produisent dans le monde.

Les empreintes peuvent être mesurées selon différents types d'impacts, par exemple les émissions de carbone (*carbon footprint*), l'utilisation de l'eau (*water footprint*) ou des terres (*land footprint*), ou une agrégation de plusieurs impacts selon une unité de mesure standardisée telle que l'hectare global proposée par l'empreinte écologique (Rees : 1992; Wackernagel : 1994).

Adopter une perspective de type empreinte est de plus en plus pertinent dans notre économie mondiale interdépendante (Friot : 2009). Via les exportations et importations, de plus en plus d'impacts sont produits sur un autre territoire que celui sur lequel les biens et services sont finalement consommés (Figure 4). Ainsi, on estime que plus de la moitié des impacts environnementaux de la consommation suisse ont lieu à l'étranger (Frischknecht et al. : 2014; Jungbluth et al. : 2011).



Une étape cruciale des Analyses du Cycle de Vie (ACV) est l'Évaluation des Impacts du Cycle de Vie (EICV), qui permet de traduire l'inventaire des quantités de polluants émis et de ressources extraites en impacts finaux sur les humains (par ex. la santé) ou l'environnement (par ex. la qualité des écosystèmes).

2.3. L'évaluation environnementale (*environmental pour evaluation*)

L'évaluation environnementale (*environmental valuation*) recouvre diverses approches visant à attribuer une valeur économique et sociale à l'environnement. Des méthodes d'évaluation économique ont émergé dans les années 1970 (Westman : 1977) et ont connu des développements dans les années 1980 et 1990, notamment pour des applications au domaine de la biodiversité (Pearce et Moran : 1994).

L'évaluation intégrée des bénéfices procurés aux humains par la nature a gagné une dimension internationale au début des années 2000 avec les rapports d'« Évaluation des écosystèmes pour le millénaire » (EM)² des Nations Unies (Millennium Ecosystem Assessment : 2005). L'EM a pour objectif « d'évaluer les conséquences des changements écosystémiques sur le bien-être humain ». Elle propose un cadre théorique d'analyse du « capital naturel » qui identifie quatre types de services rendus à l'homme par les écosystèmes : les services de prélèvement (nourriture, eau, ...), de régulation (des inondations, des sé-

² <<http://www.millenniumassessment.org>>

cheresses, ...), d'auto-entretien (formation des sols, cycle des nutriments, ...), culturels (loisirs, religion, ...).

Au niveau politique, cette notion de « services écosystémiques » a par la suite été reprise pour la définition des « objectifs d'Aichi », le *Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020* des Nations Unies (2010). Les bases analytiques posées par l'EM ont également diffusé aux niveaux régionaux (voir le « Common International Classification of Ecosystem Goods and Services » promu par l'Agence Européenne de l'Environnement) et nationaux (voir par exemple les activités de reporting environnemental de la Suisse³).

Les « paiements pour les services écosystémiques » (PSE) sont une autre forme d'application politico-économique de la notion de services écosystémiques. Un exemple de mise en œuvre de PSE est l'initiative REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) lancée en 2008 et coordonnée par les Nations Unies⁴. REDD s'appuie sur des outils financiers et des calculs en lien avec le marché du carbone pour inciter les pays à préserver leur couvert forestier en leur donnant une valeur monétaire.

Les services écosystémiques sont désormais devenus un véritable champ académique produisant non seulement des réflexions théoriques mais aussi des outils numériques pour l'évaluation de la valeur des écosystèmes⁵.

Quant à l'économie, elle valorise aujourd'hui la nature de diverses manières, que ce soit à travers l'évaluation des risques liés à l'environnement, la création de labels pour les investissements « verts », la finance durable, les marchés de certificats permettant de compenser les impacts environnementaux (certificats d'économie d'énergie, de biodiversité⁶, crédits carbone, ...).

2.4. Les objectifs environnementaux politiques

Une quatrième manière de quantifier l'environnement est représentée par la fixation d'objectifs politiques chiffrés et mesurés par des indicateurs. Dans ce contexte, un objectif peut être défini comme « une valeur que l'indicateur devrait atteindre, accompagné ou non d'une date limite pour atteindre cette valeur (année cible) » (Eurostat, 2014). Les objectifs environnementaux et de développement durable sont adoptés dans le cadre de processus politico-administratifs qui impliquent aujourd'hui quasi systématiquement le développement d'indicateurs comme moyens de suivi (monitoring) des effets des politiques publiques.

