

# document de travail

Octobre 2012

127

## **L’empreinte écologique et l’utilisation des sols comme indicateur environnemental : quel intérêt pour les politiques publiques ?**

Jeroen van den Bergh, Universitat Autònoma de Barcelona ([jeroen.bergh@uab.es](mailto:jeroen.bergh@uab.es))

Fabio Grazi, Agence Française de Développement ([grazif@afd.fr](mailto:grazif@afd.fr))

### Département de la Recherche

Agence Française de Développement 5 rue Roland Barthes  
Direction de la Stratégie 75012 Paris - France  
Département de la Recherche [www.afd.fr](http://www.afd.fr)



## Auteurs

**Jeroen van den Bergh**, Institut des sciences et technologie de l'environnement & Département d'économie et d'histoire économique, Universitat Autònoma de Barcelona (ICREA), Edifici Cn - Campus UAB 08193 Bellaterra, Espagne  
Faculté d'économie et d'administration des entreprises & Institut d'études environnementales, Vrije Universiteit (VU) d'Amsterdam, Pays-Bas  
jeroen.bergh@uab.es

**Fabio Grazi**, département de la Recherche, AFD  
grazif@afd.fr

## Avertissement <sup>1</sup>

Les analyses et conclusions de ce document sont formulées sous la responsabilité de ses auteurs. Elles ne reflètent pas nécessairement le point de vue de l'AFD ou de ses institutions partenaires.

Directeur de la publication : Dov ZERAH

Directeur de la rédaction : Alain HENRY

ISSN : 1958-539X

Dépôt légal : 3<sup>ème</sup> trimestre 2012.

Mise en page : Eric Thauvin

<sup>1</sup> Cet article est la traduction française du manuscrit original intitulé « Footprint Policy ? Land Use as an Environmental Indicator », dont la publication est actuellement à l'étude (van den Bergh et Grazi, 2012). Nous remercions Elisabeth Gsottbauer, Giorgos Kallis, Ivana Logar, Filka Sekulova et trois lecteurs anonymes pour leurs remarques pertinentes. Les avertissements d'usage s'appliquent.

# Sommaire

<b>Résumé</b>	<b>5</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>6</b>
<b>2. Cinq considérations méthodologiques</b>	<b>9</b>
<b>3. Commerce international et utilisation des sols par pays et région</b>	<b>12</b>
<b>4. Intérêt pour les politiques publiques</b>	<b>14</b>
<b>5. Conclusion</b>	<b>18</b>
<b>Références</b>	<b>19</b>



## Résumé

Cet article soutient que les politiques de développement durable doivent considérer les dimensions spatiales des problèmes environnementaux et leurs solutions. La configuration spatiale des activités économiques mérite une étude particulière, ce qui suppose d'examiner la dynamique d'utilisation des sols, les infrastructures, le commerce international et les transports. Malheureusement, l'analyse et la conception des politiques spatio-environnementales manquent d'une théorie et d'indicateurs solidement développés sur lesquels s'appuyer.

Depuis une dizaine d'années, le concept d'empreinte écologique exerce une certaine influence. Malgré les critiques qui lui ont été adressées, cet outil de comptabilité environnementale doublé d'un indicateur agrégé employé par les scientifiques, les organisations écologiques et les médias

grand public, suscite une adhésion croissante, et les revues scientifiques accueillent un nombre grandissant d'articles appliquant cette méthode. Nous analysons le concept de l'empreinte écologique sous l'angle de la méthodologie des indicateurs et du bien-être et évaluons son intérêt pour l'action publique. Nous concluons qu'il ne produit aucune information signifiante pour éclairer les politiques publiques.

Mots clés : Agglomération ; Commerce international ; Dépassement écologique ; Économie régionale et urbaine ; Énergie ; Politique de développement durable ; Réchauffement climatique ; Soutenabilité environnementale.

Codes JEL : Q56, Q57, R14, R52.

# 1. Introduction

La recherche d'indicateurs de soutenabilité environnementale et de développement durable est un thème récurrent de la littérature consacrée aux sciences et politiques environnementales. Le concept d'« empreinte écologique » s'est largement imposé pour apporter un éclairage sur la soutenabilité ou le manque de soutenabilité des activités et des régions et pays (Wackernagel et Rees, 1996 ; Rees, 2002 ; Vogelsang, 2002 ; Wackernagel et al., 2002 ; Rees, 2003). Les études sur ce sujet sont extrêmement nombreuses. Ainsi, une recherche effectuée dans la base de données *ISI web of knowledge* sur les mots clés « empreinte écologique » produit une liste de plus de 500 articles parus dans des revues scientifiques, le nombre d'articles publiés tendant à augmenter au fil des ans, passant de 20 en 2001 à 104 en 2008. Dans les seules revues éditées par Elsevier, le concept apparaît dans plus de 1 000 articles, dont plus d'un tiers ont été publiés dans *Ecological Economics*. L'un des articles les plus cités dans cette revue est en fait une introduction à l'empreinte écologique<sup>2</sup>. Autre exemple, Google produit plus de 2,5 millions d'occurrences du terme « empreinte écologique » et Google Scholar plus de 26 000 (3 mai 2012).

Nul doute que cette abondance tient au moins en partie aux efforts du *Global Footprint Network* pour diffuser la méthode de l'empreinte écologique, avec le soutien du *World Wildlife Fund* et d'une longue liste d'organisations écologistes et d'instituts de recherches nationaux et locaux (<http://www.footprintnetwork.org>). Si un indicateur est aussi apprécié, ses caractéristiques méthodologiques méritent une évaluation sérieuse, que nous nous proposons de réaliser ici.

<sup>2</sup> Tous les indicateurs ont été obtenus le 25 avril 2010.

<sup>3</sup> Dans les récentes applications (postérieures à 2008), la méthode de l'empreinte écologique ne tient plus compte de la « surface énergie nucléaire » (voir <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN>).

<sup>4</sup> Afin de comparer des unités spatiales non homogènes, la méthode de l'empreinte écologique convertit la surface d'un écosystème en hectares globaux moyens (gha) en utilisant des facteurs de productivité locale et d'équivalence générale.

L'empreinte écologique est à la fois une méthode comptable et un indicateur agrégé. La méthode comptable convertit les flux d'énergie et de matières entrants et sortants d'une économie ou activité, en surface terrestre (et parfois également en surface aquatique) nécessaire pour accommoder ces flux, à partir de sept catégories d'utilisation des sols : terrains bâtis, terres cultivées, forêts, zones de pêche, surface destinée à la séquestration du carbone ou « surface carbone » et surface allouée à l'énergie nucléaire ou « surface énergie nucléaire »<sup>3</sup>. Le résultat de cette comptabilité, exprimé en unités de surface<sup>4</sup>, est interprété sans discrimination par les tenants de l'empreinte écologique comme la quantité de biocapacité ou de surface terrestre (et aquatique) biologiquement productive que les hommes utilisent (ou qu'ils demandent) pour générer les ressources et absorber les déchets (Wackernagel et Rees, 1996). Il faut néanmoins observer que d'autres études consacrées à l'empreinte écologique en donnent des interprétations et des définitions différentes, mutuellement contradictoires (van Kooten et Bulte, 2000, p. 386).

L'empreinte écologique peut être calculée pour des activités et des unités spatiales – villes, régions, pays – ou pour le monde entier. Elle peut en outre servir à calculer un indicateur de « déficit écologique » régional ou national, qui est défini comme la différence entre l'empreinte écologique et la capacité écologique disponible de l'unité spatiale considérée. Il est alors possible de classer les pays en fonction de l'empreinte écologique totale ou par habitant et de juger les régions et les pays écologiquement soutenables ou non selon que leur « déficit écologique » est négatif ou positif.

La méthode de l'empreinte écologique (et sans doute plus particulièrement son nom accrocheur) est à l'origine des

notions apparentées d'empreinte énergétique, d'empreinte carbone et d'empreinte aquatique, cette dernière suscitant une véritable explosion d'études (Feng, 2002 ; Hoekstra et Chapagain, 2007). Le concept d'empreinte aquatique surfe avec bonheur sur la notoriété de l'empreinte écologique, bien que les deux concepts n'aient guère de point commun hormis le nom et le principe consistant à traduire divers impacts environnementaux en une unité unique (volume ou m<sup>3</sup> au lieu de surface ou ha). Le concept d'empreinte carbone est encore plus déroutant, d'autant que sa définition n'est pas parfaitement uniforme dans tous les écrits. Selon une version, l'empreinte carbone est la somme de toutes les émissions de gaz à effet de serre (GES) produites par une activité, une organisation ou une unité spatiale, exprimée en tonnes équivalent dioxyde de carbone. Selon une confusion très répandue, l'empreinte carbone serait une composante de l'empreinte écologique (voir par ex., [http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_footprint](http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_footprint)), mais c'est inexact car les surfaces carbone ne sont pas exprimées en CO<sub>2</sub>e mais en unités de surface (par ex. des hectares). En réalité, le terme « empreinte carbone » pour qualifier des données exprimées en unités de CO<sub>2</sub>e est source de confusion et inutile – des termes comme « comptabilisation du carbone » ou « total des émissions de (dioxyde de) carbone » seraient plus neutres. Wiedmann et Minx (2007) avancent en outre que les études qui prétendent calculer l'empreinte écologique n'en donnent aucune définition uniforme. On notera que bien que le terme « empreinte carbone » soit dérivé de l'empreinte écologique, les études consacrées à cette dernière n'ont eu aucune influence sur l'élaboration de méthodes de calcul d'unités de CO<sub>2</sub>e ou d'émissions indirectes de CO<sub>2</sub> (par ex., Proops et al., 1993).

