

20^e Colloque international en évaluation environnementale,
Antananarivo, Madagascar, 26-28 oct. 2016

Mise au point d'indicateurs de développement durable

Robert JOUMARD *

(DR émérite, Laboratoire Transports et Environnement, IFSTTAR / Univ. de Lyon, France)

Résumé

Nous définissons tout d'abord ce qu'est un indicateur, comme un outil simplifié d'évaluation ou de mesure dont nous listons les critères de qualité, qui appartiennent à trois domaines – la représentativité, l'opérationnalité et l'aide à la décision. Un indicateur est en outre toujours spécifique à un objet particulier. Avant de construire ou d'évaluer des indicateurs de développement durable, il est donc indispensable de définir de manière concrète et détaillée le concept de développement durable. À partir de ses diverses définitions, nous le définissons par six dimensions : la dimension économique élargie aux niveaux de santé et de connaissance des personnes, la cohésion sociale, l'environnement, les besoins, le long terme, et la gouvernance comprise comme la démocratie.

Nous analysons et évaluons ensuite certains des indicateurs existant dans ce champ : PIB, indice de développement humain, indice de développement humain ajusté aux inégalités, empreinte écologique, MIPS ou IISCEP. Nous évaluons alors différentes méthodes d'agrégation et de présentation d'indicateurs composites. Puis nous proposons trois indicateurs de développement durable, agrégeant trois ou quatre de ses dimensions – économie élargie, justice sociale, environnement, et long terme – mesurées à l'aide respectivement de l'indice de développement humain, l'indice de développement humain ajusté aux inégalités, l'empreinte écologique, et l'écart de ce dernier à la biocapacité mondiale. La comparaison pour 131 pays du PIB par habitant, de l'indicateur de développement humain et des indicateurs de développement durable que nous proposons montre que ces indicateurs évaluent l'objet du développement de manière très divergente. Le champ de recherche sur les indicateurs de développement durable reste très ouvert.

1. Introduction

D'un côté, le développement durable est devenu une formule magique dont le discours économique contemporain est coutumier, et dont le flou est le principal attribut. Lorsqu'il s'agit d'apprécier si telle ou telle décision ou projet contribue ou non à un développement durable, il faut évaluer et mesurer la durabilité. Évaluer et mesurer correctement ce qui est défini permet alors d'éliminer en partie ce flou.

D'un autre côté, notre société est obsédée par la mesure, qui donne un cachet scientifique et objectif à des appréciations et à des décisions. Le développement durable peut ainsi être instrumentalisé pour promouvoir des politiques qui n'ont guère à voir avec le développement durable. Cette instrumentalisation passe notamment par la définition d'indicateurs de développement durable, présentés comme incontournables car scientifiques mais qui ne font que traduire discrètement sous un formalisme mathématique les choix idéologiques de l'auteur (Boutaud, 2005).

Aussi est-il nécessaire de construire des outils de mesure, qui soient transparents quant à leur objet et quant à leurs propriétés. Construire un outil qui mesure bien ce que nous voulons mesurer permettra de disposer de quelques chiffres qui ne seront que des éléments d'analyse parmi beaucoup d'autres et qui ne devront pas dispenser ceux qui les utiliseront de raisonner correctement.

Nous proposons ci-dessous d'analyser tout d'abord à quoi sert un indicateur et quelles qualités en attendre. Puis nous présentons et analysons des indicateurs largement utilisés comme le PIB, l'indice

* robert.joumard@laposte.net

de développement humain ou l'empreinte écologique, ainsi que d'autres indicateurs moins connus de certaines des dimensions du développement durable. Dans un deuxième temps, nous analysons les méthodes d'agrégation qui permettent de transformer une palette d'indicateurs en un indicateur unique, avant de proposer une ébauche d'indicateur de développement durable. Cette recherche est une version actualisée d'un travail présenté plus en détail dans Joumard et Gudmundsson (2010) et Joumard (2011b).

2. Rôle et qualités d'un indicateur

Le terme d'indicateur peut être compris et utilisé de nombreuses manières. D'après la synthèse bibliographique approfondie de Gudmundsson et coll. (2010) sur les définitions du terme, il apparaît qu'un indicateur peut être pour l'essentiel compris comme un outil de mesure, indiquant des variations d'un phénomène mesuré selon certaines dimensions, un marqueur ou une sentinelle, indiquant la présence ou l'absence de quelque chose, un outil d'aide à la décision permettant l'action, ou une combinaison de ces trois derniers aspects. Finalement, un indicateur se définit ainsi : *Un indicateur est une variable, basée sur des mesures, représentant aussi précisément que possible et que nécessaire un phénomène de quelque intérêt pour l'Homme.*

Un indicateur n'est pas *la* réalité, mais seulement une représentation de celle-ci. Sa mise au point s'insère dans la structuration d'une réalité plus large (Perret, 2005 ; Baillargeon, 2006). Ainsi, la mise au point d'un indicateur de la dimension environnementale du développement durable demande avant toute chose de s'accorder sur l'existence et le contenu de cette dimension environnementale :

- son existence renvoie par exemple à la notion plus globale de développement durable, l'existence et la définition de l'environnement dépendant de l'existence et de la définition des autres dimensions complémentaires ;
- son contenu renvoie à une description détaillée et si possible exhaustive de la dimension environnementale. Nous avons montré dans Joumard (2011a ; b) qu'une analyse détaillée – approche microscopique ou *bottom-up* – était plus solide qu'une analyse seulement macroscopique ou *top-down*.

