



Akademien der Wissenschaften Schweiz  
Académies suisses des sciences  
Accademia svizzera delle scienze  
Academias svizas da las ciencias  
Swiss Academies of Arts and Sciences

# Indicateurs destinés à évaluer l'utilisation des ressources naturelles

Exemples et applications



# Glossaire

## Indicateur

Un indicateur est une variable basée sur des mesures et représentant aussi précisément que possible un phénomène donné (Joumard et Gudmundsson 2010).

Différents systèmes ont été élaborés pour classifier ces indicateurs, par exemple le système appelé DPSIR, à savoir «Forces motrices, pressions, état, impacts, réponses» (Gabrielsen et Bosch 2003).

## Ressource naturelle

Ressource issue directement de la nature. On peut notamment citer comme ressources naturelles les matières premières (renouvelables et non renouvelables), l'espace physique (surface), les milieux environnementaux (eau, sol, air), les ressources diffuses (les énergies géothermique, éolienne, marémotrice et solaire, par exemple) ainsi que la biodiversité.

À ce niveau, peu importe de savoir si les ressources sont utilisées comme sources pour la fabrication de produits ou comme puits pour l'absorption des rejets (eau, sol, air) (Office fédéral allemand de l'environnement UBA 2012, sur le modèle de la stratégie thématique pour une utilisation durable des ressources naturelles de l'UE).

## Ecobilan

Méthode d'évaluation qui consiste à établir un bilan environnemental d'une activité ou d'un produit en identifiant et en décrire quantitativement l'énergie consommée, les matériaux utilisés et les déchets rejetés dans l'environnement. L'évaluation conséquente des impacts associés comprend le cycle de vie du produit ou de l'activité, englobant l'extraction et la transformation des matières premières, fabrication, distribution, utilisation, réutilisation, l'entretien, le recyclage et l'élimination finale et tous les transports en cause. LCA aborde les impacts environnementaux dans les domaines des systèmes écologiques, la santé humaine et l'épuisement des ressources (Fullana et al. 2009, S. 26).

# Avant-propos

Comme l'espace vital de l'être humain – la Terre – est limité et que la consommation globale des ressources naturelles a fortement augmenté ces dernières décennies, la question à savoir comment nous pouvons mieux exploiter nos ressources naturelles, et par extension plus durablement, devient de plus en plus urgente. Ce d'autant plus que l'utilisation des ressources naturelles a un impact considérable sur l'environnement.

Une condition préalable fondamentale pour une meilleure utilisation des ressources naturelles est d'en connaître l'état. La science peut jouer un rôle important en rendant les effets de l'utilisation des ressources naturelles mesurables et donc compréhensibles et en interprétant les résultats de l'application de ces indicateurs.

Cette brochure donne un aperçu des indicateurs disponibles pour évaluer l'utilisation des ressources naturelles et nous montre où il existe encore des lacunes. Il faut désormais que les mondes économique et politique ainsi que tous les autres acteurs impliqués unissent leurs forces pour enfin amorcer le changement nécessaire et créer une société plus durable. Une utilisation plus responsable des ressources naturelles limitées n'est pas seulement une question d'écologie et d'économie, elle implique également de nombreux aspects sociaux, culturels, moraux et politiques. Dans le cadre de cette brochure, nous avons délibérément décidé d'aborder uniquement le monde physique. Nous l'avons davantage conçue comme une brochure d'introduction à la problématique de l'exploitation des ressources naturelles.

Prof. Dr. Ulrich W. Suter  
Président de la SATW

Dr. Xaver Edlmann  
World Resources Forum

## Les indicateurs – une aide à la décision

Les ressources naturelles, telles que les matières, l'eau, les surfaces et l'énergie, sont essentielles à la vie de tous – et elles ne sont pas illimitées. L'Homme aussi dépend de ces ressources, elles sont indispensables à son métabolisme, mais également à ses activités économiques.

Alors qu'un homme appartenant à une communauté de chasseurs-cueilleurs avait besoin de trois kilos de matières biotiques et abiotiques chaque jour, la consommation d'un homme moderne vivant dans un pays industrialisé avoisine les 40 kilos par jour (Fischer-Kowalski et al. 1997). La consommation croissante des ressources a renforcé la pression sur les écosystèmes et menace sérieusement l'avenir des générations futures. Il est temps de prendre conscience des limites des ressources naturelles, et notamment des métaux ou encore de l'eau dans les régions arides.

Devons-nous réduire notre consommation ou les progrès techniques et l'utilisation plus efficace des ressources nous permettront-ils de pallier la raréfaction des ressources naturelles? C'est à la société de décider comment elle compte exploiter ces ressources et si elle souhaite mettre en œuvre une exploitation plus responsable et plus durable (voir, par exemple, cahier SATW n° 41 «Métaux rares: matières premières pour les technologies d'avenir»). Mais si la société souhaite s'engager dans cette voie, elle devra décrire et mesurer précisément l'exploitation des ressources naturelles et les problèmes que celle-ci engendre en recourant, par exemple, à des indicateurs.

Différents indicateurs ont été mis au point au cours de ces dernières années. Ils se distinguent entre autres par les éléments suivants: ce qu'ils démontrent (l'exploitation des ressources et/ou les répercussions qu'elle engendre) ainsi que la mesure avec laquelle ils prennent en considération les aspects qualitatifs des besoins en ressources (par exemple, type d'exploitation des surfaces, types de matières). Afin de déterminer si ces indicateurs peuvent être appliqués ou

non dans la pratique, il est important de savoir s'ils «sont pertinents en termes d'ordre de grandeur pour toutes les incertitudes résiduelles et s'ils peuvent orienter les personnes concernées dans la bonne direction» (Schmidt-Bleek 2007). Il faut donc s'assurer qu'ils orientent l'opinion dans la bonne direction et qu'ils sont suffisamment représentatifs, applicables, fiables, transparents, accessibles et compréhensibles.

Cette brochure présente différents indicateurs permettant de mesurer et décrire l'utilisation des ressources et ses répercussions. Elle décrit les indicateurs qui se réfèrent aux catégories Matière, Surface, Energie et Eau, et les applique – à titre d'exemple – à quatre métaux très utilisés lors de la fabrication de produits high-tech (voir tableau): le cuivre (Cu), le platine (Pt), le lithium (Li) et le néodyme (Nd). Lors des calculs des différents indicateurs, il est important de s'assurer que tous les flux de matières et d'énergie impliqués au cours du cycle de vie d'un produit ou d'un service ont été pris en considération. Pour les métaux analysés dans cette brochure, les flux de matières et d'énergie ayant été pris en compte sont ceux qui ont été engendrés depuis le prélèvement des matières premières jusqu'à la production du métal négociable (voir illustration 1). Les données nécessaires à cette fin sont issues de la base de donnéesecoinvent (2010), laquelle a été spécialement mise au point pour la réalisation des écobilans<sup>1</sup>.

<b>Matière</b>	<b>Surface</b>
<b>Eau</b>	<b>Energie</b>

Les catégories de ressource prises en compte par chaque indicateur seront toujours indiquées en couleur dans cette brochure.

	Catégorie de métal	Applications (sélection)	Production annuelle en tonnes, en 2010 (USGS 2011)
Cuivre	Métal semi-précieux	Lignes électriques, tuyaux en cuivre	16 200 000
Lithium	Métal alcalin	Batteries, médicaments, additifs lubrifiants, additifs pour ciment	25 300
Néodyme <sup>2</sup>	Métal du groupe des terres rares	Aimants permanents, lasers	- <sup>3</sup>
Platine	Métal noble	Pots catalytiques, appareils de laboratoire, implants dentaires, bijoux	183

Tableau 1: applications et production annuelle des quatre métaux sélectionnés.