Cet article se propose de répondre à la question suivante : est-il utile de consacrer autant d'énergie intellectuelle, de temps et de crédits de la recherche aux applications de l'empreinte écologique ? Pour apporter une réponse, il faut réaliser que la méthode quantitative de l'empreinte écologique souffre de plusieurs carences qui, comme nous nous proposons de le démontrer ici, en font un outil de politique publique médiocre et peu fiable, malgré toutes les bonnes intentions de ses inventeurs et de ses utilisateurs. Beaucoup d'entre eux ne semblent pas conscients des

insuffisances méthodologiques pointées par les économistes et les scientifiques spécialistes de l'environnement (par ex., Gordon et Richardson, 1998 ; van den Bergh et Verbruggen, 1999 ; VROMraad, 1999 ; Ayres, 2000 ; Moffatt, 2000 ; Opschoor, 2000 ; EAI, 2002 ; Grazi et al., 2007 ; Lenzen et al., 2007 ; Fiala, 2008 ; van den Bergh et Grazi, 2010). Notons qu'une récente évaluation des imperfections de la méthode de l'empreinte écologique par ses partisans les plus reconnus (Kitzes et al., 2009) a recensé 26 insuffisances mineures mais a étonnamment passé sous silence les carences les plus importantes pointées dans des publications antérieures.

Partant des insuffisances précédemment recensées, plusieurs modifications de la méthode de l'empreinte écologique ont été proposées – par exemple, isoler l'énergie sortante, ce qui comprend l'utilisation de mesures dites d'exergie, introduire l'hétérogénéité spatiale, recourir à des scénarios d'énergie durable alternatifs et rendre compte des effets indirects par des modèles intrants-extrants (par ex., Bicknell et al., 1998 ; van Vuuren et Smeets, 2000 ; Luck et al., 2001 ; Wiedmann et al., 2006 ; Chen et Chen, 2007 ; Siche et al., 2008). Jusqu'ici cependant, ces suggestions n'ont pas eu d'influence sur l'application courante de la méthode.

Plusieurs critiques de l'empreinte écologique trouvent leur origine dans des approches empruntées à l'économie, en particulier l'économie environnementale, la théorie de la localisation et la théorie du commerce international. En fait, une conclusion importante de notre évaluation sera que l'économie propose un cadre plus complet et intrinsèquement plus cohérent pour aborder les questions que les études de l'empreinte écologique paraissent effleurer, en particulier celles relatives à la soutenabilité spatiale, (qui considèrent les notions d'utilisation des sols, de choix de la localisation, d'agglomération, de densité de population, d'infrastructures), ainsi que le commerce international et les transports régionaux et internationaux. Il n'est donc pas surprenant que les économistes aient été les principaux critiques de la méthode de l'empreinte écologique et qu'ils la jugent trop simpliste pour confronter des questions difficiles et importantes.

L'objectif de cet article est d'évaluer l'empreinte écologique en tant que méthode comptable et l'indicateur agrégé qu'elle produit. Nous analysons six problèmes principaux liés à la méthode, dont la plupart concernent le mode de calcul de l'empreinte écologique absolue et, par implication, les indicateurs dérivés, comme l'empreinte écologique par habitant ou par région et le « déficit écologique ». D'autres interrogations concernent spécifiquement ces indicateurs

dérivés ou applications et interprétations ; cinq sont étudiées à la section 2, tandis que la sixième, qui touche à la soutenabilité du commerce international et de l'utilisation des sols et demande un développement plus long, est traitée séparément à la section 3. Enfin, la section 4 analyse l'intérêt de l'empreinte écologique pour les politiques publiques. Nos conclusions sont présentées à la section 5.

## 2. Cinq considérations méthodologiques

Nous proposons ici une évaluation des carences de la méthode de l'empreinte écologique pour mesurer l'impact environnemental en partie motivée par des études antérieures, notamment van den Bergh et Verbruggen (1999), van Kooten et Bulte (2000), Opschoor (2000), Grazi et al. (2007) et Fiala (2008). La liste ci-après développe l'analyse de van den Bergh et Grazi (2010).

**(1) Bien que l'empreinte écologique désigne une surface hypothétique (exprimée en ha ou en km<sup>2</sup>), elle risque d'être interprétée comme une mesure réaliste, ou pis, comme l'utilisation réelle des sols, ce que nous appellerons « fausse tangibilité ».** Pour le comprendre, il faut réaliser que la méthode de l'empreinte écologique calcule la surface terrestre utilisée par une activité ou économie humaine comme si elle était écologiquement viable, ce qui signifie que certains types de pollution doivent être neutralisés. Cette neutralisation se traduit ensuite en surface (utilisée). La transformation d'une situation non viable en situation viable requiert un certain nombre d'hypothèses qui rendent le résultat en termes de surface utilisée intrinsèquement hypothétique.

C'est la raison pour laquelle l'empreinte écologique mondiale peut être supérieure à la surface terrestre « bioproductive » de la planète, phénomène que l'on appelle « dépassement écologique ». Cela dit, il faut bien comprendre que l'on compare ici une surface utilisée hypothétique et une surface disponible réelle (approximative – voir plus loin).

En revanche, l'analyse traditionnelle du dépassement écologique (par ex. pour les zones de pêche) compare des variables réelles (non hypothétiques) exprimées dans des unités identiques. La fausse tangibilité et le dépassement écologique qui lui est associé dans les études de l'empreinte écologique tiennent principalement à la composante

« surface carbone », qui transforme les émissions de CO<sub>2</sub> en surface (voir le point 3, où il est relevé que l'empreinte de nombreux pays devient alors deux fois supérieure à la superficie réellement utilisée). Dans une moindre mesure, la fausse tangibilité est le résultat de transformations multiples visant à obtenir l'unité artificielle « hectares globaux » pour toutes les catégories d'utilisation des sols, ce qui amène ces surfaces hypothétiques à s'écarter des surfaces réelles utilisées exprimées en hectares normaux (voir détails plus loin).

Bien entendu, la surface réelle utilisée ne pourrait jamais être supérieure à la surface disponible. L'empreinte écologique mesure quelque chose d'irréel, en ce sens que la surface terrestre n'est pas littéralement occupée par ces activités. Cela signifie qu'alors qu'une activité n'utilise qu'un hectare de terre disponible, l'empreinte écologique laisse à penser que son « empreinte écologique effective » est plus importante.

Le concept d'empreinte écologique aurait probablement eu moins de succès si les unités qui l'expriment avaient été moins concrètes et familières. Cette remarque ne nie pas bien entendu la réalité de la rareté de la terre pour certaines régions du monde. Cependant, pour en rendre compte, il serait plus judicieux qu'un indicateur s'attache aux surfaces réellement utilisées et exclue toutes les composantes hypothétiques présentes dans la méthode de l'empreinte écologique. Des efforts ont été faits pour opérer cette exclusion mais ils n'ont pas eu d'influence sur l'approche dominante de l'empreinte écologique (van Vuuren et Smeets, 2000 ; Lenzen et Murray, 2001).

Pour compliquer un peu plus les choses, l'empreinte écologique (demande) et la capacité bioproductive (offre) sont couramment mesurées en « hectares globaux ». Cela

implique une conversion de la surface réellement utilisée pour l'exprimer dans cette unité de mesure artificielle, qui est malgré tout exprimée comme s'il s'agissait d'hectares normaux. Un « hectare global » est une unité de mesure qui définit une surface de productivité moyenne ; en effet un hectare global de terre cultivée occupe une surface moindre qu'un hectare global de pâturage, car ce dernier est moins productif. En outre, puisque la productivité peut varier dans le temps, la valeur d'un hectare global n'est pas constante. Du fait de ces deux caractéristiques, l'empreinte écologique, mais aussi la capacité bi productive, désignent une surface hypothétique. Le test de soutenabilité se réduit donc à une comparaison de deux quantités hypothétiques, qui de surcroît peuvent varier, ce qui est pour le moins déroutant. La simplicité et la clarté souvent revendiquées de l'approche de l'empreinte écologique sont donc trompeuses.

### **(2) L'opération qui consiste à réduire les problèmes environnementaux à une superficie représente une théorie de la valeur implicite de la terre, selon laquelle la rareté l'emporterait sur toute autre préoccupation.**

Cette théorie attribue un poids dominant à un facteur de production (la terre) qui rappelle les théories marxistes de la valeur du travail et de la valeur de l'énergie (Odum, 1971), toutes deux assez abondamment critiquées (Daly et Umaña, 1981). Une autre difficulté se pose en ce que l'agrégation de différents problèmes environnementaux dans l'empreinte écologique repose sur des poids implicites arbitraires et fixes, qui ne correspondent pas à une logique physique ou chimique ni à des valeurs sociales.

