

# Études & documents

n°4  
Mai  
2009

## Une expertise de l'empreinte écologique

Version provisoire

ENVIRONNEMENT

OBSERVATION ET STATISTIQUES



Ressources, territoires et habitats  
Énergie et climat  
Prévention des risques  
Développement durable  
Infrastructures, transports et mer

Présent  
pour  
l'avenir





# *Une expertise de l'empreinte écologique*

*Version provisoire* ❄️

*\* Avertissement : Une version définitive de ce dossier sera publiée en juillet. Elle inclura les conclusions des tests complémentaires sur l'empreinte écologique actuellement conduits par le SOeS, ainsi que les remarques émises par les membres du Comité de suivi.*

**Directeur de la publication** : Bruno Trégouët

**Rédacteurs en chef** : Michel David et Valéry Morard

**Auteurs** : Michel David, Cécile Dormoy,  
Emmanuel Haye, Bruno Trégouët

**Coordination éditoriale** : Corinne Boitard

**Traitements statistiques** : Emmanuel Haye

**Maquette-réalisation** : Chromatiques Éditions

## Sommaire

<b>Note de synthèse .....</b>	<b>5</b>
La demande politique en faveur du recours à l’empreinte écologique .....	6
Présentation de l’empreinte écologique ... ..	7
L’expertise conduite par le Service de l’observation et des statistiques du CGDD .....	9
<b>Réponse du <i>Global Footprint Network</i> ... ..</b>	<b>15</b>
<b>Rapport technique .....</b>	<b>19</b>
Sommaire détaillé ... ..	20-21



# *Note de synthèse*

## La demande politique en faveur du recours à l’empreinte écologique

Le besoin d’une expertise portant sur l’empreinte écologique (EE) est aujourd’hui renforcé par les attentes du Grenelle de l’environnement. En effet, dans le cadre de la loi « Grenelle 1 », l’État se fixe pour objectif de disposer d’indicateurs liés à la Stratégie nationale de développement durable (SNDD) et de développer de nouveaux indicateurs valorisant les biens publics environnementaux dans la comptabilité nationale<sup>1</sup>. La SNDD est actuellement en cours de révision : les services de l’État proposeront une batterie d’indicateurs de développement durable liés à la nouvelle stratégie.

Parallèlement, l’un des axes de travail de la commission « Stiglitz », mise en place par le Président de la République, concerne le développement durable et l’environnement.

Très récemment, la demande politique visant à faire de l’empreinte écologique un indicateur reconnu s’est traduite par le dépôt d’une proposition de loi défendue par le député Yves Cochet.

Par ailleurs, une note de saisine a été adressée par le Premier ministre François Fillon au président du Conseil économique, social et environnemental, Monsieur Jacques Dermagne. La note de saisine rappelle que, pour ses promoteurs, l’empreinte est compréhensible par un large public et facilite la prise de conscience en faveur de comportements éco-responsables. Mais elle souligne également que, pour ses détracteurs, l’indicateur souffre de limites qui compromettent sa pertinence. Elle demande d’évaluer si l’empreinte écologique pourrait faire partie des indicateurs permettant d’envoyer des signaux lisibles, donc favorables à l’adoption de comportements « durables ».

De nombreux travaux d’expertise et d’analyse ont déjà été conduits sur l’empreinte écologique. L’étude conduite par le Commissariat général au développement durable – Service de l’observation et des statistiques du ministère (CGDD-SOES) vise à fournir des éléments permettant de retenir ou au contraire d’écarter le recours à l’empreinte écologique sur la base de critères scientifiques et de formuler des recommandations sur les utilisations possibles de cet indicateur.

---

<sup>1</sup> Cf. Annexe 14.

## Présentation de l’empreinte écologique

Pour une présentation détaillée des modes de calculs utilisés, on se reportera au rapport technique qui explicite les notions fondamentales du concept et fournit quelques exemples chiffrés :

### Un peu d’histoire

Le concept d’empreinte écologique a été élaboré au début des années 90 par Mathis Wackernagel et William Rees, dans le cadre d’une thèse de doctorat en planification urbaine (Mathis Wackernagel soutient sa thèse en 1994 à l’université de Vancouver sous la responsabilité de William Rees). En 1999, ils publient ensemble *Notre empreinte écologique*, aux éditions Écosociété.

Mathis Wackernagel est aujourd’hui directeur du *Global Footprint Network (GFN)*. Le GFN est une organisation à but non lucratif créée en 2003 pour développer et coordonner les efforts de recherche sur l’empreinte écologique. Le GFN travaille aujourd’hui en collaboration avec 78 organisations partenaires, dont le WWF, qui publie régulièrement les Comptes nationaux de l’empreinte écologique dans ses rapports *Planète Vivante*. L’un des objectifs affichés du GFN est que dix pays adoptent « officiellement » l’empreinte écologique de la même manière que le PIB d’ici 2015.

### Définitions et principes de calcul

*L’empreinte écologique mesure les surfaces biologiquement productives de terre et d’eau nécessaires pour produire les ressources qu’un individu, une population ou une activité consomme et pour absorber les déchets générés, compte tenu des technologies et de la gestion des ressources en vigueur. Cette surface est exprimée en hectares globaux, c’est-à-dire des hectares ayant une productivité égale à la productivité biologique mondiale moyenne (source : WWF, rapport Planète vivante, 2008).*

*NB : Attention, le terme « déchets » fait uniquement référence aux émissions de CO<sub>2</sub> résultant de la production et de l’utilisation de l’énergie par combustion d’énergie fossile (charbon, pétrole et gaz naturel).*

Le vocable général d’empreinte écologique utilisé par le GFN renvoie en réalité à deux agrégats distincts.

- **L’empreinte** proprement dite, c’est-à-dire la demande en ressources. Cette empreinte est déclinée en 6 empreintes partielles, correspondant à 6 familles d’activités humaines :

- empreinte due au carbone ou composante énergie : surfaces équivalentes nécessaires pour absorber les émissions de CO<sub>2</sub> dues à la consommation d’énergie fossile et à la consommation de produits manufacturés ;
- empreinte due aux cultures : surfaces nécessaires pour produire les produits agricoles consommés par les habitants d’un pays ;
- empreinte due aux pâturages : surfaces nécessaires pour produire, en plus d’une partie des cultures, les protéines animales consommées par les habitants d’un pays ou aboutissant à des exportations de viande et animaux ;

- empreinte due aux forêts : surfaces nécessaires pour produire les produits issus de la filière bois consommés par les habitants d’un pays ;
- empreinte due à la pêche : surfaces équivalentes nécessaires pour produire les protéines piscicoles consommées par les habitants d’un pays ;
- empreinte due à l’artificialisation des terres : surfaces utilisées pour les villes et les infrastructures humaines.

- La **biocapacité**, c’est-à-dire la surface biologiquement productive disponible.

On détermine si les besoins humains sont soutenables ou non en comparant biocapacité et empreinte :  
excédent ou déficit écologique

=  
biocapacité - empreinte écologique.

Le calcul de l’empreinte fait intervenir des constantes de conversion : des **facteurs de rendement** pour prendre en compte les différences de productivité biologique nationale (par exemple, des tonnes de blé par hectare britannique ou argentin), et des **facteurs d’équivalence** pour prendre en compte les différences de productivité mondiale selon le type de sol (par exemple, la moyenne de productivité mondiale des forêts par rapport à la moyenne mondiale des terres cultivées).

#### Facteurs de rendement et d’équivalence

Le rôle des **facteurs de rendement** est de transformer des tonnes de produits (production agricole, émissions de CO<sub>2</sub>, etc.) en une surface équivalente. Ces surfaces permettent ainsi de comparer des données qui ne le sont pas par ailleurs. Le principe de base du calcul de ces facteurs de rendement est d’utiliser le rendement moyen mondial et de l’appliquer ensuite à une production nationale pour la transformer en surface :

=  
facteur rendement  
= production mondiale/surface cultivée mondiale.

On distingue néanmoins des variantes suivant les empreintes partielles considérées. Par exemple, le facteur de rendement pour l’empreinte partielle du carbone est le taux de séquestration de CO<sub>2</sub> par hectare de forêt.

Les **facteurs d’équivalence** sont un système de pondération des différents types de sols (terre cultivable, forêt, pâturage...) en fonction de leur productivité agricole potentielle, estimée selon le modèle du GAEZ (Global Agro-Ecological Zones, FAO). Les superficies ainsi calculées sont mesurées en hectare global ; par construction, au niveau mondial, le nombre total d’hectares globaux est égal au nombre d’hectares réels.

NB : Les facteurs d’équivalence n’interviennent que lors de l’agrégation des différents espaces.

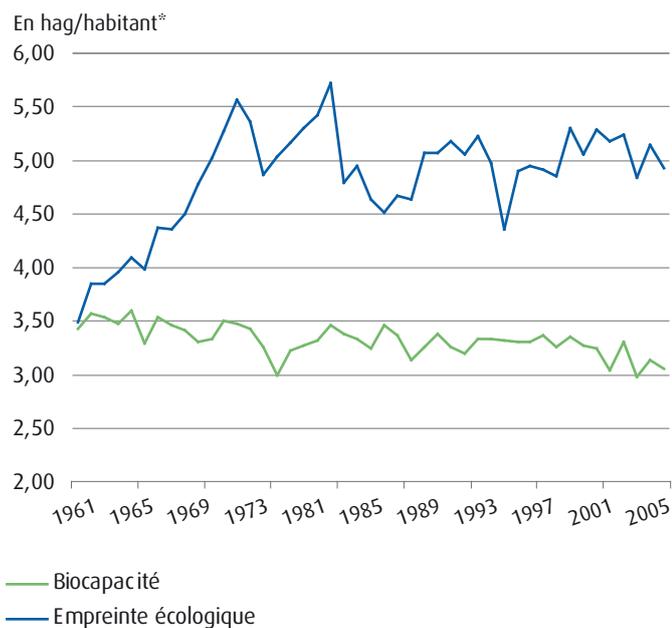
## Évolution de l'empreinte écologique et de la biocapacité de la France

Entre 1961 et 2005, l'empreinte écologique de la France a augmenté de 85 %, passant de 160 millions d'hectares globaux (Mhag) à 300 Mhag. Cependant, deux périodes de forte baisse ont été observées au début des années 1980 et 1990. Dans le même temps la biocapacité de la France n'a augmenté que de 30 Mhag environ, restant globalement stable autour de 170 Mhag.

Cette évolution est sensiblement identique si l'on s'intéresse aux résultats par habitant, avec toutefois une relative stabilisation aux alentours de 5 hag par habitant depuis le milieu des années 1970, à comparer avec une biocapacité légèrement supérieure à 3 hag par habitant.

La part de la composante énergie dans l'empreinte écologique est de plus en plus élevée. On est ainsi passé d'une empreinte constituée à 50 % de la composante agriculture en 1961 à une empreinte constituée à 50 % de la composante énergie en 2005.

### Évolution de l'empreinte écologique et de la biocapacité de la France entre 1961 et 2005



Note : \* hag/habitant = hectare global par habitant.

## L'expertise conduite par le Service de l'observation et des statistiques du CGDD

### La démarche

Avec l'appui d'un comité de suivi<sup>2</sup>, le Service de l'observation et des statistiques (SOeS), a procédé au chiffrage standard de l'empreinte, à partir des algorithmes de calculs et des données fournies par le GFN.

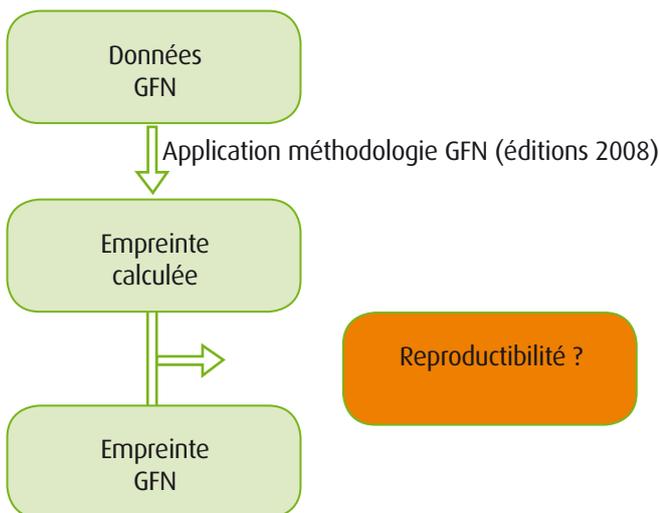
Un contrat a été établi avec le GFN pour la fourniture des données et algorithmes (édition 2008 des Comptes nationaux de l'empreinte écologique pour la France : série 1961-2005).

Il s'agissait :

- d'apprécier la **transparence** de la méthodologie de calcul de l'empreinte ;
- de juger de sa **reproductibilité**.

Pour cela, le SOeS s'est attaché à identifier les sources de données, identifier les constantes de conversion utilisées par le GFN, analyser la chaîne de calculs et enfin comparer les résultats.

#### Tester la reproductibilité de la méthode



Plusieurs critères du Code des bonnes pratiques de la statistique européenne ont été directement ou indirectement mobilisés pour analyser l'empreinte écologique. Il s'agit en particulier de :

- l'impartialité et l'objectivité qu'impose la transparence ;
- la robustesse méthodologique ;
- le caractère adapté de la procédure statistique ;
- la cohérence et la comparabilité ;
- l'accessibilité et la clarté.

La **pertinence**, qui est essentielle pour apprécier le bien-fondé d'un indicateur, n'a pas été directement analysée. Le SOeS ne voulait pas *a priori* se placer sur le plan conceptuel. Néanmoins, les conclusions du rapport technique renvoient inévitablement à des questions de pertinence de l'indicateur, qu'il s'agisse de l'interprétation que l'on peut en faire ou de l'usage auquel il pourrait donner lieu pour le suivi des politiques publiques en faveur de l'environnement. Par ailleurs, les discussions qui ont eu lieu au sein du groupe de suivi ont largement porté sur la question de la pertinence.

### Les résultats

Les résultats du test sont présentés en détail dans le rapport technique ; on reprend ici les enseignements jugés majeurs de ce test de l'empreinte écologique.

Globalement, la reproductibilité des calculs est bonne. L'origine des données statistiques utilisées est bien identifiée et ces données sont issues de sources statistiques officielles et indépendantes (Nations unies, Agence internationale de l'énergie AIE...). La publication pour la première fois en 2008 d'un guide méthodologique détaillé constitue un effort important de la part du GFN vers plus de transparence. Toutefois, l'origine des constantes de conversion n'est pas toujours suffisamment explicite. Par ailleurs, la méthodologie évolue ; or, les changements de méthode sont peu ou pas expliqués (hormis l'exclusion du nucléaire dans l'édition 2008).

#### Cohérence, comparabilité

La reproductibilité des calculs est bonne. Néanmoins, le traitement du nucléaire malmène la cohérence temporelle des résultats et rend difficile la comparaison entre pays à niveau de vie comparable, certains recourant au nucléaire, d'autres non. En effet, jusqu'en 2003, le nucléaire était pris en compte dans le calcul de l'empreinte globale, en faisant l'hypothèse que l'électricité produite par ce secteur émet la même quantité de CO<sub>2</sub> que celle issue de sources fossiles. Depuis cette date, le nucléaire n'intervient plus dans le calcul. L'information fournie par le GFN ne permet pas de comprendre la relative faiblesse de la réduction de l'empreinte qui en résulte.

#### Caractère adapté de la procédure statistique

La méthodologie et les données fournies par le GFN sont mises à disposition sous forme d'un classeur de logiciel bureautique. Ceci est source d'erreur, puisque l'on travaille en permanence sur des feuilles de calculs extrêmement volumineuses.

Les calculs du SOeS ont en revanche été effectués avec un outil informatique plus adapté. Ils sont spontanément reproductibles et l'on garde la trace du paramétrage retenu lorsqu'on teste des hypothèses alternatives portant sur les données ou les coefficients de conversion.

#### Accessibilité et clarté

L'ergonomie du tableur et le guide méthodologique ont facilité la prise en main de l'outil. L'origine des données statistiques utilisées est bien identifiée. En revanche, les constantes de conversion utilisées dans les calculs sont parfois des données propres au GFN (l'énergie « grise » par exemple), ce qui limite la reproductibilité des calculs.

<sup>2</sup> Institut Angenius, Bureau fédéral du plan (Belgique), Ecoles des mines (Paris-Tech, Saint-Etienne), Global Footprint Network, Insee, Meeddat, A. Vanoli (ex. président du Conseil scientifique de l'Iifen), université de Lausanne, WWF.

## Robustesse méthodologique

- Les nomenclatures utilisées sont parfois anciennes (Onu-1976 alors que l'actuelle date de 2006) ou non identifiées (cultures).
- Les variations qui affectent les six composantes de l'empreinte écologique sont trompeuses ou inexplicables. L'empreinte partielle de l'énergie diminue fortement en cas de ralentissement de l'activité économique (1991-1993). Cela peut être jugé positivement, mais reflète davantage un phénomène conjoncturel qu'un changement structurel de comportement. Celle des cultures diminue de 26 % en 2003, année de la canicule<sup>3</sup> alors qu'il n'y a pas eu d'amélioration de la consommation de ressources naturelles.
- Le niveau de détail des données est très hétérogène (point 11.5 du rapport technique).

## Compléments

Des tests complémentaires seront conduits par le SOeS d'ici fin juin. Il s'agit de tester la sensibilité des résultats aux modifications suivantes :

- prise en compte **d'autres jeux de données** : recours à des bases de données nationales ou actualisées (CORINE Land Cover 2006) ;
- impact de **scenarii prospectifs** : par exemple d'une réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2020 ou 2050 ;
- nouvelles **hypothèses** sur les coefficients :
  - séquestration du carbone, énergie grise ;
  - introduction de la notion de rendement agricole soutenable.

Les résultats obtenus seront présentés dans un rapport plus complet devant être disponible à la fin du mois de juillet. Ce rapport abordera plus à fond les aspects conceptuels et inclura une réponse du GFN aux critiques portant sur la méthode.

<sup>3</sup> La production agricole a diminué, mais le facteur de rendement retenu (mondial) a stagné

## D'autres limites de l'empreinte

### Des limites de champ : l'empreinte ne prend pas en compte toutes les dimensions de l'environnement

L'EE ne prend en compte ni la consommation d'eau potable, ni les rejets dans l'eau. Or, notamment du fait du réchauffement climatique, la problématique de l'eau s'annonce comme de plus en plus cruciale pour la survie de nombreuses populations.

L'EE ne prend en compte ni les rejets dans l'air (hormis le CO<sub>2</sub>), ni dans les sols.

L'EE ne prend pas en compte une partie du traitement des déchets.

L'EE n'intègre pas directement les problématiques liées à la biodiversité.

### Des limites conceptuelles

#### L'empreinte ne résume pas la complexité du développement durable

De par sa construction, elle exclut la prise en compte des dimensions économique et sociale du développement durable. De surcroît, il existe un consensus au sein de la communauté scientifique pour considérer qu'aucun indicateur ne permet à lui seul de refléter l'état de l'environnement ou son évolution, compte tenu de la richesse et de la complexité des enjeux écosystémiques.

Ces réflexions et positions conceptuelles ont pu être validées par le SOeS en procédant à une analyse statistique multidimensionnelle portant sur les IDD européens et l'EE. Il n'existe pas de corrélation significative entre l'empreinte et plusieurs indicateurs de niveau 1 et 2 pourtant retenus pour le suivi de la Stratégie européenne de développement durable : la connaissance de l'EE n'apporte aucune information sur le niveau ou les variations de ces indicateurs pourtant jugés indispensables au suivi des défis européens.

#### Empreinte et balance écologique doivent être étudiés simultanément

Une analyse statistique conduite par le SOeS sur 23 des 27 pays de l'Union européenne révèle qu'il n'y a pas de corrélation linéaire entre l'empreinte écologique d'une part et la « balance écologique » (écart entre empreinte et biocapacité) d'autre part.

Cela signifie que l'empreinte ne contient aucune information *a priori* sur le niveau de l'excédent ou du déficit écologique d'un pays. Ainsi, un pays à forte empreinte, mais doté d'une forte biocapacité, tel que la Finlande, peut être excédentaire du point de vue écologique.

A contrario, un pays à empreinte plus modérée peut être déficitaire, du fait d'une biocapacité beaucoup plus modeste.

En conséquence, dans l'hypothèse où l'on recourrait au concept d'empreinte écologique, il conviendrait de publier simultanément l'empreinte et la balance écologique pour formuler un diagnostic crédible.

#### La notion de « dépassement » (déficit écologique) repose uniquement sur le surplus d'émissions de CO<sub>2</sub>

Au niveau mondial, par construction, il n'y a pas de déséquilibre imputable à l'empreinte portant sur les espaces cultivés, les pâturages et les espaces bâtis. La conséquence est que le déficit écologique au niveau mondial mesuré par l'empreinte reflète essentiellement le surplus d'émissions de CO<sub>2</sub> (exprimées en équivalent de surface forestière).

Cette information est certes importante en soi si l'on considère que la préoccupation dominante concerne le réchauffement climatique. Mais faut-il pour cela recourir à l'empreinte, sachant qu'il existe d'autres indicateurs pour suivre les émissions de CO<sub>2</sub> et évaluer l'impact des politiques coordonnées à l'échelle mondiale pour réduire les émissions de gaz à effets de serre ?

*NB : L'empreinte « carbone » est calculée comme l'espace forestier nécessaire pour absorber le CO<sub>2</sub> émis (net de l'absorption par les océans) ; elle représente 52 % de l'empreinte. Il n'y a pas de biocapacité spécifique en regard : même si la forêt joue en même temps le rôle de puits de carbone et de production de bois, la méthode du GFN a choisi de n'affecter chaque surface qu'à une seule fonction, pour éviter les doubles comptes. La balance écologique est donc par construction négative (pas de biocapacité en face de l'empreinte).*

#### Au niveau national, l'empreinte n'est pas un indicateur reflétant le caractère durable ou non de la croissance

Les exportations d'un pays majorent l'empreinte du pays importateur. Cette façon de procéder renvoie au souci d'appréhender le développement durable dans un cadre globalisé et solidaire. Ainsi, l'empreinte d'un pays industriel n'est-elle pas minorée en cas de recentrage sur des activités de conception et de délocalisation des activités productives.

Mais la contrepartie de cette approche « généreuse » au bénéfice des pays exportateurs de biens primaires ou semi-finis est que l'empreinte ne peut être considérée comme un indicateur de soutenabilité au niveau national. Le déficit écologique d'un pays donné peut être élevé du fait de son commerce extérieur alors même que l'état de son environnement est préservé, voire s'améliore.

## Quelle utilisation de l'empreinte

Au-delà des résultats statistiques auxquels il conduit, le test de l'empreinte écologique réalisé par le SOeS révèle des limites plus conceptuelles de l'indicateur et conforte les critiques radicales formulées par certains membres du comité de suivi<sup>4</sup> :

- l'EE ne peut être considérée comme un indicateur permettant à lui seul d'appréhender la question environnementale, encore moins celle plus riche et plus complexe du développement durable ;
- les évolutions de l'indicateur sont parfois ambivalentes : à quoi doit-on les imputer et que traduisent-elles ? La réponse n'est pas toujours assurée.

Les analyses du SOeS et les échanges qui ont eu lieu au sein du comité de suivi, composé de scientifiques de haut niveau, montrent que sous une apparente simplicité l'empreinte écologique renvoie à des questions conceptuelles assez complexes.

Enfin, les calculs d'empreinte écologique dépendent aujourd'hui du *Global Footprint Network*. Au cas où l'empreinte serait adoptée, il faudra examiner s'il y a lieu de confier ces calculs à un service public officiel.