Au niveau mondial, les Objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) des Nations Unies ont ainsi proposé en 2000 un objectif n.7 « Assurer un environnement durable », décliné en quatre cibles et mesuré par dix indicateurs. Au sommet des Nations Unies sur le développement durable (septembre 2015), les États membres de l'ONU ont adopté un nouvel *Agenda de développement durable* composé de 17 objectifs, 169 cibles et 159 indicateurs avec des valeurs à atteindre à l'horizon 2030 pour mettre fin à la pauvreté, lutter contre les inégalités et injustices, faire face au changement climatique et à la dégradation des écosystèmes.

De tels systèmes d'objectifs, cibles et indicateurs, se référant plus ou moins explicitement au développement durable, se retrouvent aux échelles continentales (par ex. la Stratégie Europe 2020, les indicateurs de l'Agence européenne de l'environnement⁷) et nationales (par ex. en Suisse, les 75 indicateurs de développement durable du système MONET⁸ et les 166 indicateurs environnementaux de l'Office fédéral de l'environnement⁹).

³ <<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01587/index.html?lang=fr>>

⁴ <<http://redd.unfccc.int>>

⁵ Voir par exemple les outils InVEST (Stanford University, <<http://www.naturalcapitalproject.org>>) ou ARTificial Intelligence for Ecosystem Services - ARIES (Basque Centre for Climate Change, Bilbao, <<http://aries.integratedmodelling.org>>).

⁶ Voir à ce sujet l'émission d'Arte « Nature, le nouvel Eldorado de la finance » <<http://info.arte.tv/fr/nature-le-nouvel-eldorado-de-la-finance>>

⁷ <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/about>>

⁸ <<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/21/02/01.html>>

⁹ <<http://www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren/14589/index.html?lang=fr>>

2.5. Quantification et lien avec la durabilité

Les quatre exemples présentés plus haut contribuent au phénomène massif de mesure et de quantification de l'environnement à l'œuvre depuis les années 1970, phénomène par ailleurs rendu possible par les nouveaux moyens de collecte de données et soutenu par les diverses demandes sociétales de transparence et d'« accountability » (devoir de rendre des comptes).

Le modèle FPEIR est un moyen efficace de décrire et comprendre un enjeu environnemental dans une vision synthétique de causes et conséquences, et de réfléchir à des actions à différents niveaux dans la chaîne des causalités. Mais ce cadre analytique ne dit pas directement, ni dans l'absolu, si un système est en situation de durabilité.

Quant aux indicateurs de type « empreinte », ils permettent d'évaluer l'importance et la localisation de l'ensemble des impacts environnementaux des biens et services consommés, et éventuellement de les traduire en des valeurs ayant une signification par rapport à la durabilité. Ainsi, l'empreinte écologique est par exemple exprimée en nombre de Terres nécessaires pour soutenir la consommation actuelle (Hoekstra et Wiedmann : 2014); avec une empreinte mondiale actuelle de 1,6, l'humanité se trouverait donc en situation de non durabilité. Toutefois, les empreintes demeurent des modèles, avec un niveau d'incertitude parfois important. Un indicateur populaire comme l'empreinte écologique est un excellent outil de communication, mais il peut aussi être perçu comme abstrait (comment traduire un « hectare global » en une réalité concrète ?) et être critiquable sur le plan scientifique (Blomqvist et al. : 2013; Fiala : 2008)¹⁰.

Les approches d'évaluation environnementale donnent une valeur à l'environnement, pas seulement en termes économiques, mais plus généralement en termes de bénéfices pour la société. Néanmoins, les ap-

¹⁰ Parmi les critiques avancées on peut relever les doutes sur la robustesse des méthodes de calcul pour la conversion des émissions de CO₂ en surfaces nécessaires à leur séquestration, la non prise en compte d'aspects qualitatifs importants comme la dégradation des sols.

plications concrètes consistent généralement à mettre un prix sur l'environnement et à l'internaliser dans le système économique existant. Les valeurs attribuées ne reflètent pas toujours une qualité intrinsèque des écosystèmes, mais elles sont plutôt un prix relatif que des acteurs sont prêts à attribuer à la nature (ainsi, dans une perspective d'assurance ou d'investissement, un récif corallien peut prendre des valeurs très différentes selon qu'il se trouve dans une zone touristique ou non). Diverses critiques relèvent que ces approches se développent dans un contexte de dérégulation de la gestion de l'environnement, de marchandisation et de privatisation de la nature. Les concepts d'« économie verte », de « capital naturel », de « services écosystémiques » ne seraient que des avatars « verts » du capitalisme classique, focalisés sur des questions d'efficacité, et qui masqueraient la nécessité de repenser la consommation selon un modèle véritablement durable.