Certaines catégories se voient attribuer des poids identiques, même s'il est clair qu'elles ont des impacts très différents sur l'environnement. Ainsi, 1 km<sup>2</sup> d'infrastructure routière n'a pas le même impact que des émissions de CO<sub>2</sub> captées par 1 km<sup>2</sup> de forêt, mais ils sont pourtant traités comme s'ils étaient identiques. Une motivation plus explicite du choix des poids serait souhaitable. Elle pourrait reposer sur des préférences individuelles révélées ou déclarées (Ahlheim et Frör, 2005).

Ce problème de l'agrégation des indicateurs et du poids est reconnu depuis longtemps dans les ouvrages consacrés à l'évaluation des impacts environnementaux et à l'analyse du cycle de vie (par ex., Daniel et al., 2004), mais ceux-

ci n'ont pas eu d'influence sur le développement de l'empreinte écologique.

**(3) Pour la plupart des pays riches, l'empreinte écologique résulte, pour moitié environ, de la conversion en surface terrestre du réchauffement climatique dû aux émissions de dioxyde de carbone d'origine anthropique.** Cette conversion requiert l'hypothèse d'un « scénario énergétique soutenable » dans lequel le dioxyde de carbone est capté par la reforestation (« surface carbone » ou « surface d'absorption »). Ce scénario signifie qu'un poids arbitraire, sans fondement, est implicitement attribué au changement climatique. Comme il ne repose pas sur une logique physique, biologique ou socioéconomique, il peut être trop faible ou trop élevé. Baser l'empreinte écologique sur un seul scénario n'a pas beaucoup de sens si ce scénario est arbitraire du point de vue environnemental et économique.

Par exemple, il n'y a simplement pas assez de terre disponible pour créer la quantité de forêts qui compenserait toutes les émissions de CO<sub>2</sub> en cause (excessives compte tenu de l'effet de réchauffement climatique d'origine anthropique). De plus, une telle sollicitation de la terre augmenterait dramatiquement son prix, ce qui rendrait attractives d'autres solutions, moins consommatrices de terre. Il serait préférable d'envisager plusieurs stratégies réalisables, comme l'application à grande échelle de diverses technologies d'énergie renouvelable, ou une combinaison de ces technologies, qui pourrait peut-être également comprendre la reforestation. Nombre de ces alternatives produiront une estimation plus basse de la « surface énergie » que la stratégie par défaut de la méthode de l'empreinte écologique.

Le simple fait qu'on puisse établir un lien entre les émissions de CO<sub>2</sub> contribuant au changement climatique et les « surfaces carbone » et ainsi, l'« utilisation des sols » – par opposition par exemple aux pluies acides ou à la destruction de la couche d'ozone – ne signifie pas qu'il faut se servir de ce lien pour traduire du CO<sub>2</sub> en surface utilisée et exclure de l'équation les pluies acides et la destruction de la couche d'ozone. Ce serait là une approche non scientifique, très arbitraire, de l'explication des problèmes environnementaux. S'il est impossible de rapporter certains

problèmes au même dénominateur, tout effort pour les agréger ne peut que tenir de la pseudoscience.

Les partisans de la méthode de l'empreinte écologique avancent pour la défense de la « surface carbone » qu'elle représente la situation actuelle tandis que les autres scénarios mentionnés représenteraient les technologies futures. Cet argument n'est pas convaincant car la surface carbone n'est qu'une stratégie parmi d'autres, nombreuses, toutes réalisables, coûteuses et débattues pour une raison ou une autre. On ne peut pas affirmer qu'allouer des surfaces à la séquestration du carbone représente la stratégie la plus réalisable ou la plus économique de toutes. L'importance qui lui est donnée engendre donc un biais inutile. Une approche reposant sur des scénarios multiples, comparant différentes stratégies indépendantes ou combinées serait plus judicieuse.

**(4) Comme l'empreinte écologique n'intègre pas, et ne peut pas intégrer, tous les impacts des activités humaines sur l'environnement, elle sous-estimera l'impact humain sur la biosphère.** Elle ne peut en effet prendre en compte des problèmes aussi divers que, par exemple, les émissions de substances toxiques, la pollution de l'eau, la pollution sonore, les pluies acides, la destruction de la couche d'ozone, la fragmentation des écosystèmes due aux infrastructures et la perte de biodiversité, car leur traduction en unités de surface pose des difficultés. Les émissions de gaz à effet de serre autres que le CO<sub>2</sub> sont également problématiques, bien qu'il ait été proposé de les intégrer (Lenzen et Murray, 2001 ; Walsh et al., 2009). Cette déficience confère un biais baissier à l'empreinte écologique. En outre, comme le « scénario énergétique de l'empreinte écologique » qui, pour de nombreux

pays, représente environ la moitié de la valeur de l'empreinte écologique, peut produire un biais considérable qui peut être haussier (remarque précédente), le signe du biais net est inconnu. C'est évidemment une propriété peu séduisante pour un indicateur environnemental. Le problème général, fondamental, est que l'utilisation des sols est un indicateur trop grossier des pressions ou des impacts écologiques.

Les défenseurs de l'empreinte écologique ne cessent d'affirmer qu'elle estime en fait la biocapacité que l'humanité s'approprie. Mais il est indéniable que dans la plupart des études et applications, elle est interprétée comme un indicateur environnemental agrégé, commodément simplifié comme étant l'utilisation des sols (hypothétique) totale.

**(5) L'application de l'empreinte écologique la plus répandue est réalisée à l'échelle des pays, ce qui permet de les classer, habituellement en fonction de l'empreinte écologique par habitant.** Comme nous l'avons vu plus haut, ce classement est très sensible aux hypothèses arbitraires retenues dans le calcul ; autrement dit, une légère modification des hypothèses pourrait profondément le modifier.

De plus, les empreintes écologiques nationales n'ont guère de sens car si les frontières ont une signification politique, elles ont généralement peu de signification écologique. Il serait plus approprié, quoique plus difficile, d'appliquer la méthode à des biorégions dotées de frontières physiques, hydrologiques ou écologiques logiques. Il faut admettre néanmoins que cette application ne rendrait pas nécessairement l'empreinte écologique plus pertinente pour l'action publique car la correspondance avec les frontières politiques serait perdue.

### 3. Commerce international et utilisation des sols par pays et région

L'application de l'empreinte écologique aux régions ou aux pays, et le « déficit écologique » correspondant à la différence entre l'empreinte écologique et la capacité écologique disponible qui en est déduit, sont intrinsèquement hostiles au commerce international (par ex., Kissinger et Rees, 2009). Cela parce que la comparaison qui est opérée entre la consommation nationale (« l'empreinte écologique ») et la « capacité écologique » (« surface bioproductive ») exprime un point de vue normatif selon lequel les pays ne doivent pas dépasser leur capacité nationale arbitraire. Sans constituer exactement une préférence pour l'autarcie, ce point de vue en est très proche. Il semble qu'il soit motivé par des considérations éthiques d'équité plus que par la logique biophysique. C'est oublier que les individus et les activités économiques se répartissent inégalement dans l'espace pour de bonnes raisons. La concentration des activités à différents degrés d'agglomération (villes, régions, pays) résulte en effet d'un processus historique qui s'explique en grande partie par le fait qu'une étroite proximité d'activités de production complémentaires permet aux agents économiques de bénéficier d'économies d'échelle, de coûts de transaction et de communication minimaux, de marchés du travail communs et du partage des savoir-faire techniques (Fujita et al., 1999).

De nombreux biens intermédiaires et produits finis sont disponibles à bas prix dans les économies agglomérées, selon un phénomène parfois qualifié d'effet « Silicon Valley » (Fallick et al., 2006), qui sous-tend le concept plus ancien d'externalités à la Smith-Marshall. Cette dernière notion indique que l'importance des activités économiques, conjuguée à la proximité dans les régions agglomérées, garantit un grand marché du travail, lequel permet à son tour une bonne adéquation entre travailleurs et emplois. La distribution spatiale est renforcée par le commerce international

entre les régions et les pays, lequel trouve sa justification dans les avantages comparatifs. En fait, le commerce international peut en principe, c'est-à-dire dans des conditions adéquates de politique environnementale, distribuer spatialement les pressions sur l'environnement entre les systèmes environnementaux les moins sensibles.