À ce stade, le SOeS considère que l'empreinte ne peut être retenue parmi les indicateurs phares (à côté des 11 indicateurs de la future SNDD) permettant de suivre de développement durable dans la perspective d'orienter les politiques publiques. La prise en compte de l'EE à côté d'autres indicateurs de développement durable de second rang peut être envisagée. La décision de retenir l'empreinte doit être prise en regard de ses forces et faiblesses mais aussi en comparaison avec d'autres indicateurs.

Enfin, il convient de noter que cet indicateur pourrait être présenté lors de la Conférence nationale sur les indicateurs de développement durable prévue par le Grenelle de l'environnement. Cet événement pourrait être conjointement organisé par le Conseil économique, social et environnemental (CESE) et le Conseil national de l'information statistique (Cnis) avant la fin 2009.

<sup>4</sup> A. Vanoli, Insee et École des mines de Paris en particulier.

## Bibliographie

- Boutaud A., Gondran N., 2009. *L'empreinte écologique*, coll. Repères, Ed. La découverte.
- GFN, 2008 : Atlas des Comptes nationaux et guide méthodologique. Disponible sur : [www.footprintnetwork.org/atlas](http://www.footprintnetwork.org/atlas)
- WWF, 2008. Rapport *Planète vivante* et zoom sur la France et la Belgique.
- OFS Suisse, 2008. La Suisse dans un monde globalisé.
- La Revue durable n° 28 (février-mars-avril 2008) et n° 29 (mai-juin 2008).
- Piguet *et al.*, *L'empreinte écologique, un indicateur ambigu*. Futuribles n° 334, octobre 2007.

## Annexe

### Une typologie des approches

Pour appréhender le développement durable, on dispose de quatre grands types d'approches :

- les approches de type **tableau de bord** : dans le cas de la Stratégie européenne de développement durable, par exemple, on recourt à une centaine d'indicateurs regroupés en trois niveaux selon leur nature stratégique ou au contraire plus opérationnelle ;
- les approches par **indices composites**, telles que l'indice de développement humain, qui consistent à calculer un indicateur synthétique comme moyenne pondérée d'indicateurs élémentaires ;
- les approches visant à **modifier le produit intérieur brut** de façon à prendre en compte la dimension développement durable qu'il n'intègre pas *a priori* ;
- les approches par **indices synthétiques**, telles que l'épargne nette ajustée dans laquelle les différentes composantes du développement durable sont agrégées par une unité commune, la valeur monétaire.

La « commission Stiglitz » sur la mesure de la performance économique et du progrès social donnera un avis et fera des recommandations sur certains de ces indicateurs, en particulier sur leur capacité à rendre compte du développement durable.

### Les travaux engagés au CGDD avec l'Insee

Il est prévu dans la loi Grenelle 1 que l'État se fixe pour objectif de disposer d'indicateurs permettant la valorisation, dans la Comptabilité nationale, des biens publics environnementaux. Dans ce but, un groupe de travail associant le département des Comptes nationaux de l'Insee et le SOeS a été mis en place en 2008. Les travaux du groupe visent à évaluer les dommages causés à l'environnement et non payés par l'économie, les prix du marché n'intégrant pas, au moins en partie, la valeur des ressources naturelles.

L'épuisement des ressources naturelles renouvelables et non renouvelables et la dégradation de l'environnement constituent deux obstacles à la durabilité des modes de production.

- **Le coût d'épuisement des ressources** sera abordé à partir de l'exemple des réserves d'hydrocarbures, non renouvelables, et des ressources halieutiques, exploitées au-delà des seuils de renouvellement des populations (stocks).
- **Le coût non payé de la dégradation de l'environnement** sera traité pour commencer pour le cas de la dégradation de l'air due aux émissions de gaz à effet de serre.

Les premières estimations du coût de la dégradation de l'environnement liée au réchauffement climatique sont attendues pour la fin 2009.

# *Réponse du* Global Footprint Network

## Response from Global Footprint Network

SOeS provides thorough research to test the transparency and reproducibility of the 2008 edition of Global Footprint Network's National Footprint Accounts. This is to be welcomed, since reviews and testing are essential for scientific progress. The extensive review shows that indeed there is a high degree of transparency and reproducibility.

This is a significant finding, since Global Footprint Network's key offering is advancing a scientific inquiry on what might turn out to become the most significant research question for the 21<sup>st</sup> century: *how much biocapacity is occupied by human activities?*

The Ecological Footprint is an accounting system for tracking human demand on ecological services. It attempts to answer one particular scientific research question – not all aspects of sustainability, or even environmental concerns. It analyses the human predicament from this particular angle, motivated by the assumption that Earth's regenerative capacity might be the limiting factor for the human economy if human demand continues to overuse what the biosphere can renew.

Are the Footprint answers of the 2008 edition perfect? No. Will they ever be perfect? Possibly not, but they will get better over time. This is the nature of any scientific inquiry and reviews like this one. But it will take more than reviews. It will take serious research collaborations because the scope of the research is large, exceeding in complexity and difficulty even GDP assessments. Footprint accounts not only capture human demand in much detail, but also track nature's "income" – biocapacity.

As GDP assessments have never given the perfect answer to their particular research question, Footprint accounting will have limitations as well. But the question is: does the Footprint accounting method do less justice to its research question than GDP does to the GDP research question? After all, SOeS's report shows that the current Footprint method is transparent and reproducible. Yes, many aspects can, and should be improved. This has been pointed out by Global Footprint Network research (Kitzes et al. 2007, 2009) as well as many national and international reviews Global Footprint Network has encouraged (Eurostat, DG Environment, Switzerland, Belgium, Germany, Ireland, United Arab Emirates, and others).

Global Footprint Network's research agenda is therefore consistent with SOeS's technical assessment. Yet, Global Footprint Network also advocates that nations get involved in the research as well, rather than just doing reviews. There is too much at stake to leave this research to just one research organization like Global Footprint Network. Global Footprint Network agrees: its ambition is to bring nations together to improve the method consistently and collectively, with significantly more research muscle.

What surprises though about the SOeS review is that in contrast to the thorough and thoughtful analysis of the transparency and reproducibility of the Footprint method, the synthesis report in section 4 and 5 makes cursory and rather uninformed claims about the implication of the method. This is not only unfortunate, but surprising for a science based review that puts its main effort on the purpose of the study: testing the transparency and reproducibility of the method. Here a few examples of misconceptions this "interpretation" section contains:

SOeS	Response
Des limites de champ : l'empreinte ne prend pas en compte toutes les dimensions de l'environnement (The Footprint does not consider all dimensions of the environment)	By definition, an accounting system can never be absolutely complete. But the key question is: does the method give an adequate response to its research question. SOeS's report however does not even mention the research question underlying the Footprint inquiry.  Since a scientific assessment by its nature never will be perfected, SOeS should answer – is there anything better out there? And would France be better off without these results?
L'empreinte ne résume pas la complexité du développement durable (the Footprint does not capture the full complexity of sustainable development)	This criticism is relevant, because, as also established in the official Footprint standards ( <a href="http://www.footprintstandards.org">www.footprintstandards.org</a> ), the Footprint is NOT a complete indicator of sustainability – it is an accounting system for demand on and availability of ecological services. Hence it is relevant and core to sustainability, but far from being everything.
La notion de « dépassement » (déficit écologique) repose uniquement sur le surplus d'émissions de CO <sub>2</sub> (the notion of overshoot or deficit only affects CO <sub>2</sub> )	This is a distorted and incorrect interpretation of overshoot, and would need more space to explain.
Au niveau national, l'empreinte n'est pas un indicateur reflétant le caractère durable ou non de la croissance (For nations, the Footprint does not reflect the sustainability of economic growth)	The Footprint answers one specific question about biocapacity constraints. This answer can be correlated with economic activity. Information on how many ecological services are demanded and how many are available is needed parallel to information about economic performance. It is a complement, not a substitute.
Section 5: "Quelle utilisation de l'empreinte"	This section is disappointing, since the section provides opinions rather than testable arguments.

A fair comparison would be to analyze: to what extent the Footprint method is any more speculative in answering its research question than GDP is in answering the GDP research question?

Obviously, it is up to France to choose to what extent the Footprint should be part of its "11 indicateurs de la future SNDD". But these are the questions that would need to be considered: Is France better off not knowing a) how much biocapacity France has and how much it uses, b) how much humanity uses compared to how much the planet can regenerate, and c) what the trends are? If this information isn't core to the sustainability challenge, what is? Can any of the other 11 indicators of SNDD address these issues?

## References

Kitzes, J., Galli, A., Bagliani, M., Barrett, J., Dige, G., Ede, S., Erb, K., Giljum, S., Haberl, H., Hails, C., Jungwirth, S., Lenzen, M., Lewis, K., Loh, J., Marchettini, N., Messinger, H., Milne, K., Moles, R., Monfreda, C., Moran, D., Nakano, K., Pyhälä, A., Rees, W., Simmons, C., Wackernagel, M., Wada, Y., Walsh, C. & Wiedmann, T., 2009. A Research Agenda for Improving National Ecological Footprint Accounts. *Ecological Economics*. Vol 68 No 7, p1991 – 2007 (presented in 2007)

Switzerland - <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/en/index/themen/21/03/blank/blank/01.html> (technical and descriptive report).

Eurostat – [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-AU-06-001/EN/KS-AU-06-001-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-AU-06-001/EN/KS-AU-06-001-EN.PDF)

Germany - <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3489.pdf>

Ireland – <http://erc.epa.ie/safer/iso19115/displayISO19115.jsp?isoID=56#files>

Belgium - [www.wwf.be/\\_media/04-lies-janssen-ecologische-voetafdrukrekeningen\\_236536.pdf](http://www.wwf.be/_media/04-lies-janssen-ecologische-voetafdrukrekeningen_236536.pdf)

DG Environment – June 2008: “Potential of the Ecological Footprint for monitoring environmental impact from natural resource use” available at <http://ec.europa.eu/environment/natres/studies.htm>

United Arab Emirates – Al Basama Al Beeiya Initiative  
<http://www.agedi.ae/ecofootprintuae/default.aspx>

# *Rapport technique*

<b>1</b>	<b>QUELQUES DEFINITIONS .....</b>	<b>3</b>
1.1	HECTARE GLOBAL .....	3
1.2	FACTEUR D'EQUIVALENCE .....	3
1.3	FACTEUR DE RENDEMENT .....	3
<b>2</b>	<b>QUELQUES REMARQUES PREALABLES .....</b>	<b>4</b>
2.1	PRINCIPE DE L'EMPREINTE ECOLOGIQUE .....	4
2.1.1	<i>Principe</i> .....	4
2.1.2	<i>Facteur d'équivalence</i> .....	4
2.2	EVOLUTION DE L'EMPREINTE ET DE LA BIOCAPACITE ENTRE 1961 ET 2005 .....	6
<b>3</b>	<b>BIOCAPACITE .....</b>	<b>10</b>
3.1	SURFACE DISPONIBLE .....	10
3.2	FACTEURS D'EQUIVALENCE .....	10
3.3	FACTEURS DE CULTURE .....	10
3.4	PREMIERS RESULTATS .....	12
<b>4</b>	<b>EMPREINTE PARTIELLE DU CARBONE.....</b>	<b>13</b>
4.1	EMPREINTE DES EMISSIONS DE CO <sub>2</sub> .....	13
4.1.1	<i>Consommation d'énergie fossile</i> .....	13
4.1.2	<i>Taux de séquestration du carbone par les océans</i> .....	14
4.1.3	<i>Facteur d'équivalence</i> .....	15
4.1.4	<i>Facteur de rendement</i> .....	15
4.1.5	<i>Empreinte induite par les soutes internationales (bunker fuel)</i> .....	15
4.1.6	<i>Résumé de l'empreinte liée aux émissions de CO<sub>2</sub></i> .....	16
4.2	EMPREINTE LIEE AUX IMPORTATIONS D'ENERGIE .....	16
4.2.1	<i>CO<sub>2</sub> contenu dans les flux commerciaux de marchandises</i> .....	16
4.3	BIOCAPACITE ASSOCIEE AU CARBONE .....	17
4.4	PREMIERS RESULTATS .....	17
4.4.1	<i>Empreinte</i> .....	17
4.4.2	<i>Excédent ou déficit écologique du Carbone</i> .....	19
<b>5</b>	<b>EMPREINTE PARTIELLE DES CULTURES .....</b>	<b>20</b>
5.1	EMPREINTE DE LA PRODUCTION AGRICOLE .....	20
5.1.1	<i>Production agricole</i> .....	20
5.1.2	<i>Facteur d'équivalence</i> .....	21
5.1.3	<i>Facteur de rendement</i> .....	21
5.2	EMPREINTE LIEE AUX IMPORTATIONS DE PRODUITS AGRICOLES .....	22
5.2.1	<i>Importations et exportations de produits agricoles</i> .....	22
5.2.2	<i>Facteur d'équivalence</i> .....	22
5.2.3	<i>Facteur de rendement et taux d'extraction</i> .....	22
5.3	CAS DE UNHARVESTED CROPLAND .....	23
5.4	BIOCAPACITE ASSOCIEE AUX CULTURES .....	23
5.4.1	<i>Surface disponible</i> .....	23
5.4.2	<i>Facteurs d'équivalence</i> .....	24
5.4.3	<i>Facteurs de culture</i> .....	24
5.5	PREMIERS RESULTATS .....	24
5.5.1	<i>Empreinte</i> .....	24
5.5.2	<i>Excédent ou déficit écologique des cultures</i> .....	26
<b>6</b>	<b>EMPREINTE PARTIELLE DES PATURAGES .....</b>	<b>27</b>
6.1	EMPREINTE DE L'ELEVAGE .....	27
6.2	BIOCAPACITE DES PATURAGES .....	27
6.2.1	<i>Consommation d'aliments à destination de l'élevage</i> .....	28
6.3	EMPREINTE LIEE AUX IMPORTATIONS DE CULTURES SOUS FORME DE PRODUITS DE L'ELEVAGE .....	30
6.3.1	<i>Feed mix</i> .....	30
6.3.2	<i>Taux d'extraction</i> .....	30
6.3.3	<i>Feed intensity</i> .....	31
6.4	BIOCAPACITE ASSOCIEE AUX PATURAGES .....	31
6.4.1	<i>Surface disponible</i> .....	31
6.4.2	<i>Facteurs d'équivalence</i> .....	31

6.4.3	<i>Facteurs de culture</i> .....	31
6.5	PREMIERS RESULTATS.....	32
6.5.1	<i>Empreinte</i> .....	32
6.5.2	<i>Excédent ou déficit écologique des pâturages</i> .....	33
<b>7</b>	<b>EMPREINTE PARTIELLE DE L'ARTIFICIALISATION</b> .....	<b>34</b>
7.1	EMPREINTE DE L'OCCUPATION DU SOL.....	34
7.1.1	<i>Poste B1 de la nomenclature CORINE Land Cover</i> .....	34
7.1.2	<i>Facteur de rendement</i> .....	35
7.1.3	<i>Facteur d'équivalence</i> .....	35
7.2	EMPREINTE LIEE A LA CONSOMMATION D'ENERGIE HYDROELECTRIQUE.....	35
7.2.1	<i>Production hydroélectrique</i> .....	36
7.2.2	<i>Facteur de rendement</i> .....	36
7.3	BIOCAPACITE ASSOCIEE A L'ARTIFICIALISATION.....	36
7.4	PREMIERS RESULTATS.....	36
7.4.1	<i>Empreinte</i> .....	36
7.4.2	<i>Excédent ou déficit écologique de l'artificialisation</i> .....	37
<b>8</b>	<b>EMPREINTE PARTIELLE DE LA FORET</b> .....	<b>39</b>
8.1	EMPREINTE DE LA PRODUCTION FORESTIERE.....	39
8.1.1	<i>Production forestière</i> .....	39
8.1.2	<i>Facteur d'équivalence</i> .....	39
8.1.3	<i>Facteur de rendement</i> .....	40
8.2	EMPREINTE LIEE AUX IMPORTATIONS DE PRODUITS FORESTIERS.....	40
8.3	BIOCAPACITE ASSOCIEE A LA FORET.....	40
8.3.1	<i>Surface disponible</i> .....	40
8.3.2	<i>Facteurs d'équivalence</i> .....	41
8.3.3	<i>Facteurs de culture</i> .....	41
8.4	PREMIERS RESULTATS.....	41
8.4.1	<i>Empreinte</i> .....	41
8.4.2	<i>Excédent ou déficit écologique de la forêt</i> .....	42
<b>9</b>	<b>EMPREINTE PARTIELLE DE LA PECHE</b> .....	<b>44</b>
9.1	EMPREINTE DE LA PECHE.....	44
9.1.1	<i>Captures de poissons</i> .....	44
9.1.2	<i>Facteur d'équivalence</i> .....	45
9.1.3	<i>Facteur de rendement</i> .....	45
9.2	EMPREINTE LIEE AUX IMPORTATIONS DE PRODUITS DE LA PECHE.....	46
9.2.1	<i>Facteur d'équivalence</i> .....	46
9.2.2	<i>Facteur de rendement et taux d'extraction</i> .....	46
9.3	BIOCAPACITE ASSOCIEE A LA PECHE.....	46
9.3.1	<i>Surface disponible</i> .....	47
9.3.2	<i>Facteurs d'équivalence</i> .....	47
9.3.3	<i>Facteurs de culture</i> .....	47
9.4	PREMIERS RESULTATS.....	47
9.4.1	<i>Empreinte</i> .....	47
9.4.2	<i>Excédent ou déficit écologique de la pêche</i> .....	48
<b>10</b>	<b>EMPREINTE ECOLOGIQUE</b> .....	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>BILAN DE L'EXPLORATION (PHASE 1)</b> .....	<b>52</b>
11.1	VISIBILITE DE PHENOMENES EXTERIEURS.....	52
11.2	FACTEURS D'EQUIVALENCE.....	52
11.3	SOLIDITE DES CONSTANTES DE CONVERSION.....	52
11.4	DONNEES.....	53
11.5	NIVEAU DE DETAIL DU CALCUL.....	54
11.6	CAS PARTICULIER DE L'EMPREINTE DU CARBONE.....	54
<b>12</b>	<b>PERSPECTIVES</b> .....	<b>54</b>
	<b>ANNEXE</b> .....	<b>55</b>

# 1 Quelques définitions

## 1.1 Hectare global

L'hectare global est une surface de productivité mondiale moyenne. Ce concept permet de comparer des types de sol de productivités différentes. Dans ce rapport, l'hectare global sera noté hag.

## 1.2 Facteur d'équivalence

**Les facteurs d'équivalence permettent de représenter des types de sol de productivités différentes en recourant à une surface de productivité moyenne mondiale, l'hectare global.**

Le rôle de ces facteurs d'équivalence est de transformer des surfaces mondiales en une surface théorique moyenne, l'hectare global.

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sol en fonction de leur productivité agricole potentielle<sup>1</sup>.

## 1.3 Facteur de rendement

Le rôle de ces facteurs de rendement est de transformer des tonnes de produits (production agricole, émissions de CO<sub>2</sub>, etc.) en une surface équivalente. Ces surfaces permettent ainsi de comparer des données qui ne le sont pas par ailleurs ; exemple : la surface correspondant à une tonne de CO<sub>2</sub> provenant de l'importation de vêtements en coton peut être comparée à la surface correspondant à une tonne de CO<sub>2</sub> émise pour la construction d'un bâtiment.

Le principe de base du calcul de ces facteurs de rendement est d'utiliser le rendement moyen mondial :

$$\text{facteur rendement} = \frac{\text{production mondiale}}{\text{surface cultivée mondiale}}$$

On distingue néanmoins des variantes suivant les empreintes partielles considérées<sup>2</sup>.

Par exemple le facteur de rendement pour l'empreinte partielle du carbone est le taux de séquestration de CO<sub>2</sub> par hectare de forêt.

<sup>1</sup> Voir le chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence.

<sup>2</sup> Voir le détail de l'exploration des empreintes partielles.

## 2 Quelques remarques préalables

Il ne s'agit pas ici de discuter du fondement scientifique de la méthode ni des hypothèses retenues par le Global Footprint Network GFN. Il s'agit d'étudier, pour le Service de l'Observation et des Statistiques<sup>3</sup> du Commissariat au Développement Durable, la possibilité de reproduire et standardiser les calculs sur la base de la méthodologie et des données mises à disposition par le GFN.

Cette démarche peut néanmoins conduire à formuler des questions, des remarques, voire des réserves sur la méthodologie retenue.

Les chiffres ont été arrondis dans les exemples de calcul pour simplifier la lecture. Cela peut expliquer qu'il n'y ait pas stricte identité entre chaque membre des équations.

### 2.1 Principe de l'empreinte écologique

#### 2.1.1 Principe

Le vocable général d'empreinte écologique utilisé par le GFN renvoie en réalité à deux agrégats distincts :

- L'**empreinte** proprement dite, c'est-à-dire la demande en ressources. Cette empreinte est déclinée en 6 empreintes partielles, correspondant à 6 familles d'activités humaines :
  - Empreinte due au carbone : surfaces équivalentes nécessaires pour absorber les émissions de CO<sub>2</sub> dues à la consommation d'énergie fossile et à la consommation de produits manufacturés
  - Empreinte due aux cultures : surfaces nécessaires pour produire les produits agricoles consommés par les habitants d'un pays
  - Empreinte due aux pâturages : surfaces nécessaires pour produire, en plus d'une partie des cultures, les protéines animales consommées par les habitants d'un pays ou aboutissant à des exportations de viande et animaux
  - Empreinte due aux forêts : surfaces nécessaires pour produire les produits issus de la filière bois consommés par les habitants d'un pays
  - Empreinte due à la pêche : surfaces équivalentes nécessaires pour produire les protéines piscicoles consommées par les habitants d'un pays
  - Empreinte due à l'artificialisation des terres : surfaces utilisées pour les villes et les infrastructures humaines.
- La **biocapacité**, c'est-à-dire la surface biologiquement productive disponible

On détermine si les besoins humains sont soutenable ou non en comparant biocapacité et empreinte.

$$\text{Excédent ou Déficit écologique} = \text{Biocapacité} - \text{Empreinte écologique}$$

#### 2.1.2 Facteur d'équivalence

Le calcul de l'empreinte écologique répond à la formule générale suivante<sup>4</sup> :

$$\text{Empreinte écologique} = \text{consommation} \times \frac{\text{facteur d'équivalence}}{\text{facteur de rendement}}$$

Les facteurs d'équivalence n'interviennent que lors de l'agrégation des différents espaces. Sans l'utilisation de ces facteurs d'équivalence, on obtiendrait une empreinte écologique en hectares ne permettant pas de comparaison entre les différents types de sol. Le rôle de ces facteurs d'équivalence est de créer une surface théorique unique, l'hectare global, par pondération des différents types de sol

<sup>3</sup> SOeS.

<sup>4</sup> Cette formule globale sera explicitée au cas par cas dans les chapitres sur les différentes empreintes partielles.

(terre cultivable, forêt, pâturage,...) en fonction de leur productivité agricole potentielle. De ce fait ils sont identiques pour chaque pays et ils permettent de comparer les différents résultats nationaux.

Une traduction de la description du Guidebook permet de mieux cerner la façon dont ces facteurs sont obtenus.

Les facteurs d'équivalence sont actuellement calculés en utilisant les suitability indexes du modèle Global Agro-Ecological Zones (FAO / IIASA 2000) combinés avec des informations à propos des zones de terres cultivées, des forêts et de zone de pâturage à partir de FAOSTAT (FAOSTAT XXXX).

Le modèle du GAEZ divise l'ensemble des terres au niveau mondial en cinq catégories, à chacune est attribué un indice d'aptitude (suitability index) :

- Très cultivables : 90
- cultivables : 70
- Modérément cultivables : 50
- cultivabilité marginale : 30
- non approprié : 10

Le calcul des facteurs d'équivalence suppose que la plupart des terres productives sont situées dans les parties les plus cultivables. Les calculs supposent que les terres les plus cultivables sont destinées à l'agriculture, les terres moyennement cultivables à la forêt, et les moins adaptées aux pâturages. Le facteur d'équivalence est calculé comme le rapport entre la moyenne de l'indice d'aptitude pour un type de terrain et la moyenne de l'indice d'aptitude pour tous les types de terrains.