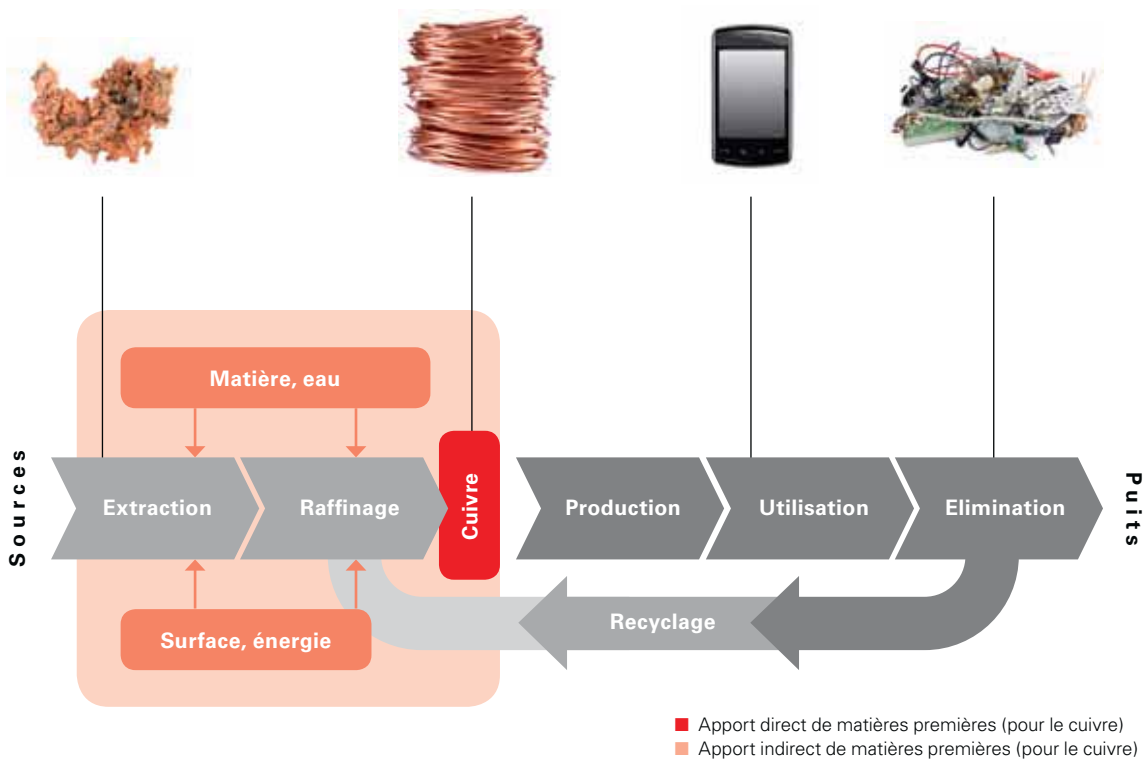


Illustration 1: ressources consommées et cycle de vie; exemple pour le cuivre.

<sup>1</sup> Retrouvez tous les détails des calculs dans les fiches techniques des quatre métaux, disponibles sur le site Internet [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch).

<sup>2</sup> Etant donné que, dans le cadre de l'exploitation minière, le néodyme ne constitue qu'un des différents sous-produits extraits de la monazite et de la bastnaésite, seuls 41 % de l'ensemble des impacts environnementaux lui ont été attribués lors des calculs.

<sup>3</sup> La production annuelle de néodyme n'apparaît pas séparément. Le groupe des Terres rares produit au total 130 000 tonnes.

# Matière

**La quantité totale de matières biotiques et abiotiques extraites en 2007 et utilisées dans des produits et des services est estimée à près de 60 milliards de tonnes (SERI 2010). Cette quantité peut grimper jusqu'à 120 à 180 milliards de tonnes si l'on tient également compte des matières inutilisées. Les indicateurs actuels permettant d'évaluer l'utilisation des matières déterminent et mesurent le type et la quantité de matières, mais oublient bien souvent de décrire les multiples impacts que cette utilisation entraîne sur l'environnement.**

Plus la quantité de matières exploitées est importante, plus l'impact sur l'écosystème est lourd. C'est cette idée qui est à la base de la métaphore du «sac à dos écologique». Le sac à dos écologique désigne la quantité de ressources nécessaires à la fabrication d'un produit. Le poids net du produit n'est pas pris en considération (Schmidt-Bleek 1994). Si on l'applique aux impacts environnementaux, ce concept est réducteur car il ne tient compte que des quantités de matières et non de leurs caractéristiques qualitatives intrinsèques, comme leur toxicité. Malgré cette simplification, toute une série d'indicateurs s'appuient sur cette méthode du sac à dos écologique (par exemple l'indicateur MIPS, l'ensemble des besoins matériels TMR, les flux entrants directs DMI<sup>4</sup>). La différence principale entre les indicateurs réside dans les limites choisies du système: selon le choix effectué, les indicateurs s'intéressent soit au niveau macro (par exemple, TMR pour les pays, les économies nationales), soit au niveau micro (par exemple, MIPS pour les services) et prennent en considération plus ou moins de catégories de matières.

## MIPS

L'indicateur MIPS (quantité de matière indispensable par unité de service) mesure la quantité de matière nécessaire à un service. Les produits sont ici considérés comme des «outils permettant la mise en œuvre du service» (Schmidt-Bleek 2007). Le MIPS s'intéresse à cinq types de catégories de matières:

- Les matières abiotiques, y compris les matières premières minérales, les combustibles fossiles et les terres extraites;
- Les matières biotiques;
- Les mouvements du sol dans l'agriculture et la sylviculture, y compris l'érosion;
- L'eau provenant des eaux de surface, des nappes souterraines et des eaux profondes;
- L'air en relation avec les processus de combustion et les transformations chimiques et physiques.

L'indicateur MIPS s'intéresse aux matières entrantes directes et indirectes (voir illustration 1, page 5). Pour un produit, cela signifie «poids net + sac à dos». La matière entrante est définie comme la quantité totale de matière utilisée tout au long du cycle de vie du produit. Pour l'indicateur MIPS, le terme de matière englobe également les combustibles fossiles ainsi que l'eau et l'air. Les bases nécessaires au calcul de l'indicateur MIPS sont mises à disposition par l'institut du climat, de l'environnement et de l'énergie de Wuppertal (Wuppertal Institut 2011).

<sup>4</sup> Plus d'informations sur les indicateurs TMR et DMI sur le site suivant: <http://www.eea.europa.eu/publications/signals-2000/page017.html>.

Conformément à l'indicateur MIPS, la production de 1 kilo de platine requiert environ 530 tonnes de matières (voir illustration 2, barres rouges). Pour 1 kilo de cuivre, cette valeur est inférieure de presque trois ordres de grandeur (0,7 tonne). Aucune valeur MIPS n'est disponible pour le lithium et le néodyme.

La comparaison entre les deux valeurs MIPS et la somme des matières calculée sur la base des données ecoinvent (voir illustration 2, barres incarnadines) montre que les résultats évoluent dans un ordre de grandeur similaire. Les valeurs MIPS qui, contrairement à la somme de matières, incluent également le poids net du produit, présentent des quantités de matières supérieures, principalement en rai-

son du fait que la valeur MIPS tient non seulement compte des matières biotiques et abiotiques, mais également de l'eau et de l'air utilisés.

L'indicateur MIPS a pour avantage d'être facilement compréhensible et applicable et pour inconvénient d'être assez réducteur. Différentes matières sont regroupées dans un seul et même paramètre. En négligeant les aspects qualitatifs, l'indicateur MIPS ne permet finalement pas de fournir une image différenciée des impacts environnementaux engendrés par l'exploitation de cette matière.