Les études de l'empreinte écologique négligent tous ces effets bénéfiques de l'agglomération spatiale et du commerce international. Elles ne peuvent donc pas donner d'information complète pour tirer des conclusions de politique publique quant à la soutenabilité des modes d'occupation des sols et des activités de commerce international ou à la densité ou concentration appropriée des activités économiques et des populations. Elles ne font que produire de l'information sur les déficits écologiques, qu'il est facile d'interpréter à tort, hors contexte, comme étant risqués ou même indésirables pour un pays. L'implication pour l'action publique serait alors de décourager la concentration des populations et de leurs activités, ce qui reviendrait à une condamnation forte des villes. En raison de cette faiblesse méthodologique, l'empreinte écologique ne peut contribuer à un débat sérieux sur l'apport potentiel des villes au développement durable par exemple. Dans le contexte des politiques de l'énergie et du climat en particulier, les villes sont vues comme des lieux idéaux pour expérimenter des idées innovantes pour lutter contre le changement climatique mondial et trouver des solutions croisant les intérêts privés et publics (AIE, 2008)

Plus généralement, les études consacrées à l'empreinte écologique n'apportent aucun éclairage sur les arbitrages entre concentration spatiale et dispersion des activités économiques. Cela en partie parce que l'empreinte écologique ne distingue pas entre utilisation des sols soutenable

et insoutenable. Il faut une bonne compréhension des déterminants de la distribution géographique d'une économie et des conditions dans lesquelles l'agglomération dominera la tendance à l'étalement pour se faire une idée claire de l'organisation économique spatiale et du commerce interrégional/international soutenables<sup>5</sup>.

Une conception rationnelle du « commerce international écologique » intégrerait le bilan de « capacité écologique » des importations et des exportations, c'est-à-dire qu'elle rendrait compte de l'insoutenabilité dans tous les flux commerciaux – et ne postulerait pas que tout commerce international est par définition non soutenable. Autrement dit, cette approche distinguerait entre utilisation des sols soutenable et non soutenable. Étant donné les points de vue très conflictuels, lorsqu'ils ne procèdent pas de paradigmes opposés, sur la croissance, le commerce international et la soutenabilité, il est raisonnable de concevoir et d'utiliser des indicateurs qui ne présentent pas de biais implicite contre ces notions. Pour comparer le plus objectivement possible les différentes positions dans le débat sur le commerce international et l'environnement, il faut reconnaître les arguments pertinents de chacun et s'efforcer de les intégrer dans un cadre unifié.

Nous avons effectué cet exercice à l'aide d'un modèle formel stylisé d'un monde constitué de deux régions dont la nature et l'économie sont régionales. Ce modèle implique des externalités environnementales locales et mondiales affectant le bien-être social de chaque région, des structures spatiales de l'économie alternatives (concentration contre dispersion), des externalités d'agglomération et des avantages commerciaux (Grazi et al., 2007). L'approche est un cadre d'équilibre général spatial à deux régions fondé sur la nouvelle géographie économique (Krugman, 1991), qui comprend des réactions comportementales des entreprises et des consommateurs et permet de prendre en compte les effets indirects en termes de production intermédiaire, de consommation, de commerce international, de génération de revenus et de bien-être. Les impacts environnementaux de toutes les activités (agriculture, fabrication et

transport) associées aux divers modes d'utilisation des sols sont pris en compte et traduits par des externalités négatives en effets de bien-être. En intégrant les externalités environnementales avec les notions (ou phénomènes) d'économies d'agglomération et d'avantages commerciaux, cette approche permet d'entreprendre une analyse complète des configurations spatiales de l'économie au plan du bien-être et de la soutenabilité et de décider ce que la soutenabilité mondiale signifie (et implique) au niveau régional. Cette étude compare également les évaluations de l'empreinte écologique et du bien-être et montre que pour des valeurs de paramètres réalistes, elles peuvent produire des résultats pratiquement opposés en termes de classement des configurations spatiales. Il faut donc être particulièrement attentif à ne pas tirer de conclusions de grande portée d'une analyse de l'empreinte écologique.

D'autre part, afin de comparer ses résultats avec l'empreinte écologique, le modèle couvre les mêmes catégories d'utilisation des sols et de consommation que la méthode de l'empreinte écologique : terres cultivées, pâturages, forêts, zones de pêche, terrains bâtis et surfaces énergie. La structure spatiale du modèle est réduite à sa plus grande simplicité en postulant que le monde peut être divisé en deux régions, cela afin de classer les configurations spatiales possibles de l'économie. Trois structures spatiales possibles sont distinguées pour chaque région : la première suppose une concentration urbaine (agglomération) d'activités de fabrication, la deuxième est dominée par l'agriculture, tandis que la troisième est dominée par la nature et a une activité économique assez peu intense. Six configurations sont ainsi établies pour le système à deux régions.

Pour des valeurs de paramètres situées dans des fourchettes raisonnables, le modèle produit un classement en fonction des performances des configurations spatio-économiques opposé à celui qui résulte d'une évaluation par l'empreinte écologique. Ces deux méthodes d'évaluation ne convergent que dans les cas extrêmes et irréalistes où les externalités environnementales sont si fortes qu'elles dominent les effets liés à l'agglomération et au commerce international. Ces constats montrent que l'empreinte écologique ne peut être considérée comme un guide fiable, robuste, de la soutenabilité spatiale et de celle du commerce international.

<sup>5</sup> Une approche possible est de modéliser la relation entre localisation et distribution des activités économiques sur la base de l'interaction de trois mécanismes différents affectant les décisions spatiales des agents et des activités économiques, à savoir : l'effet « taille de marché », l'effet « coût de la vie » et l'effet « saturation du marché ». Les deux premiers encouragent l'agglomération régionale tandis que le dernier induit une dispersion des activités économiques (Fujita et Thisse, 2002).

## 4. Intérêt pour les politiques publiques

La méthode de l'empreinte écologique présente-t-elle un intérêt pour les politiques publiques ? Les carences méthodologiques évoquées plus haut permettent d'en douter, tout comme l'absence de liens précis de la méthode avec les politiques publiques. C'est pourquoi l'empreinte écologique ne peut apporter de véritable éclairage, ni sur les choix politiques, y compris en ce qui concerne la sélection des stratégies (comme les solutions technologiques ou la réorganisation spatiale de l'économie), ni sur les instruments (commande et contrôle ou instruments basés sur le marché par exemple). Certaines études de l'empreinte écologique laissent entendre que nous devrions limiter la consommation, mais c'est un conseil général très vague (par ex., Patterson et al., 2007), qui peine à justifier l'emploi d'un outil coûteux et chronophage comme l'empreinte écologique. En réalité, le recours à l'empreinte écologique n'ajoute pas d'indication utile, précise, sur une telle stratégie orientée vers les consommateurs. À l'inverse, une approche qui plonge au cœur des comportements, des motivations et du bonheur de l'homme ne peut qu'apporter des indications plus profitables pour les politiques publiques. En outre, pour utilement éclairer les choix entre des stratégies telles que la concentration spatiale et la dispersion des activités économiques, une bonne compréhension de ce qui motive les décisions de localisation et de migration des individus serait nécessaire. Mais cela aussi est exclu du champ de l'empreinte écologique.

En dix ans, de très nombreuses applications de l'empreinte écologique visant à éclairer les politiques publiques ont été publiées, mais presque aucune d'entre elles n'apporte d'indication utile. Certaines produisent des résultats insignifiants comme : l'empreinte augmente dans le temps ou encore, elle est plus marquée dans la région A que dans la région B. D'autres présentent des analyses ou des

comparaisons qui manquent d'une solide motivation et n'apportent de ce fait aucune indication utile. La plupart ne posent aucune question intéressante pour la recherche en politiques publiques. La majorité se bornent à suggérer que l'empreinte est trop forte et que nous devons la réduire, sans aucune suggestion des coûts d'arbitrage et des bénéfices d'une empreinte plus modeste et sans aucun élément précis ou nouveau sur les mesures efficaces ou politiquement acceptables. Ces applications sont réellement trop simplistes et sans aucun intérêt pour l'élaboration des politiques.

Pour illustrer ces conclusions, nous avons considéré les études sur l'empreinte écologique publiées en 2009 dans la revue *Ecological Economics*. La plupart d'entre elles traitent d'« extensions méthodologiques », comme la dynamique ou les liens avec les modèles intrants-extrants. Paradoxalement, elles négligent de remédier d'abord aux carences méthodologiques déjà pointées par les critiques. Une minorité d'entre elles proposent des applications originales, à savoir Moran et al. (2009), Walsh et al. (2009) et Wood et Garnett (2009). En combinant des données sur le commerce international bilatéral avec des matrices de coefficients d'empreinte par produit, Moran et al. (2009) constatent que l'expansion des flux commerciaux résultant de la mondialisation tend à accroître la demande de ressources écologiques dans les économies émergentes (en particulier en Amérique latine et dans la région Asie-Pacifique). Non seulement ce constat est peu surprenant, mais on ne sait pas quelles en sont les implications politiques. Walsh et al. (2009) incorporent le méthane dans la comptabilisation de l'empreinte écologique de l'Irlande et concluent que l'adoption d'autres pratiques agricoles et la diminution des importations d'énergie et de matériaux pourraient considérablement réduire les émissions de méthane. Ce sont là des

conclusions si générales, que l'on aurait pu tirer sans aucune comptabilisation de l'empreinte, qu'elles privent l'étude de toute utilité. S'intéressant au Territoire du Nord de l'Australie, Wood et Garnett (2009) estiment que l'empreinte des populations urbaines, non indigènes, est bien plus forte que celle des populations rurales et isolées (en partie indigènes). Partant de ce constat très prévisible, ils s'insurgent contre l'exploitation par les populations urbaines des ressources des zones peuplées par des indigènes. Ces trois études ont en commun d'aboutir à des conclusions convenues, qui n'améliorent en rien notre compréhension de la nature des problèmes environnementaux ou de leur solution. Elles ne présentent donc aucun intérêt pour l'action publique.