Ce calcul est résumé schématiquement par le schéma suivant :

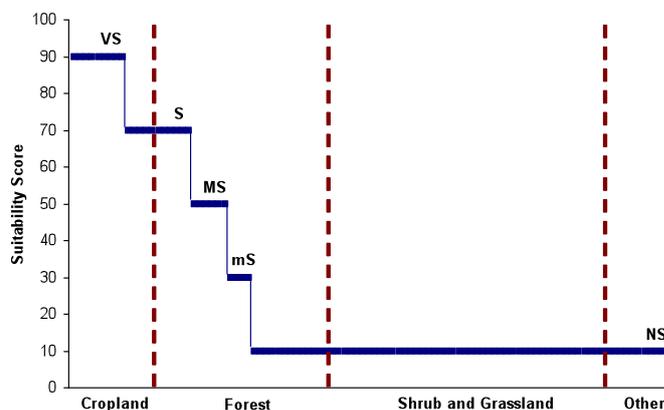


Figure 1 : répartition des terres selon leur indice d'aptitude

Le facteur d'équivalence pour les infrastructures est égal au facteur d'équivalence des terres cultivées, en retenant l'hypothèse selon laquelle les infrastructures occupent d'anciennes terres agricoles.

Le facteur d'équivalence de l'énergie hydroélectrique est fixé à 1, ce qui suppose que les réservoirs hydroélectriques inondent des terres d'indice d'aptitude moyen.

Le facteur d'équivalence pour la zone marine est calculé de façon à ce qu'un hectare global de zone maritime utile à produire une quantité donnée de calories de saumon corresponde à la même quantité de calories de viande bovine produite par un seul hectare global de pâturage. Le facteur d'équivalence pour les eaux intérieures est fixé au facteur d'équivalence pour la zone maritime.

**Illustration :**

Le calcul des facteurs d'équivalence répond donc à la formule suivante :

$$\text{facteur d'équivalence}_i = \frac{\text{indice d'aptitude moyen}_i}{\text{indice d'aptitude global}}$$

Avec :

$$\text{indice d'aptitude global} = \sum_{\text{type\_sol}} \left( \text{indice d'aptitude moyen}_i \times \frac{\text{surface}}{\text{surface totale}} \right)$$

Exemple du cas des cultures, de la forêt et des pâturages :

cultivabilité	Indice d'aptitude	Répartition par cultivabilité (%)		
		culture	forêt	pâturage
Very suitable	0,9	80	0	0
Suitable	0,7	20	25	0
Moderately suitable	0,5	0	25	0
Marginally suitable	0,3	0	10	0
Not suitable	0,1	0	40	10
<b>Indice d'aptitude moyen</b>		<b>0,86</b>	<b>0,37</b>	<b>0,1</b>

Figure 2 : exemples de calcul d'indice d'aptitude moyen

On multiplie chacun de ces indices d'aptitudes par la proportion de chaque type de sol correspondante pour obtenir l'indice d'aptitude global. Ainsi avec une surface disponible de 10,35 milliards d'hectares et une répartition de 1,6 milliards d'hectares de terres cultivables, 3,95 milliards d'hectares de forêts et 4,8 milliards d'hectares de pâturages on obtient :

$$\text{indice d' aptitude global} = 0,86 \times \frac{1,6}{10,35} + 0,37 \times \frac{3,95}{10,35} + 0,1 \times \frac{4,8}{10,35} = 0,32$$

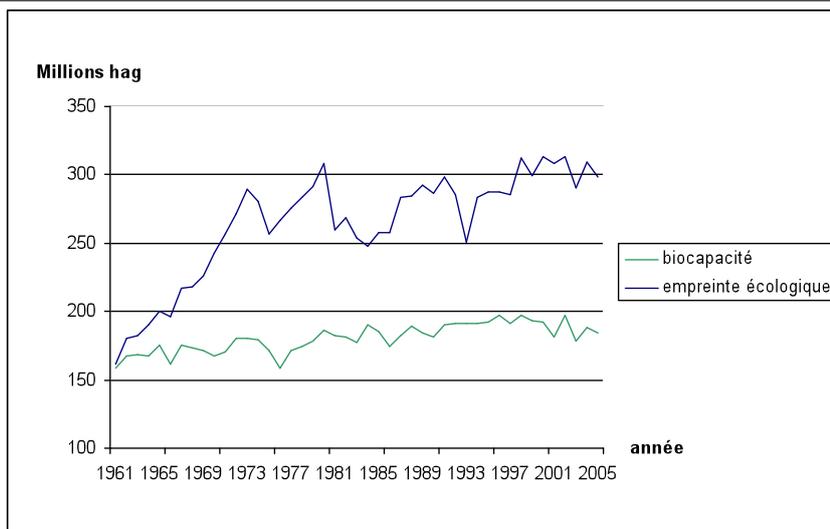
On obtient ainsi en divisant les indices d'aptitudes moyens de chaque type de sol par cet indice d'aptitude global les facteurs d'équivalences suivants :

Type de sol	Indice d'aptitude moyen	Indice d'aptitude global	Facteur d'équivalence
Culture	0,86	0,32	2,68
forêt	0,37	0,32	1,15
pâturage	1	0,32	0,32

Figure 3 : exemples de calcul des facteurs d'équivalence

## 2.2 Evolution de l'empreinte et de la biocapacité entre 1961 et 2005

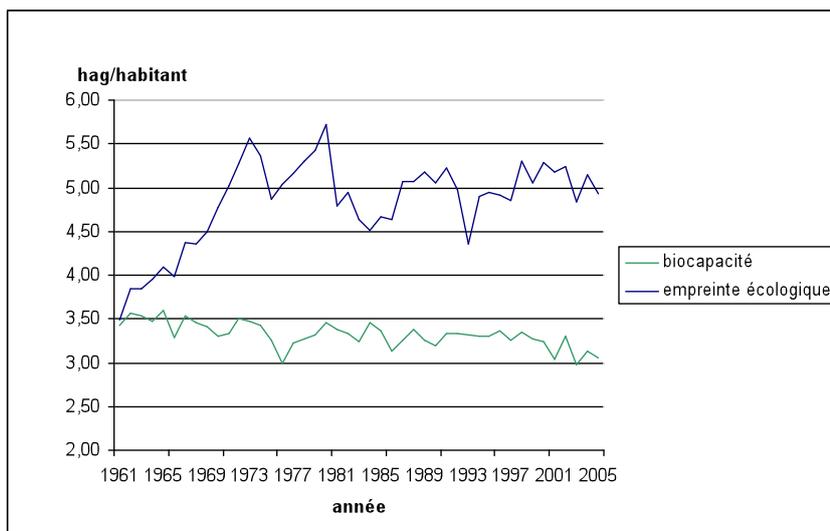
L'empreinte écologique de la France a globalement augmenté depuis 1961, passant de 160 million d'hectares globaux (Mhag) à 300 Mhag. Cependant, deux périodes de forte baisse ont été observées au début des années 1980 et 1990. Dans le même temps la biocapacité de la France n'a augmenté que de 30 Mhag environs, restant globalement stable autour de 170 Mhag.



Source : GFN

Figure 4 : évolution de l'empreinte écologique et de la biocapacité de la France entre 1961 et 2005

Cette évolution est sensiblement identique si l'on s'intéresse aux résultats par habitant, avec toutefois une relative stabilisation aux alentours de 5 hag par habitant depuis le milieu des années 1970, à comparer avec une biocapacité légèrement supérieure à 3 hag par habitant.



Source : GFN.

Figure 5 : évolution de l'empreinte écologique et de la biocapacité par habitant de la France entre 1961 et 2005

La part de la composante énergie dans l'Empreinte écologique est de plus en plus élevée. On est ainsi passé d'une empreinte constituée à 50% de la composante agriculture en 1961 à une empreinte constituée à 50% de la composante énergie en 2005 (voir figures 6-a et 6-b).

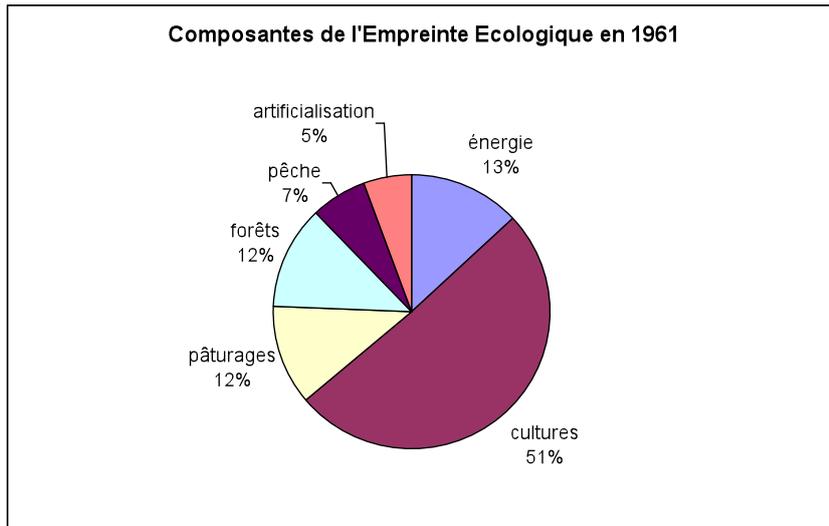


Figure 6-a : part des composantes de l'empreinte écologique de la France en 1961

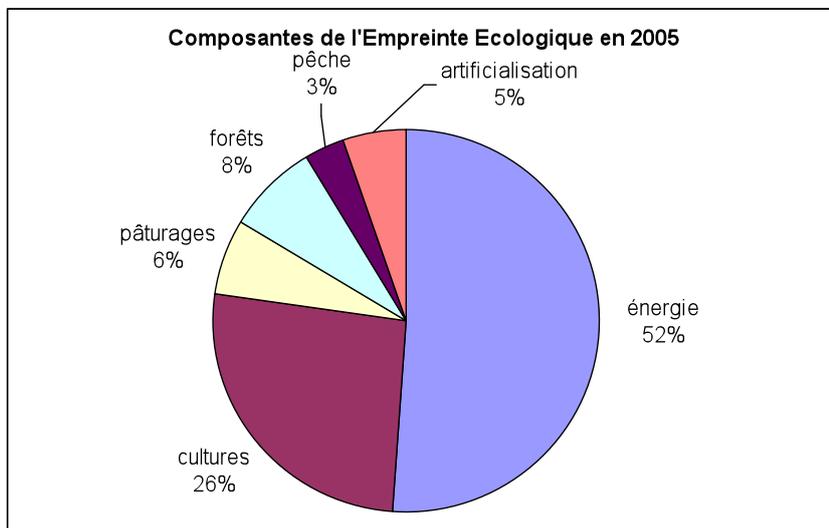


Figure 6-b : part des composantes de l'empreinte écologique de la France en 2005

L'empreinte écologique globale est majoritairement imputable aux empreintes partielles du carbone et des cultures. Les variations de l'empreinte globale suivent effectivement les variations de l'empreinte du carbone.

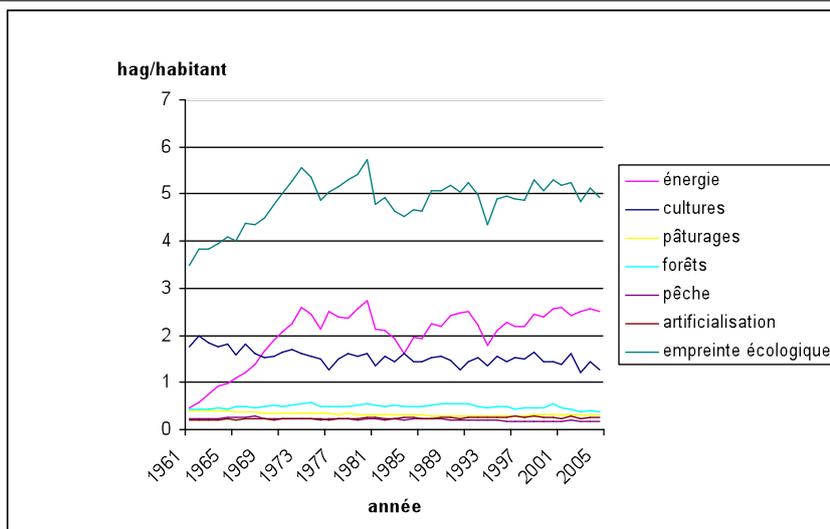


Figure 7 : évolution des composantes de l'empreinte écologique de la France entre 1961 et 2005

Lorsque l'on s'intéresse à la contribution de chaque empreinte partielle à l'évolution de l'empreinte totale, on constate que les variations sont pour la plupart dues aux composantes énergie et cultures (comme le montre la figure 8 ci après).

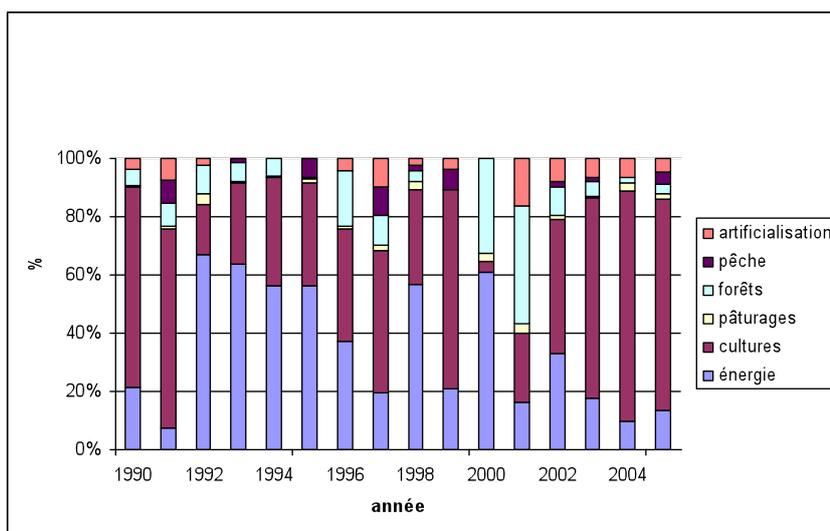


Figure 8 : contributions des empreintes partielles aux variations de l'empreinte écologique entre 1990 et 2005

### 3 Biocapacité

La biocapacité est la surface biologiquement productive dont dispose un pays. Elle est calculée pour les 5 types d'usage de terres : terres cultivées, pâturages, forêt, pêcheries (mer et eau douce) et terres artificialisées.

**Remarque :** pour éviter les doubles comptes, il n'y a pas de calcul de biocapacité pour l'énergie. La forêt qui servirait à séquestrer le carbone est déjà prise en compte pour répondre aux besoins de la « filière bois ».

On a donc la formule suivante, avec Bc pour biocapacité :

$$Biocapacité = Bc_{cultures} + Bc_{pâturages} + Bc_{forêt} + Bc_{pêche} + Bc_{artificialisation}$$

Avec

$$Bc_{domaine} = Surface\ disponible_{domaine} \times Y_f \times Eq_{facteur}$$

#### 3.1 Surface disponible

Les données concernant la surface sont issues de Corine Land Cover, des statistiques de la FAO ou du GLC<sup>5</sup>.

La source privilégiée, complète pour l'ensemble des postes concernés, est CLC.

Une identification des postes nécessaires est à étudier pour l'utilisation des données CLC du SOeS. En effet les tentatives de calcul à partir des données CLC disponible au SOeS laissent apparaître une forte divergence avec les résultats du GFN. La biocapacité calculée est inférieure jusqu'en 1980, puis fortement supérieure depuis les années 1990. La source la plus probable de cette divergence est une sélection différente de postes. Les calculs du SOeS ont été faits avec les postes suivants :

- Cultures : B211; B212; B213; B221; B222; B223; B241; B242; B243
- Pâturages : B231; B321; B322; B323; B324; B333
- Forêt : B311; B312; B313; B244
- Pêche : B521; B522; B523; B511; B512
- Artificialisation : B111; B112; B121; B122; B123; B124; B131; B132; B133; B141; B142

#### 3.2 Facteurs d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sols en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

#### 3.3 Facteurs de culture

Les facteurs de cultures sont égaux au rapport entre rendements nationaux et rendements mondiaux.

$$Y_f = \frac{Rdt_{national}}{Rdt_{mondial}}$$

- Pâturages

C'est le rapport entre les rendements de production de matière sèche.

Le GFN utilise ainsi un rendement à l'hectare du pâturage français de 13,10 tonnes de matière sèche comparé à un rendement moyen mondial de 6,19 (valeurs constantes de 1961 à 2005).

<sup>5</sup> Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Center and European Commission. *Global Land Cover 2000*. IES, Italy. <http://www-tem.jrc.it/glc2000/>

#### - Pêche marine

C'est le rapport entre le rendement par hectare du plateau continental de la France et celui du plateau continental mondial (en kilogramme de biomasse par hectare).

Là aussi, le GFN utilise des rendements constants entre 1961 et 2005 (820 tonnes par hectare pour la France contre 504 tonnes par hectares pour la moyenne mondiale).

#### - Pêche en eau douce

Pour ce qui est de l'eau douce, il n'existe pas de statistiques mondiales. Le GFN utilise un facteur de rendement égal à 1 : un litre d'eau douce donne la même quantité de biomasse partout dans le monde.

**Remarque :** cette hypothèse illustre le fait que l'empreinte écologique ne tient pas compte de la qualité physico-chimique des cours d'eau. La pollution des rivières n'est ainsi pas intégrée dans le calcul de la biocapacité.

#### - Forêt

C'est le rapport entre les rendements nationaux et mondiaux de grumes (arbres abattus non encore transformés).

#### - Terres artificialisées

L'hypothèse du GFN, qui consiste à considérer les terres artificialisées comme des terres agricoles (voir détail du calcul de l'empreinte partielle de l'artificialisation), conduit à utiliser le facteur de rendement des cultures.

#### - Cultures

Il s'agit ici du rapport des surfaces mondiales et nationales utilisées pour la production des produits agricoles primaires. Seuls les produits dont les deux surfaces sont disponibles (mondiale et nationale) l'année du calcul sont retenus.

$$Yf_{cultures} = \frac{\sum_{produits\_primaires} \text{surface cultivée mondiale}}{\sum_{produits\_primaires} \text{surface cultivée nationale}}$$

#### Remarque :

La biocapacité fluctue fortement au cours de la période 1961-2005. Ces fluctuations sont en fait dues à la composante cultures comme le montre la figure 9.

Ceci semble imputable au mode de calcul du facteur de rendement de cette composante. En effet, on ne retient que les surfaces pour lesquelles les données mondiales et nationales sont disponibles l'année du traitement.

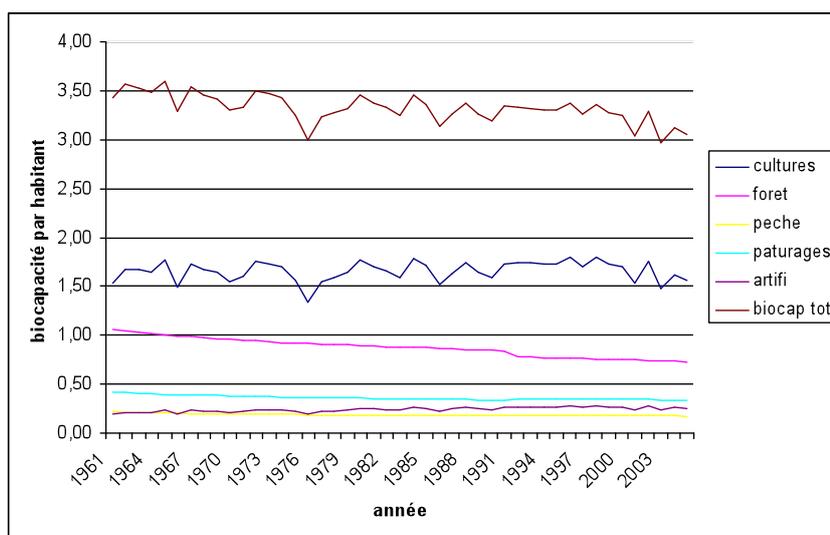


Figure 9 : évolution de la biocapacité et de ses composantes (1961- 2005)

### 3.4 Premiers résultats

Les premiers résultats du calcul sont présentés figure suivante. Ils montrent une forte divergence si les données CLC utilisées sont celles issues du CLC du SOeS (*biocapacité calculée CLC*). Une demande auprès du GFN pour identifier si les postes retenus sont bien les mêmes que ceux utilisés par le GFN est en cours. De même la mise à disposition depuis début 2009 d'une version CLC2006 et d'une version révisée de CLC2000 peut affiner nos résultats.

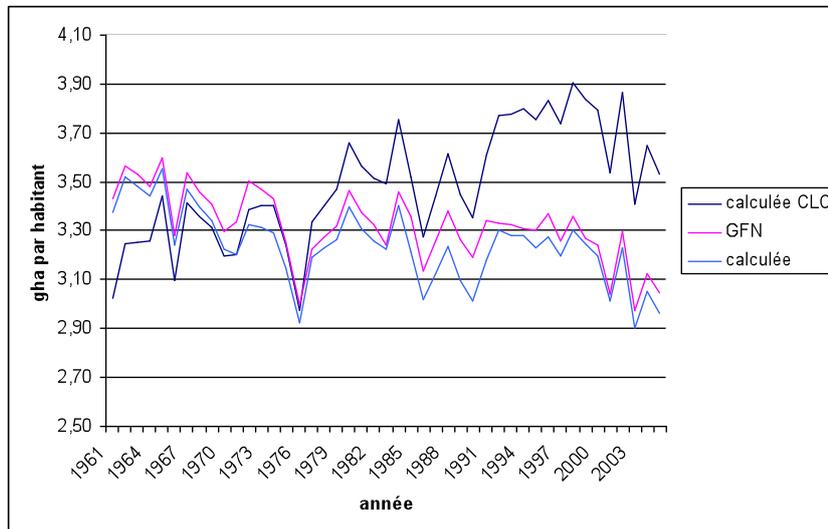


Figure 10 : comparaison de l'évolution de la biocapacité calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

L'écart entre les valeurs issues des calculs du SOeS et celles du GFN est compris entre + 0,6 % et + 5,5 %. L'écart moyen est de +2,4 % et l'écart médian de +1,9 %.

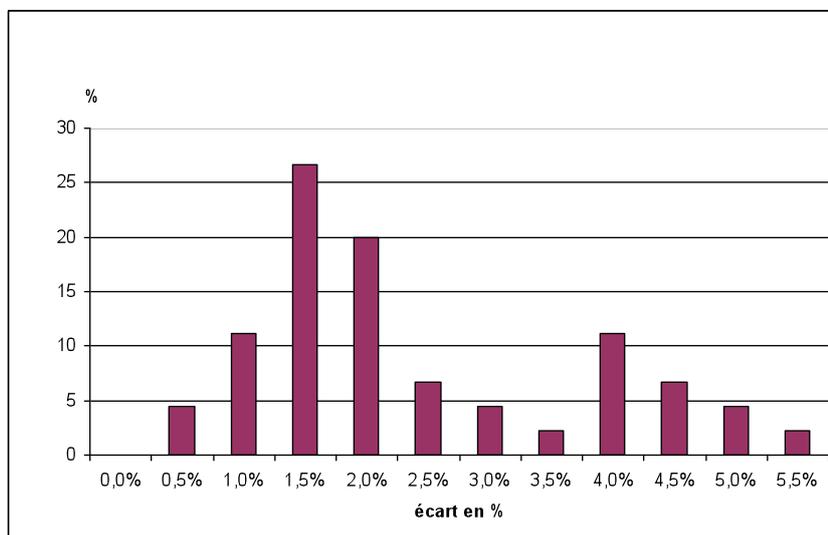


Figure 11 : distribution des écarts entre la biocapacité calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

## 4 Empreinte partielle du carbone

L'empreinte partielle du carbone est le résultat de l'agrégation d'une empreinte tenant compte des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux activités productives du pays et d'une empreinte estimant les émissions de CO<sub>2</sub> induites par les flux commerciaux de produits manufacturés (émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la fabrication et du transport de ces marchandises).