Enfin, les objectifs environnementaux sont des compromis fluctuants au gré des agendas politiques. Un objectif politique peut être très en-deçà des réels enjeux et limites de l'environnement, tels qu'identifiés par la science. On le voit dans le cas du climat, pour lequel de nombreux scientifiques plaident pour objectif de limitation de hausse de la température globale à 1°C, plutôt que les 2°C utilisés dans les discussions sur le climat à la COP21 de Paris. Par ailleurs, les jeux d'indicateurs des politiques publiques subissent la plupart du temps ce biais empirique consistant à sélectionner les données déjà disponibles auprès des administrations, qui ne mesurent pas toujours de manière idéale les phénomènes en jeu.

Ces quatre exemples montrent que d'importants processus de quantification de l'environnement sont à l'œuvre depuis plus de quarante ans, mais que ceux-ci peinent à fournir des clés pour interpréter de manière pertinente la durabilité des impacts observés ainsi que pour évaluer les urgences et fixer des priorités d'action parmi la multiplicité des enjeux environnementaux auxquels nous faisons collectivement face actuellement. Des manques que le concept des limites planétaires pourrait contribuer à combler.

3. Les limites planétaires : évaluer les risques prioritaires pour le système Terre

3.1. Des limites bio-physiques ...

Le concept de limites planétaires a été développé par un groupe de chercheurs en 2009 (Rockström et al., 2009). Il propose une approche *quantitative et scientifique* des niveaux d'impacts environnementaux (pollutions, utilisation des ressources) à ne pas franchir pour éviter des conséquences indésirables sur le système Terre dans son ensemble et dans une perspective à long terme. Les neuf processus planétaires considérés sont :

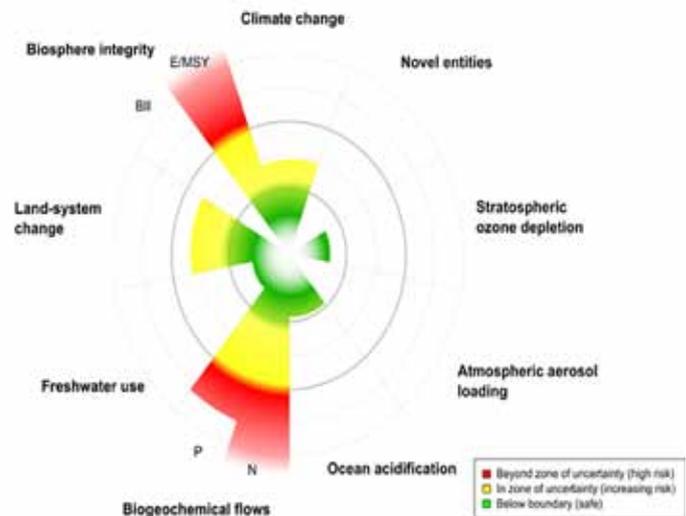
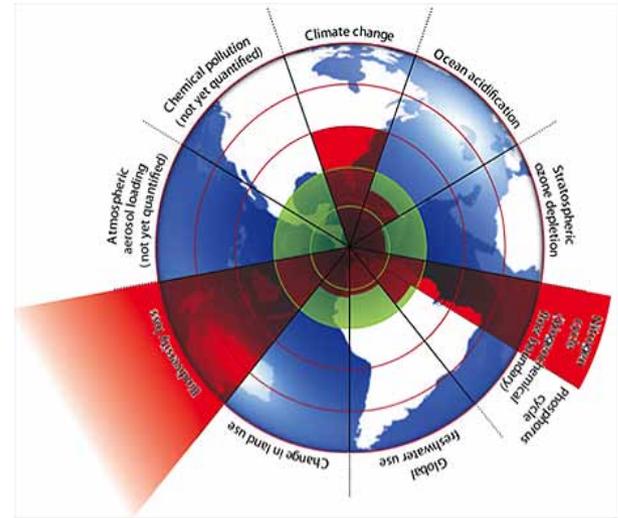
1. le changement climatique
2. l'acidification des océans
3. l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique
4. les apports d'azote et de phosphore dans la biosphère et les océans¹¹
5. l'utilisation de l'eau douce
6. l'augmentation des aérosols atmosphériques
7. le changement de l'utilisation du sol
8. la perte de la biodiversité
9. la pollution chimique.