La question est de savoir si nous avons véritablement besoin d'agrèger différents problèmes environnementaux. Les indicateurs les plus utiles aux décisions de politiques publiques sont des indicateurs concrets, portant sur des problèmes précis, qui appellent des politiques spécifiques pour inverser les tendances indésirables repérées. Prenons l'exemple de la politique climatique : elle se fonde aujourd'hui sur d'utiles indicateurs de stress et d'impact, à commencer par la traduction et l'agrégation des émissions de gaz à effet de serre et des concentrations atmosphériques en équivalents CO<sub>2</sub>. Ces indicateurs donnent des informations parfaitement compréhensibles et pertinentes pour juger de l'efficacité des politiques climatiques. Dès lors, pourquoi voudrait-on ajouter et agréger des problèmes environnementaux intrinsèquement très différents comme le fait l'empreinte écologique ? Cela ne fera que « polluer » les indicateurs transparents du changement climatique et produira des indicateurs ne véhiculant aucune information signifiante pour l'action publique.

En réalité, l'empreinte écologique masque plus d'informations qu'elle n'en apporte. De plus, sans les « surfaces carbone », l'empreinte écologique de la plupart des pays ne dépasserait pas leur biocapacité nationale (on peut dès lors douter qu'elle représente bien les problèmes environnementaux en dehors du changement climatique). Mais surtout, nous n'avons nul besoin de l'empreinte écologique pour être informés des risques du réchauffement climatique, de la surexploitation des zones de pêche, de la déforestation, etc. D'autres indicateurs plus précis et plus

fiables sont parfaitement capables de saisir ces phénomènes et d'informer l'action publique de l'écart entre les objectifs politiques et les performances actuelles du système, des mesures politiques nécessaires, de l'impact des politiques et de leur succès. En outre, l'empreinte écologique n'a aucun intérêt pour l'action publique en ce qu'elle représente une surface irréaliste, virtuelle, hypothétique, dont les dirigeants politiques n'ont que faire.

Les défenseurs de l'empreinte écologique pourraient faire valoir qu'elle vise à regrouper différents problèmes et à comprendre la dynamique globale du système environnemental. La surexploitation des ressources halieutiques et la déforestation, par exemple, ne sont pas des phénomènes isolés mais des symptômes d'un mouvement plus général. Cependant, certains de ces liens sont faibles et ce dont nous avons besoin en réalité, c'est d'un très bon modèle de dynamique des systèmes, afin de connecter les différents problèmes et sous-systèmes d'environnement et de ressources, non d'un outil de comptabilité statique comme l'empreinte écologique.

Pour illustrer le faible contenu informatif de l'empreinte écologique, il faut noter que ses différentes applications n'ajoutent pas beaucoup d'information aux indicateurs existants : (i) l'empreinte écologique par habitant est fortement corrélée avec le produit intérieur brut (PIB) par habitant, et son application aux pays est un meilleur indice d'inégalité (quoique assez peu subtil) que d'écologie ; (ii) l'empreinte écologique totale par région est corrélée avec la taille et la densité de la population (les villes représentant un cas extrême) ; (iii) le déficit écologique est corrélé avec la superficie et la part du commerce international dans le PIB (les villes et le monde se situant aux deux extrêmes).

Les éclairages apportés par les études de l'empreinte écologique nous apprennent donc ce que nous savions déjà. L'empreinte écologique appliquée au monde dans son ensemble véhicule le message connu (que nous ont appris des indicateurs environnementaux désagrégés, plus concrets et précis, comme pour le réchauffement climatique, la déforestation, la surpêche et la perte de biodiversité) que l'humanité surexploite le « capital naturel » de la Terre ; l'indicateur de déficit écologique qui en est dérivé

montre qu'aucun pays n'est autarcique en termes écologiques ; et la composante « surface carbone » de l'empreinte écologique précise que la combustion des combustibles fossiles est une cause importante de nos problèmes environnementaux, en particulier le changement climatique (Hertwich et Peters, 2009). Quoi de neuf ? En outre, étant donné les carences et les biais de l'empreinte écologique, toute évaluation des pays en fonction de l'empreinte écologique (par habitant) ou du dépassement de la biocapacité nationale ne peut que produire des résultats et des classements extrêmement peu fiables.

Dans un article très détaillé, Wiedmann et Barrett (2010) rapportent les résultats d'une enquête sur l'empreinte écologique réalisée auprès de plus de 50 parties prenantes internationales de l'utilisation ou du développement de l'indicateur ou de la méthode de l'empreinte écologique, et d'une revue de plus de 150 articles sur les méthodes et applications de l'empreinte écologique. Leurs principaux constats illustrent les arguments que nous avons développés ici : l'empreinte écologique est un puissant outil de communication mais elle a un rôle limité dans un contexte de politique publique. Ils concluent en particulier (p. 1652) : « *Cependant, en l'état actuel, l'empreinte écologique ne peut produire les informations qui permettraient de conduire une évaluation politique approfondie. Dans la recherche d'un indicateur dérivé capable de rivaliser avec le PIB, l'empreinte écologique a donné lieu à des déclarations qui ne sont pas toujours en adéquation avec sa rigueur scientifique ou son potentiel d'application* ». La comparaison avec le PIB offre peu d'intérêt à notre avis, car l'empreinte écologique étant un indicateur environnemental et le PIB un indicateur économique, ils couvrent des pans de réalité différents – quoique indirectement connectés. Cela étant, la conclusion relative à l'intérêt limité pour l'action publique est remarquable au vu de l'échantillon biaisé, constitué d'individus participant à l'application ou à l'élaboration de l'empreinte écologique, que l'on peut penser globalement favorables à l'empreinte écologique.

Des recommandations pertinentes pour l'action publique reconnaissent et conceptualisent les arbitrages à opérer entre les avantages et les coûts, les effets sur l'environnement actuels et ultérieurs, l'équité et l'efficacité, la concen-

tration et la dispersion, l'autarcie et le commerce international, l'échelle/la spécialisation et la diversité, etc. L'empreinte écologique masque l'information nécessaire pour analyser ces arbitrages et, dans l'ensemble, elle ne reconnaît pas les choix implicitement opérés en matière d'agrégation, de substituabilité, d'actualisation, de pondération et d'évaluation. Cela en partie parce qu'elle constitue une évaluation biophysique de la soutenabilité, dont certains auteurs ont jugé qu'elle traduit une approche anti-monnaire de l'évaluation (van Kooten et Bulte, 2000 ; Senbel et al., 2003). On ne sera pas étonné que de nombreux scientifiques de l'environnement peu fervents de l'évaluation monétaire – pour de bonnes et de mauvaises raisons – tendent à soutenir avec enthousiasme l'empreinte écologique, sans même chercher à répondre aux critiques qui lui sont adressées et exprimées ici. De fait, la plupart des arguments avancés pour la défense de l'empreinte écologique admettent ses carences méthodologiques mais voudraient laisser croire qu'elles peuvent être compensées par de bonnes intentions et la puissance communicative de la méthode (par ex., Herendeen, 2000 ; Rapport, 2000 ; Rees, 2000). Une autre motivation régulièrement exprimée est que grâce à l'existence de données de sources comparables, l'empreinte écologique permet d'effectuer des comparaisons entre pays. Notons que cet argument est également courant dans les justifications d'un autre indicateur agrégé et très critiqué, à savoir le PIB (van den Bergh, 2009). Mais l'existence de données, les comparaisons internationales et la simplicité des procédures de comptabilisation ne sont pas des raisons suffisantes pour convaincre de l'utilité d'un indicateur dérivé quel qu'il soit pour l'action publique.

Pour servir les politiques publiques, l'agrégation d'informations doit satisfaire à deux conditions au moins : premièrement, elle doit reposer sur des sous-indicateurs pertinents qui rendent compte des facteurs de stress environnemental relatifs au réchauffement climatique d'origine anthropique, aux pluies acides, à la pollution aquatique, à la déforestation et à l'érosion, ou des impacts environnementaux tels les effets sur les animaux, les plantes et les écosystèmes (par ex., demande d'oxygène biologique, perte de biodiversité), ou encore des impacts humains et sociaux illustrant les effets sur la production, la

consommation, la santé humaine et le bien-être. Deuxièmement, elle doit considérer d'autres méthodes pour agréger les informations et, soit justifier le choix de la meilleure approche, en se fondant sur des poids et des systèmes d'agrégation consistants du point de vue des sciences naturelles et sociales, soit effectuer une analyse de sensibilité et montrer que les résultats (classements) sont robustes pour (ou insensibles à) une large fourchette de systèmes de pondération.

La littérature consacrée à l'empreinte écologique ne remplit aucune des deux conditions. D'une part, elle néglige les indicateurs environnementaux éprouvés alors même que les agences d'évaluation environnementale du monde entier les utilisent couramment et qu'on dispose ainsi de nombreuses données comparables. D'autre part, elle néglige aussi la littérature consacrée à la méthodologie de la construction d'indicateurs, de l'agrégation d'informations et de la pondération (Kuik et Verbruggen, 1991 ; Pearce et Atkinson, 1995 ; Ebert et Welsch, 2004). À la place, elle adopte une procédure simplificatrice *ad hoc* consistant à traduire les actions humaines en une unité de surface

unique au moyen de facteurs de transformation, et évite ainsi le choix des poids explicites.