Nous tentons donc de construire un indicateur de développement durable qui permette de mesurer dans quelle mesure une situation ou un projet répondent aux exigences du développement durable, et surtout qui permette de comparer deux ou plusieurs projets ou situations quant au développement durable.

2.1. Indicateur simple ou composite

Un indicateur peut se présenter sous la forme d'une variable simple (par exemple la moyenne spatio-temporelle d'une concentration de polluant comme indicateur de pollution de l'air), ou sous la forme d'une combinaison de variables diverses et notamment d'indicateurs (comme l'indice de développement humain – IDH – qui combine des indicateurs de richesse économique, d'éducation et de santé). On parle souvent d'indicateur simple dans le premier cas, d'indicateur composite ou agrégé dans le second. Un indicateur composite est souvent compris comme agrégeant des indicateurs sans dimension commune (cas de l'IDH), l'indicateur agrégé agrégeant plutôt des indicateurs de même dimension (un coût externe ou le potentiel de réchauffement climatique par exemple), mais ces définitions ne font pas consensus. On préférera donc parler indifféremment d'indicateur composite ou agrégé pour indiquer un indicateur synthétisant plusieurs indicateurs.

L'agrégation, qui est un mode particulier d'analyse multicritère, est une étape de simplification de variables multiples et parfois contradictoires en une variable plus synthétique qui soit représentative de l'objet de l'indicateur agrégé. La mécanique ou le processus d'agrégation est une étape essentielle, qui doit combiner trois exigences : la représentativité du phénomène représenté, la légitimité de la mécanique d'agrégation, et la simplicité, gage de facilité d'utilisation et d'appropriation par l'utilisateur.

L'agrégation d'indicateurs multiples n'efface cependant pas ces indicateurs qui restent disponibles pour

une analyse détaillée, mais transforme des chiffres nombreux et souvent contradictoires, qui sont beaucoup trop détaillés et analytiques pour les citoyens comme pour les décideurs, en un chiffre unique facile à comprendre. Par exemple, un indicateur de développement durable doit permettre de comparer deux situations et de répondre simplement à la question simple "Laquelle des deux situations est la plus durable ?", tout en précisant dans quelle mesure. Il est en effet pratiquement impossible au décideur comme au citoyen d'évaluer une situation décrite par plusieurs indicateurs voire par de très nombreux indicateurs. C'est par exemple le cas des 241 indicateurs proposés par une commission de l'ONU (United Nations, 2016) à la demande de l'Assemblée générale dans son Programme de développement durable à l'horizon 2030 de septembre 2015 pour mesurer les Objectifs du développement durable (ONU, 2015). C'est dans cette optique que différents indicateurs agrégés ont été développés comme l'Indicateur de développement humain ou l'Empreinte écologique, que nous analysons plus loin.

2.2. Qualités d'un indicateur

Les critères d'évaluation des indicateurs, trouvés en grand nombre dans la littérature, peuvent être regroupés selon Gudmundsson et coll. (2010) en :

- 3 critères de représentativité (mesure) :
 - validité : un indicateur valide doit réellement mesurer ce qu'il est censé mesurer,
 - reproductibilité : sur une même population, un recalcul doit donner la même valeur,
 - sensibilité : la capacité à traduire les variations importantes de ce qu'il est censé mesurer,
- 3 critères d'opérationnalité (monitorage) :
 - mesurabilité : simple et utilisable avec des moyens limités,
 - disponibilité des données : les données d'entrée doivent être disponibles ou pouvoir être obtenues pour un coût et dans un délai limités,
 - éthique : compatible avec les droits humains et les valeurs de la population concernée,
- 4 critères d'aide à la décision (gestion) :
 - transparence : l'indicateur doit être facile à comprendre et critiquable par l'utilisateur,
 - interprétabilité : permet une interprétation intuitive et sans ambiguïté,
 - liable à un objectif : peut mesurer la performance d'une mesure par rapport à un objectif,
 - lié à une décision : doit mesurer des facteurs modifiables directement par une décision.

3. Définitions du développement durable

L'expression *développement durable* et l'adjectif *durable* ont investi les discours et les écrits, sans que le sens en ait été généralement clairement et précisément défini, au-delà de quelques idées fortes rapidement énoncées.