Pour chaque limite, une ou plusieurs variables de contrôle (du processus) sont établies, comme par ex. la concentration de CO₂ dans l'atmosphère pour le changement climatique ou le taux d'extinction des espèces pour la perte de la biodiversité. L'article de Rockström et al. (2009) considère les limites comme déjà dépassées pour les apports d'azote, la perte de la biodiversité et le changement climatique, et proches d'être atteintes pour les apports de phosphore et l'acidification des océans. La représentation des limites sous la forme graphique d'une cible a contribué à la diffusion du concept (Figure 5, gauche).

Une mise à jour des limites planétaires en 2015 (Steffen et al. : 2015), outre quelques ajustements de défi-

¹¹ Les apports d'azote et de phosphore ont des impacts sur l'eutrophisation et l'acidification des écosystèmes terrestres, aquatiques et marins.

nitions, évalue plus sévèrement qu'en 2009 la situation de l'utilisation du sol et moins sévèrement la situation pour le changement climatique (Figure 5). Ceci est dû notamment à une prise en compte plus explicite des incertitudes des connaissances (cf. légende de la Figure 6).



Figures 5 et 6. Représentation des limites planétaires sous forme de cibles.
Sources : Rockström et al. (2009) ; Steffen et al. (2015)

La définition des limites planétaires évolue donc en fonction des nouvelles connaissances scientifiques et des données à disposition. Au-delà des (in)certitudes scientifiques, les limites planétaires ne pourront jamais être des vérités absolues, elles demeurent intrinsèque-

ment liées à un point de vue de l'environnement centré sur l'homme ainsi qu'à des choix préférentiels sur les niveaux d'impacts environnementaux que l'humanité est prête à supporter.

3.2. Un environnement anthropocentré

Depuis le début de l'Holocène, il y a env. 12'000 ans, l'humanité a bénéficié de conditions environnementales - notamment une relative stabilité et prévisibilité des climats - qui ont permis le développement des moyens de subsistance, de la démographie et des civilisations. Depuis la révolution industrielle de la fin du 18^{ème} siècle, la Terre serait entrée l'Anthropocène, selon le terme proposé par le prix Nobel de chimie Paul Crutzen (2002) pour désigner une nouvelle ère géologique dans laquelle l'homme est le facteur principal des changements environnementaux.

Les limites planétaires sont une tentative de synthétiser les niveaux d'impact environnemental à l'échelle globale qui permettent à l'humanité de se maintenir dans un espace de fonctionnement sécurisé (*Safe Operating Space*). Une limite planétaire est donc bien le « *niveau humainement déterminé d'une variable globale clé* » (Carpenter et Bennett : 2011). Il ne s'agit pas ici de sauver la planète (la vie continuera même si l'homme disparaît), ni de revenir à un quelconque état naturel originel, mais de limiter les impacts des activités humaines à un niveau qui permette au système Terre de continuer à soutenir l'humanité de la manière la plus stable possible. C'est pourquoi des thèmes environnementaux classiques des politiques environnementales comme l'énergie ou le bruit ne sont pas considérés car ils ne mettent pas directement en jeu les équilibres généraux de la planète.

Les limites planétaires posent une série de questions théoriques et méthodologiques qui montrent bien qu'elles ne sont pas naturellement déterminées, mais qu'elles dépendent de choix humains.

3.3. Des limites choisies et incertaines

Le premier aspect concerne les incertitudes liées à la détermination des limites, même si celle-ci se fait à partir de connaissances scientifiques. Plutôt qu'une valeur précise, une limite est en fait une zone de transition entre des niveaux sûrs et des niveaux risqués. Dans le cas du changement climatique, cela est illustré par le débat sur l'objectif des 1°C ou 2°C, ainsi que sur l'incertitude des modèles climatiques pour fixer les niveaux d'émissions de gaz à effet de serre correspondant à l'objectif choisi. Le GIEC (IPCC : 2013) explique ainsi que pour avoir 50% de chance de limiter la hausse des températures à 2° d'ici à 2100 il faut maintenir les émissions de gaz à effet de serre à 3000 GtCO₂ (intervalle de 2900 à 3200 GtCO₂). Par ailleurs, les effets croisés entre les différentes limites planétaires doivent encore être mieux connus (par exemple l'effet du changement climatique sur la perte de la biodiversité).