Il est souvent avancé, pour la défense de l'empreinte écologique, qu'elle représente un bon outil de communication, bien adapté par sa simplicité à la sensibilisation du public aux problèmes environnementaux – « il est si facile à comprendre ». Mais loin d'être une vertu, la simplicité risque d'engendrer la confusion et des interprétations injustifiées, dues notamment au caractère partiel de l'analyse de l'empreinte écologique, à la nature hypothétique de l'indicateur et au biais anticommerce international inhérent à certaines de ses applications. Mais il faut noter surtout que des informations qui prêtent le flanc à de graves critiques offrent une base fragile pour rallier un soutien social et politique à l'action publique en matière d'environnement. Enfin, le recours à des concepts racoleurs comme le « jour du dépassement », comme le fait le *Global Footprint Network*, n'apporte aucune information ou indication nouvelle, mais se contente de remanier des informations imparfaites et déjà connues.

[http://www.footprintnetwork.org/gfn\\_sub.php?content=overshoot](http://www.footprintnetwork.org/gfn_sub.php?content=overshoot)

## 5. Conclusion

Cet article a soulevé six difficultés majeures posées par l'indicateur et la méthode de l'empreinte écologique et par l'application non discriminante qui en est faite. On peut dire en résumé, pour reprendre les termes d'un observateur, que l'empreinte écologique représente à la fois « *une mauvaise science économique et une mauvaise science environnementale* » (Fiala, 2008). Pourtant, de très nombreuses études appliquent l'empreinte écologique et tirent des conclusions de grande portée des informations ainsi obtenues. Cette démarche nous apparaît intrinsèquement fragmentaire et biaisée en raison de diverses imperfections méthodologiques. Prendre des décisions sur la soutenabilité de certaines configurations spatiales d'une économie, y compris l'aménagement du territoire, les infrastructures, l'utilisation des sols urbains ou ruraux, et les transports et les échanges associés, demande une démarche plus globale, qui prenne en compte les externalités environnementales et les avantages de l'agglomération et du commerce international.

Nous avons également examiné ici l'intérêt de l'empreinte écologique pour les politiques publiques. Les études qui lui sont consacrées n'ont en fait apporté aucun éclairage significatif, utile à l'action publique – seulement le message très général selon lequel nous « surexploitions la planète ». Ce n'est pas surprenant puisque dans l'ensemble, les études consacrées à l'empreinte écologique ne testent pas les

hypothèses, n'opèrent pas d'arbitrages intéressants entre des objectifs (partiellement) conflictuels, n'abordent pas les questions d'utilisation des sols soutenable ou non soutenable et les problématiques correspondantes d'aménagement du territoire, ne disent rien des avantages et des coûts de la densité d'occupation des sols et sont incapables de déterminer précisément les impacts des différentes politiques puis de les comparer.

Nous mettons les partisans de l'empreinte écologique au défi d'indiquer clairement les éléments d'information non ambigus et nouveaux que les études consacrées à cette méthode ont produits jusqu'ici et les questions intéressant les politiques publiques, auxquelles la méthode est en mesure d'apporter une réponse.

Il serait préférable que les études consacrées à l'empreinte écologique ne jouent aucun rôle dans l'élaboration ou la préparation des politiques publiques, car cette méthode ne peut que produire des informations fragmentées, biaisées et inexactes, comme nous l'avons montré ici. Un argument commun des tenants de l'empreinte écologique est que c'est un bon outil pour communiquer sur les problèmes environnementaux auprès des profanes. Mais la question est de savoir si produire des informations biaisées peut être une stratégie robuste pour obtenir un soutien démocratique aux décisions politiques relatives à des politiques environnementales urgentes et très débattues.

## Références

Ahlheim, M., O. Frör (2005), "Constructing a Preference-Oriented Index of Environmental Quality: A Welfare-Theoretic Generalization of the Concept of Environmental Indices", in Schmidt, U. et S. Traub, *Advances in Public Economics: Utility, Choice and Welfare*, Springer, Berlin, p. 151-172.

AIE (2008), *World Energy Outlook*. Agence internationale de l'énergie, Paris.

Ayres, R.U. (2000), "Commentary on the utility of the ecological footprint concept". *Ecological Economics* vol. 32, p. 347-349.

Bicknell, K.B, R.J. Ball, R. Cullen et H.R. Bigsby (1998), "New methodology for the Ecological Footprint with an application to the New Zealand economy", *Ecological Economics* vol. 27, p. 149-160.

Chen, B. et G.Q. Chen (2007), "Modified ecological footprint accounting and analysis based on embodied exergy – a case study of the Chinese society 1981–2001", *Ecological Economics* vol. 61, p. 355-376.

Daly H.E et A.F. Umaña (1981), "Energy, Economics and the Environment", AAS Selected Symposia Series, Westview Press, Boulder.

Daniel, S.E., G.T. Tsoulfas, C.P. Pappis et N.P. Rachaniotis (2004), "Aggregating and evaluating the results of different environmental impact assessment methods", *Ecological Indicators*, vol. 4, p. 125-138.

EAI (2002), "Assessing the Ecological Footprint: A Look at the WWF's Living Planet Report 2002", Environmental Assessment Institute, Copenhagen.

Ebert, U. et H. Welsch (2004), "Meaningful environmental indices: a social choice approach", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 47, p. 270-283.

Fallick, B., C.A. Fleischman et J.B. Rebitzer (2006), "Job-hopping in Silicon Valley: Some evidence concerning the microfoundations of a high-technology cluster", *Review of Economics and Statistics*, vol. 88, p. 472-481.

Ferng, J-J. (2002), "Toward a scenario analysis framework for energy footprints", *Ecological Economics*, vol. 40, p. 53-69.

Fiala, N. (2008), "Measuring sustainability: Why the ecological footprint is bad economics and bad environmental science", *Ecological Economics*, vol. 67, p. 519-525.

Fujita, M. et J-F. Thisse (2002), *Economics of Agglomerations: Cities, Industrial Locations and Regional Growth*, Cambridge University Press, Cambridge, RU.

- Fujita, M., P.R. Krugman et A.J. Venables (1999), *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Gordon, .P, H.W. Richardson (1998), "Farmland preservation and ecological footprints: a critique", *Planning and Markets*, vol. 1.
- Grazi F., JC.J.M van den Bergh et P. Rietveld (2007), "Welfare economics versus ecological footprint: modeling agglomeration, externalities and trade", *Environmental and Resource Economics*, vol. 38, p. 135-153.
- Herendeen, R.A. (2000), "Ecological footprint is a vivid indicator of indirect effects", *Ecological Economics*, vol. 32, p. 357-358.
- Hertwich, E.G. et G.P. Peters (2009), "The Carbon Footprint of Nations – A Global Trade-Linked Analysis", *Environmental Science and Technology*, vol. 43 (16), 6414–6420.
- Hoekstra, A.Y. et A.K. Chapagain (2007), "Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern", *Water Resources Management*, vol. 21, p. 35-48.
- Kissinger, M. et W. Rees (2009), "Footprints on the prairies: Degradation and sustainability of Canadian agricultural land in a globalizing world", *Ecological Economics*, vol. 68, p. 2309-2315.
- Kitzes, J., et al.. (2009), "A research agenda for improving national Ecological Footprint accounts", *Ecological Economics*, vol. 68, p. 1991-2007.
- Krugman, P.R. (1991), "Increasing returns and economic geography", *Journal of Political Economy*, vol. 99, p. 483-499.
- Kuik, O.J. et H. Verbruggen (1991), *In Search of Indicators of Sustainable Development*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Lenzen, M., C. Borgstrom Hansson et S. Bond (2007), "On the bioproductivity and land-disturbance metrics of the Ecological Footprint", *Ecological Economics*, vol. 61, p. 6-10.
- Lenzen, M. et S.A. Murray (2001), "A modified ecological footprint method and its application to Australia", *Ecological Economics*, vol. 37, p. 229-255.
- Luck, M.A., G.D. Jenerette, J. Wu, et N.B. Grimm (2001), "The Urban Funnel Model and the spatially heterogeneous ecological footprint", *Ecosystems*, vol. 4, p. 782–796.
- Moffatt, I. (2000), "Ecological footprints and sustainable development", *Ecological Economics*, vol. 32, p. 359-362.
- Moran, D, M.C. Wackernagela, J.A. Kitzes, B.W. Heumann, D. Phan, S.H. Goldfinger (2009), "Trading spaces: Calculating embodied Ecological Footprints in international trade using a Product Land Use Matrix (PLUM)", *Ecological Economics*, vol. 68, p. 1938–1951.
- Odum, H.T. (1971), *Environment, Power and Society*, John Wiley, New York.