<b>Matière</b>	<b>Surface</b>
<b>Eau</b>	<b>Energie</b>

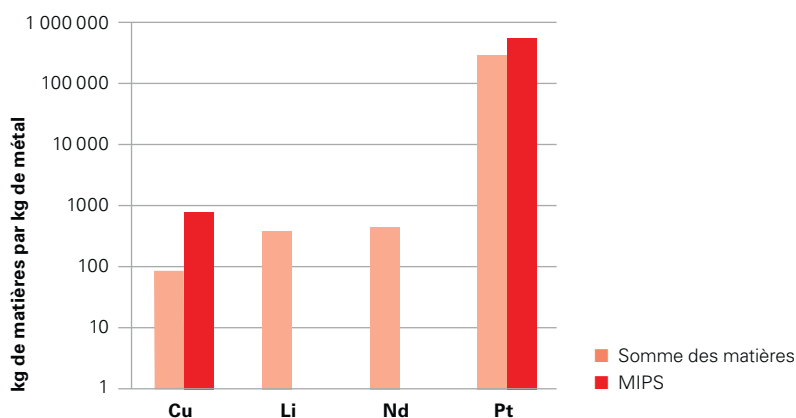
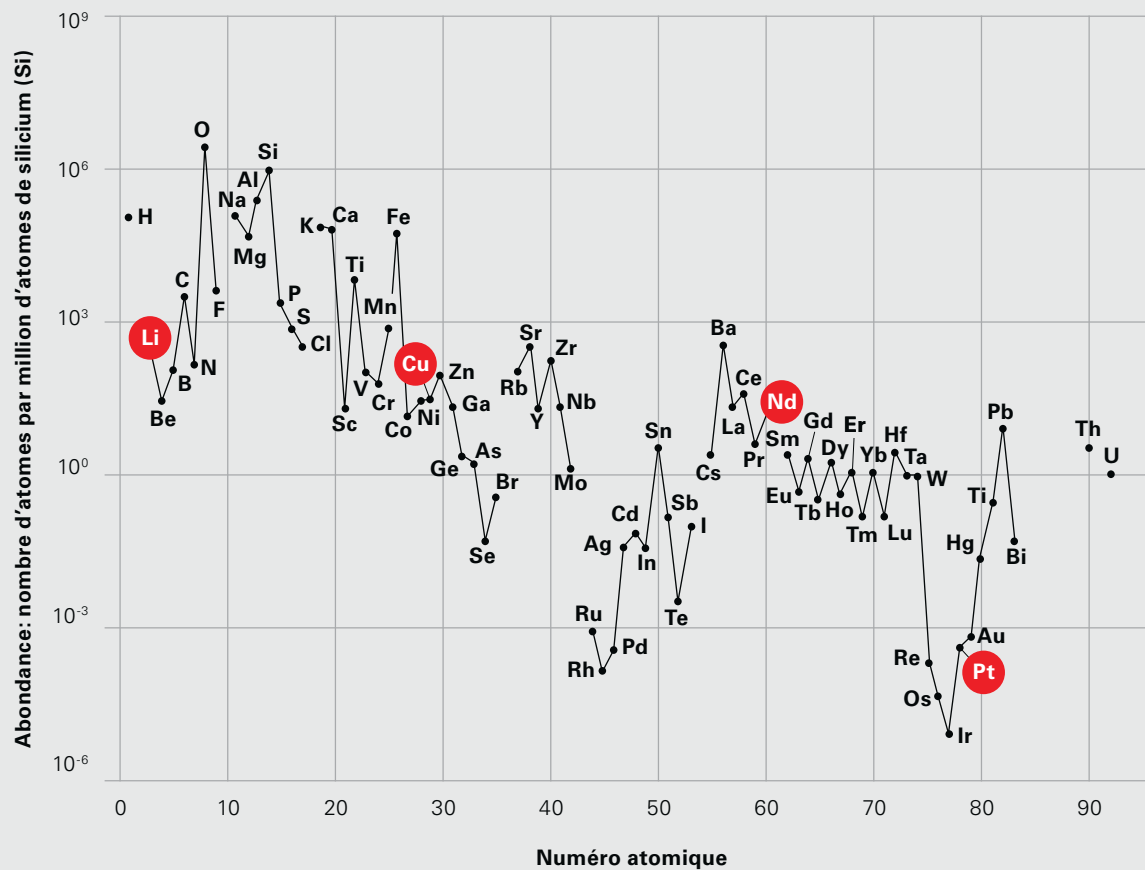


Illustration 2: Comparaison entre l'indicateur MIPS (rouge, données issues du Wuppertal Institut 2011) et la somme des matières utilisées de manière indirecte (incarnadin) selon ecoinvent (2010); représentation logarithmique. Les valeurs MIPS ne sont pas disponibles pour le lithium et le néodyme.



### Abondance des éléments dans la croûte terrestre supérieure



L'illustration met en exergue l'abondance des différents éléments dans la croûte terrestre supérieure en représentant le nombre d'atomes par million d'atomes de silicium. Parmi les quatre métaux analysés dans cette brochure (entourés d'un cercle rouge sur le graphique), le lithium est l'élément le plus abondant, suivi du cuivre et du néodyme, lesquels sont plus rares d'un à deux ordres de gran-

deur. Le métal le moins représenté est le platine. Sur la base des indicateurs abordés dans cette brochure, les métaux plus abondants (Cu, Li, Nd) obtiennent de meilleurs résultats en termes de consommation de ressources naturelles, et dès lors d'impact sur l'environnement. (Source: Wikipedia, extrait de USGS (2002), Rare Earth Elements – Critical Resources for High Technology)



## Surface

**La superficie des terres de notre planète atteint près de 150 millions de kilomètres carrés, ce qui correspond à environ 30 pour cent de la surface totale. La pression sur la ressource «terre» n'a cessé de s'accroître en raison des besoins d'une population croissante (mobilité, alimentation, logement, détente). Il est donc impératif de recourir à un outil simple d'utilisation pour chiffrer la quantité de surface utilisée.**

L'extraction des matières premières, par exemple les minerais, requiert des terres. En fonction des caractéristiques spécifiques de la surface, telles que la végétation, la nature du sol ou l'exploitation, l'utilisation d'une surface donnée peut avoir un impact plus ou moins important sur l'environnement. Prenons l'exemple du cuivre. L'extraire d'une forêt tropicale ou d'une surface désertique aura des répercussions bien différentes sur la diversité biologique et les prestations fournies par les écosystèmes (la production de biomasse, par exemple). D'un point de vue écologique, une addition purement quantitative des surfaces utilisées est donc insuffisante. Il est également nécessaire de réaliser une évaluation des surfaces en fonction de leurs caractéristiques qualitatives. Deux méthodes sont décrites ci-après: l'empreinte écologique, largement utilisée, et un indicateur terrestre développé dans le contexte des écobilans.

### Empreinte écologique

L'empreinte écologique (en anglais: Ecological Footprint) a été créée dans les années 1990 par Mathis Wackernagel et William Rees. C'est aujourd'hui une méthode internationale largement répandue permettant d'évaluer l'utilisation des ressources naturelles (Wackernagel et al. 2005). Elle illustre la surface biologiquement productive utilisée, par exemple, par un individu ou un pays pendant une période donnée pour générer tous les produits et services consommés et pour absorber les déchets générés. L'unité de mesure utilisée est l'hectare global (hag), qui symbolise la productivité moyenne de la surface de terre biologiquement productive par hectare en un an. Si la méthode est appliquée à des territoires géogra-

phiques, elle permet d'évaluer non seulement l'utilisation des ressources, mais également de la comparer aux capacités en ressources naturelles existantes.