La formule se résume à l'expression suivante où EF signifie Ecological Footprint :

$$EF_{\text{carbone}} = EF_{\text{émissions CO}_2} + EF_{\text{import CO}_2} - EF_{\text{export CO}_2}$$

$$\text{Avec : } EF_{\text{émissions CO}_2} = EF_{\text{consommation énergie fossile}} + EF_{\text{bunker fuel}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{\text{carbone}} = 152 \text{ Mhag} = 111 \text{ Mhag} + 189 \text{ Mhag} - 148 \text{ Mhag}$$

$$\text{Avec : } EF_{\text{émissions CO}_2} = 111 \text{ Mhag} = 108 \text{ Mhag} + 3 \text{ Mhag}$$

### 4.1 Empreinte des émissions de CO<sub>2</sub>

#### 4.1.1 Consommation d'énergie fossile

Ce sont les émissions de CO<sub>2</sub> émises par les activités productives tous secteurs confondus.

6 secteurs sont retenus :

- énergie électrique ;
- autoproduction d'électricité ;
- autres industries énergétiques ;
- industries manufacturières et BTP ;
- transports ;
- autres secteurs.

Ces 6 catégories sont déclinées en 35 sous catégories correspondant aux secteurs d'activités de la NAF (voir figure 12, page suivante).

**Remarque :** les produits manufacturés (production industrielle) sont pris en compte dans le calcul de l'empreinte par le biais de la consommation d'énergie des Industries Manufacturières et de la Construction.

La source des données relatives à l'énergie est l'International Energy Agency, IEA, rapport CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion 2007 disponible sur le site <http://www.iea.org/> (mais besoin d'un login et d'un mot de passe pour y accéder <http://wds.iea.org/wds/>).

<b>CO<sub>2</sub> sectorial approach</b>	
<b>catégories</b>	<b>sous catégories</b>
Main Activity Electricity and Heat Production	Main Activity Electricity Plants Main Activity CHP Plants Main Activity Heat Plants Own Use in Electricity, CHP and heat plants
Unallocated Autoproducers	Autoproducer Electricity Plants Autoproducer CHP Plants Autoproducer Heat Plants
Other Energy Industries	
Manufacturing Industries and Construction	Iron and Steel Chemical and Petrochemical Non-Ferrous Metals Non-Metallic Minerals Transport Equipment Machinery Mining and Quarrying Food and Tobacco Paper, Pulp and Printing Wood and Wood Products Construction Textile and Leather Non-specified Industry Non-Energy Use Ind/Transf/Energy
Transport	Domestic Air Transport Road Rail Pipeline Transport National Navigation Non-specified Transport Non-Energy Use in Transport
Other Sectors	Agriculture Commercial and Public Services Residential Non-specified Other Non-Energy Use in Other Sectors

Figure 12 : détail des catégories retenues pour les émissions de CO<sub>2</sub>

La somme des consommations de ces 6 postes est ensuite soumise à la formule suivante :

$$EF_{\text{consommation énergie fossile}} = \text{Energie consommée} \times (1 - Tx_{\text{séquestration océans}}) \times \frac{Eq_{f \text{ acteur}}}{Rdt_{f \text{ acteur}}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{\text{conso énergie fossile}} = 108 \text{ Mhag} = 388 \text{ Mt} \times (1 - 0,25) \times \frac{1,33 \text{ hag / whag}}{3,59 \text{ t / whag}}$$

Note : Wha signifie hectare mondiaux

#### 4.1.2 Taux de séquestration du carbone par les océans

La valeur est différente selon l'année d'étude. D'après la définition ce serait, pour une année donnée, le rapport entre la quantité de carbone absorbée par les océans et la quantité de CO<sub>2</sub> produite mondialement.

D'après le guide méthodologique GFN, la source est le rapport : Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. *Climate Change 2001 : The Scientific Basis*.

### 4.1.3 Facteur d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sols en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

### 4.1.4 Facteur de rendement

Ce facteur de rendement est en fait constant sur la période d'étude (1961-2005). Cette constante est le rapport entre le facteur de séquestration du carbone, calculé à partir du taux de séquestration potentiel de la forêt<sup>6</sup>, et la constante C to CO<sub>2</sub>.

$$Rdt_{facteur} = \frac{\text{Facteur Séquestration carbone}}{C \text{ to } CO_2}$$

**Facteur de séquestration du carbone** : cette donnée est fournie par le rapport de l'IPCC<sup>7</sup> de 2006<sup>8</sup>, disponible sur le site <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>, sa valeur est de 0,97 tonne de carbone par hectare par an :

**C to CO<sub>2</sub>** est le rapport des poids atomiques de C et O dans CO<sub>2</sub> soit 0,273 (Masse atomique de C=12,011 u ; masse atomique de O=15,999 u)

$$\text{On a : } Rdt_{facteur} = \frac{0,97}{0,27} = 3,59$$

Cette valeur est différente des valeurs commentées dans le livre *L'empreinte écologique* (Boutaud et Gondran, p76) : "le facteur de rendement est en fait le ratio de séquestration du GIEC, jusqu'ici de 3.67 tonnes de CO<sub>2</sub>/Ha, qui a été révisé à 3.89 tonnes de CO<sub>2</sub>/Ha en 2006." Ces commentaires concernaient l'ancienne méthodologie utilisée par le GFN mais les valeurs des ratios de séquestrations du GIEC restent valables.

### 4.1.5 Empreinte induite par les soutes internationales (bunker fuel)

Comme on l'a vu dans la formule de l'empreinte des émissions de CO<sub>2</sub>, un terme est ajouté à l'empreinte de la consommation d'énergie fossile, le "bunker fuel". Il semble s'agir de la part de la France dans les transports internationaux (aérien et maritime) que l'on applique à EF<sub>énergie fossile consommée</sub>, on peut donc résumer par cette formule :

$$EF_{bunker\ fuel} = EF_{consommation\ énergie\ fossile} \times partFrance_{transport\ international}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{bunker\ fuel} = 3526876\ hag = 107\ 756\ 818\ hag \times 3,27\%$$

On peut donc résumer l'empreinte des émissions de CO<sub>2</sub> par la formule finale suivante :

$$EF_{émissions\ CO_2} = EF_{consommation\ énergie\ fossile} \times (1 + partFrance_{transport\ international})$$

<sup>6</sup> The 'Carbon Sequestration Factor' estimates the annual carbon sequestration of a hectare of world average bioproductive land. This factor is based on the sequestration potential of world average forest. This factor is calculated by supporting Global Footprint Network workbooks, which are available upon request.

<sup>7</sup> IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (créé par la World Meteorological Organization (WMO) et l'United Nations Environment Programme (UNEP)).

<sup>8</sup> 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture Forestry and Other Land Use. IPCC, Geneva.

Cette part de la France dans le transport international est issue de l'International Energy Agency (IEA) ou à défaut du Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC).

Cette part est différente selon les années, cependant d'après le guide méthodologique du GFN, elle est globalement comprise entre 3 et 4%.

Dans le calculateur SAS développé au SOeS pour la phase 1 de l'exploration, on utilise arbitrairement la valeur haute de cette variable (soit 4%).

#### 4.1.6 Résumé de l'empreinte liée aux émissions de CO<sub>2</sub>

Pour résumer le calcul de l'empreinte partielle des émissions de CO<sub>2</sub>, on applique la formule suivante, à partir des données de consommation d'énergie sur 6 postes :

$$EF_{\text{émissions CO}_2} = \text{Energie}_{\text{consommée}} \times (1 - Tx_{\text{séquestration n océans}}) \times \left(\frac{Eq_{f \text{ acteur}}}{3,59}\right) \times (1 + 0,04)$$

## 4.2 Empreinte liée aux importations d'énergie

L'empreinte énergétique des importations et exportations d'énergie est en fait une transformation des flux commerciaux de produits manufacturés (en tonne) en équivalent de CO<sub>2</sub> émis grâce à un facteur de conversion appelé Energie Grise (Embodied Energy). Ce CO<sub>2</sub> utilisé pour les flux commerciaux est ensuite transformé en hag selon la formule suivante :

$$EF_{\text{import énergie}} = \text{Energie}_{\text{importée}} \times (1 - Tx_{\text{séquestration océans}}) \times \frac{Eq_{f \text{ acteur}}}{Rdt_{f \text{ acteur}}}$$

Dans le détail du calcul des importations d'énergie, le produit du rapport des facteurs d'équivalence et de rendement par le taux de séquestration de l'océan est appelé intensité carbone. On a donc :

$$EF_{\text{import énergie}} = \text{Energie}_{\text{importée}} \times \text{Intensité carbone}$$

Avec :

$$\text{Intensité carbone} = \frac{C \text{ to } CO_2}{\text{Facteur séquestration carbone}} \times Eq_{f \text{ acteur}} \times (1 - Tx_{\text{séquestration océans}})$$

Exemple de calcul (2005) :

$$\text{Intensité carbone} = 0,28 \text{K}hag / t_{CO_2} = \frac{0,27}{0,97} \times 1,33 \times (1 - 0,25)$$

### 4.2.1 CO<sub>2</sub> contenu dans les flux commerciaux de marchandises

Les flux commerciaux sont disponibles en tonne de marchandise. Pour pouvoir les comparer aux émissions de CO<sub>2</sub>, ces tonnes sont transformées en tonnes de CO<sub>2</sub> par l'utilisation d'un facteur de conversion, l'énergie grise. La formule du CO<sub>2</sub> lié aux flux commerciaux de produits manufacturés est donc :

$$CO_{2\text{import}} = \text{Flux Commerciaux} \times \text{Energie Grise}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$CO_2 \text{ importations (beurre)} = 7797164 \text{ Gj} = 140010 \text{ tonnes} \times 55,69 \text{ Gj / tonne}$$

### 4.2.1.1 Flux commerciaux

Les données proviennent des Nations Unies<sup>9</sup>. Ces flux commerciaux concernent 625 produits référencés selon la nomenclature SITC Rev1<sup>10</sup>.

Dans cette liste de 625 produits, les produits manufacturés sont logiquement inclus, ainsi que les engrais servant à l'agriculture, l'uranium servant à la production d'énergie nucléaire.

Un problème se pose pour la reproductibilité alternative d'un calcul de l'empreinte, la nomenclature utilisée est la SITC Rev1 qui est une nomenclature ancienne datant de 1961. Pour utiliser d'autres sources de données sur les flux commerciaux, il conviendra de trouver des correspondances entre cette nomenclature et d'autres plus récentes telles que le SITC Rev4 ou au moins le SITC Rev3, ou même la nomenclature SHNC\_6<sup>11</sup>.

### 4.2.1.2 Energie grise (embodied energy)

C'est une donnée propre au GFN. En effet d'après le guide méthodologique cette donnée est issue de plusieurs sources<sup>12</sup>. C'est l'énergie liée à la fabrication et au transport des biens manufacturés et autres produits entrant dans les flux commerciaux.

#### **Problème lié à cette énergie grise.**

*Cette donnée est indispensable pour transformer les tonnes de produits en équivalent CO<sub>2</sub>. Chaque poste de la nomenclature SITC\_Rev1 est associé à une **énergie grise**. Il est donc nécessaire d'obtenir une table de passage entre cette nomenclature et les nomenclatures plus récentes si l'on veut recalculer cette empreinte partielle à partir d'autres données.*

*On peut s'interroger sur l'utilisation de cette nomenclature apparemment obsolète, on dispose aujourd'hui de la SITC Rev4.*

*La source n'est pas mentionnée dans le guide méthodologique du GFN. D'après L'empreinte écologique (Boutaud et Gondran, p67), cette énergie grise était dans la méthodologie précédente du GFN issue des bases de données du Stockholm Environment Institute (Barrett et al. 2005). Il ressort de la réunion du groupe de suivi du 9 avril 2009 que cette énergie grise est une analyse en cycle de vie (ACV) résultant de l'utilisation du logiciel SimaPro.*

## 4.3 Biocapacité associée au Carbone

La biocapacité est la surface biologiquement productive dont dispose un pays. Elle est calculée pour les 5 types d'usage de terres : terres cultivées, pâturages, forêt, pêcheries (mer et eau douce) et terres artificialisées.

On a la formule suivante, avec Bc pour biocapacité :

$$Biocapacité = Bc_{cultures} + Bc_{pâturages} + Bc_{forêt} + Bc_{pêche} + Bc_{artificialisation}$$

Avec

$$Bc_{domaine} = Surface\ disponible_{domaine} \times Y_f \times Eq_{f\ acteur}$$

Il n'y a pas de biocapacité associée au Carbone. L'hypothèse retenue par le GFN étant la séquestration du Carbone par la forêt, c'est donc la biocapacité de la forêt qui doit être mise en regard de l'empreinte carbone.

## 4.4 Premiers résultats

### 4.4.1 Empreinte

On peut remarquer de fortes variations de la valeur de l'empreinte partielle du carbone (-22% en 1981, +11% en 1998).

<sup>9</sup> UN (United Nations) Comtrade 2007a. *United Nations Commodity Trade Statistics Database* <http://comtrade.un.org/>

<sup>10</sup> Standard International Trade Classification, Revised, 1961.

<sup>11</sup> Système harmonisé nomenclature combinée en 6 positions, utilisé par les douanes.

<sup>12</sup> The values in 'EmbEn' are drawn from a supporting Global Footprint Network database including information collected from a variety of sources. Product Ecology Consultants. 2008. *SimaPro*.

La valeur de l'empreinte partielle du carbone est relativement stable (2,5 hag par habitant) depuis le début des années 1970. Les valeurs précédentes sont extrêmement faibles (<1 hag par habitant jusqu'en 1965).

La figure 13 présente les premiers résultats obtenus grâce au programme SAS de calcul de l'empreinte. L'empreinte calculée est systématiquement supérieure à l'empreinte du GFN. Ceci est probablement dû au choix qui consiste à utiliser la part maximale de la contribution de la France au transport international.

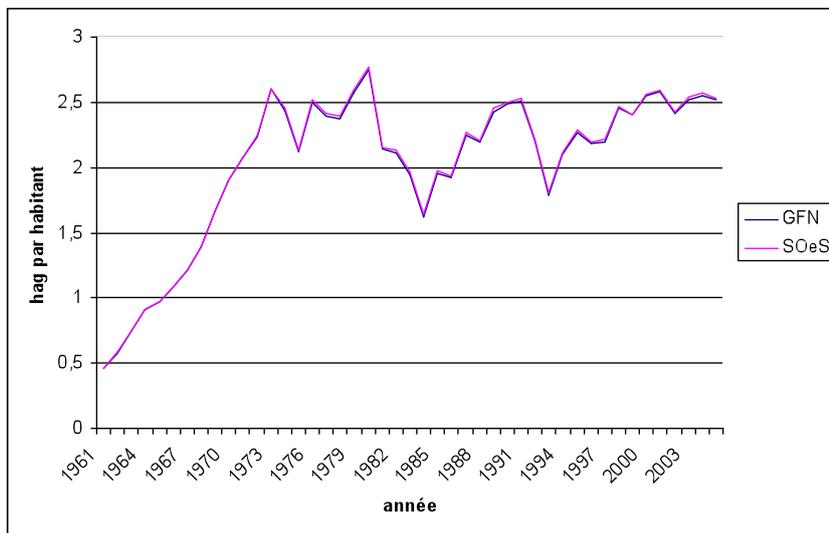


Figure 13 : comparaison de l'évolution de l'empreinte partielle du carbone calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

L'écart entre les valeurs issues des calculs du SOeS et celles du GFN est compris entre - 0,2% et +1,4%. L'écart moyen est de 0,6% et l'écart médian de 0,6%.

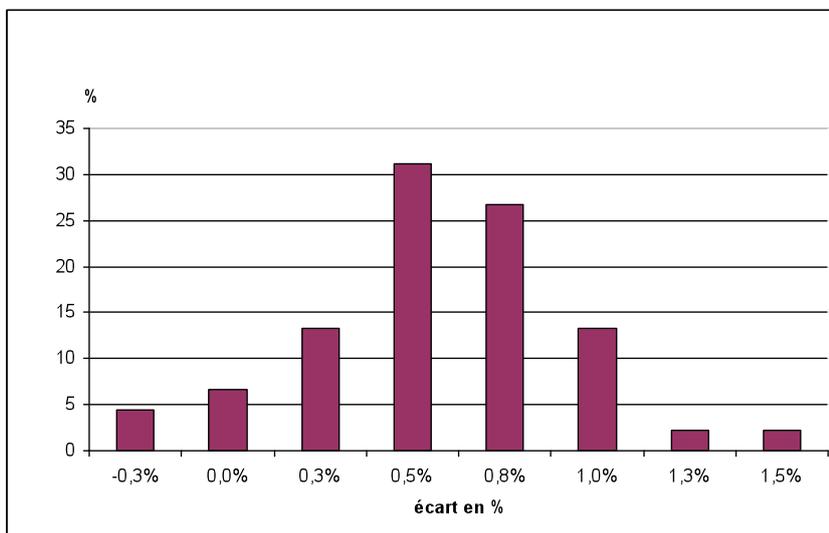


Figure 14 : distribution des écarts entre l'empreinte calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

**Remarque complémentaire sur l'empreinte du carbone :**

Jusqu'en 2003, l'énergie nucléaire entrait dans le calcul de l'empreinte partielle du carbone. L'énergie nucléaire n'est plus prise en compte dans la dernière version des données fournies par le GFN. Le fait que le SOeS ait reçu les données du GFN dans les deux versions permet d'aborder la pertinence de la prise en compte ou au contraire de la non prise en compte du nucléaire.

#### 4.4.2 Excédent ou déficit écologique du Carbone

Pour estimer le déficit ou l'excédent écologique du au carbone, il faut comparer la somme de l'empreinte partielle du carbone avec celle de la forêt, d'une part, avec la biocapacité de la forêt, d'autre part. Comme le montre la figure suivante, on est dans une situation de déficit écologique lorsque l'on rapproche l'empreinte partielle du carbone, et celle de la forêt, de la biocapacité de la forêt.

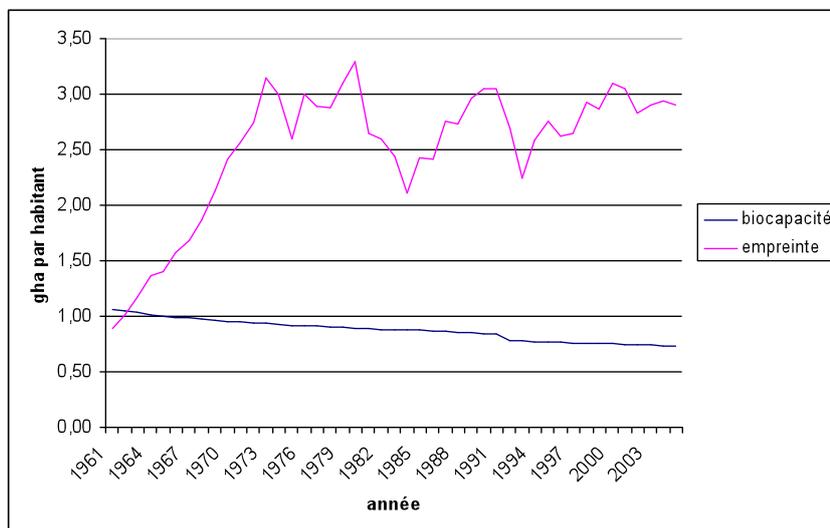


Figure 15 : comparaison de l'empreinte partielle du carbone et de la forêt avec la biocapacité de la forêt (France : 1961 - 2005)

## 5 Empreinte partielle des cultures

L'empreinte partielle liée aux cultures est le résultat de l'agrégation d'une empreinte tenant compte de la production de produits agricoles du pays et d'une empreinte des flux commerciaux de produits agricoles.

La formule se résume à l'expression suivante où EF signifie Ecological Footprint:

$$EF_{Cultures} = EF_{Production\ agri} + EF_{Import\ agri} - EF_{Export\ agri}$$

Avec :  $EF_{Export\ agri} = EF_{Export\ produits\ agri} + EF_{Export\ animaux\ vivants}$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{cultures} = 77\text{Mgha} = (85\text{Mgha} + 14\text{Mgha}) + [(17\text{Mgha} + 4\text{Mgha}) - (37\text{Mgha} + 6\text{Mgha})]$$

**Remarque :** la part des cultures exportées sous forme vivante (EF export animaux vivants) contribue faiblement à l'empreinte partielle des cultures (de l'ordre de 1 à 2% du résultat final), pour une méthode de calcul très compliquée (voir détail du calcul dans l'explication de l'empreinte partielle des pâturages (chapitre 6.2)).

### 5.1 Empreinte de la production agricole

L'empreinte de la production agricole est le produit de la production de produits agricoles, hors élevage, par le rapport entre le facteur d'équivalence et le facteur de rendement.

$$EF_{Production\ agri} = production_{agricole} \times \frac{Eq_{f\ acteur}}{Rdt_{f\ acteur}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{production\ agri} (abri\ cot\ s) = 61000\ hag = 176950t \times \frac{2,64\ hag / wha}{7,66\ t / wha}$$

Note : Wha signifie hectare mondiaux

#### 5.1.1 Production agricole

Les données de production agricole proviennent de la FAO<sup>13</sup> et concernent 178 produits disponibles sur le site <http://faostat.fao.org/site/526/default.aspx>.

Les données de production utilisées sont, bien entendu, les données France.

<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.

Comme dans le cas de l'énergie, on se heurte à un problème de nomenclature des produits. La nomenclature retenue n'est pas clairement identifiée, il semble que ce soit la nomenclature Annexe I du traité de la CE.

**Remarque :** lors du calcul de l'empreinte de la production, seuls les produits primaires sont retenus, ceci évite les doubles comptes, un kilo de blé ne comptera que comme un kilo de blé, pas également en farine.

<sup>13</sup> Food and Agriculture Organization.

## 5.1.2 Facteur d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sol en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

## 5.1.3 Facteur de rendement

Le facteur de rendement est obtenu à partir des mêmes données de la FAO sur la production agricole <http://faostat.fao.org/site/526/default.aspx>.

On utilise cette fois les données mondiales avec une distinction de calcul selon qu'il s'agit de produits primaires ou secondaires (dans le cas des produits secondaires, un taux d'extraction<sup>14</sup>, identique pour chaque année, est appliqué au produit primaire associé). Le facteur de rendement d'un produit est donc :

$$Rdt_{facteur} = Tx_{Extraction} \times \frac{\text{production}_{\text{mondiale ou nationale}}}{\text{surface cultivée}_{\text{mondiale ou nationale}}}$$

La méthode permet de choisir l'utilisation d'un facteur de rendement national ou mondial.