- Opschoor, H. (2000), "The ecological footprint: measuring rod or metaphor?", *Ecological Economics*, vol. 32, p. 363-365.
- Patterson, T.M., V. Niccolucci et S. Bastianon (2007), "Beyond "more is better": Ecological footprint accounting for tourism and consumption in Val di Merse, Italy", *Ecological Economics*, vol. 62, 3-4, p. 747-756.
- Pearce, D. et G. Atkinson (1995), "Measuring sustainable development", in D.W. Bromley (ed) *The Handbook of environmental economics*, Blackwell, Malden.
- Proops, J.L.R., M. Faber et G. Wagenhals (1993), *Reducing CO<sub>2</sub> Emissions: A Comparative Input-Output Study for Germany and the UK*, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Rapport, D.J. (2000), "Ecological footprints and ecosystem health: complementary approaches to a sustainable future", *Ecological Economics*, vol. 32, p. 367-370.
- Rees, W.E. (2000), "Eco-footprint analysis: merits and brickbats", *Ecological Economics* vol. 32, p. 371-374.
- Rees, W.E. (2002), "Footprint: our impact on Earth is getting heavier", *Nature*, vol. 420, p. 267-268.
- Rees, W.E. (2003), "Ecological footprints: A blot on the land", *Nature*, vol. 421, p. 898-898.
- Senbel, M., T. McDaniels et H. Dowlatabadi (2003), "The ecological footprint: a non-monetary metric of human consumption applied to North America", *Global Environmental Change* vol. 13, p. 83-100.
- Siche, J.R., F. Agostinho, E. Ortega et A. Romeiro (2008), "Sustainability of nations by indices : Comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the energy performance indices", *Ecological Economics*, vol. 66, p. 628-637.
- van den Bergh, J.C.J.M. (2009), "The GDP Paradox", *Journal of Economic Psychology*, vol. 30, p. 117-135.
- van den Bergh, J.C.J.M. et H. Verbruggen (1999), "Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the 'ecological footprint'", *Ecological Economics*, vol. 29, p. 63-74.
- van den Bergh, J.C.J.M., F. Grazi (2010), "On the policy relevance of ecological footprints", *Environmental Science and Technology*, vol. 44, p. 4843-4844.
- van Kooten, G.C., Bulte E.H. (2000) "The ecological footprint : useful science or politics?", *Ecological Economics*, vol. 32, p. 385-389.
- van Vuuren, D.P. et E.M.W. Smeets (2000), "Ecological footprints of Benin, Bhutan, Costa Rica and the Netherlands", *Ecological Economics*, vol. 34, p. 115-130.
- Vogelsang K.M. (2002), "Footprint: ignoring the facts that don't fit the theory", *Nature*, vol. 420, p. 267.

VROMraad (1999), "Global Sustainability and the Ecological Footprint", Advice O16E-1999. The Netherlands Council for Housing, Spatial Planning and the Environment (VROMraad), La Haye, Pays-Bas.

Wackernagel, M., et al. (2002), "Tracking the ecological overshoot of the human economy", Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 99, 9266–9271.

Wackernagel, M. et W.E. Rees (1996), *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, New Society Publishers, Gabriola Island BC.

Walsh, C., B. O'Regan et R. Moles (2009), "Incorporating methane into ecological footprint analysis: A case study of Ireland", *Ecological Economics*, vol. 68, p. 1952-1962.

Wiedmann, T. et J. Barrett (2010), "A review of the ecological footprint indicator - Perceptions and methods", *Sustainability* vol. 2(6), p. 1645-1693. <http://dx.doi.org/10.3390/su2061645>

Wiedmann, T. et J. Minx (2007), "A definition of 'Carbon Footprint'", Report 07-01, ISA<sup>UK</sup> Research and Consulting, Durham, RU. [http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK\\_Report\\_07-01\\_carbon\\_footprint.pdf](http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK_Report_07-01_carbon_footprint.pdf)

Wiedmann, T., J. Minx, L. Barrett et M. Wackernagel (2006), "Allocating ecological footprints to final consumption categories with input–output analysis", *Ecological Economics*, vol. 56, p. 28-48.

Wood, R. et S. Garnett (2009), "An assessment of environmental sustainability in Northern Australia using the ecological footprint and with reference to Indigenous populations and remoteness", *Ecological Economics*, vol. 68, p. 1375-1384.

## Série Documents de travail / Working Papers Series Publiés depuis janvier 2009 / published since January 2009

Les numéros antérieurs sont consultables sur le site : <http://recherche.afd.fr>

Previous publications can be consulted online at: <http://recherche.afd.fr>

- N° 78 « L'itinéraire professionnel du jeune Africain » - Les résultats d'une enquête auprès de jeunes leaders Africains sur les dispositifs de formation professionnelle post-primaire  
Richard Walther, consultant ITG, Marie Tamoifo, porte-parole de la jeunesse africaine et de la diaspora  
Contact : Nicolas Lejosne, AFD - janvier 2009.
- N° 79 Le ciblage des politiques de lutte contre la pauvreté : quel bilan des expériences dans les pays en développement ?  
Emmanuelle Lavallée, Anne Olivier, Laure Pasquier-Doumer, Anne-Sophie Robilliard, DIAL - février 2009.
- N° 80 Les nouveaux dispositifs de formation professionnelle post-primaire. Les résultats d'une enquête terrain au Cameroun, Mali et Maroc  
Richard Walther, Consultant ITG  
Contact : Nicolas Lejosne, AFD - mars 2009.
- N° 81 *Economic Integration and Investment Incentives in Regulated Industries*  
Emmanuelle Auriol, Toulouse School of Economics, Sara Biancini, Université de Cergy-Pontoise, THEMA,  
Comments by : Yannick Perez and Vincent Rious - April 2009.
- N° 82 Capital naturel et développement durable en Nouvelle-Calédonie - Etude 1. Mesures de la « richesse totale » et soutenabilité du développement de la Nouvelle-Calédonie  
Clément Brelaud, Cécile Couharde, Vincent Géronimi, Elodie Maître d'Hôtel, Katia Radja, Patrick Schembri, Armand Taranco, Université de Versailles - Saint-Quentin-en-Yvelines, GEMDEV  
Contact : Valérie Reboud, AFD - juin 2009.
- N° 83 *The Global Discourse on "Participation" and its Emergence in Biodiversity Protection*  
Olivier Charnoz, AFD - July 2009.
- N° 84 *Community Participation in Biodiversity Protection: an Enhanced Analytical Framework for Practitioners*  
Olivier Charnoz, AFD - August 2009.
- N° 85 Les Petits opérateurs privés de la distribution d'eau à Maputo : d'un problème à une solution ?  
Aymeric Blanc, Jérémie Cavé, LATTs, Emmanuel Chaponnière, Hydroconseil  
Contact : Aymeric Blanc, AFD - août 2009.
- N° 86 Les transports face aux défis de l'énergie et du climat  
Benjamin Dessus, Global Chance.  
Contact : Nils Devernois, département de la Recherche, AFD - septembre 2009.
- N° 87 Fiscalité locale : une grille de lecture économique  
Guy Gilbert, professeur des universités à l'Ecole normale supérieure (ENS) de Cachan  
Contact : Réjane Hugounenq, AFD - septembre 2009.
- N° 88 Les coûts de formation et d'insertion professionnelles - Conclusions d'une enquête terrain en Côte d'Ivoire  
Richard Walther, expert AFD avec la collaboration de Boubakar Savadogo (Akilia) et de Borel Foko (Pôle de Dakar)  
Contact : Nicolas Lejosne, AFD - octobre 2009.