3.4. Partager équitablement les limites

Le second aspect concerne le partage des limites planétaires entre les Etats, qui sont le niveau incontournable des décisions politiques. Si la gouvernance internationale procède généralement sur la base d'engagements volontaires, l'approche par les limites planétaires offre l'opportunité de réfléchir à des critères objectifs d'allocation des droits et responsabilités. Une première étude sur la Suède (Nykqvist et al. : 2013) a appliqué le principe du poids démographique pour allouer des limites aux pays en fonction de la part qu'ils représentent dans la population mondiale. Une seconde étude sur la Suisse (Dao et al. : 2015) a repris ce principe en prenant également en compte, quand cela était pertinent et possible, les dettes environnementales, c'est-à-dire les impacts du passé (comme dans le cas de émissions de gaz à effet de serre). La méthode appliquée dans l'étude suisse traite la question de la croissance démographique en fixant à une date donnée la réparti-

tion des impacts admissibles pour chaque pays ; ce faisant, chaque pays est ensuite supposé gérer son allocation quelque soit son évolution démographique.

3.5. Mesurer les impacts à l'étranger

Un troisième enjeu réside dans l'évaluation des impacts environnementaux. Comme discuté plus haut, une perspective « empreinte » en complément de l'approche territoriale classique se révèle de plus en plus nécessaire dans le contexte d'un commerce international croissant. Ceci permet d'attribuer les impacts non plus seulement aux pays producteurs mais aussi aux pays dont la consommation a généré les pollutions et l'utilisation de ressources, non seulement sur le territoire national mais également à l'étranger. Ce choix du mode d'observation, *empreinte* ou *territorial*, est technique mais aussi politique car, en acceptant une perspective de type empreinte, un pays reconnaît l'idée d'une responsabilité sur ce qui se passe en dehors de ses frontières et son administration doit trouver les moyens d'obtenir des données sur des espaces au-delà de son autorité directe.

Il faut par ailleurs garder à l'esprit que les méthodes d'analyse de cycle de vie, de modélisation économique des échanges commerciaux sont encore caractérisées par un important niveau de simplification et d'estimation. Avec les recherches dans ce champ, la situation s'améliore cependant progressivement, et ces méthodes sont peu à peu intégrées aux comptabilités environnementales nationales.

3.6. Interprétation des performances et des priorités

Enfin, l'évaluation des performances et des priorités laissent largement la place à une interprétation des observations. Une manière simple de calculer une performance est de comparer les impacts mesurés aux limites préalablement fixées, par ex. au moyen d'un simple ratio impact/limite. Ce calcul a été appliqué dans l'étude

sur la Suisse¹² (Dao et al. : 2015), en prenant également en compte l'évolution du phénomène et les incertitudes, pour obtenir une évaluation des performances aux échelles mondiale et nationale, déclinée en quatre catégories exprimant la situation en termes de contribution aux risques pour le système planétaire (Figure 7) :



Figure 7. Catégories de performance

Finalement les priorités sont établies sur la base des performances : une limite planétaire est jugée prioritaire pour le pays si les performances sont estimées « Risqué » ou « Clairement risqué » à la fois au niveau mondial et national (Figure 8), comme c'est le cas pour la perte de la biodiversité, le changement climatique, l'anthropisation de la couverture du sol et les pertes d'azote pour la Suisse.

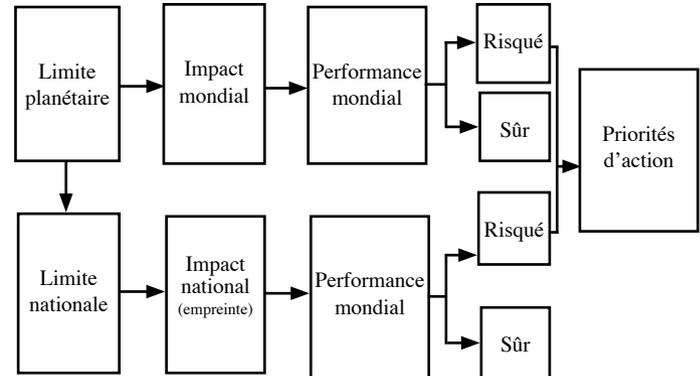


Figure 8. Limites planétaires prioritaires, basées sur les performances mondiales et suisses

L'approche des limites planétaires laisse encore ouvertes d'autres questions sociales de responsabilité (les pays les plus riches doivent-ils en faire plus ?), d'éthique (sur quelles règles se baser ?) et d'égalité (avons-nous tous les mêmes besoins ?). Elle a cependant le mérite de proposer des méthodes de quantification des limites et

¹² Une extension de l'étude suisse à une quarantaine de pays (représentant 90% du Produit Intérieur Brut mondial) est en cours de réalisation : projet blueDot, <<http://bluedot.world>>

des impacts, des principes de répartition, une synthèse multidimensionnelle des performances basée sur une évaluation des risques à long terme et débouchant sur des priorités d'action.