Ce choix n'est pas anodin, ainsi pour la France l'utilisation du facteur de rendement national entraîne une baisse significative de la valeur de l'empreinte (par exemple : 44 millions d'hectares globaux contre 74 Mhag en 2003)

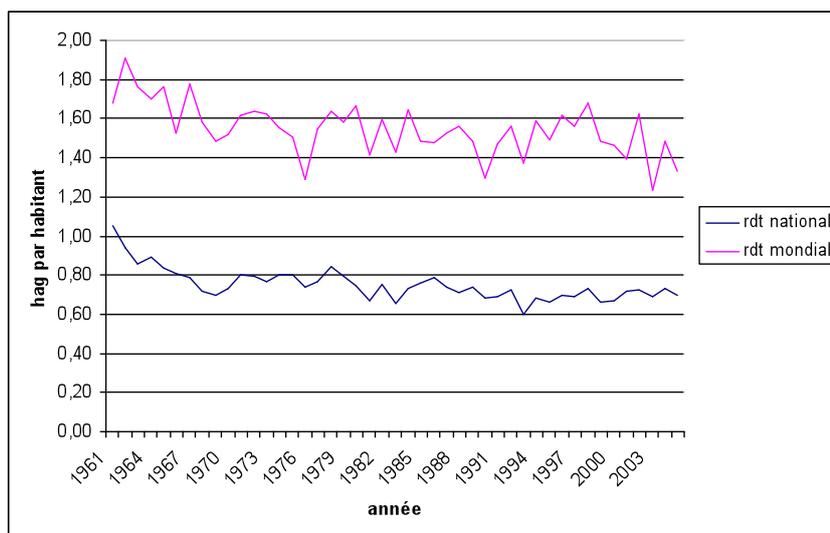


Figure 16 : Empreinte des cultures de la France selon le choix du facteur de rendement

La communication des résultats par le GFN se fait sur la base du calcul utilisant le facteur de rendement mondial.

**Remarque :** le facteur de rendement utilisé est donc le rendement mondial et non national. L'empreinte d'un pays dont l'agriculture est plus productive que la moyenne mondiale sera majorée quand on lui affecte le facteur de rendement mondial.

A l'opposé, la méthode minimise l'empreinte des pays ayant un faible rendement agricole.

<sup>14</sup> Le taux d'extraction est un facteur permettant de calculer la quantité de produit agricole primaire nécessaire à la production du produit secondaire considéré. Ainsi par exemple, le taux d'extraction du jus de pomme concentré (code 209.79) par rapport à la pomme (code 0808.10\_a) retenu par le GFN dans ces calculs est de 0,22 tonne par tonne de produit primaire : il faut une tonne de pomme pour produire 220 kilos de jus concentré. Ce taux d'extraction peut être supérieur à 1 lorsque le produit secondaire contient des produits supplémentaires (eau, sel, sucre...).

Voir également le rapport FAO sur les facteurs de conversion techniques : [http://www.fao.org/ES/ess/fr/tcff\\_p.asp](http://www.fao.org/ES/ess/fr/tcff_p.asp)

## 5.2 Empreinte liée aux importations de produits agricoles

On a la formule suivante :

$$EF_{\text{Import agri}} = \text{import} \times \frac{Eq_{f \text{ acteur}}}{Rdt_{f \text{ acteur}}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{\text{import agri}}(\text{pâte de cacao}) = 480\,000 \text{ hag} = 82\,000 \text{ t} \times \frac{2,64 \text{ hag} / \text{wha}}{0,45 \text{ t} / \text{wha}}$$

Note : Wha signifie hectare mondiaux

### 5.2.1 Importations et exportations de produits agricoles

Les données sur les importations agricoles proviennent de la FAO. Le niveau de détail est plus fin que pour la production, puisque cette fois les produits secondaires, c'est à dire transformés, sont également concernés, on compte ainsi 550 produits. Les données sont disponibles sur le site <http://faostat.fao.org/site/526/default.aspx>.

Comme dans le cas de la production agricole on se heurte à un problème de nomenclature des produits.

**Remarque :** lors du calcul de l'empreinte liée aux importations, tous les produits primaires ou secondaires sont retenus. Par exemple un kilo de blé importé comptera comme un kilo de blé, alors qu'un kilo de farine de blé importé sera transformé dans son équivalent en blé.

### 5.2.2 Facteur d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sol en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

### 5.2.3 Facteur de rendement et taux d'extraction

Le facteur de rendement est obtenu à partir des données de la FAO sur la production agricole <http://faostat.fao.org/site/526/default.aspx>.

On utilise obligatoirement les données mondiales avec la distinction de calcul selon qu'il s'agit de produits primaires ou secondaires. Dans le cas des produits secondaires, on applique un taux d'extraction constant dans le temps pour opérer la conversion en produits primaires<sup>15</sup>. Le facteur de rendement d'un produit est donc :

$$Rdt_{f \text{ acteur}} = Tx_{\text{Extraction}} \times \left( \frac{\text{production}_{\text{mondiale}}}{\text{surface cultivée}_{\text{mondiale}}} \right)_{\text{produit primaire}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$Rdt_{f \text{ acteur}}(\text{pâte de cacao}) = 0,45 \text{ tonne} / \text{Wha} = 0,84 \text{ t}_{\text{sec.ondaire}} / \text{t}_{\text{primaire}} \times \left( \frac{4012874 \text{ t}}{7431303 \text{ wha}} \right)_{\text{fève de cacao}}$$

Note : Wha signifie hectare mondiaux

<sup>15</sup> Extraction rates for secondary and tertiary products are drawn from the **NFA Constants 2008** workbook, and refer to the quantity of daughter product that can be produced per quantity of parent product. These extraction rates are calculated using world-average values from the FAO's technical conversion factor memo (FAO 2000). An adjustment factor to ensure that simultaneous secondary products are not double counted is also considered in the calculation

**Remarque :** Les taux d'extraction utilisés sont constants pour la période d'étude (1961-2005). On peut se demander si cette hypothèse est réaliste pour tous les produits, les processus industriels ayant évolué depuis 1961. Une tonne de cacao donne-t-elle toujours la même quantité de beurre de cacao depuis 1961 (650 kg en l'occurrence) ?

### 5.3 Cas de unharvested cropland

Pour compléter le calcul de l'empreinte partielle des cultures, on applique le taux de "unharvested cropland" au bilan des productions, importations et exportations agricoles. Le taux retenu pour les calculs par le GFN est de 24,2% (source **NFA Data 2008** workbook).

Dans l'étude, on considère à ce stade qu'il s'agit de la surface agricole toujours en herbe (STH) ; cela revient à multiplier la surface des terres arables par le taux de terres toujours en herbe<sup>16</sup>.

La définition exacte de ce terme est encore à éclaircir à ce niveau de l'exploration. S'agit-il des parcelles non-cultivées au sens de la FAO (les pâturages provisoires, les friches récentes et les jachères) ou s'agit-il d'une estimation des terres arables non cultivées ?

Dans les deux cas, le taux de 24,2% retenu pour la France paraît cohérent.

On a :

$$EF_{Cultures} = (EF_{production} + EF_{imports} - EF_{exports}) \times (1 + 0.242)$$

**Remarque :** suite à la réunion de cadrage du groupe de suivi du 9 avril 2009, un travail complémentaire de vérification auprès d'autres pays ayant analysé le calcul de l'empreinte du taux de « unharvested cropland » utilisé par le GFN a été décidé. La comparaison avec la Belgique permettra de vérifier s'il s'agit de la surface agricole toujours en herbe (différente pour chaque pays) ou du taux de parcelles non cultivées au sens de la FAO (valeur constante moyenne mondiale).

### 5.4 Biocapacité associée aux cultures

La biocapacité est la surface biologiquement productive dont dispose un pays. Elle est calculée pour les 5 types d'usage de terres : terres cultivées, pâturages, forêt, pêcheries (mer et eau douce) et terres artificialisées.

On a la formule suivante, avec Bc pour biocapacité :

$$Biocapacité = Bc_{cultures} + Bc_{pâturages} + Bc_{forêt} + Bc_{pêche} + Bc_{artificialisation}$$

Avec dans le cas des cultures :

$$Bc_{cultures} = Surface\ disponible_{cultures} \times Y_f \times Eq_{f\ acteur}$$

#### 5.4.1 Surface disponible

Les données concernant la surface sont issues de Corine Land Cover, des statistiques de la FAO ou du GLC<sup>17</sup>.

La source privilégiée, complète pour l'ensemble des postes concernés, est CLC.

Les surfaces retenues pour estimer la biocapacité des cultures correspondent aux postes de la nomenclature CLC suivants :

- B21 : terres arables
- B22 : cultures permanentes
- B24 : zones agricoles hétérogènes

<sup>16</sup> Part des surfaces toujours en herbe des exploitations en 2006 : 27,6% (Agreste)

<sup>17</sup> Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Center and European Commission. *Global Land Cover 2000*. IES, Italy. <http://www-tem.jrc.it/glc2000/>

## 5.4.2 Facteurs d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sols en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

Comme dans le cas des empreintes partielles, ce facteur d'équivalence sert à transformer la biocapacité d'un pays en hectares globaux de façon à rendre possibles les comparaisons internationales.

## 5.4.3 Facteurs de culture

Les facteurs de cultures sont égaux au rapport entre rendements nationaux et rendements mondiaux.

$$Y_f = \frac{Rdt_{national}}{Rdt_{mondial}}$$

Dans le cas des cultures, ce facteur  $Y_f$  est le rapport des surfaces mondiales et nationales utilisées pour la production des produits agricoles primaires. Seuls les produits dont les deux surfaces sont disponibles (mondiale et nationale) l'année du calcul sont retenus.

$$Y_{f_{cultures}} = \frac{\sum_{produits\_primaires} \text{surface cultivée mondiale}}{\sum_{produits\_primaires} \text{surface cultivée nationale}}$$

## 5.5 Premiers résultats

### 5.5.1 Empreinte

On peut remarquer de fortes variations de la valeur de l'empreinte partielle des cultures, qu'elle soit calculée par le SOEs ou par le GFN, entre 2000 et 2003 (- 25 % à + 20 % d'une année sur l'autre).

Ces écarts ne découlent pas de fluctuations importantes des surfaces cultivées (voir figure 17), mais proviennent de la méthode même de calcul. C'est le rendement agricole qui influence la valeur de l'empreinte partielle des cultures.

On obtient ainsi une mesure de l'impact des conditions climatologiques (canicule de 1976 ou de 2003, par exemple) ou de tout autre facteur influant sur la production de produits agricoles.

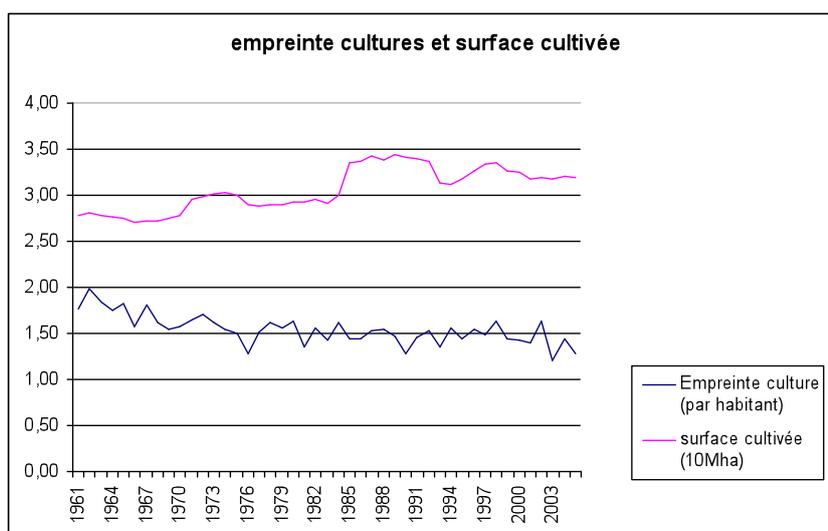


Figure 17 : comparaison surface cultivée/empreinte partielle des cultures

**Remarque :** la construction du facteur de rendement à partir des quantités effectivement produites ne tient en aucune façon compte du caractère "soutenable"<sup>18</sup> ou non de l'agriculture. On compare la quantité de produits agricoles produite localement avec la quantité de produits agricoles produite réellement au niveau mondial, sans prise en compte de la sur ou sous exploitation du sol ou du type d'agriculture. Par exemple, le moindre rendement de l'agriculture biologique se traduit mécaniquement toutes choses égales par ailleurs par une élévation de l'empreinte écologique.

La figure suivante présente les premiers résultats obtenus grâce au programme SAS de calcul de l'empreinte.

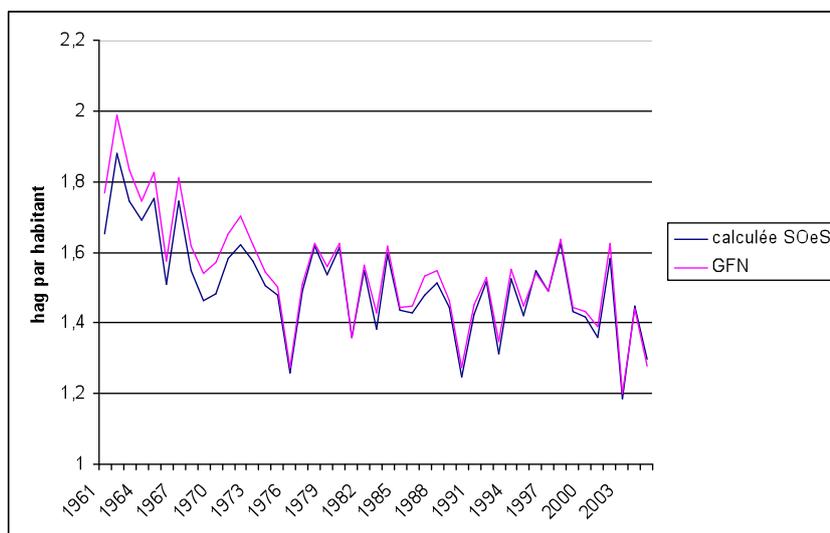


Figure 18 : comparaison de l'évolution de l'empreinte partielle des cultures calculée par le SOeS et par le GFN  
(France : 1961 - 2005)

L'écart entre les valeurs issues des calculs du SOeS et de ceux du GFN est compris entre - 5 % et + 4,8 %. L'écart moyen est de + 0,5 % et l'écart médian de + 1,3 %.

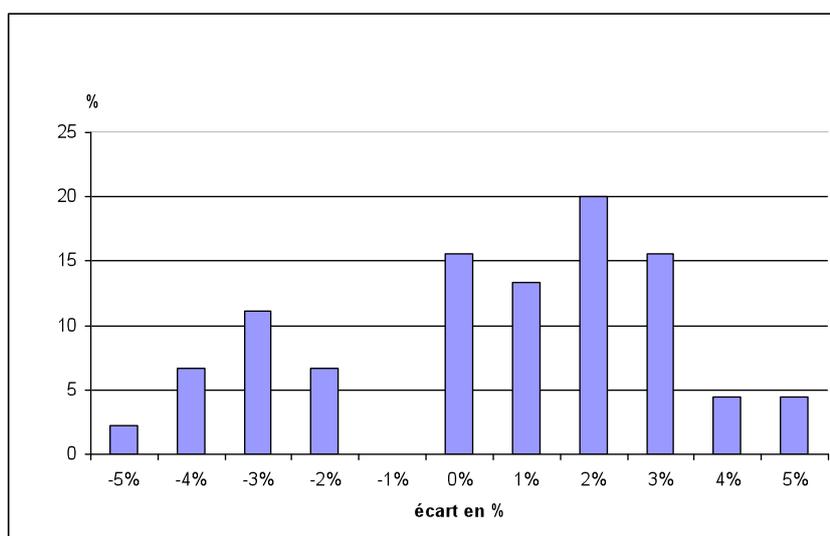


Figure 19 : distribution des écarts entre l'empreinte calculée par le SOeS et par le GFN  
(France : 1961 - 2005)

<sup>18</sup> L'introduction du rendement des cultures en agriculture biologique peut être une piste de travail, cela fait partie des recommandations internationales (FAO, et rapports internationaux de l'IAASTD -Johannesburg 2008).

### 5.5.2 Excédent ou déficit écologique des cultures

La comparaison avec l'empreinte partielle des cultures montre un excédent écologique depuis la fin des années 70. La France consomme ainsi moins de surface agricole qu'elle n'en dispose.

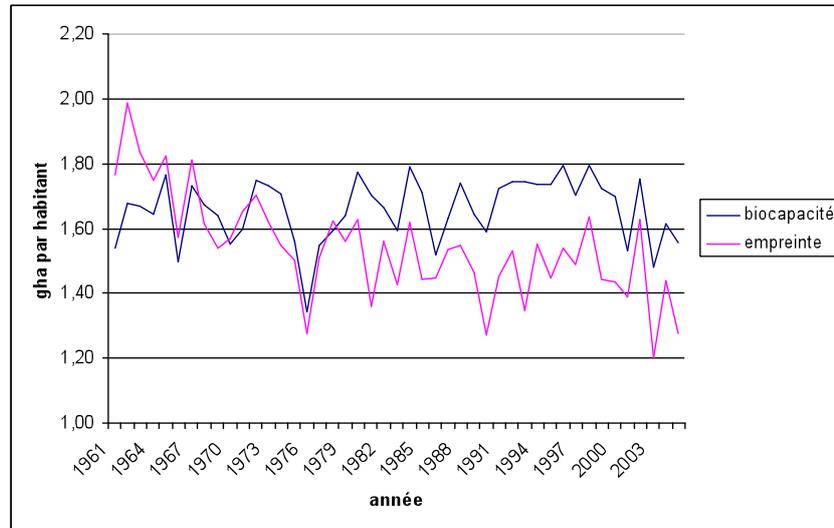


Figure 20 : comparaison de l'empreinte partielle et de la biocapacité des cultures (France : 1961 - 2005)

## 6 Empreinte partielle des pâturages

L'empreinte partielle liée aux pâturages est le résultat de l'agrégation d'une empreinte tenant compte de la production de bétail, dans le sens produits issus de l'élevage, du pays et d'une empreinte tenant compte de l'estimation des quantités de pâtures ayant servies à la production du bétail importé ou exporté.

La formule se résume à l'expression suivante où EF signifie Ecological Footprint:

$$EF_{\text{pâturage}} = EF_{\text{élevage}} + EF_{\text{import herbe sous forme bétail}} - EF_{\text{export herbe sous forme bétail}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{\text{pâturage}} = 19Mhag = 20Mhag + 3Mhag - 4Mhag$$

### 6.1 Empreinte de l'élevage

L'empreinte partielle due à l'élevage est en fait le résidu excédentaire des besoins en nourriture nécessaires à la production d'animaux vivants. Pour cela, on compare l'empreinte de la consommation d'aliments par le bétail (feed consommation) à la biocapacité des pâturages, l'empreinte des produits de l'élevage étant le **minimum** de ces deux résultats.

$$EF_{\text{élevage}} = \text{MINIMUM} [ \text{Feed}_{\text{consommation}} \text{ ou } \text{Biocapacité}_{\text{pâturage}} ]$$

**Remarques :** Ce calcul est quasi systématiquement inutile car la biocapacité est plus faible que les quantités produites (seulement 2 cas contraires entre 1961 et 2005). Dans plus de 90% des cas il apparaît que l'empreinte de l'élevage est la biocapacité en pâturage.

On peut s'interroger sur le choix de la formule de l'empreinte très particulière de l'élevage lorsqu'on voit comment les produits de la pêche sont appréhendés. Les concepteurs de l'empreinte auraient pu utiliser une approche d'équivalence similaire à celle de la pêche à savoir mobiliser un équivalent en calories pour déterminer des hectares de culture (on utilise souvent la formule « 7 calories végétales nécessaires pour produire 1 calorie animale »). Le calcul serait alors plus simple et cohérent avec celui de la pêche. Il traduirait mieux le fait qu'un régime carné consomme plus de ressources globales qu'un régime végétarien.

On retrouve ici la même remarque que pour le facteur de rendement des cultures, c'est-à-dire l'élimination des quantités animales produites de façon intensive. De ce point de vue cela est plus logique, un élevage intensif produisant plus pour une même surface, on considère que c'est la surface réellement "disponible" à l'élevage qu'il faut retenir et non la surface "théorique" pour obtenir cette production animale.

### 6.2 Biocapacité des pâturages

Les données utilisées sont les données CORINE Land Cover<sup>19</sup>, CLC, des postes prairies (poste B23 nomenclature CLC), zones agricoles hétérogènes (poste B24 nomenclature CLC) et milieux à végétation arbustive et/ou herbacée (poste B32 nomenclature CLC)<sup>20</sup>.

Ces données sont multipliées par le facteur d'équivalence de Pasture et par le facteur de culture  $Yf_{\text{pasture}}$  des pâturages (le détail du calcul de  $Yf$  sera étudié dans le chapitre consacré à l'étude des biocapacités).

$$\text{Biocapacité}_{\text{pâturage}} = \text{surface} \times \text{CLC}_{\text{herbe}} \times Yf_{\text{pasture}} \times Eq_{\text{facteur}}$$

Exemple de calcul (2005) :

<sup>19</sup> CORINE Land Cover est une base de données européenne d'occupation biophysique des sols obtenue par photo-interprétation d'images satellites avec une nomenclature en 44 postes.

<sup>20</sup> Postes retenus dans **NFA Data 2008**.

$$Biocapacité_{pâturage} = 20275672 \text{ hag} = (16095313 \text{ ha} + 3334147 \text{ ha}) \times 2,10 \text{ wha} / \text{nha} \times 0,50 \text{ hag} / \text{wha}$$

Note : wha signifie hectare mondiaux

## 6.2.1 Consommation d'aliments à destination de l'élevage

L'empreinte de la consommation d'aliments résulte de la comparaison entre la demande et l'offre en nourriture.

Attention, la liste des produits Feed est différente de celle des produits à usage humain. Ceci provient du fait que certains produits ont des noms différents selon qu'ils sont utilisés en alimentation humaine ou animale (cf. guidebook p46 "Feed Name", drawn from the previous revision of the FAOSTAT Supply Utilization Accounts), is used in this worksheet to perform the lookup for 'Market Feed Percent' based on the record's name as animal feed instead of its ProdSTAT name as crop product").

$$Feed_{consommation} = (Feed_{demande} - Feed_{offre}) \times \frac{Eq_{facteur}}{Rdt_{facteur}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$Feed_{consommation} = 22 \text{ Mhag} = (11445581 \text{ t} - 57005779 \text{ t}) \times \frac{0,50 \text{ hag} / \text{wha}}{1,30 \text{ t} / \text{wha}}$$

Note : wha signifie hectare mondiaux

### 6.2.1.1 Demande en alimentation animale

Il s'agit de la production animale<sup>21</sup>, en tonnes ou en têtes, ce qui entraîne des problèmes de compatibilité entre unités. 7 catégories sont concernées : cheptel porcin, volailles, œufs, bétail, bisons ("buffalos"), cheptel caprin, cheptel ovin.

On multiplie les productions animales par le Feed efficiency (quantité de nourriture nécessaire pour produire une tonne d'animal) pour les données en tonnes, et par le feed intake (quantité de nourriture par tête par jour) pour les données en têtes de bétail.

L'origine de ces valeurs est clairement identifiée<sup>22</sup>.

$$\sum_{\text{produits disponibles en tonnes}} (\text{production bétail}_{\text{tonnes}} \times \text{feed efficiency}) + \sum_{\text{produits disponibles en têtes}} (\text{production bétail}_{\text{têtes}} \times \text{feed intake} \times 365)$$

Exemple de calcul (2005) :

$$Feed_{demande}(\text{porcs}) = 8072520 \text{ t}_{dm} / \text{an} = 2018130 \text{ tonnes} / \text{an} \times 4 \text{ t}_{dm} / \text{t}_{viande}$$

$$Feed_{demande}(\text{caprins}) = 670556 \text{ t}_{dm} / \text{an} = 1224759 \text{ têtes} \times 1,5 \text{ kg}_{dm} / \text{tête} / \text{an} \times 365 / 1000$$

Note : t<sub>dm</sub> est l'abréviation de tonne de matière sèche

### 6.2.1.2 Offre en alimentation animale

C'est la somme des produits agricoles à usages d'élevage répartis selon trois types d'usage ou d'origine :

- Production nationale à destination de l'alimentation animale : Feed market
- Résidus de la production agricole utilisés en alimentation animale : Feed residue

<sup>21</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2007b. "FAOSTAT2." ProdSTAT database. <http://faostat.fao.org/site/526/default.aspx>  
Accessed January, 2007.