L'empreinte écologique tient compte des surfaces utilisées pour les types d'exploitation suivants: champs cultivés, pâturages, pêcheries, forêts et terrains bâtis (surface utilisée de manière directe). Pour chaque type de surface, la méthode attribue un facteur d'équivalence permettant d'exprimer la variation de la productivité dans le temps et l'espace en une unité de mesure comparable (l'hectare global). Un autre type de surface a été créé: la «surface CO<sub>2</sub>» virtuelle. Cette dernière désigne la superficie de forêt et d'océan qui serait nécessaire pour absorber la quantité de dioxyde de carbone libérée lors de l'utilisation d'énergie fossile (surface utilisée de manière indirecte). La proportion de «surface CO<sub>2</sub>» contenue dans le total de surfaces utilisées est considérable: en 2007, elle représentait près de 50 pour cent.

Le calcul de l'empreinte écologique pour la production mondiale de cuivre, de lithium et de platine en 2010 montre que le cuivre consomme bien plus de ressources (en hectares globaux) que le platine et le lithium (voir illustration 3). Cependant, l'image est tout autre si l'on calcule les répercussions de la production pour un kilo de chaque métal: les surfaces requises pour le platine (en hectares globaux par an<sup>5</sup>) sont supérieures de trois à quatre ordres de grandeur par rapport au cuivre, au lithium et au néodyme (voir illustration 4).

Pour tous les métaux analysés, la plus grosse part de surfaces est utilisée pour compenser la consommation d'énergie fossile (surface CO<sub>2</sub>). La surface permettant de compenser la consommation d'énergie nucléaire joue aussi un rôle important. Elle est également mentionnée dans la base de données ecoinvent utilisée pour établir l'écobilan<sup>6</sup>.

Matière	Surface
Eau	Energie

Ces dernières années, l'empreinte écologique a été une méthode très largement utilisée. L'un de ses avantages majeurs est qu'elle est particulièrement intuitive. Pourtant, la méthode nécessite une certaine capacité d'abstraction, car elle établit une distinction entre des zones terrestres calculées directement et indirectement, par exemple.

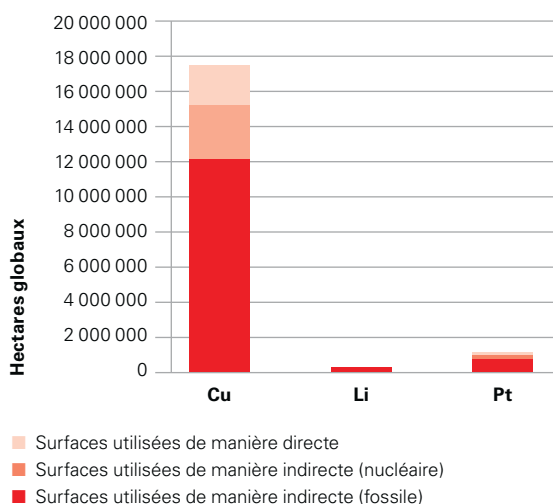


Illustration 3: empreinte écologique en millions d'hectares globaux pour l'ensemble de la production mondiale en 2010 (voir tableau 1) des métaux suivants: cuivre, lithium et platine (données issues de la base de données ecoinvent (2010)). Pour le néodyme, on ne dispose pratiquement d'aucune donnée relative à la production annuelle mondiale.

### Indicateur terrestre dans ReCiPe

ReCiPe est une méthode d'évaluation globale utilisée lors de la réalisation d'écobilans. Elle regroupe plusieurs indicateurs, ce qui permet d'évaluer simultanément plusieurs impacts environnementaux (Goedkoop et al. 2009). L'un des indicateurs utilisés dans ReCiPe décrit l'impact environnemental engendré lors de l'utilisation d'une surface tout en calculant la proportion potentielle des espèces qui disparaissent à la suite de cette utilisation (mesurée en nombre d'espèces par an) (De Schryver et Goedkoop 2009). La base utilisée pour le calcul du taux de perte d'espèces est l'utilisation des sols, laquelle se définit non seulement par le type d'exploitation et de surface, mais également par la durée. La surface inutilisée sert de référence. ReCiPe est une méthode employée dans le monde entier. Jusqu'à présent, l'indicateur terrestre se base toutefois d'abord sur les données relatives à la diversité végétale selon les types d'utilisation des sols en Grande-Bretagne.

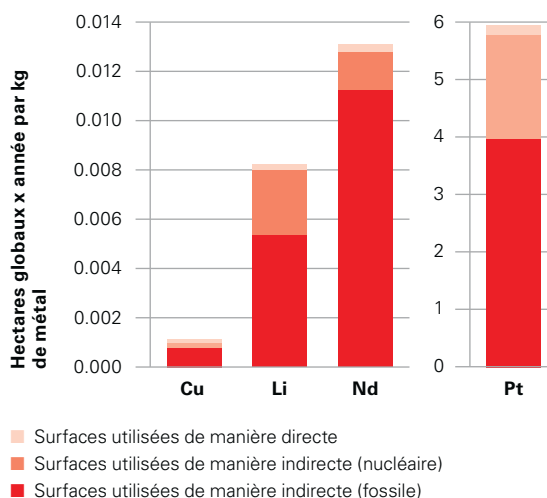


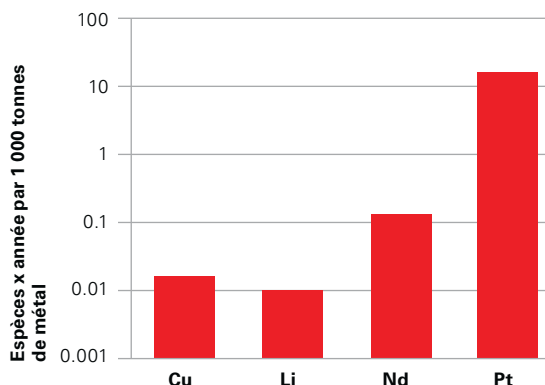
Illustration 4: étendue des surfaces utilisées pour la production de 1 kilo de chaque métal (données issues de la base de données ecoinvent (2010)).

<sup>5</sup> Cette unité s'appuie sur le fait que la méthode de l'empreinte écologique tient compte d'une activité sur une période donnée (année) mais est utilisée ici pour une grandeur de référence (1 kg de métal) qui ne tient pas compte de la durée.

<sup>6</sup> Comme pour les énergies fossiles, lors de l'implémentation de l'empreinte écologique dans la base de données ecoinvent, la consommation d'énergie nucléaire a également été illustrée sur une surface. La quantité d'énergie nucléaire produite a par ailleurs été convertie en quantité de carburant fossile équivalente, par le biais de la densité d'énergie des sources fossiles (mégawattheure par kilo).

Comme indiqué dans l'illustration 5, le taux de perte d'espèces potentiel calculé dans le cas de la production de cuivre et de lithium est similaire. Pour le néodyme, en revanche, ce taux est excédé d'un ordre de grandeur<sup>7</sup> et, pour le platine, les valeurs dépassent de deux à trois ordres de grandeur celles des autres métaux.