- N° 89 Présentation de la base de données. Institutional Profiles Database 2009 (IPD 2009)  
*Institutional Profiles Database III - Presentation of the Institutional Profiles Database 2009 (IPD 2009)*  
 Denis de Crombrughe, Kristine Farla, Nicolas Meisel, Chris de Neubourg, Jacques Ould Aoudia, Adam Szirmai  
 Contact : Nicolas Meisel, département de la Recherche, AFD - décembre 2009.
- 
- N° 90 Migration, santé et soins médicaux à Mayotte  
 Sophie Florence, Jacques Lebas, Pierre Chauvin, Equipe de recherche sur les déterminants sociaux de la santé et du recours aux soins UMRS 707 (Inserm - UPMC)  
 Contact : Christophe Paquet, AFD - janvier 2010.
- 
- N° 91 Capital naturel et développement durable en Nouvelle-Calédonie - Etude 2. Soutenabilité de la croissance néo-calédonienne : un enjeu de politiques publiques  
 Cécile Couharde, Vincent Géronimi, Elodie Maître d'Hôtel, Katia Radja, Patrick Schembri, Armand Taranco  
 Université de Versailles – Saint-Quentin-en-Yvelines, GEMDEV  
 Contact : Valérie Reboud, AFD - janvier 2010.
- 
- N° 92 *Community Participation Beyond Idealisation and Demonisation: Biodiversity Protection in Soufrière, St. Lucia*  
 Olivier Charnoz, AFD - January 2010.
- 
- N° 93 *Community Participation in the Pantanal, Brazil: Containment Games and Learning Processes*  
 Participation communautaire dans le Pantanal au Brésil : stratégies d'endiguement et processus d'apprentissage  
 Olivier Charnoz, AFD - février 2010.
- 
- N° 94 Développer le premier cycle secondaire : enjeu rural et défis pour l'Afrique subsaharienne  
 Alain Mingat et Francis Ndem, IREDU, CNRS et université de Bourgogne  
 Contact : Jean-Claude Balmès, département Education et formation professionnelle, AFD - avril 2010
- 
- N° 95 Prévenir les crises alimentaires au Sahel : des indicateurs basés sur les prix de marché  
 Catherine Araujo Bonjean, Stéphanie Brunelin, Catherine Simonet, CERDI - mai 2010.
- 
- N° 96 La Thaïlande : premier exportateur de caoutchouc naturel grâce à ses agriculteurs familiaux  
 Jocelyne Delarue, AFD - mai 2010.
- 
- N° 97 Les réformes curriculaires par l'approche par compétences en Afrique  
 Françoise Cros, Jean-Marie de Ketele, Martial Dembélé, Michel Develay, Roger-François Gauthier, Najoua Ghriss, Yves Lenoir, Augustin Murayi, Bruno Suchaut, Valérie Tehio - juin 2010.
- 
- N° 98 Les coûts de formation et d'insertion professionnelles - Les conclusions d'une enquête terrain au Burkina Faso  
 Richard Walther, Boubakar Savadogo, consultants en partenariat avec le Pôle de Dakar/UNESCO-BREDA.  
 Contact : Nicolas Lejosne, AFD - juin 2010.
- 
- N° 99 *Private Sector Participation in the Indian Power Sector and Climate Change*  
 Shashanka Bhide, Payal Malik, S.K.N. Nair, Consultants, NCAER  
 Contact: Aymeric Blanc, AFD - June 2010.
- 
- N° 100 Normes sanitaires et phytosanitaires : accès des pays de l'Afrique de l'Ouest au marché européen - Une étude empirique  
 Abdelhakim Hammoudi, Fathi Fakhfakh, Cristina Grazia, Marie-Pierre Merlateau.  
 Contact : Marie-Cécile Thirion, AFD - juillet 2010.
- 
- N° 101 Hétérogénéité internationale des standards de sécurité sanitaire des aliments : Quelles stratégies pour les filières d'exportation des PED ? - Une analyse normative  
 Abdelhakim Hammoudi, Cristina Grazia, Eric Giraud-Héraud, Oualid Hamza.  
 Contact : Marie-Cécile Thirion, AFD - juillet 2010.

- N° 102 Développement touristique de l'outre-mer et dépendance au carbone  
Jean-Paul Ceron, Ghislain Dubois et Louise de Torcy.  
Contact : Valérie Reboud, AFD - octobre 2010.
- 
- N° 103 Les approches de la pauvreté en Polynésie française : résultats et apports de l'enquête sur les conditions de vie en 2009  
Javier Herrera, IRD-DIAL, Sébastien Merceron, Insee.  
Contact : Cécile Valadier, AFD - novembre 2010.
- 
- N° 104 La gestion des déchets à Coimbatore (Inde) : frictions entre politique publique et initiatives privées  
Jérémy Cavé, Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés (LATTS), CNRS - décembre 2010.
- 
- N° 105 Migrations et soins en Guyane - Rapport final à l'Agence Française de Développement dans le cadre du contrat AFD-Inserm  
Anne Jolivet, Emmanuelle Cadot, Estelle Carde, Sophie Florence, Sophie Lesieur, Jacques Lebas, Pierre Chauvin  
Contact : Christophe Paquet, AFD - décembre 2010.
- 
- N° 106 Les enjeux d'un bon usage de l'électricité : Chine, Etats-Unis, Inde et Union européenne  
Benjamin Dessus et Bernard Laponche avec la collaboration de Sophie Attali (Topten International Services), Robert Angioletti (Ademe), Michel Raoust (Terao)  
Contact : Nils Devernois, département de la Recherche, AFD - février 2011.
- 
- N° 107 Hospitalisation des patients des pays de l'Océan indien - Prises en charges spécialisées dans les hôpitaux de la Réunion  
Catherine Dupilet, Dr Roland Cash, Dr Olivier Weil et Dr Georges Maguerez (cabinet AGEAL)  
En partenariat avec le Centre Hospitalier Régional de la Réunion et le Fonds de coopération régionale de la Réunion  
Contact : Philippe Renault, AFD - février 2011.
- 
- N° 108 *Peasants against Private Property Rights: A Review of the Literature*  
Thomas Vendryes, Paris School of Economics - February 2011.
- 
- N° 109 Le mécanisme REDD+ de l'échelle mondiale à l'échelle locale - Enjeux et conditions de mise en oeuvre  
ONF International  
Contact : Tiphaine Leménager, département de la Recherche, AFD - mars 2011.
- 
- N° 110 L'aide au Commerce : état des lieux et analyse  
*Aid for Trade: A Survey*  
Mariana Vijil, Marilyne Huchet-Bourdon et Chantal Le Mouël, Agrocampus Ouest, INRA, Rennes.  
Contact : Marie-Cécile Thirion, AFD - avril 2011.
- 
- N° 111 Métiers porteurs : le rôle de l'entrepreneuriat, de la formation et de l'insertion professionnelle  
Sandra Barlet et Christian Baron, GRET  
Contact : Nicolas Lejosne, AFD - avril 2011.
- 
- N° 112 Charbon de bois et sidérurgie en Amazonie brésilienne : quelles pistes d'améliorations environnementales ?  
L'exemple du pôle de Carajas  
Ouvrage collectif sous la direction de Marie-Gabrielle Piketty, Cirad, UMR Marchés  
Contact : Tiphaine Leménager, département de la Recherche, AFD - avril 2011.
- 
- N° 113 Gestion des risques agricoles par les petits producteurs Focus sur l'assurance-récolte indicelle et le warrantage  
Guillaume Horréard, Bastien Oggeri, Ilan Rozenkopf sous l'encadrement de :  
Anne Chetaille, Aurore Duffau, Damien Lagandré  
Contact : Bruno Vindel, département des Politiques alimentaires, AFD - mai 2011.
- 
- N° 114 Analyse de la cohérence des politiques commerciales en Afrique de l'Ouest  
Jean-Pierre Rolland, Arlène Alpha, GRET  
Contact : Jean-René Cuzon, département PSP, AFD - juin 2011
-

- N° 115 L'accès à l'eau et à l'assainissement pour les populations en situation de crise : comment passer de l'urgence à la reconstruction et au développement ?  
Julie Patinet (Groupe URD) et Martina Rama (Académie de l'eau),  
sous la direction de François Grünwald (Groupe URD)  
Contact : Thierry Liscia, département du Pilotage stratégique et de la Prospective, AFD
- N° 116 Formation et emploi au Maroc : état des lieux et recommandations  
Jean-Christophe Maurin et Thomas Mélonio, AFD - septembre 2011.
- N° 117 *Student Loans: Liquidity Constraint and Higher Education in South Africa*  
Marc Gurgand, Adrien Lorenceau, Paris School of Economics  
Contact: Thomas Mélonio, AFD - September 2011.
- N° 118 Quelles(s) classe(s) moyenne(s) en Afrique ? Une revue de littérature  
Dominique Darbon, IEP Bordeaux, Comi Toulabor, LAM Bordeaux  
Contacts : Virginie Diaz et Thomas Mélonio, AFD - décembre 2011.
- N° 119 Les réformes de l'aide au développement en perspective de la nouvelle gestion publique  
*Development Aid Reforms in the Context of New Public Management*  
Jean-David Naudet, AFD - février 2012.
- N° 120 *Fostering Low-Carbon Growth Initiatives in Thailand*  
Contact: Cécile Valadier, AFD - February 2012
- N° 121 Interventionnisme public et handicaps de compétitivité : analyse du cas polynésien  
Florent Venayre, Maître de conférences en sciences économiques, université de la Polynésie française et LAMETA, université de Montpellier  
Contacts : Cécile Valadier et Virginie Olive, AFD - mars 2012.
- N° 122 Accès à l'électricité en Afrique subsaharienne : retours d'expérience et approches innovantes  
Anjali Shanker (IED) avec les contributions de Patrick Clément (Axenne), Daniel Tapin et Martin Buchsenschutz (Nodalis Conseil)  
Contact : Valérie Reboud, AFD - avril 2012.
- N° 123 *Assessing Credit Guarantee Schemes for SME Finance in Africa: Evidence from Ghana, Kenya, South Africa and Tanzania*  
Angela Hansen, Ciku Kimeria, Bilha Ndirangu, Nadia Oshry and Jason Wendle, Dalberg Global Development Advisors  
Contact: Cécile Valadier, AFD - April 2012.
- N° 124 Méthodologie PEFA et collectivités infranationales : quels enseignements pour l'AFD ?  
Frédéric Audras et Jean-François Almanza, AFD - juillet 2012
- N° 125 *High Returns, Low Attention, Slow Implementation: The Policy Paradoxes of India's Clean Energy Development*  
Ashwini Swain, University of York, Olivier Charnoz, PhD, AFD - July 2012
- N° 126 *In Pursuit of Energy Efficiency in India's Agriculture: Fighting 'Free Power' or Working with it?*  
Ashwini Swain, University of York, Olivier Charnoz, PhD, AFD - August 2012