<sup>22</sup> Haberl et. al. 2007. Quantifying and mapping the human appropriate of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. PNAS 104 (31): Table 9.

### 6.3 Empreinte liée aux importations de cultures sous forme de produits de l'élevage

La méthode utilisée pour obtenir cette empreinte partielle sert au calcul de deux empreintes partielles :

- l'empreinte des importations de cultures  
Il s'agit d'estimer la quantité des différentes cultures importées sous forme de bétail, grâce à la part de chaque céréale dans l'alimentation des espèces animales.  
On somme les différentes composantes entrant dans l'alimentation animale à l'exclusion des produits issus de la pêche et du fourrage (Grass).
- l'empreinte des importations de cultures sous forme de produits de l'élevage  
On estime la quantité de fourrage importée sous forme de produits de l'élevage<sup>28</sup>, un pays importateur se verra ainsi imputer la quantité de nourriture utilisée dans le pays d'origine du produit.

La formule est la suivante :

$$EF_{import\_livestock} = \sum [imports \times \sum_{aliments} (\frac{Feed\_mix}{Tx\_extraction} \times Feed\_intensity)]$$

#### Remarque :

Les données de commerce extérieur sont exprimées soit en tonnes, soit en têtes de bétail (pour seulement 6 espèces animales) dans le même fichier de données. Ceci oblige à utiliser des taux de conversion des têtes en tonnes de viande. L'origine de ces taux de conversion n'est pas clairement identifiée dans le guidebook<sup>29</sup>.

De plus, si l'on applique les taux de conversion indiqués dans le guidebook<sup>30</sup> mais également dans le fichier GFN on n'obtient pas les mêmes résultats que ceux disponibles dans le NFA data 2008.

Autre interrogation, les taux de conversion ne sont pas identiques pour un même produit qu'il s'agisse d'importations ou d'exportations.

Exemple en 1978 : porcs, importations=1658 Kt/an (onglet 'prodstat\_n') multiplié par 0.0017 (contre 0.095 en valeur théorique annoncée (onglet 'Cnst\_grazing')) donne 2755 tonnes (onglet 'livestock\_efi'); pour les exportations on a 221 kt/an multipliées par 0.13 (contre 0.095 en valeur théorique annoncée) donnant 30 210 tonnes.

#### 6.3.1 Feed mix

Il s'agit de la part de chaque produit nécessaire à la production d'une tonne de produits de l'élevage. Ainsi par exemple, pour obtenir une tonne de bœuf, il faut utiliser 800 kg de maïs, 160 kg de soja, 5,52 tonnes d'herbe (pâturage), etc.

L'origine de cette donnée est renseignée comme ceci dans le guidebook du GFN (p 55) : "**This data come from....the FAO?**".

#### 6.3.2 Taux d'extraction

De même que dans le cas des cultures, il s'agit de convertir les produits secondaires en tonnes de produits primaires nécessaires à leur élaboration. Le taux d'extraction est constant sur la période 1961-2005.

#### Remarque :

- 1- Il faut vérifier que les quantités de produit primaire nécessaires à l'obtention de produits transformés sont stables sur une si longue période malgré les progrès technique et l'évolution des rendements
- 2- Les taux d'extraction ne sont pas les mêmes que ceux utilisés pour les cultures.  
Ainsi pour le code 1602.50, bovine meat, other preparations, le taux d'extraction est de 0,48 dans le calcul de l'empreinte pâturages contre 0,39 dans le calcul de l'empreinte cultures.

<sup>28</sup> Animaux vivants, mais également cuir, lait, laine...

<sup>29</sup> Zacks et al (Justin has ref) **tel quel dans le guidebook**.

<sup>30</sup> For few products, *tradestat\_n* worksheet provides data in terms of heads rather than tonnes. Animal weights drawn from the *cnst\_grazing* worksheet are thus used to convert to tonnes.

### 6.3.3 Feed intensity

Cette variable est obtenue en divisant le facteur d'équivalence des cultures par le rendement agricole mondial.

On a ainsi :

$$\text{Feed intensity} = \frac{\text{facteur d'équivalence}_{\text{cultures}}}{\frac{\text{production mondiale}}{\text{surface mondiale}}}$$

Les données de production et de surface mondiales sont issues du FAO (voir le traitement des cultures).

## 6.4 Biocapacité associée aux pâturages

La biocapacité est la surface biologiquement productive dont dispose un pays. Elle est calculée pour les 5 types d'usage de terres : terres cultivées, pâturages, forêt, pêcheries (mer et eau douce) et terres artificialisées.

On a la formule suivante, avec Bc pour biocapacité :

$$\text{Biocapacité} = Bc_{\text{cultures}} + Bc_{\text{pâturages}} + Bc_{\text{forêt}} + Bc_{\text{pêche}} + Bc_{\text{artificialisation}}$$

Avec dans le cas des pâturages :

$$Bc_{\text{pâturages}} = \text{Surface disponible}_{\text{pâturages}} \times Y_f \times Eq_{\text{facteur}}$$

### 6.4.1 Surface disponible

Les données concernant la surface sont issues de Corine Land Cover, des statistiques de la FAO ou du GLC<sup>31</sup>.

La source privilégiée, complète pour l'ensemble des postes concernés, est CLC.

Les surfaces retenues pour estimer la biocapacité des pâturages correspondent aux postes de la nomenclature CLC suivants :

- B23 : prairies
- B32 : milieux à végétation arbustive et/ou herbacée

### 6.4.2 Facteurs d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sols en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

Comme dans le cas des empreintes partielles, ce facteur d'équivalence sert à transformer la biocapacité d'un pays en hectares globaux de façon à rendre possibles les comparaisons internationales.

### 6.4.3 Facteurs de culture

Les facteurs de cultures sont égaux au rapport entre rendements nationaux et rendements mondiaux.

$$Y_f = \frac{Rdt_{\text{national}}}{Rdt_{\text{mondial}}}$$

<sup>31</sup> Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Center and European Commission. *Global Land Cover 2000*. IES, Italy. <http://www-tem.jrc.it/glc2000/>

Dans le cas des pâturages, ce facteur  $Y_f$  est le rapport entre les rendements de production de matière sèche. Le GFN utilise ainsi un rendement à l'hectare du pâturage français de 13,10 tonnes de matière sèche comparé à un rendement moyen mondial de 6,19 (valeurs constantes de 1961 à 2005).

$$Y_{f \text{ pâturages}} = \frac{13,10}{6,19} = 2,12$$

## 6.5 Premiers résultats

### 6.5.1 Empreinte

La figure suivante présente les premiers résultats obtenus grâce au programme SAS de calcul de l'empreinte.

Le calcul est correctement reproductible :

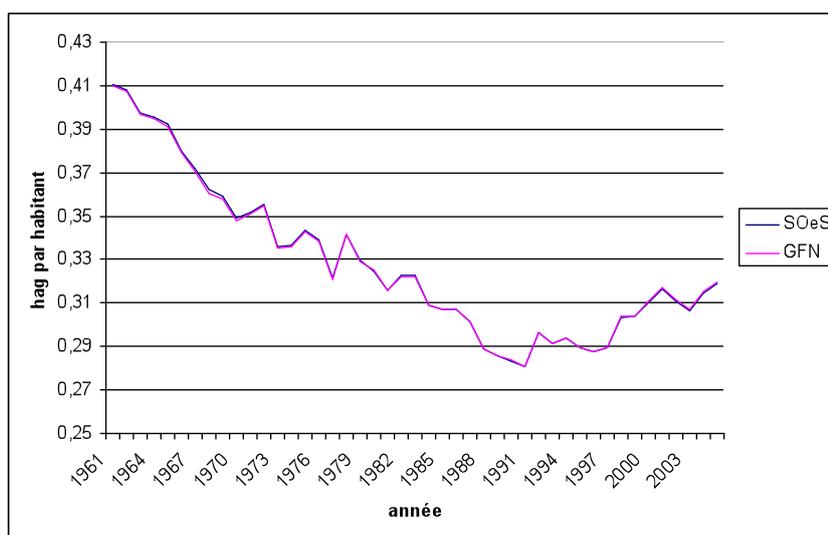


Figure 21 : comparaison de l'évolution de l'empreinte partielle des pâturages calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

L'écart entre les valeurs issues des calculs du SOeS et de ceux du GFN est compris entre - 0,4% et +0,3%. L'écart moyen est de 0,05% et l'écart médian de 0,02%.

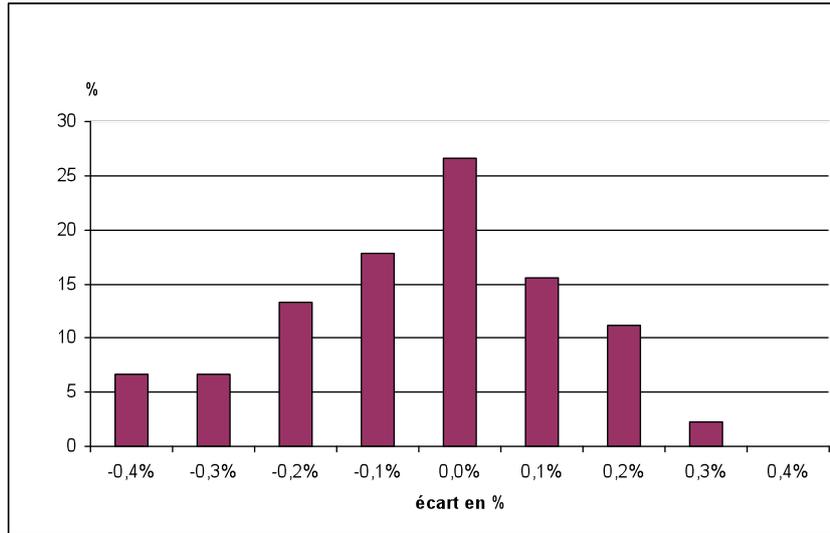


Figure 22 : distribution des écarts entre l'empreinte partielle des pâturages calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

### 6.5.2 Excédent ou déficit écologique des pâturages

La comparaison avec l'empreinte partielle des pâturages montre un excédent écologique sur la période d'étude.

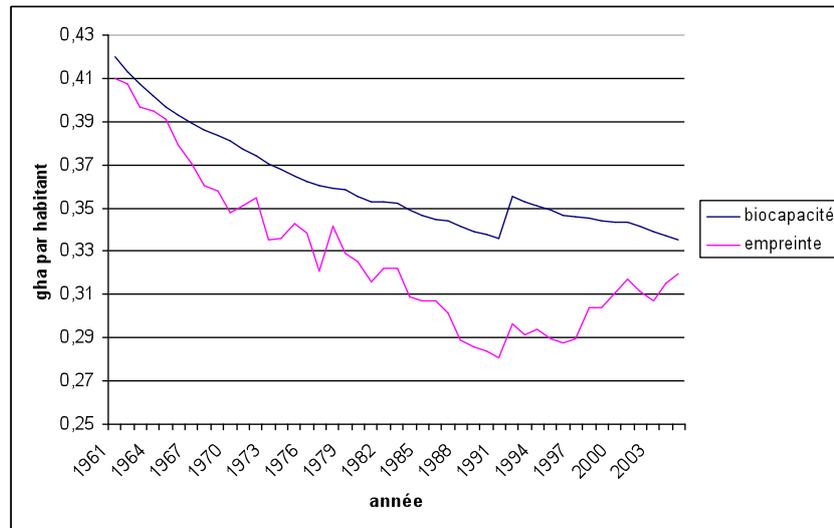


Figure 23 : comparaison de l'empreinte partielle et de la biocapacité des pâturages (France : 1961 - 2005)

## 7 Empreinte partielle de l'artificialisation

Contrairement aux autres empreintes partielles qui sont reflètent l'espace nécessaire à la consommation de produits issus des cultures, de l'exploitation de la forêt ou de la pêche, l'empreinte de l'artificialisation reflète la surface occupée par les infrastructures humaines.

Cette empreinte se décompose en fait en deux éléments, avec EF pour Ecological Footprint :

$$EF_{artificialisation} = EF_{occupation\ sol} + EF_{énergie\ hydroélectrique}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{artificialisation} = 15\,342\,127\ hag = 15\,341\,389\ hag + 737\ hag$$

### 7.1 Empreinte de l'occupation du sol

Il s'agit en fait du poste B1 de la nomenclature CLC<sup>32</sup>. On considère que ces terres artificialisées occupent uniquement des terres arables. Cette hypothèse est discutable et fait l'objet de nombreux débats. Cela revient à dire que les villes et infrastructures sont systématiquement situées sur des terres agricoles, ou susceptibles de le redevenir.

Le caractère discutable des hypothèses retenues pour tenir compte de l'artificialisation et de la surface nécessaire à la production d'énergie hydroélectrique est d'ailleurs reconnu par le GFN dans le guide méthodologique :

- *Infrastructure areas are assumed to occupy former cropland. This assumption will overestimate both the Footprint and biocapacity of infrastructure areas located on formerly low-productivity areas. However, since the Footprint and biocapacity of built-up land are equal, any inaccuracies in this assumption apply equally across Footprint and biocapacity. Arid countries in particular may be subject to a systematic overestimate of their infrastructure Footprint and biocapacity.*
- *Hydro areas are assumed to occupy world average land. This assumption will overestimate the hydro Footprint in countries where unproductive land (e.g., barren rock) has been flooded, and underestimate the hydro Footprint in countries where very productive land (e.g., cropland) has been flooded.*

La formule de l'empreinte de l'occupation du sol est donc identique à celle de la biocapacité de l'occupation du sol :

$$EF_{occupation\ sol} = Biocapacité_{occupation\ sol} = surface\ du\ poste\ B1_{CLC} \times Rdt_{f\ acteur} \times Eq_{f\ acteur}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{occupation\ sol} = 15\,341\,389\ hag = 2\,743\,002\ ha \times 2,12\ wha / nha \times 2,64\ hag / wha$$

Note : wha signifie hectare mondiaux  
nha signifie hectare nationaux

#### 7.1.1 Poste B1 de la nomenclature CORINE Land Cover

L'origine des données CLC utilisées par GFN est la suivante : World Resources Institute. 2007. "EarthTrends: Environmental Information." Global Land Cover Classification Database. <http://earthtrends.wri.org>.

<sup>32</sup> CORINE Land Cover est une base de données européenne d'occupation biophysique des sols obtenue par photo-interprétation d'images satellites avec une nomenclature en 44 postes. Trois versions existent : 1990, 2000 et 2006. Cette base permet entre autres de calculer des statistiques d'occupation des sols (territoire artificialisés, terres agricoles, espaces naturels,...) et d'en analyser les évolutions.

Les données CLC de 1990 et 2000 ont été utilisées pour le calcul. D'autres estimations seront bientôt faites avec les données de la base 2006 produite par le SOEs et d'ores et déjà disponibles.

### 7.1.2 Facteur de rendement

Le facteur de rendement utilisé pour cette empreinte est en fait le facteur de culture  $Y_f$  des cultures utilisé dans les calculs de biocapacité, c'est le rapport entre les surfaces mondiales et les surfaces nationales utilisées pour la production des produits agricoles primaires<sup>33</sup>. Seuls sont retenus les produits dont les deux types de surfaces sont disponibles l'année du calcul.

$$\text{facteur rendement}_{\text{artificialisation}} = Y_{f_{\text{cultures}}} = \frac{\sum_{\text{produits\_primaires}} \text{surface cultivée mondiale}}{\sum_{\text{produits\_primaires}} \text{surface cultivée nationale}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$\text{facteur rendement}_{\text{artificialisation}} = Y_{f_{\text{cultures}}} = 2,12 \text{wha} / \text{nha} = \frac{28\,572\,090 \text{ wha}}{13\,507\,721 \text{ nha}}$$

Note : wha signifie hectare mondiaux  
nha signifie hectare nationaux

Des sources de données différentes doivent être identifiées pour effectuer un calcul alternatif.

### 7.1.3 Facteur d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sol en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

Le facteur d'équivalence utilisé est celui des cultures, conformément à l'hypothèse d'infrastructures situées sur les terres bio productives.

## 7.2 Empreinte liée à la consommation d'énergie hydroélectrique

On convertit l'énergie produite par les centrales hydroélectriques des barrages en hectares globaux. Ceci revient à considérer que les terres submergées par les barrages sont des terres productives de rendement moyen<sup>34</sup>.

La formule de l'empreinte de l'énergie hydro-électrique est :

$$EF_{\text{énergie hydroélectrique}} = \text{production}_{\text{énergie hydroélectrique}} \times \frac{Eq_{f_{\text{acteur}}}}{Rdt_{f_{\text{acteur}}}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{\text{énergie hydroélectrique}} = 737 \text{gha} = 56768 \text{MWh} / \text{an} \times \frac{1 \text{gha} / \text{wha}}{77 \text{MWh} / \text{wha} / \text{an}}$$

Note : wha signifie hectare mondiaux

<sup>33</sup> Les données de production agricoles sont celles utilisées pour l'empreinte partielle des cultures, source FAO, nomenclature en 178 produits (données France et données Monde).

<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>

<sup>34</sup> An equivalence factor of 1 to hydro area, reflecting the assumption that the area inundated by hydroelectric reservoirs has world-average productivity.

## 7.2.1 Production hydroélectrique

Il s'agit de la consommation d'énergie d'origine hydro-électrique en MegaWatt par heure. Cette donnée est datée de 2007 provient de British Petroleum<sup>35</sup>.

## 7.2.2 Facteur de rendement

La surface des terres immergées par les barrages hydroélectriques n'est pas une donnée disponible dans Corine Land Cover. Pour pallier cette absence d'information, le facteur de rendement est un facteur de conversion qui permet d'estimer la surface inondée à partir de la moyenne de production d'électricité en fonction de la surface de la retenue d'eau sur les 20 plus grands barrages du monde (WWF2000)<sup>36</sup>.

Ceci est confirmé dans le livre "L'empreinte écologique" de Boutaud et Gondran (p72).

## 7.3 Biocapacité associée à l'artificialisation

La biocapacité est la surface biologiquement productive dont dispose un pays. Elle est calculée pour les 5 types d'usage de terres : terres cultivées, pâturages, forêt, pêcheries (mer et eau douce) et terres artificialisées.

On a la formule suivante, avec Bc pour biocapacité :

$$Biocapacité = Bc_{cultures} + Bc_{pâturages} + Bc_{forêt} + Bc_{pêche} + Bc_{artificialisation}$$

Avec dans le cas des pâturages :

$$Bc_{artificialisation} = \text{Surface artificialisée} \times Y_f \times Eq_{facteur}$$

Le détail du calcul de la biocapacité a été détaillé ci-dessus, l'empreinte partielle de l'artificialisation étant égale à la biocapacité de l'artificialisation.

## 7.4 Premiers résultats

### 7.4.1 Empreinte

La méthode utilisée par le GFN consiste à supposer que la surface artificialisée évolue proportionnellement à la population. De ce fait une surface par habitant est calculée puis multipliée par la population de l'année d'étude pour obtenir une surface artificialisée estimée.

$$CLC_{année} = \frac{CLC_{2000}}{population_{2000}} \times population_{année}$$

En utilisant cette même méthode sur les données CLC du SOeS on obtient un résultat très proche de celui de GFN.

La figure suivante présente les premiers résultats obtenus grâce au programme SAS de calcul de l'empreinte.

<sup>35</sup> Statistical Review of World Energy. <http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>

<sup>36</sup> The yield value is calculated as a world-average yield of hydroelectricity, which is calculated based on an average from 20 large dams (Goodland 1997).

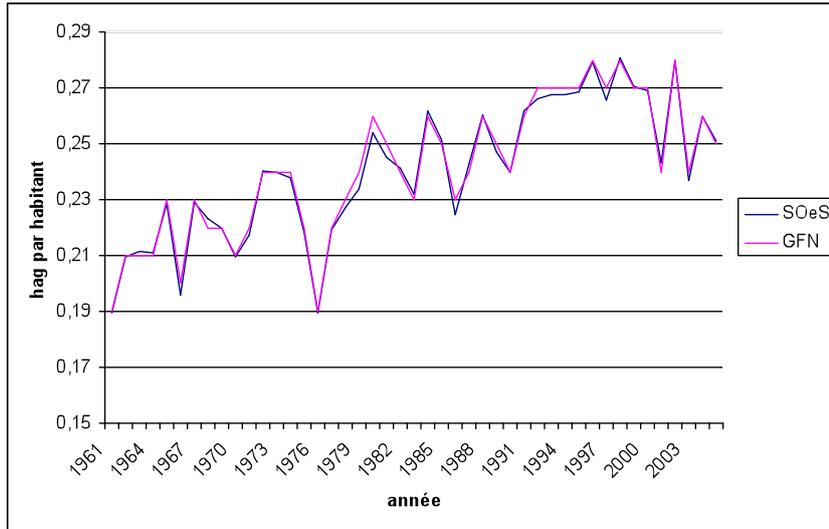


Figure 24 : comparaison de l'évolution de l'empreinte partielle de l'artificialisation calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

L'écart entre les valeurs issues des calculs du SOeS et de ceux du GFN est compris entre - 1,3 % et + 2,6 %. L'écart moyen est de 0,4 % et l'écart médian de 0,3 %.

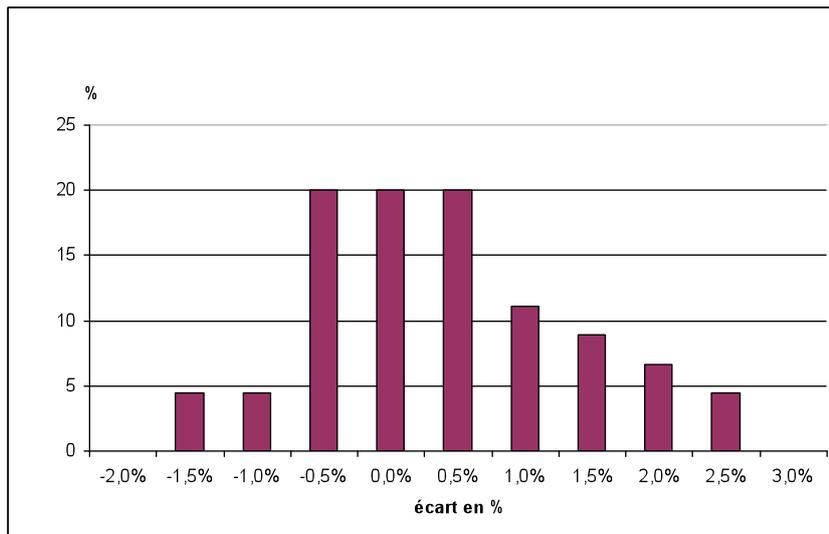


Figure 25 : distribution des écarts entre l'empreinte partielle de l'artificialisation calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

### 7.4.2 Excédent ou déficit écologique de l'artificialisation

L'empreinte partielle de l'artificialisation étant égale à la biocapacité de cette même artificialisation augmentée de la consommation en énergie d'origine hydroélectrique, il est logique que la France ne présente ni déficit, ni excédent écologique du à l'artificialisation.