Les limites planétaires traitent essentiellement de la dimension environnementale du développement durable. En les confrontant à des indicateurs de développement humain, il serait possible d'indiquer notre position en termes de durabilité générale (Figure 9) :

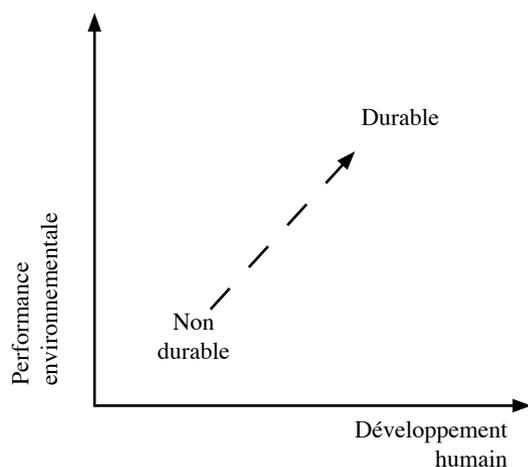


Figure 9. Durabilité environnementale et humaine

4. Qu'attendre de la quantification de l'environnement ?

4.1. Des limites scientifiques, vraiment ?

Le concept des limites planétaires montre que l'utilisation des connaissances scientifiques dans un contexte d'incertitudes n'évite pas des choix subjectifs et basés sur des valeurs (par ex. une certaine conception et acceptation des risques). Il convient de reconnaître que les modèles demeurent imparfaits, que les niveaux d'impact acceptables restent liés à des normes personnelles et sociales, et qu'il n'y a pas de réponse

unique aux questions de juste répartition des droits et responsabilités. Les méthodes quantitatives mises en œuvre devraient surtout être employées comme un support à la discussion sur différentes options. Le recours à des chiffres, des images simplifiées telles que les cibles (Figure 5) ou d'acronymes accrocheurs (SOS pour *Safe Operating Space*) ne doit pas empêcher un examen constant des postulats, méthodes et données. Les indicateurs ne sont pas des objectifs en eux-mêmes, ils doivent donc rester un moyen de favoriser la discussion en vue de décisions, qui renvoient au final à des choix de société.

Ainsi, il faut éviter de dépolitiser les décisions avec l'illusion que des choix s'imposeraient naturellement d'eux-mêmes sur la base d'analyses scientifiques ; mais à l'inverse, il faut aussi éviter de politiser la science en l'utilisant pour justifier des choix résultant d'une vision du monde plus que d'une vérité absolue.

4.2. Un monde fini et inter-relié

Partant du constat que l'homme est devenu le principal facteur des changements environnementaux, il apparaît nécessaire de se (re)poser la question de la finitude de notre monde comme le propose le concept des limites planétaires, et d'accepter l'idée qu'un espace de fonctionnement sécurisé du système Terre doit être déterminé (malgré les incertitudes de la science) afin d'assurer les bases bio-physiques du fonctionnement des sociétés humaines sur le long terme.

Les limites planétaires, et les approches de type empreinte, expriment de manière quantitative le fait que l'ici et l'ailleurs sont liés d'un point de vue économique, mais aussi environnemental et social. Les consommations dans un lieu donné ont des impacts dans le monde entier, une vision exclusivement territoriale (en particulier nationale) n'est désormais plus pertinente. Finitude et liens globaux imposent de traiter la question du partage des droits et des responsabilités, à travers l'espace et le temps, afin de garantir une forme de justice dans les efforts d'adaptation qui doivent être fournis face au défi environnemental.

4.3. Pour plus d'information régulatrice

Au final, le foisonnement actuel des sources de données issu de la « Data revolution » (UN/IEAG : 2014) et le contexte des changements environnementaux globaux renforce le besoin de cadres d'interprétation pertinents. Il s'agit d'une part de donner du sens à un déluge de données qui courent le risque de demeurer des « intuitions aveugles » (pour paraphraser « La critique de la raison pure » de Kant). D'autre part, pour faire face aux enjeux de durabilité, nous avons aujourd'hui besoin davantage d'information régulatrice, pour reprendre les termes du géographe Claude Raffestin (Raffestin : 1980), c'est-à-dire d'une information qui permette de maintenir les équilibres fondamentaux dans et entre les systèmes physiques et humains.