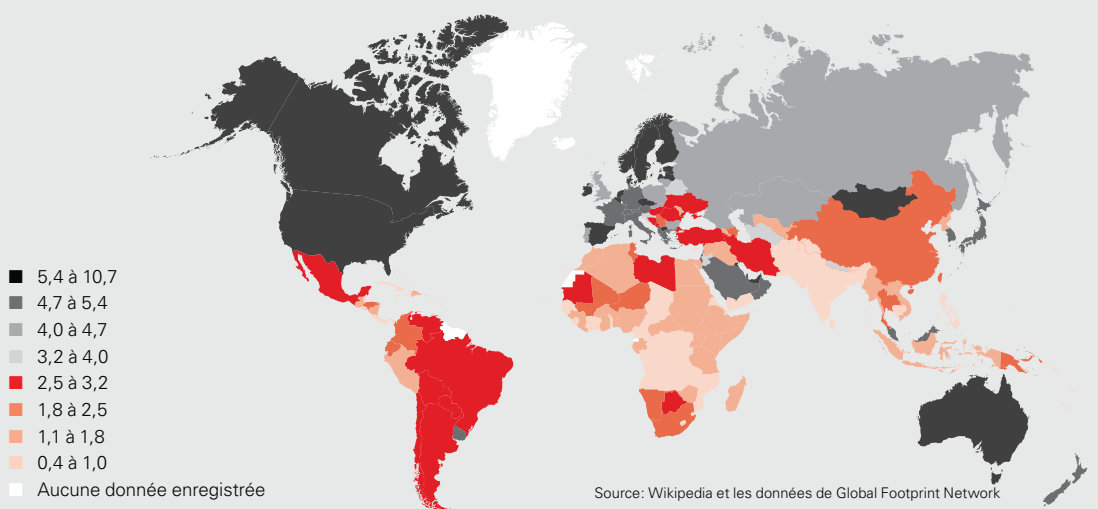
<b>Matière</b>	<b>Surface</b>
<b>Eau</b>	<b>Energie</b>



L'illustration 5 montre le taux de perte d'espèces engendré par la production de chacun des quatre métaux (représentation logarithmique, données issues d'ecoinvent 2010).

<sup>7</sup> L'indicateur territorial ReCiPe a été implémenté dans ecoinvent.

### Empreinte écologique par personne en 2007 (en hectares globaux)



Au cours d'une année, chaque personne consomme une certaine quantité moyenne de produits et de services. L'empreinte écologique décrit le nombre d'hectares de surface biologiquement productive nécessaire pour générer ces produits et services. En 2007, l'empreinte écologique mondiale s'élevait à 2,7 hectares globaux (hag) par habitant. La biocapacité, c'est-à-dire la capacité des écosystèmes à produire de la matière biologique utile et à absorber les déchets générés par les sociétés humaines compte

tenu des conditions actuelles, s'élève à 1,8 hag. Nous utilisons aujourd'hui 1,5 planète ou autrement dit: la Terre aurait besoin d'un an et demi pour couvrir les besoins de l'humanité au cours d'une année.

En 2007, ce sont les Emirats Arabes Unis qui ont enregistré l'empreinte écologique la plus importante avec près de 11 hag par habitant. La Suisse a «consommé» 5 hag par personne, la Chine 2,2 hag et l'Inde environ 1 hag.



## Energie

**La consommation d'énergie mondiale est actuellement assurée à 80 pour cent par les sources fossiles (IEA 2010). Les émissions de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) sont l'un des principaux indicateurs permettant de déterminer l'impact environnemental engendré par l'utilisation des sources d'énergie fossiles. En 2007, les émissions anthropiques totales de CO<sub>2</sub> s'élevaient, selon le GIEC<sup>8</sup>, à 31 gigatonnes. La méthode «PRG à 100 ans» du GIEC est devenue la norme standard pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre.**

Le gaz carbonique émis lors de la combustion des énergies fossiles est responsable de près de 60 pour cent des émissions anthropiques de gaz à effet de serre. Les 40 pour cent restants sont constitués de gaz carbonique émis par d'autres sources, de méthane, de protoxyde d'azote, de chlorofluorocarbures et d'autres gaz à effet de serre (GIEC 2007a). On constate donc que l'utilisation de l'énergie est étroitement liée à la question du climat. En tant qu'indicateur de la consommation d'énergie, la méthode «PRG à 100 ans» (potentiel de réchauffement global) fournit une bonne base étant donné qu'elle décrit entre autres le potentiel d'effet de serre des émissions de CO<sub>2</sub> (GIEC 2007b).

### PRG à 100 ans

La méthode «PRG à 100 ans» décrit l'importance de l'impact climatique d'une quantité donnée de gaz à effet de serre sur une période de 100 ans. Elle utilise comme valeur de référence le potentiel de réchauffement global d'un kilo de gaz carbonique. L'impact climatique moyen de tous les autres gaz à effet de serre est donc indiqué en équivalents CO<sub>2</sub>. Pour le méthane par exemple, le GIEC a calculé un équivalent CO<sub>2</sub> de 21. Si l'on s'intéresse uniquement à la

question énergétique, comme c'est le cas ici, principalement les émissions de CO<sub>2</sub> sont pertinentes.

Le gaz carbonique représente près de 90 pour cent des émissions totales de gaz à effet de serre émis lors de la production de chacun des quatre métaux (voir illustration 6). Avec des émissions de CO<sub>2</sub> de près de 15 tonnes par kilo de métal, le platine dépasse de trois à quatre ordres de grandeur les émissions produites par le cuivre, le lithium et le néodyme. Ce qui est particulièrement intéressant, c'est le fait que les émissions de CO<sub>2</sub> par kilo de cuivre sont de 2,8 kilos, soit un ordre de grandeur en dessous de celles du lithium alors que ces dernières représentent environ la moitié des émissions du néodyme.

La méthode «PRG à 100 ans» est basée sur des données scientifiques solides et utilisée dans le monde entier. Son application est régie par des normes différentes (par exemple, la norme britannique PAS 2050<sup>9</sup>).

Matière	Surface
Eau	Energie

<sup>8</sup> Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat; voir <http://www.ipcc.ch/>.

<sup>9</sup> Plus d'informations concernant la norme sur le site <http://www.bsigroup.com/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050>.

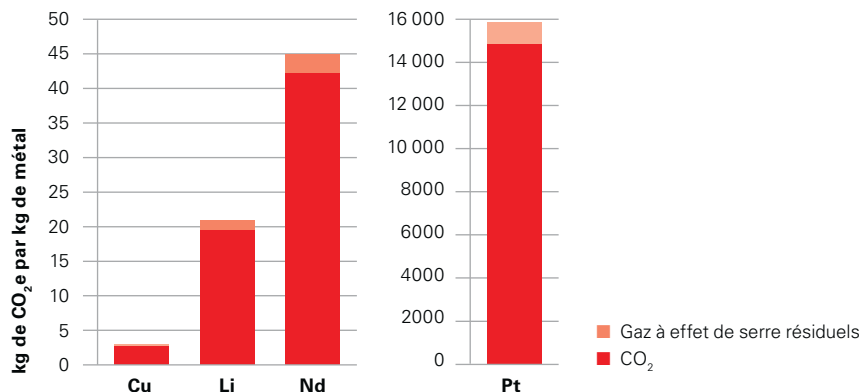
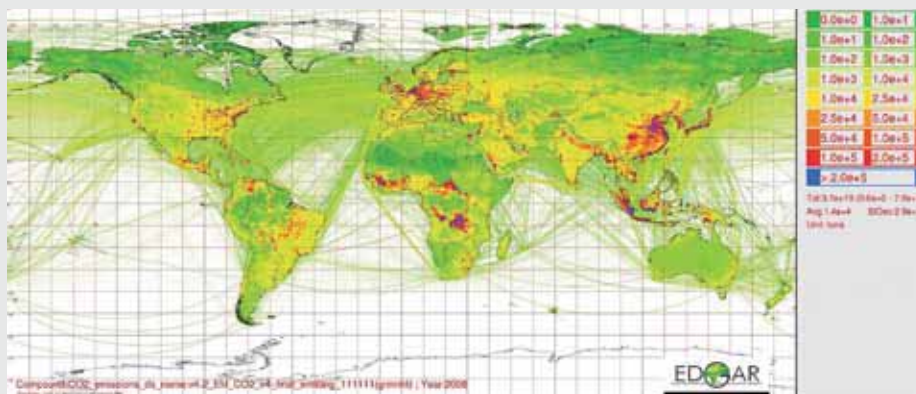


Illustration 6: émissions de gaz à effet de serre en équivalents CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e) par kilo de métaux produits calculées avec la méthode « PRG à 100 ans » selon le GIEC (2007b). Données issues d'ecoinvent (2010).