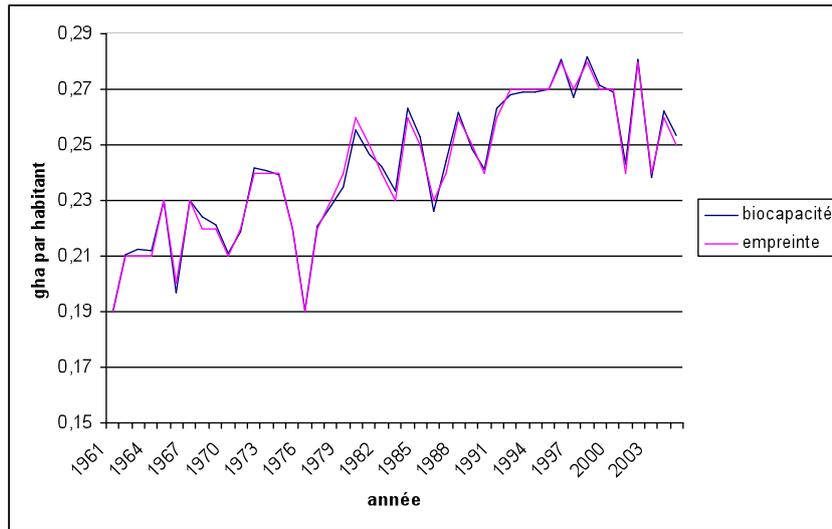


Figure 26 : comparaison de l'empreinte partielle et de la biocapacité de l'artificialisation (France : 1961 - 2005)

## 8 Empreinte partielle de la forêt

L'empreinte partielle liée aux forêts est le résultat de l'agrégation d'une empreinte tenant compte de la production de produits forestiers du pays et d'une empreinte des flux commerciaux de produits forestiers.

La formule se résume à l'expression suivante où EF signifie Ecological Footprint:

$$EF_{forêt} = EF_{Production\ forêt} + EF_{Import\ forêt} - EF_{Export\ forêt}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{forêt} = 23\,378\,280\ hag = 18\,726\,733 + 23\,624\,065 - 18\,972\,518$$

L'empreinte liée à la production de produits forestiers est calculée en prenant en compte la production de produits primaires (grumes) et de bois à usage de combustion (fuel wood). Pour les importations et exportations on prend en compte en plus des produits primaires, les produits secondaires.

**Remarque :** *cette distinction primaire secondaire permet d'éviter les doubles comptes dans les productions nationales ; par exemple, une armoire ne sera pas comptabilisée en production locale mais par rapport au seul bois produit ou exporté pour la construire. Cette distinction ne tient pas compte des années de production et d'utilisation des bois produits (stocks).*

### 8.1 Empreinte de la production forestière

De la même façon que pour les composantes cultures, énergie et pâturages, l'empreinte de la production de produits forestiers provient de la multiplication de la production forestière par le rapport entre le facteur d'équivalence et le facteur de rendement :

$$EF_{Production\ forêt} = production_{forêt} \times \frac{Eq_{facteur}}{Rdt_{facteur}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{production\ forêt} (\text{bois de placage}) = 8\,193\,222\ hag = 14\,500\,000\ m^3 \times \frac{1,33\ hag / wha}{2,36\ m^3 / wha}$$

Note : wha signifie hectare mondiaux

#### 8.1.1 Production forestière

La production forestière est déclinée en 16 produits primaires : 13 catégories de bois d'œuvre et 3 catégories de bois de chauffage. Ces données proviennent de la FAO 2007a. "FAOSTAT," ForestSTAT database, disponible sur le site

<http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>

Pour juger de la reproductibilité du calcul de l'empreinte, il sera utile d'identifier une autre source de données concordante pour la production forestière.

#### 8.1.2 Facteur d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sols en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

### 8.1.3 Facteur de rendement

Comme dans le cas des cultures, on peut choisir d'utiliser soit un facteur de rendement national soit un facteur de rendement mondial. Le choix en faveur de telle ou telle solution influe sur le résultat final. Le facteur de rendement mondial est ainsi de 2,36 m<sup>3</sup> ha/an contre 5,40 m<sup>3</sup> ha/an pour le facteur de rendement national.

L'origine de ces facteurs de rendement n'est pas clairement identifiée<sup>37</sup>. L'étude des fichiers de données du GFN entre 1961 et 2005 montre que ce facteur de rendement est constant sur la période.

Pour obtenir l'empreinte partielle de la production forestière, on somme la production primaire de bois d'œuvre et la production de bois de chauffage.

## 8.2 Empreinte liée aux importations de produits forestiers

Le calcul est le même à la différence que les importations et exportations de produits secondaires sont également prises en compte.

$$EF_{\text{import forêt}} = \text{importation}_{\text{forêt}} \times \frac{Eq_{\text{facteur}}}{(Tx_{\text{extraction}} \times Rdt_{\text{facteur}})}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{\text{import forêt}} (\text{panneau de particules}) = 634366 \text{ hag} = 788579 \text{ m}^3 \times \frac{1,33 \text{ hag} / \text{wha}}{0,70 \text{ m}^3 / \text{m}^3_{\text{primaire}} \times 2,36 \text{ m}^3_{\text{primaire}} / \text{wha}}$$

Note : wha signifie hectare mondiaux

Le taux d'extraction est un coefficient multiplicateur permettant de convertir les produits transformés en l'équivalent de produit primaire nécessaire à leur obtention. Ces taux d'extraction sont une moyenne pondérée des taux d'extraction moyens des pays européens. La source de cette donnée est l'*European Forest Sector Outlook Survey* (UNECE 2005).

Contrairement à l'empreinte partielle de la production forestière, les produits secondaires et les produits primaires sont comptabilisés pour les importations et les exportations.

## 8.3 Biocapacité associée à la forêt

La biocapacité est la surface biologiquement productive dont dispose un pays. Elle est calculée pour les 5 types d'usage de terres : terres cultivées, pâturages, forêt, pêcheries (mer et eau douce) et terres artificialisées.

On a la formule suivante, avec Bc pour biocapacité :

$$\text{Biocapacité} = Bc_{\text{cultures}} + Bc_{\text{pâturages}} + Bc_{\text{forêt}} + Bc_{\text{pêche}} + Bc_{\text{artificialisation}}$$

Avec dans le cas des forêts :

$$Bc_{\text{forêts}} = \text{Surface disponible}_{\text{forêts}} \times Y_f \times Eq_{\text{facteur}}$$

### 8.3.1 Surface disponible

Les données concernant la surface sont issues de Corine Land Cover, des statistiques de la FAO ou du GLC<sup>38</sup>. La source privilégiée, complète pour l'ensemble des postes concernés, est CLC.

<sup>37</sup> combination of sources including the FAO Temperate and Boreal Forest Resource Assessment, FAO's Global Fibre Supply Model, and Global Footprint Network calculations based on IPCC accounting methodology

<sup>38</sup> Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Center and European Commission. *Global Land Cover 2000*. IES, Italy. <http://www-tem.jrc.it/glc2000/>

Les surfaces retenues pour estimer la biocapacité des forêts correspondent au poste B31 (forêts) de la nomenclature CLC.

### 8.3.2 Facteurs d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sols en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

Comme dans le cas des empreintes partielles, ce facteur d'équivalence sert à transformer la biocapacité d'un pays en hectares globaux de façon à rendre possibles les comparaisons internationales.

### 8.3.3 Facteurs de culture

Les facteurs de cultures sont égaux au rapport entre rendements nationaux et rendements mondiaux.

$$Y_f = \frac{Rdt_{national}}{Rdt_{mondial}}$$

Dans le cas des forêts, ce facteur  $Y_f$  est le rapport entre les rendements nationaux et mondiaux de grumes (arbres abattus non encore transformés).

## 8.4 Premiers résultats

### 8.4.1 Empreinte

La figure suivante présente les premiers résultats obtenus grâce au programme SAS de calcul de l'empreinte.

Les résultats obtenus sont très proches de ceux du GFN : les deux courbes sont quasiment confondues.

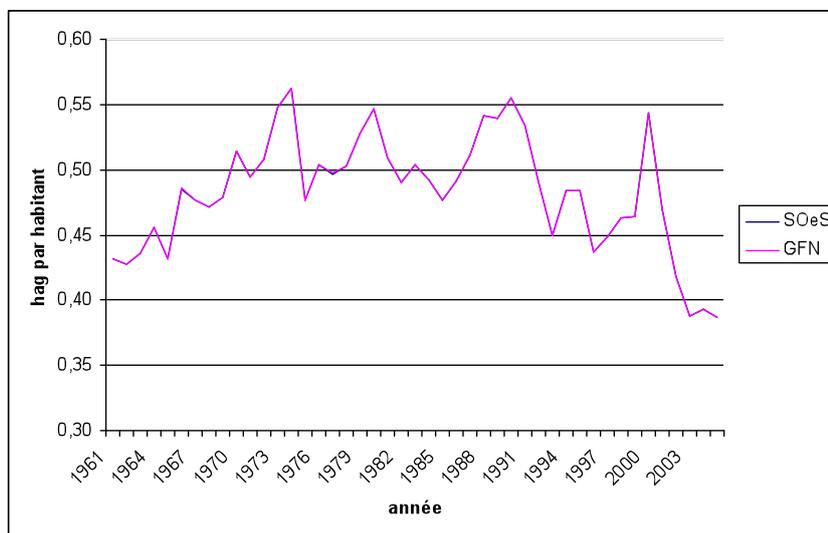


Figure 27 : comparaison de l'évolution de l'empreinte partielle de la forêt calculée par le SOeS et par le GFN  
(France : 1961 - 2005)

L'écart entre les valeurs issues des calculs du SOeS et de ceux du GFN est compris entre 0 et 0,04%. Ecart moyen et médian sont de 0,02%.

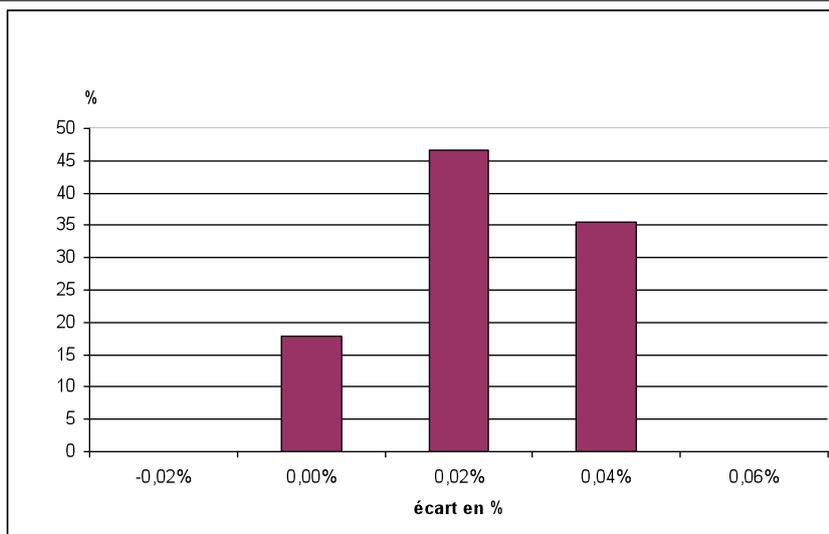


Figure 28 : distribution des écarts entre l'empreinte partielle de la forêt calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

### 8.4.2 Excédent ou déficit écologique de la forêt

La biocapacité des forêts doit répondre à deux usages, l'utilisation effective des ressources forestières (empreinte partielle de la forêt) et l'absorption du Carbone issu des activités humaines (empreinte partielle du Carbone).

Si l'on se place du seul point de vue de l'utilisation des ressources forestières, la France est en excédent écologique sur la période d'étude, la biocapacité diminuant de façon régulière mais supérieure de près de 0,5 hag par habitant à l'empreinte partielle de la forêt.

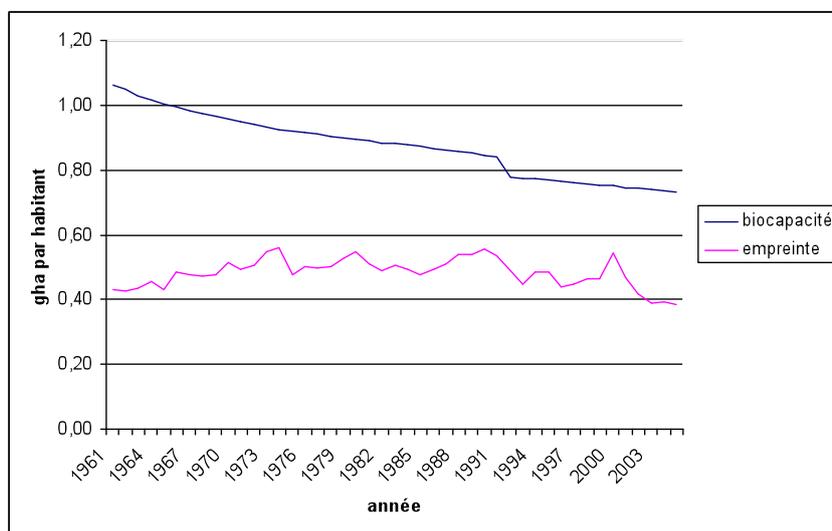


Figure 29 : comparaison de l'empreinte partielle et de la biocapacité de la forêt (France : 1961 - 2005)

Par contre si l'on compare cette biocapacité à la somme des empreintes partielles du Carbone et de la forêt, on se retrouve en très fort déficit écologique.

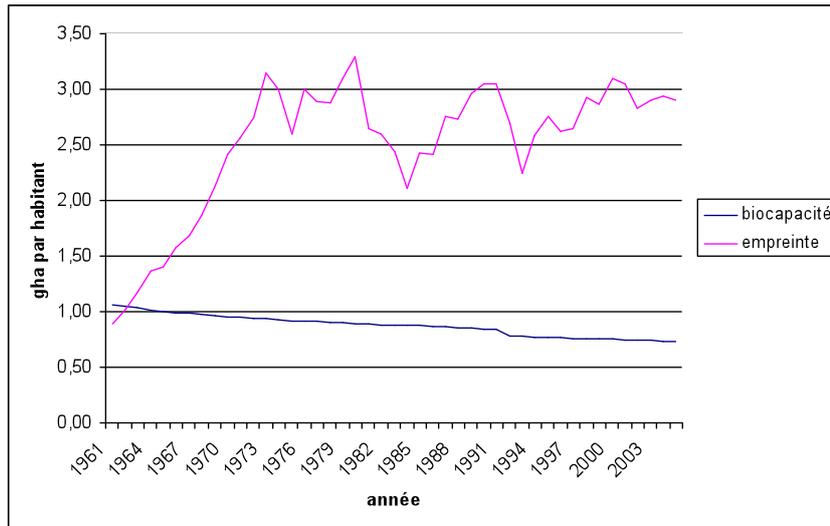


Figure 30 : comparaison de l'empreinte partielle du Carbone et de la forêt et de la biocapacité de la forêt  
(France : 1961 - 2005)

## 9 Empreinte partielle de la pêche

L'empreinte partielle liée à la pêche est le résultat de l'agrégation d'une empreinte tenant compte des captures de poissons (en mer et en eau douce) du pays et d'une empreinte des flux commerciaux de produits issus de la pêche.

La formule se résume à l'expression suivante où EF signifie Ecological Footprint:

$$EF_{fish} = EF_{fish\ marine} + EF_{fish\ inland} + EF_{import\ fish} - EF_{export\ fish}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{fish} = 10259441\ hag = 9124508\ hag + 4020\ hag + 3557211\ hag - 2426298\ hag$$

L'empreinte de la pêche est calculée en divisant le montant de la production primaire de protéines nécessaire à la vie d'une espèce aquatique par une estimation de la production primaire exploitable par hectare de zone marine. Cette production primaire exploitable est basée sur une estimation globale de la production durable d'espèces aquatiques (FAO, 1971<sup>39</sup>) converties en équivalents de la production primaire, et divisé par le total disponible de zone marine. Ce calcul tient compte du niveau trophique des espèces de poisson, c'est-à-dire la hiérarchie dans la chaîne alimentaire : une espèce d'un niveau trophique élevé nécessitera plus d'espace.

**Remarque :** cette empreinte partielle ne comptabilise pas l'aquaculture. En prévision d'une future comptabilisation de cette activité, deux onglets relatifs à l'aquaculture d'espèces marines et d'eau douce sont néanmoins disponibles dans le fichier NFA data 2008.

### 9.1 Empreinte de la pêche

#### 9.1.1 Captures de poissons

Le fichier GFN distingue les captures de poissons de 1326 espèces marines et 234 espèces d'eau douce ("inland water"). Le calcul retient toutes les captures ramenées à terre, quel que soit le lieu de pêche. Ainsi on comptabilise la totalité des prises effectives d'un pays qui pêche dans les eaux internationales ou dans une zone autre que son plateau continental. De ce fait, cette empreinte n'est pas comparable avec la biocapacité de la pêche de chaque nation, cette biocapacité étant calculée sur la seule base de la surface du plateau continental de chaque nation.

La formule appliquée est la même que les prises soient marines ou d'eau douce, ce qui nous conduit à ne détailler le calcul que pour les poissons océaniques.

On utilise les captures de poissons<sup>40</sup> (pêche) que l'on multiplie par la formule :

$$EF_{fish\ marine} = \text{Fish captures}_{marine} \times \frac{Eq_{f\ acteur}}{Rdt_{f\ acteur}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{fish\ marine}(anguille) = 485\ hag = 76\ t \times \frac{0,40\ hag / wha}{0,06\ t / wha}$$

Note : wha signifie hectare mondiaux

<sup>39</sup> L'estimation de la production durable d'espèces aquatique date de 1971, cette donnée a probablement dû être révisée depuis.

<sup>40</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2007c. "Fisheries Global Information System." FishSTAT database. <http://www.fao.org/fishery/figis>

### 9.1.2 Facteur d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sol en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

### 9.1.3 Facteur de rendement

On définit la constante APP, Available Primary Productivity<sup>41</sup>. C'est la part moyenne de surface du plateau continental nécessaire à la production d'une tonne de poisson. Cette donnée est obtenue à partir de la récolte moyenne mondiale de poisson ramenée en production primaire (pp) par hectare rapportée au plateau continental du pays.

Pour la France elle est égale à 4,25 t C pp (ha shelf)<sup>-1</sup> /an.

On définit également la variable PPR, Primary Production Required. C'est la production de chaque espèce nécessaire à la production d'une tonne de "poisson" selon la formule de Pauly et Christensen utilisant le niveau trophique de chaque espèce<sup>42</sup>:

$$PPR = \frac{DiscardFactor}{9} \times \left( \frac{1}{TransferEfficiency} \right)^{(TrophicLevel-1)}$$

Avec :

- Discard Factor, le taux de rejet des prises "accessoires". Cette information n'étant pas disponible pour toutes les espèces, le GFN utilise le même taux pour toutes les espèces<sup>43</sup>.

$$Discard Factor = \frac{0,07 + 0,26}{0,26} = 1,27$$

- Transfer Efficiency, le taux de transfert entre les niveaux trophiques de la chaîne alimentaire (ainsi pour produire une tonne de poisson il faut 10 tonnes de poissons du niveau inférieur). Sa valeur est constante et égale à 10%<sup>44</sup>.

Le facteur 1/9 convertit la biomasse de poisson en la quantité de carbone équivalente<sup>45</sup>.

Exemple de calcul (2005) :

$$PPR(anguille) = 68,30 = \frac{1,27}{9} \times \left( \frac{1}{0,1} \right)^{(3,69-1)}$$

Le facteur de rendement est ainsi obtenu en faisant le rapport entre ces deux termes. Cette formule fait appel au niveau trophique (position de l'espèce dans la chaîne alimentaire) de chaque espèce de poisson<sup>46</sup>:

$$Rdt_{facteur} = \frac{Available Primary Productivity}{PPR}$$

<sup>41</sup> **Available Primary Productivity**, the amount of primary productivity that can be sustainably harvested from each hectare of continental shelf area. This is calculated from the FAO estimate of sustainable harvest, multiplied by the PPR for world-average fish and divided by the area of the continental shelf.

<sup>42</sup> Lorsque le niveau trophique de l'espèce n'est pas connu, on applique un niveau trophique moyen.

<sup>43</sup> Pauly & Christensen, 1995.

<sup>44</sup> Pauly & Christensen, 1995.

<sup>45</sup> The coefficient of 1/9 placed in the front converts wet weight of fish biomass to the mass of its carbon content, as primary productivity is given in tonnes of carbon per hectare.

<sup>46</sup> Froese, R. and D. Pauly (Eds.) 2008. "FishBase."

<http://www.fishbase.org>

Exemple de calcul (2005) :

$$Rdt_{f_{acteur}}(\text{anguille}) = 0,06 = \frac{4,25}{68,30}$$

## 9.2 Empreinte liée aux importations de produits de la pêche

Le calcul distingue les importations et exportations de 117 produits issus de la pêche selon la nomenclature harmonisée de la FAO de 2002 sur les flux de matières<sup>47</sup>.

La formule appliquée est sensiblement la même que celle utilisée pour l'empreinte partielle de la production de poisson marins ou d'eau douce, mais un taux d'extraction est appliqué sur les produits secondaires pour estimer leur équivalence en produit primaire.

$$EF_{\text{fish import}} = \text{Fish}_{\text{import}} \times \frac{Eq_{f_{acteur}}}{Tx_{\text{Extraction}} \times Rdt_{f_{acteur}}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF_{\text{fish import}}(\text{anchois préparés}) = 6854 \text{ hag} = 7206 \text{ t} \times \frac{0,40 \text{ hag} / \text{wha}}{0,69 \text{ t} / \text{t}_{\text{primaire}} \times 0,60 \text{ t}_{\text{primaire}} / \text{wha}}$$

Note : wha signifie hectare mondiaux

### 9.2.1 Facteur d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sol en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

### 9.2.2 Facteur de rendement et taux d'extraction

Le facteur de rendement en recourant à la même formule que pour la production de poisson :

$$Rdt_{f_{acteur}} = \frac{\text{Available Primary Productivity}}{PPR}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$Rdt_{f_{acteur}}(\text{anchois préparés}) = 0,60 = \frac{4,25}{\left[ \left( \frac{1,27}{9} \right) \times \left( \frac{1}{0,1} \right)^{(2,70-1)} \right]}$$

Dans le cas des produits secondaires, on applique un taux d'extraction constant dans le temps pour opérer la conversion en produits primaires.

## 9.3 Biocapacité associée à la pêche

La biocapacité est la surface biologiquement productive dont dispose un pays. Elle est calculée pour les 5 types d'usage de terres : terres cultivées, pâturages, forêt, pêcheries (mer et eau douce) et terres artificialisées.

On a la formule suivante, avec Bc pour biocapacité :

$$\text{Biocapacité} = Bc_{\text{cultures}} + Bc_{\text{pâturages}} + Bc_{\text{forêt}} + Bc_{\text{pêche}} + Bc_{\text{artificialisation}}$$

<sup>47</sup> a slight FAO modification of the 2002 Harmonized Standard name of the traded products

Avec dans le cas de la pêche :

$$Bc_{pêche} = \text{surface plateau continental} \times Y_f \times Eq_{f \text{ acteur}}$$

### 9.3.1 Surface disponible

Les données concernant la surface sont issues de Corine Land Cover, des statistiques de la FAO ou du GLC<sup>48</sup>. La source privilégiée, complète pour l'ensemble des postes concernés, est CLC.

Les surfaces retenues pour estimer la biocapacité des forêts correspondent aux postes B51 (eaux continentales) et B52 (eaux maritimes) de la nomenclature CLC.

### 9.3.2 Facteurs d'équivalence

Le calcul de ces facteurs d'équivalence résulte d'une pondération des différents types de sols en fonction de leur productivité agricole potentielle (voir chapitre sur le détail de ces facteurs d'équivalence p 5).

Comme dans le cas des empreintes partielles, ce facteur d'équivalence sert à transformer la biocapacité d'un pays en hectares globaux de façon à rendre possibles les comparaisons internationales.

### 9.3.3 Facteurs de culture

Les facteurs de cultures sont égaux au rapport entre rendements nationaux et rendements mondiaux.

$$Y_f = \frac{Rdt_{national}}{Rdt_{mondial}}$$

Dans le cas de la pêche, on distingue selon que l'on considère les pêches maritimes ou en eau continentale :

#### - Pêche marine

C'est le rapport entre le rendement par hectare du plateau continental de la France et celui du plateau continental mondial (en kilogramme de biomasse par hectare).

Le GFN utilise des rendements constants entre 1961 et 2005 (820 tonnes par hectare pour la France contre 504 tonnes par hectares pour la moyenne mondiale).