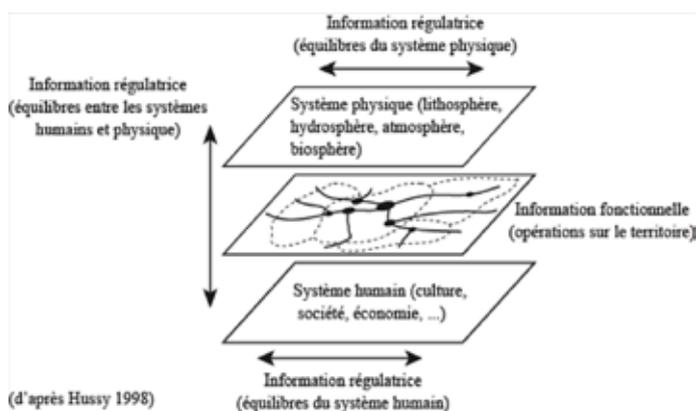


Figure 10. Information régulatrice et information fonctionnelle

Dans ses actions concrètes, l'homme mobilise un autre type d'information dite fonctionnelle, celle qui lui permet de combiner concrètement la matière et l'énergie pour intervenir sur le territoire défini comme l'interface entre systèmes physiques et humains. Les activités de l'homme modifient à la fois le territoire et les logiques physiques et humaines qui le sous-tendent (par ex. l'urbanisation et ses conséquences sur le climat, la biodiversité, les cultures, ...).

Depuis la révolution industrielle la société moderne a été très efficace pour créer de l'information fonctionnelle

qui a rendu possible l'exploitation des ressources environnementales, mais qui a aussi généré des impacts mettant aujourd'hui en danger les bases physiques et sociales de nos sociétés. Il est donc essentiel de promouvoir une information régulatrice sur les grands équilibres systémiques, une information qui devrait cadrer l'information fonctionnelle de nos actions concrètes. Par exemple, le fonctionnement d'un secteur économique devrait pouvoir être examiné à l'aune des limites planétaires (information régulatrice) afin de donner des indications sur des choix de consommation, de technologies, de législations ou de partenaires commerciaux. La notion de limite ne doit donc pas être simplement perçue comme l'idée d'un frein à la croissance des activités humaines, mais bien comme un cadre d'interprétation de la durabilité de ces activités par rapport au fonctionnement du système Terre (ce que l'humanité fait aujourd'hui, pourra-t-elle le maintenir dans le futur sans mettre en danger les fondements bio-physiques globaux ?).

La production d'une telle information régulatrice est la première urgence, qui permettra de définir les véritables priorités d'action pour les Etats, les entreprises et les individus dans un objectif de durabilité de nos sociétés.

Références

- BLOMQVIST, Linus *et al.* (2013), « Does the Shoe Fit? Real versus Imagined Ecological Footprints », *PLOS Biol*, 11(11), e1001700. <http://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001700>
- CARPENTER, Stephen R. & BENNETT, Elena M. (2011), « Reconsideration of the planetary boundary for phosphorus », *Environmental Research Letters*, 6 (1), 014009. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/6/1/014009>
- CARSON, R. (1963), *Le Printemps Silencieux*, Trad. J. F. Gravrard, Paris : Plon.
- COSTANZA, R., *et al.* (1997), « The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital », *Nature*, pp. 387, 253-260.
- CRUTZEN, P.J. (2002), « Geology of Mankind », *Nature*, 415 (6867), pp. 23-23. <http://doi.org/10.1038/415023a>