### Où le gaz carbonique est-il rejeté et en quelles quantités?



Source: European Commission, Joint Research Centre (JRC)/Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL). Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.2. <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>, 2011.

L'illustration ci-dessus montre les émissions anthropiques mondiales de CO<sub>2</sub> pour l'année 2005, calculées par le projet de recherche européen EDGAR<sup>10</sup>. Il est particulièrement intéressant de noter que les régions d'Amérique du nord, d'Europe de l'ouest, de Chine et du Japon sont celles qui présentent les plus grandes surfaces de rejet de CO<sub>2</sub>,

soit plus de 50 000 tonnes par an et par cellule (en comparaison, en 2009, 5,6 tonnes de CO<sub>2</sub> par personne ont été émises en Suisse<sup>11</sup>). Une cellule mesure 0.1° x 0.1°, ce qui correspond approximativement à 10 km x 10 km. La carte montre également clairement les émissions causées par le trafic maritime de marchandises.

<sup>10</sup> Le projet de recherche EDGAR (<http://edgar.jrc.ec.europa.eu/index.php>) calcule les émissions des différents polluants anthropogènes dissous dans l'espace. Le calcul est réalisé à l'aide des données géographiques disponibles sur la densité de population, les réseaux de transport maritimes et terrestres, l'agriculture, etc.

<sup>11</sup> Retrouvez ces données et d'autres encore relatives aux émissions de gaz à effet de serre en Suisse sur le site <http://www.bafu.admin.ch/umwelt/status/03985/index.html?lang=fr>.



## Eau

**Selon les estimations, l'utilisation actuelle des ressources globales en eau douce s'élève à 2600 kilomètres cubes, le seuil maximum d'utilisation proposé étant de 4000 kilomètres cubes par an (Rockstrom et al. 2009). Malgré cette apparente «réserve d'eau», la disponibilité de l'eau ne peut aujourd'hui plus être garantie toute l'année dans différentes régions de la Terre. Des indicateurs permettant de décrire l'utilisation de l'eau et ses conséquences sont encore en cours d'élaboration.**

Comme pour les indicateurs terrestres, il est tout aussi important que les indicateurs aquatiques décrivent précisément les conséquences de l'utilisation des ressources et ce, au moyen de critères qui vont bien au-delà d'un simple recensement de la quantité, mais qui déterminent aussi, par exemple, la pollution de l'eau, la disponibilité de l'eau ou encore l'origine de l'eau.

Ces dernières années, différentes initiatives ont été lancées afin de créer des indicateurs adéquats permettant de déterminer l'utilisation de l'eau et ses conséquences<sup>12</sup>. Certains concepts et indicateurs sont encore en cours d'élaboration. Les possibilités d'application des indicateurs existants restent toutefois encore relativement limitées aujourd'hui.

### Empreinte aquatique

L'un des indicateurs les plus connus pour l'utilisation des ressources en eau douce, c'est l'empreinte aquatique (en anglais: Water Footprint) de Hoekstra et al. (2011). La grandeur de référence est le volume

d'eau. L'indicateur calcule et décrit plusieurs éléments quantitatifs et qualitatifs à ce sujet:

- Utilisation de l'eau directe et indirecte: les quantités d'eau prises en considération sont celles qui sont directement utilisées dans le produit, mais également les flux indirects («eau virtuelle»). Selon cette méthode, on peut donc affirmer qu'une bouteille d'eau minérale d'un litre contient bien entendu de l'eau minérale (utilisation directe de l'eau), mais également l'eau pour le nettoyage de la bouteille (utilisation indirecte de l'eau).
- Consommation de l'eau (quantité) et pollution de l'eau (qualité): on distingue trois types d'eau: l'eau verte qui est l'eau de pluie, l'eau bleue qui désigne les eaux de surface et eaux souterraines qui se sont évaporées, qui se cachent dans le produit ou qui ont été extraites d'un bassin-versant donné et l'eau grise qui décrit le niveau de pollution de l'eau et symbolise la quantité d'eau

<sup>12</sup> Voir par exemple le groupe de travail ISO sur l'empreinte aquatique (voir [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=43263](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=43263)) ou le groupe de travail WULCA (Water Use and Consumption in Life Cycle Assessment) de UNEP/SETAC (voir [http://lcinitiative.unep.fr/sites/lcinit/default.asp?site=lcinit&page\\_id=2AAEA21D-4907-4E16-BF28-A63C072B6BF7](http://lcinitiative.unep.fr/sites/lcinit/default.asp?site=lcinit&page_id=2AAEA21D-4907-4E16-BF28-A63C072B6BF7)).



nécessaire pour diluer l'eau polluée afin que la valeur limite puisse être respectée.

Afin d'évaluer si l'utilisation d'un certain volume d'eau est critique ou non pour une région donnée (par exemple, pour le bassin-versant d'un ruisseau), ce volume est comparé aux valeurs de disponibilité de l'eau. Comme ces deux valeurs fluctuent, elles doivent être mesurées de façon détaillée dans le temps et dans l'espace.

L'indicateur a tout d'abord été appliqué aux produits agricoles et aux économies nationales. Pour la production industrielle ainsi que l'exploitation minière, nous manquons encore de données précises. Nous pouvons donc simplement calculer la somme des flux d'eau, directs et indirects, nécessaires à la production des métaux sur la base des données d'ecoinvent (voir illustration 7). La production d'un kilo de cuivre, de lithium ou de néodyme requiert environ 100 mètres cubes d'eau. Pour un kilo de platine en revanche, c'est presque trois ordres de grandeur en plus qui sont nécessaires (90 000 m<sup>3</sup>).

Même si les bases méthodiques pour les indicateurs relatifs à l'utilisation d'eau existent, leur application

échoue régulièrement dans des domaines comme la production industrielle en raison du manque de données. C'est par exemple le cas de l'exploitation minière. Les bases de données existantes, telles qu'ecoinvent, contiennent des données détaillées sur l'eau, mais ces dernières ne sont enregistrées que si des indicateurs aquatiques correspondants ont été au préalable mis en œuvre.

Matière	Surface
Eau	Energie

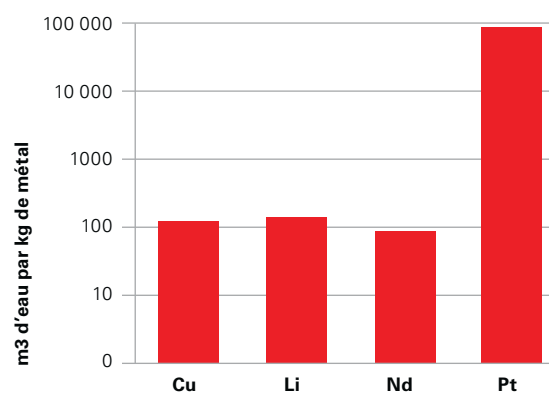
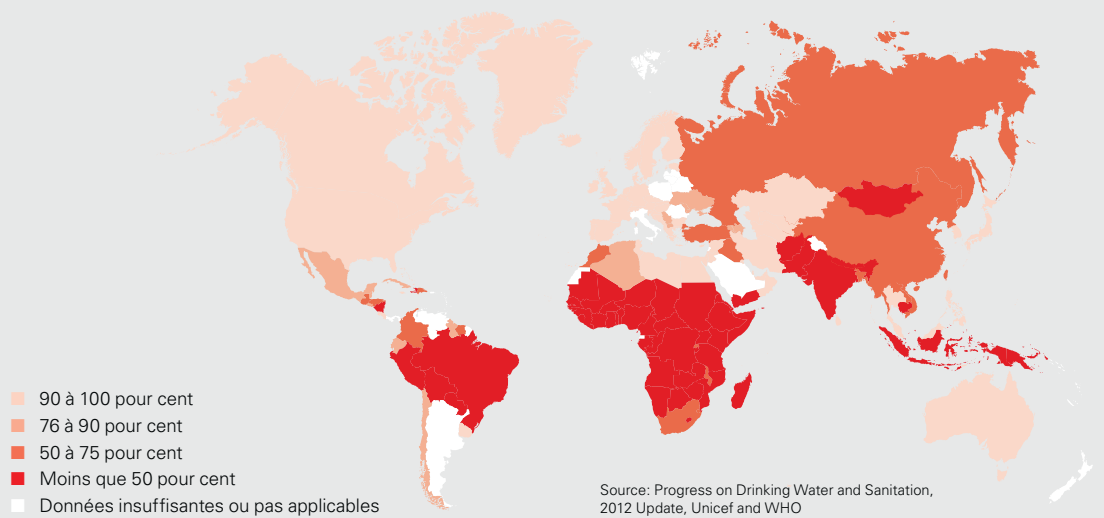