#### - Pêche en eau douce

Pour ce qui est de l'eau douce, il n'existe pas de statistiques mondiales. Le GFN utilise un facteur de rendement égal à 1 : un litre d'eau douce donne la même quantité de biomasse partout dans le monde.

**Remarque :** cette hypothèse illustre le fait que l'empreinte écologique ne tient pas compte de la qualité physico-chimique des cours d'eau. La pollution des rivières n'est ainsi pas intégrée dans le calcul de la biocapacité.

## 9.4 Premiers résultats

### 9.4.1 Empreinte

Les premiers résultats du calcul sont présentés dans la figure ci-après.

<sup>48</sup> Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Center and European Commission. *Global Land Cover 2000*. IES, Italy. <http://www-tem.jrc.it/glc2000/>

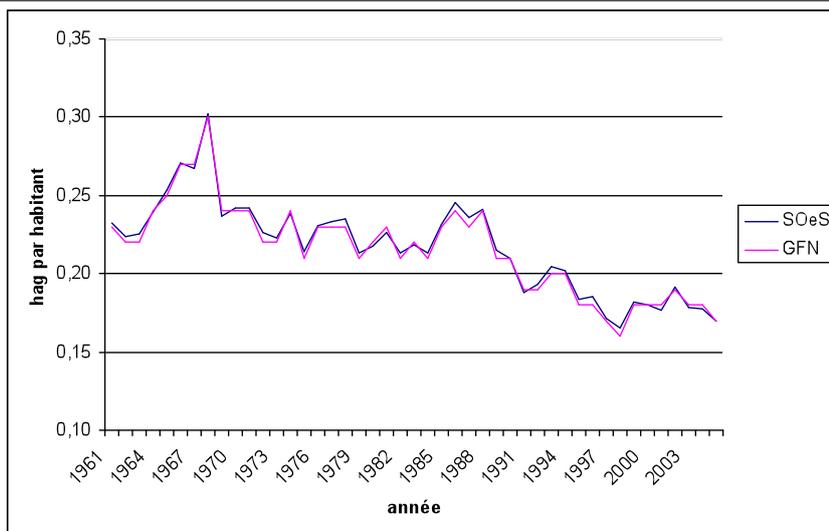


Figure 31 : comparaison de l'évolution de l'empreinte partielle de la pêche calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

L'écart entre le calcul du SOeS et celui du GFN est compris entre - 3,3 % et + 1,9 %. L'écart moyen est de -0,8 % et l'écart médian de -0,9 %.

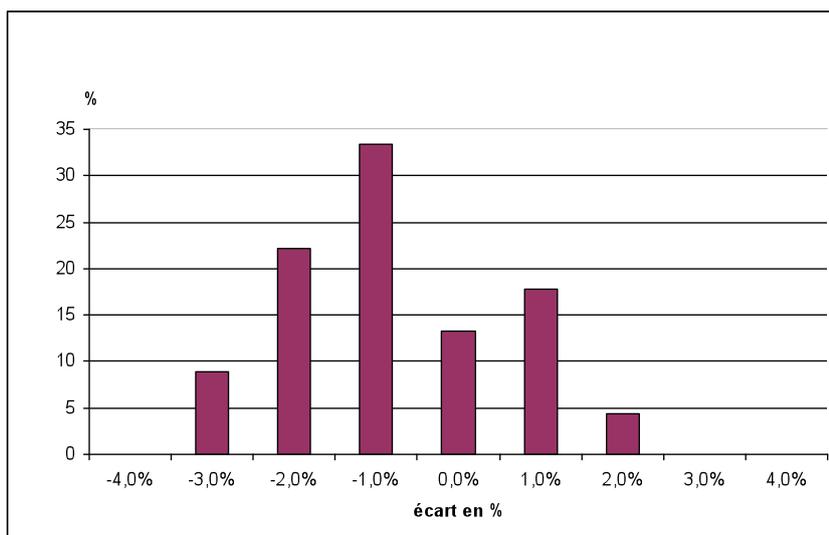


Figure 32 : distribution des écarts entre l'empreinte partielle de la pêche calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

### 9.4.2 Excédent ou déficit écologique de la pêche

On constate une situation de déficit écologique jusqu'au milieu des années 90, puis la France devient quasiment excédentaire.

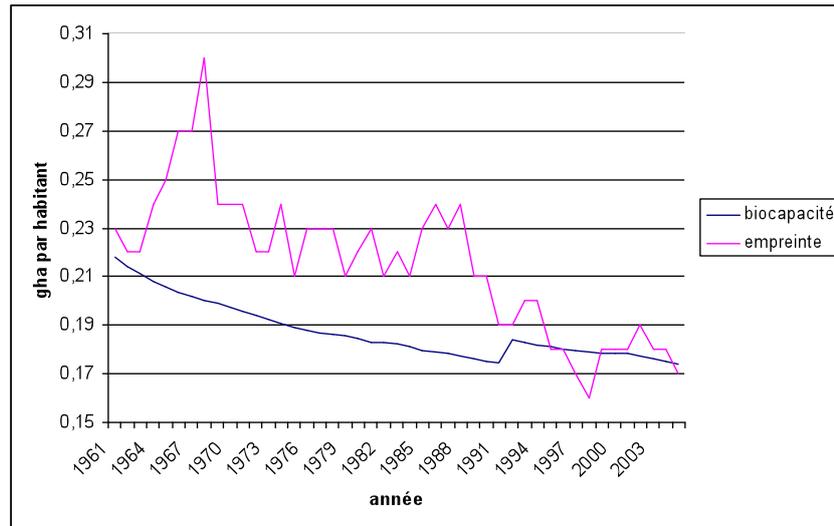


Figure 33 : comparaison de l'empreinte partielle et de la biocapacité de la pêche (France : 1961 - 2005)

## 10 Empreinte écologique

L'empreinte écologique est la somme des 6 empreintes partielles dont le calcul vient d'être détaillé. La formule est donc simple :

$$EF = EF_{\text{énergie}} + EF_{\text{cultures}} + EF_{\text{pâturages}} + EF_{\text{forêt}} + EF_{\text{pêche}} + EF_{\text{artificialisation}}$$

Exemple de calcul (2005) :

$$EF = 298\,073\,151 \text{ hag} = 152\,547\,415 \text{ hag} + 77\,218\,118 \text{ hag} + 19\,327\,770 \text{ hag} + 23\,378\,280 \text{ hag} + 10\,259\,441 \text{ hag} + 15\,342\,127 \text{ hag}$$

Les premiers résultats du calcul de l'empreinte écologique (figure 34) à partir des données utilisées par le GFN montrent une bonne correspondance entre les valeurs calculées par le SOeS et celles qui sont publiées par le GFN.

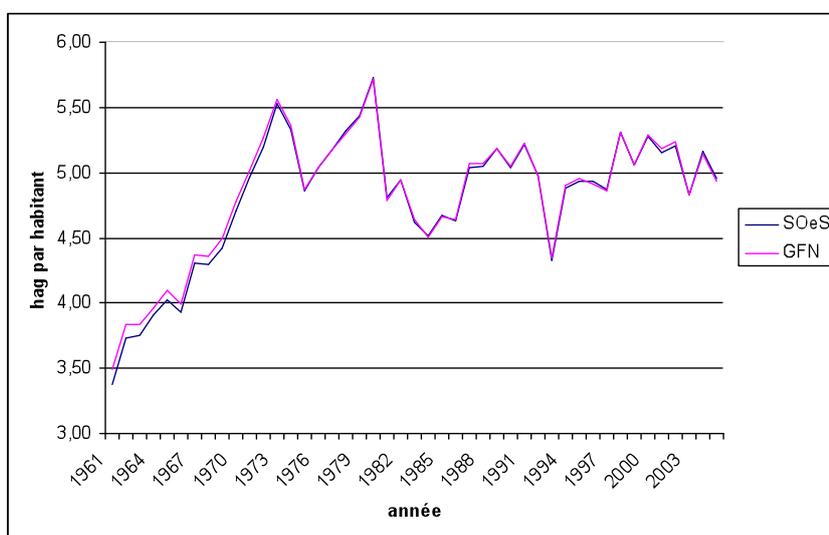


Figure 34 : comparaison de l'évolution de l'empreinte écologique calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

L'écart entre les valeurs issues des calculs du SOeS et de ceux du GFN est compris entre - 3,2% et +0,5%. L'écart moyen est de -0,5% et l'écart médian de -0,2%.

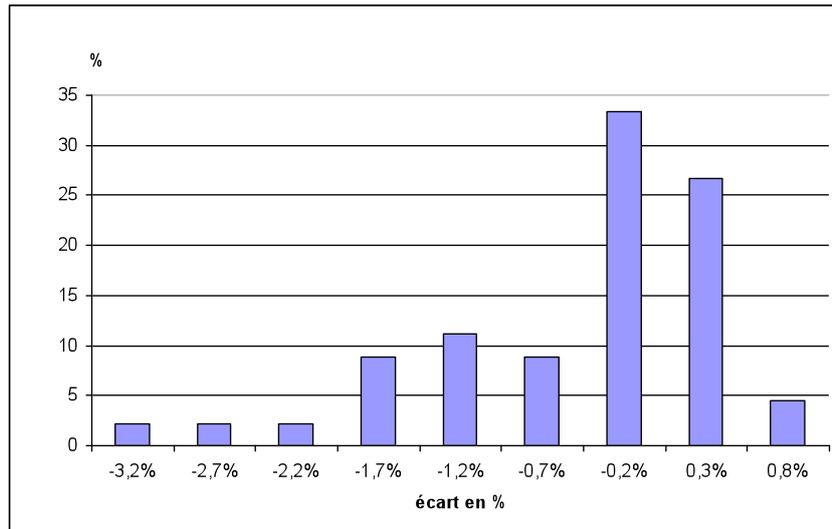


Figure 35 : distribution des écarts entre calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

Sur la période on constate également que cet écart est plus important avant 1975 (écart moyen de -1,5%). La tendance se stabilise après cette période pour varier entre -0,5% et +0,5%.

En étudiant les composantes de cette empreinte, on peut attribuer cet écart essentiellement à la composante *cultures* de l'empreinte écologique.

Cette différence dans la valeur de l'empreinte partielle des cultures provient de l'utilisation du facteur de conversion des têtes de bétail en tonnes de viande : les valeurs dans le fichier GFN ne correspondent pas avec celles de la méthode décrite pour les 6 produits d'échanges extérieurs d'animaux vivants.

Exemple en 1978 pour les porcs on constate les écarts suivants :

- 0,0017 t/tête pour les importations, contre 0,095 en valeur théorique annoncée ;
- 0,13 t/tête contre 0,095 en valeur théorique annoncée.

Dans le programme SAS développé par le SOeS, on utilise les coefficients utilisés en 1978.

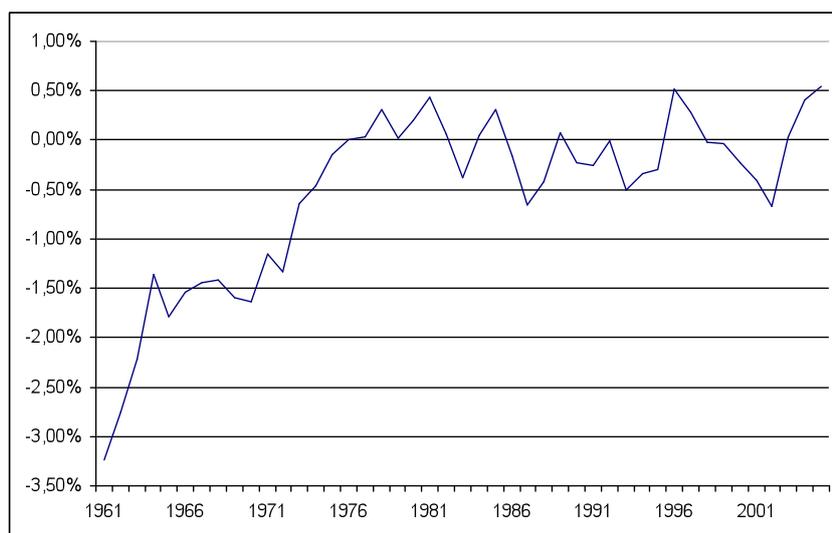


Figure 36 : évolution des écarts entre l'empreinte calculée par le SOeS et par le GFN (France : 1961 - 2005)

## 11 Bilan de l'exploration (Phase 1)

### 11.1 Visibilité de phénomènes extérieurs

L'observation détaillée de l'évolution des 6 composantes de l'empreinte écologique révèle des variations surprenantes.

Pour l'empreinte partielle du carbone on constate une baisse de 30% entre 1991 et 1993. L'étude des composantes de cette empreinte partielle indique que cette baisse est le résultat d'une chute des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation d'énergie pour la production industrielle, associée à une baisse des importations et exportations de produits. Ces résultats sont cohérents avec la situation économique, 1992 étant une année de crise économique sérieuse. On observe ce même phénomène entre 1981 (EF<sub>carbone</sub>=2,75) et 1984 (EF<sub>carbone</sub>=1,62), là aussi années de crise économique mondiale.

De la même façon, l'EF<sub>cultures</sub> passe de 1,63 à 1,20 (- 26 %) entre 2002 et 2003 année de la canicule.

#### Limite :

Pour confirmer cette impression, il serait intéressant de comparer les grandes crises économiques et les années à la météo inhabituelle et de les comparer avec l'évolution des empreintes de ces années.

### 11.2 Facteurs d'équivalence

Les facteurs d'équivalence n'interviennent que lors de l'agrégation des différents espaces. Sans l'utilisation de ces facteurs d'équivalence, on obtiendrait une empreinte écologique en hectares ne permettant pas de comparaison entre les différents types de sol. Le rôle de ces facteurs d'équivalence est de créer une surface théorique unique, l'hectare global, par pondération des différents types de sol (terre cultivable, forêt, pâturage,...) en fonction de leur productivité agricole potentielle. De ce fait ils sont identiques pour chaque pays et ils permettent de comparer les différents résultats nationaux.

#### Limite :

Le fait que les terres artificialisées soient considérées comme des terres agricoles productives est sujet à caution. Ces surfaces ne sont pas utilisées, ni utilisables en tant que terres cultivables à bon rendement agricole, ce qui est l'hypothèse du facteur d'équivalence artificialisation égal au facteur d'équivalence terres cultivables, en l'état ou sans modifications importantes.

Ainsi, il est peu imaginable que Paris, par exemple, soit transformé en champ de blé en une année, ce changement d'utilisation de la surface de Paris nécessiterait de lourds investissements de démolition (déchets à prendre en compte) et de dépollution des sols.

#### Avantage :

Ce facteur permet de comparer des activités et des utilisations de l'espace peu compatibles ou difficilement comparables. Les productions industrielles sont ainsi facilement représentables par la visualisation de la surface équivalente nécessaire à leur production ou transport...

### 11.3 Solidité des constantes de conversion

De nombreuses constantes de conversion sont utilisées dans le calcul des empreintes partielles (taux d'extraction, énergie grise (Embodied Energy), Feed Ratio...). Ces constantes servent à transformer des productions de produits secondaires en équivalent en produit primaires (cultures, pâturage), ou encore à transformer des quantités de produits en tonnes de CO<sub>2</sub> (Embodied Energy).

Ces constantes ont des origines parfois bien renseignées (FAO, United Nations). Parfois au contraire, l'origine est soit interne au GFN (énergie grise<sup>49</sup>), soit carrément inconnue (taux d'extraction pour les produits de pâturage, feed mix pour l'alimentation du bétail également<sup>50</sup>).

Il en va de même pour les constantes telles que le taux de séquestration du CO<sub>2</sub> par les océans ou encore le taux de séquestration du carbone par les forêts, etc....

<sup>49</sup> The values in 'EmbEn' are drawn from a supporting Global Footprint Network database including information collected from a variety of sources. Product Ecology Consultants. 2008. *SimaPro*.

<sup>50</sup> Tel quel dans le guidebook : **This data come from....the FAO?**

**Limite :**

L'identification floue de l'origine de certaines constantes ne joue pas en faveur de la transparence du calcul de l'empreinte par GFN.

Un travail de validation de chacune de ces constantes portant sur la fiabilité de la source et de l'ordre de grandeur de la constante est nécessaire avant de conclure quant à la robustesse de la méthode.

**11.4 Données**

Les données utilisées par le GFN sont issues principalement de la FAO pour les productions agricoles, les importations de produits agricoles, de bétail, les produits forestiers) et des Nations Unies pour les importations de produits industriels. Les données concernant la consommation d'énergie pour la production ou le chauffage proviennent de l'International Energy Agency. Pour les données concernant l'occupation du sol, les sources sont multiples et hiérarchisées, en privilégiant Corine Land Cover dès que possible.

Ces origines, bien qu'officielles et sérieuses, posent parfois quelques problèmes.

**Données commerce international des Nations Unies**

Le niveau de détail est très élevé. On distingue ainsi 625 produits d'importation, selon la nomenclature SITC\_Rev1, disponible sur le site des Nations Unies. Ces produits sont ensuite transformés en tonne de CO<sub>2</sub> liée à leur transport grâce à la constante énergie grise dont l'origine n'est pas clairement identifiée par le GFN. Cette énergie grise est disponible pour chaque produit dans la même nomenclature SITC\_Rev1.

Cette méthode est cohérente et robuste, mais elle oblige à utiliser des données utilisant cette nomenclature.

Le problème de l'utilisation de cette nomenclature SITC\_Rev1 est l'ancienneté de cette nomenclature, elle date de 1961 et les correspondances avec les nomenclatures actuelles (SITC\_Rev4, SHNC) ne sont pas facilement disponibles. Pour une utilisation des données de flux de matière autres que celles des Nations Unies, il faudra d'abord soit trouver une correspondance avec cette SITC\_Rev1 pour pouvoir appliquer les énergies grises, soit trouver des énergies grises dans la nomenclature des données.

Ceci peut constituer un frein très fort pour le calcul alternatif d'une empreinte partielle du carbone (poste principal de l'empreinte écologique).

**Données de production agricole de la FAO**

De la même façon, les données agricoles issues de la FAO sont apparemment fiables, mais la nomenclature utilisée<sup>51</sup> également n'est pas identifiée<sup>52</sup>.

Comme dans le cas du carbone, l'obtention des taux d'extraction dans une nomenclature plus accessible est nécessaire pour calculer une empreinte alternative des cultures.

**Données d'occupation du sol Corine Land Cover**

Le GFN utilise les données de Corine Land Cover pour appréhender l'occupation des sols. Ces données sont fiables elles aussi, mais elles ne sont disponibles que pour 1990, 2000 et 2006. Les données CLC antérieures et postérieures aux années de disponibilité des données CLC sont obtenues en divisant la surface CLC par la population de l'année de publication de CLC (ce qui donne une occupation par personne), cette information étant ensuite multipliée par la population de l'année d'étude.

$$CLC_{année} = \frac{CLC_{2000}}{population_{2000}} \times population_{année}$$

Cette méthode est discutable, car elle suppose que l'augmentation de population se traduit par une augmentation proportionnelle de l'occupation du sol. Or l'élasticité de la consommation d'espace aux variations de la population dépend du type de zone considéré : pôle urbain, couronne périurbaine, urbain multi polarisé, pôle rural, couronne d'un pôle rural ou encore rural isolé (Nomenclature Zauer de l'Insee).

<sup>51</sup> Donc les constantes de conversion associées.

<sup>52</sup> Il semblerait qu'elle corresponde à la nomenclature Annexe I du traité de la CE mais ceci est à confirmer.

### **11.5 Niveau de détail du calcul**

Les données utilisées sont parfois extrêmement détaillées ; c'est le cas pour les flux commerciaux (625 produits), l'agriculture (550 produits), la pêche (plus de 1300 produits).

Elles sont au contraire parfois très détaillées : seulement 6 secteurs pour les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la combustion d'énergie fossile.

Or ce niveau de détail ne reflète pas le poids plus ou moins important de l'empreinte partielle associée. Ainsi l'énergie fossile (6 postes) représente 40% de l'empreinte totale, alors que la nomenclature de la pêche est très détaillée pour une contribution de seulement 5%.

Il apparaît intéressant de réfléchir au niveau de détail qu'il est souhaitable de retenir.

Est-il pertinent de distinguer les importations de pieuvres vivantes des importations de pieuvres congelées, alors que l'énergie consommée par les industries manufacturières est déclinée en seulement 35 sous catégories ?

### **11.6 Cas particulier de l'empreinte du carbone**

Une question apparaît lorsque l'on compare le calcul de l'empreinte partielle du carbone avec les autres empreintes partielles : ces empreintes sont-elles cumulables ?

L'empreinte partielle du carbone détermine la surface nécessaire à l'absorption des émissions de CO<sub>2</sub> générées par les activités humaines, alors que les empreintes des cultures ou de la forêt tiennent compte des surfaces nécessaires à la production des ressources renouvelables (céréales, bois de chauffage, poisson...). On compare ainsi des surfaces effectivement utilisées pour répondre par exemple aux besoins en céréales de la France à des émissions converties en surfaces utilisées pour leur absorption.

## **12 Perspectives**

**Une série de questions précises va être envoyée au GFN afin d'éclaircir les raisons de l'utilisation d'un taux de séquestration du carbone par la forêt inférieur à celui du GIEC, ou encore obtenir plus d'informations sur la méthodologie utilisée pour déterminer l'énergie grise.**

**L'identification et la collecte de sources alternatives de données et de constantes permettant des calculs alternatifs d'empreinte vont être la priorité de la phase 2.**

**Dans cette perspective on étudiera la faisabilité de l'introduction de la notion de rendement agricole soutenable et son influence sur l'empreinte partielle des cultures.**

**Dans la même optique, les données des douanes sur les flux de matières seront utilisées pour estimer les flux commerciaux utilisés dans l'empreinte partielle du carbone.**

**On soumettra également le calcul de l'empreinte à des hypothèses de réduction des gaz à effet de serre par exemple.**

**Commissariat général au développement durable**

Service de l'observation et des statistiques

Tour Voltaire

92055 La Défense cedex

Tél. : 01 40 81 13 15 – Fax : 01 40 81 13 30

Courriel : [cgdd-soes-orleans@developpement-durable.gouv.fr](mailto:cgdd-soes-orleans@developpement-durable.gouv.fr)

Retrouver cette publication sur le site : <http://www.ifen.fr>

**Conditions générales d'utilisation**

*Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille – 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1<sup>er</sup> juillet 1992 – art. L.122-4 et L.122-5 et Code pénal art. 425).*

## Une expertise de l'empreinte écologique

Version provisoire

*Le concept d'empreinte écologique, élaboré au début des années 90, correspond à la superficie nécessaire pour fournir les ressources consommées et assimiler les rejets d'une population donnée.*

*L'expertise conduite par le Commissariat général au développement durable – Service de l'observation et des statistiques du ministère (SOeS) vise à fournir des éléments permettant de retenir ou au contraire d'écartier le recours à l'empreinte écologique.*

*Avec l'appui d'un Comité de suivi, le SOeS a notamment procédé au chiffrage standard de l'empreinte, à partir des algorithmes de calculs et des données fournies par le Global Footprint Network (GFN).*

*Il s'agissait d'apprécier la robustesse méthodologique de l'empreinte sur la base de critères d'évaluation internationaux. À cette fin, le SOeS s'est attaché à identifier les sources de données et les constantes de conversion utilisées par le GFN, puis analyser la chaîne de calculs pour enfin comparer les résultats.*

*Les premières conclusions de cette étude sont livrées dans ce numéro 4 de la collection Études & documents. La version définitive de l'expertise, qui sera publiée en juillet 2009, tiendra compte des résultats des tests complémentaires actuellement en cours.*

Ressources, territoires et habitats  
Énergie et climat  
Prévention des risques  
Développement durable  
Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**

Dépôt légal : mai 2009  
ISSN : en cours  
ISBN : 978-2-911089-904-97