- RAPPORT, D. & FRIEND, A. (1979), « Towards a Comprehensive Framework for Environmental Statistics: a Stress-response Approach », *Statistics Canada Catalogue* 11-510, Ottawa : Minister of Supply and Services Canada.
- DAO, Hy *et al.* (2015), « Environmental Limits and Swiss Footprints Based on Planetary Boundaries », Genève : UNEP/GRID-Geneva et Université de Genève. <<http://pb.grid.unep.ch>>
- EEA (2014), « Digest of EEA indicators 2014 », *EEA Technical Report*, No 8/2014.
- EHRlich, Paul R. & HOLDREN, John P. (1971), « Impact of Population Growth », *Science*, 171(3977), pp. 1212–1217. <<http://doi.org/10.1126/science.171.3977.1212>>
- EUROSTAT (2014), « Getting Messages across Using Indicators. A Handbook based on Experiences from Assessing Sustainable Development Indicators », *Eurostat Manuals and Guidelines*, Luxembourg : Eurostat.
- FIALA, Nathan (2008), « Measuring Sustainability: Why the Ecological Footprint is Bad Economics and Bad Environmental Science », *Ecological Economics*, 67(4), pp. 519–525. <<http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.023>>
- FRIOT, Damien (2009), *Environmental Accounting and Globalisation. Which Models to Tackle New Challenges? Applying Economics-Environment-Impacts Models to Evaluate Environmental Impacts Induced by Europe in China, and EU Carbon Tariffs*, Paris : Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. <<https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00527496>>
- FRISCHKNECHT, Rolf, *et al.* (2014), « Development of Switzerland's Worldwide Environmental Impact », Berne : Office Fédéral de l'Environnement. <<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01771/index.html?lang=en>>
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- (1979), « Energy Analysis and Economic Valuation », *Southern Economic Journal*, 1023-1058.
- HÁK, Tomas., MOLDAN, Bedrich & DAHL, Arther L. (2012), *Sustainability Indicators: A Scientific Assessment*, Washington : Island Press.
- HOEKSTRA, Arjen Y. & WIEDMANN, Thomas O. (2014), « Humanity's Unsustainable Environmental Footprint », *Science*, 344 (6188), pp. 1114–1117. <<http://doi.org/10.1126/science.1248365>>
- HÜSSY, Charles (2016), « La territorialité, éléments pour une approche écogénétique », *Société de Géographie de Genève*. <<http://www.sgeo-ge.ch>>
- IPCC (2013), « Summary for Policymakers », *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 28). Cambridge (UK) et New York (USA) : IPCC. <<http://www.ipcc.ch/report/ar5>>
- JOL, Andre, *et al.* (1997), *Air Pollution in Europe 1997*, Copenhagen : EEA.
- JUNGBLUTH, Niels, STUCKI, Matthias & LEUENBERGER, Marianne (2011), *Environmental Impacts of Swiss Consumption and Production. A Combination of Input-output Analysis with Life Cycle Assessment*, Berne : Office Fédéral de l'Environnement.
- MEADOWS, Donella H., *et al.* (1972), *The Limits to Growth*, New York : Universe.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005), « Ecosystems and Human Well-being: General Synthesis. A Report of the Millennium Ecosystem Assessment », Washington DC : Millennium Ecosystem Assessment.
- NYKVIST, B., *et al.* (2013), « National Environmental Performance on Planetary Boundaries. A study for the Swedish Environmental Protection Agency », Swedish Environmental Protection Agency, nr. 6576. <<http://www.naturvardsverket.se/Om-Naturvardsverket/Publikationer/ISBN/6500/978-91-620-6576-8>>
- OECD (Organization of Economic Cooperation and Development) (1994), « Environmental Indicators », OECD core sets, Paris : OECD.
- PEARCE, David & MORAN, Dominic (1994), *The Economic Value of Biodiversity*, London : Routledge.
- RAFFESTIN, Claude (1980), « Plaidoyer pour une écologie humaine », *Archives suisses d'anthropologie générale*, 44 (2), pp. 123–129.
- REES, William E. (1992), « Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics

- Leaves Out», *Environment and Urbanization*, 4 (2), pp. 121–130. <<http://doi.org/10.1177/095624789200400212>>
- ROCKSTRÖM, Johan *et al.* (2009), « A Safe Operating Space for Humanity », *Nature*, 461(7263), pp. 472–475. <<http://doi.org/10.1038/461472a>>
- STEFFEN, Will, *et al.* (2015), « Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet », *Science*, 347 (6223), 1259855. <<http://doi.org/10.1126/science.1259855>>
- UN/IEAG (2014), « A World that Counts. Mobilising the Data Revolution for Sustainable Development. United Nations », <<http://www.undatarevolution.org>>
- WACKERNAGEL, Mathis (1994), « Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: A Tool for Planning Toward Sustainability », Vancouver : Doctoral dissertation of the University of British Columbia. <<http://circle.ubc.ca/handle/2429/7132>>
- WESTMAN, Walter E. (1977), « How Much Are Nature's Services Worth? », *Science*, 197 (4307), pp. 960–964. <<http://doi.org/10.1126/science.197.4307.960>>