Illustration 7: représentation logarithmique des quantités d'eau nécessaires selon ecoinvent (2010).



### Accès de la population rurale à des installations sanitaires



L'accès à de l'eau potable propre et à des installations sanitaires est un facteur capital pour l'hygiène et la santé des personnes. Dans beaucoup des pays

en voie de développement, plus de 50 pour cent de la population rurale vit sans infrastructures sanitaires (nombre de l'année 2010).



## Conclusion

Plus l'intervention de l'homme dans la nature sera intense et globale, plus les interactions entre l'homme et l'environnement seront complexes. Des indicateurs adéquats permettent de mieux comprendre et évaluer les conséquences des actions humaines afin que nous puissions à l'avenir adopter des mesures durables pour l'environnement.

Cette brochure présente les méthodes et indicateurs les plus courants pour les quatre catégories de ressources naturelles (Matière, Surface, Énergie et Eau) et les met en application – à titre d'exemple – dans le cadre de la production d'un kilo de cuivre, de lithium, de néodyme et de platine à partir de matières premières. L'application des indicateurs aux quatre métaux cités a donné lieu à un ordre hiérarchique similaire en termes de consommation des ressources et d'impact sur l'environnement: c'est la production d'un kilo de platine qui présente les plus grands écarts. En revanche, si l'on analyse la situation de la production annuelle mondiale des différents métaux – comme illustré par l'exemple de l'empreinte écologique – on constate (voir tableau 1, page 5) que c'est le cuivre, et non pas le platine, qui consomme le plus de ressources et qui a donc le plus grand impact sur l'environnement (voir à ce sujet Hertwich et al. (2010)).

En principe, il convient de respecter ce qui suit pour les indicateurs destinés à évaluer l'utilisation des ressources naturelles: les indicateurs doivent chaque fois s'intéresser de près à un autre aspect de la réalité, comme si l'observateur porte des lunettes avec des verres en différentes couleurs. Ils doivent en outre s'appuyer sur différentes méthodes avec des suppositions et des simplifications spécifiques, grâce à quoi ils pourront satisfaire aux exigences en termes de validité, de représentativité, de fiabilité, d'orientation, de transparence, d'accessibilité, de compréhensibilité et d'applicabilité (voir par exemple Wäger et al. (2010)).

L'indicateur **MIPS** s'intéresse exclusivement à la consommation de matières et non à ses impacts sur

l'environnement. L'idée à la base de cet indicateur, le **«sac à dos écologique»**, est facile à interpréter et à appliquer. Toutefois, le MIPS ne peut être globalement considéré comme un indicateur permettant de mesurer l'impact de l'utilisation de matières sur l'environnement.

L'**empreinte écologique** tient compte des ressources renouvelables, calculées sur la base de l'utilisation des surfaces biologiquement actives. L'un des grands avantages de cette métaphore de l'empreinte écologique, c'est qu'elle est facilement accessible à un large public. Si le concept est appliqué aux régions et aux pays, il illustre assez clairement l'évolution dans le temps. Néanmoins, la méthode nécessite une certaine capacité d'abstraction, car elle établit une distinction entre des zones terrestres calculées directement et indirectement. Pour les quatre métaux analysés, les surfaces de compensation des émissions de CO<sub>2</sub> représentent une part de 90 pour cent et plus du résultat.

L'**indicateur terrestre inclus dans la méthode d'évaluation ReCiPe**, spécialement conçue pour la réalisation des écobilans. Celui-ci décrit clairement l'impact environnemental de la perte de la biodiversité due à l'utilisation des sols. La base de données utilisée par cette méthode est limitée géographiquement. Une utilisation mondiale est donc à (re)mettre en question. À défaut d'alternatives, les experts responsables de la réalisation des écobilans ont néanmoins régulièrement recours à l'indicateur terrestre ReCiPe – tout en tenant compte de ses faiblesses.

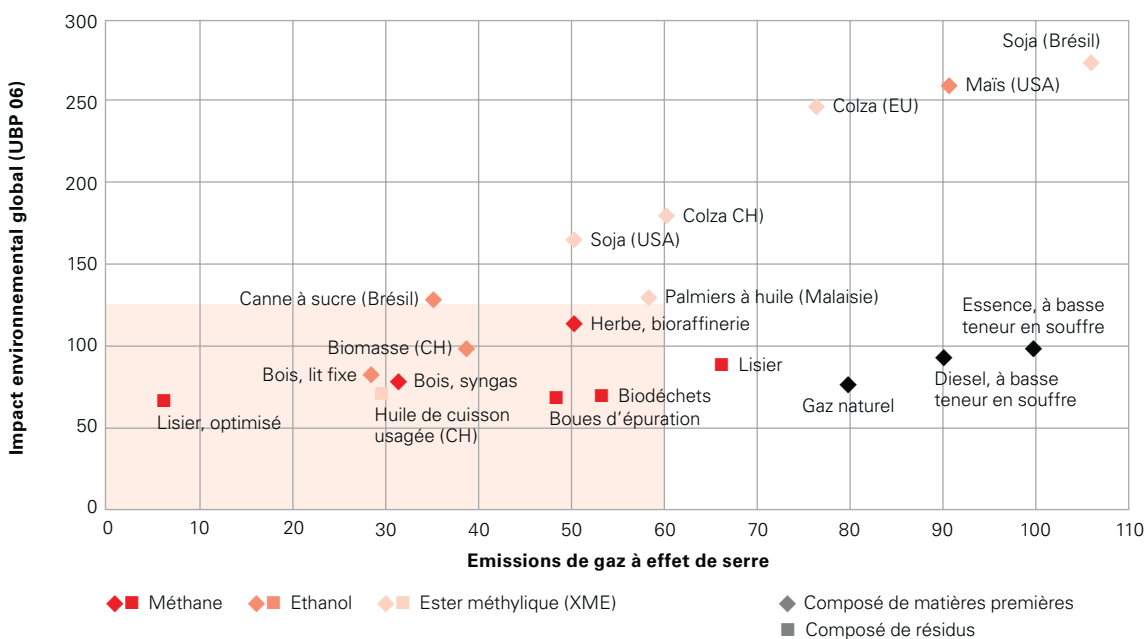
Le but poursuivi par l'indicateur **«PRG à 100 ans»** est d'évaluer le potentiel de réchauffement global des gaz à effet de serre sur une période de 100 ans. Étant donné que l'indicateur s'appuie sur les émissions de CO<sub>2</sub>, il est régulièrement utilisé pour évaluer l'utilisation des énergies fossiles. Mais le «PRG à 100 ans» ne mesure que les sources d'énergie fossiles et non les

capacités renouvelables de ces sources. La méthode repose sur des bases scientifiques solides, elle est fiable et facile à appliquer.

L'indicateur de **l'empreinte aquatique** s'intéresse à la quantité d'eau consommée et polluée. Son objectif est d'évaluer la disponibilité de l'eau dans les bassins-versants. L'indicateur est certes facile à comprendre, mais les impacts sur l'environnement ne sont toutefois illustrés que de manière implicite (eau «grise»). En raison du manque de données disponibles, il n'est pas encore possible de l'utiliser dans certains secteurs, notamment celui de l'exploitation minière.

Les indicateurs décrits dans la présente brochure sont déjà utilisés aujourd'hui dans bon nombre de processus de décision. Le «PRG à 100 ans», par exemple, a trouvé une application pratique dans la législation suisse<sup>13</sup> sur la taxation des carburants.

Conformément à l'ordonnance sur l'imposition des huiles minérales, les carburants constitués de matières premières renouvelables (biocarburants) sont exonérés de l'impôt sur les huiles minérales, dans la mesure où ils remplissent certains critères de durabilité. Le premier critère est qu'un biocarburant doit, depuis sa culture et jusqu'à sa consommation, générer au moins 40 pour cent d'émissions de gaz à effet de serre en moins par rapport à l'essence. Selon les deux autres critères à respecter, un biocarburant, depuis sa culture et jusqu'à sa consommation, ne peut générer une charge environnementale largement supérieure à celle d'un carburant fossile (< 125 %<sup>14</sup>) et ne peut menacer ni le maintien des forêts tropicales, ni la diversité biologique. Cette législation s'appuie sur une étude menée pour le compte de plusieurs offices fédéraux impliqués et ayant analysé les biocarburants existants d'un point de vue écologique (Zah 2007).



Source: Empa

Illustration 8. Emissions de gaz à effet de serre et impact environnemental des biocarburants par rapport à l'essence. Les carburants (dans la zone incarnadine) satisfont aux exigences minimales imposées pour l'exonération de l'imposition sur les huiles minérales, tant en termes d'émissions de gaz à effet de serre que d'impact environnemental. (Source: Empa)

<sup>13</sup> Retrouvez de plus amples informations à ce sujet dans la loi sur l'imposition des huiles minérales (MinöStG), l'ordonnance sur l'imposition des huiles minérales (MinöStV) et dans l'ordonnance sur l'écobilan des carburants (TrÖbiV).

<sup>14</sup> Cette évaluation a été réalisée avec l'aide de la méthode des unités de charge écologiques (UCE) (voir <http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/umwelt/08880/08908/index.html?lang=fr>)

Le monde politique n'est toutefois pas le seul à profiter des indicateurs relatifs à l'utilisation des ressources naturelles. Aujourd'hui, ces indicateurs sont utilisés tant par des particuliers (lors d'une décision d'achat, par exemple) que par des entreprises (lorsque les processus de production doivent être améliorés, par exemple) ou même des pays et des communautés d'Etats (par exemple lorsque des décisions politiques doivent être prises pour encourager les nouvelles technologies).

L'utilisateur d'un indicateur doit être bien conscient que chaque indicateur a des avantages et des inconvénients ou ses propres possibilités/limites. En fin de compte, c'est toujours le contexte d'application spécifique qui doit déterminer quel indicateur ou quelle combinaison d'indicateurs est le plus approprié. Une condition préalable importante pour la sélection appropriée est en tout cas une définition éclairée et précise des objectifs que nous voulons atteindre sur le chemin vers une utilisation plus durable de nos ressources naturelles.

### **Impressum**

Auteurs: Fabian Blaser, Patrick Wäger, Heinz Böni

Collaboration à la rédaction: Bert Beyers, Beatrice Huber

Révision: Hans Hänni, Christian Ludwig, Sonja Studer, Ulrich W. Suter, Urs von Stockar, Andreas Zuberbühler

Illustration: Fotolia, Andy Braun

1<sup>re</sup> édition, juin 2012

# Bibliographie

ecoinvent 2010, ecoinvent data v2.2, ecoinvent reports No.1-25, St. Gallen: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)

Fischer-Kowalski, M., Haberl, H., Hüttler, W., Payer, H., Schandl, H., Winiwarter, V. et Zangerl-Weisz, H., 1997, Gesellschaftlicher Stoffwechsel und Kolonisierung von Natur, G+B Verlag

Fullana P., Betz M., Hirschier R. et Puig R., 2009. Life Cycle Assessment Applications: results from COST action 530. AENOR/Emerald Group Publishing, Madrid.

Gabrielsen, P. et Bosch, P., 2003, Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting, European Environment Agency EEA

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregt, M., De Schryver, A., Struijs, J. et van Zelm, R., 2009, ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition Report I: Characterisation, VROM – Ruimte en Milieu, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, [www.lcia-recipe.net](http://www.lcia-recipe.net)

Hertwich, E., van der Voet, E., Suh, S. et Tukker, A., 2010, Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials, New York: United Nations Environment Programme

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. et Mekonnen, M.M., 2011, The Water Footprint Assessment Manual – Setting the Global Standard, Earthscan, [www.waterfootprint.org/?page=files/WaterFootprintAssessmentManual](http://www.waterfootprint.org/?page=files/WaterFootprintAssessmentManual)

IEA, 2010, Key World Energy Statistics 2010, Paris, France: International Energy Agency

IPCC, 2007a, Climate Change 2007: Synthesis Report, Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC

IPCC 2007b, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge, UK and New York, USA, Cambridge University Press

Joumard, R. et Gudmundsson, H., 2010, Indicators of environmental sustainability in transport: An interdisciplinary approach to methods, Les Collections de l'INRETS

Rockstrom, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., et al., 2009, «A safe operating space for humanity», *Nature* 461 (7263): 472-475, doi:10.1038/461472a

Schmidt-Bleek, F., 1994, «Wie viel Umwelt braucht der Mensch – MIPS, das ökologische Mass zum Wirtschaften», Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser

Schmidt-Bleek, F., 2007, «Nutzen wir die Erde richtig?», *Forum für Verantwortung*, Frankfurt a.M.: Klaus Wiegandt  
De Schryver, A. und Goedkoop, M., 2009, Impacts of Land Use, In ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition Report I: Characterisation, VROM – Ruimte en Milieu, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, [www.lcia-recipe.net](http://www.lcia-recipe.net)

SERI, 2010, Global resource extraction by material category 1980-2007, [www.materialflows.net](http://www.materialflows.net)

UBA, 2012, Glossar zum Ressourcenschutz, Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau, Deutschland, [www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4242.pdf](http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4242.pdf)

USGS, 2010, Mineral commodity summaries 2011, Reston, Virginia, U.S. Geological Survey

Wackernagel, M., Monfreda, C., Moran, D., Wermer, P., Goldfinger, S., Deumling, D. et Murray, M., 2005, National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: the Underlying Calculation Method, Global Footprint Network, Oakland, USA

Wäger, P., Calderon, E., Arce, R., Kunicina, N., Joumard, R., Nicolas, J.-P., Tennøy, A., et al., 2010, Methods for a joint consideration of indicators, In Indicators of environmental sustainability in transport, Bron, France: Les Collections de l'INRETS

Wuppertal Institut, 2011, Materialintensität von Materialien, Energieträgern, Transportleistungen, Lebensmitteln, [www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org), Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Zah, R., Boeni, H., Gauch, M., Hirschier, R., Lehmann, M. et Wäger, P. 2007. Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. Empa, BfE, BLW, Bafu, Bern