Tout d'abord le terme même de *développement* a recouvert des préoccupations économiques, sociales, voire spirituelles, par exemple dans le Pacte de la Société des Nations (SDN, 1919, art. 22) ou dans la Déclaration de Philadelphie de l'Organisation internationale du travail, (CIT, 1944, art. V). Son sens moderne a été initié par la déclaration du président des États-Unis H. Truman en 1949 lors de son discours d'investiture, partageant le monde entre « sous-développés » et « développés », le développement, la croissance économique, étant les seules politiques capables d'assurer à l'humanité épanouissement et prospérité. Les deux termes de développement et croissance sont considérés comme rigoureusement équivalents et utilisés indifféremment (Bourg, 2005, p. 419). Le concept de développement a cependant subi une évolution majeure dans les années 1980 lors de la vague néolibérale : d'un projet d'industrialisation et de mécanisation de l'agriculture géré par l'État sous la protection d'un marché national relativement protégé, avec la participation d'entreprises privées et de l'aide internationale, il s'est transformé en un projet géré essentiellement par de grandes entreprises privées dans un environnement de concurrence « libre et non faussée », c'est-à-dire de marchés

totallement ouverts (Wai, 2007, p. 83). En même temps, ce terme était et reste multisémique. Selon divers dictionnaires, il est défini comme l'amélioration qualitative et durable d'une économie et de son fonctionnement ; comme le progrès, en extension ou en qualité, l'essor, l'extension ; ou comme la croissance, l'évolution, l'expansion, le progrès, l'essor, l'accroissement. Le développement est donc quelque chose d'orienté, de finalisé, allant vers une amélioration.

L'analyse dans la littérature de ces trente dernières années des principales dimensions du développement durable et de leurs relations montre qu'elles sont très diverses et surtout très peu définies. L'expression *développement durable* a été proposée pour la première fois en 1980 dans la Stratégie mondiale de la conservation, sous-titrée *La conservation des ressources vivantes au service du développement durable* et publiée par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN, devenue depuis l'Union mondiale pour la nature), le Fonds mondial pour la nature (WWF) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) (UICN et coll., 1980). Elle est reprise dans le rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement à l'Assemblée générale des Nations unies, qui l'adopte en 1987 (UN General assembly, 1987). Pour ce rapport Brundtland (ch. 2), *le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion :*

- le concept de besoin, et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité,
- l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose à la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir.

La consécration du développement durable aura lieu lors de la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement (CNUED), qui s'est tenue du 3 au 14 juin 1992 à Rio de Janeiro. La problématique reste axée autour de deux pôles (environnement et développement). L'équité sociale n'apparaît pas en tant que telle, mais à travers la satisfaction équitable des besoins des générations présentes (principe 3 de la Déclaration de Rio). Cette indéfinition de l'aspect social perdure aujourd'hui. Les dimensions du développement durable sont en fait très diverses. Trois à six dimensions sont souvent présentes, mais la définition de chacune d'elles comme leurs interrelations sont très variables d'un auteur à l'autre. Historiquement, la dimension environnementale vient s'ajouter au développement économique et social, puis les deux aspects économique et social sont alors dissociés pour former deux des piliers du développement durable à côté de l'environnement. Les aspects participation/gouvernance, long terme et besoins sont tantôt isolés, tantôt intégrés à certaines des trois autres dimensions.

Cela nous conduit à discuter de manière précise les six dimensions identifiées. La description aussi précise qu'il nous est possible de ces six dimensions nous permet d'en proposer une approche analytique dont on peut critiquer la pertinence, le champ, et ultérieurement les relations. Une ou plusieurs définitions de chaque dimension du développement durable peuvent être formulées (Joumard, 2011b, p. 75-153), mais nous choisissons finalement de les définir de la manière suivante :

- La dimension économique devrait être plus large que son sens restreint, et définie comme la production et l'échange de biens et de services qui font l'objet d'un échange marchand, et les niveaux de santé et de connaissance des personnes. Cette définition correspond à l'objet de l'indice de développement humain, plus large que l'objet du PIB. Il s'agit d'une définition encore restreinte qu'il serait utile d'étendre à la valeur d'usage des biens et service faisant ou non l'objet d'un échange marchand. Cet élargissement est plus une aide à la réflexion, une manière de relativiser la première réflexion, qu'une définition véritablement opérationnelle aujourd'hui : c'est une définition objectif.
- La dimension sociale est la cohésion sociale, c'est-à-dire la justice sociale entre personnes, la solidarité, les inégalités d'accès à différentes catégories de biens et services, à la santé, à la connaissance, les inégalités d'accès à un environnement de qualité, les inégalités de satisfaction des besoins fondamentaux et de jouissance des droits fondamentaux.

- La dimension environnementale concerne l'ensemble des impacts des activités humaines sur les ressources, les écosystèmes, la santé humaine, le bien-être des hommes et des femmes, et le patrimoine anthropique. Ces impacts dépendent de multiples chaînes causales dont la description fait appel à l'ensemble des disciplines scientifiques.
- La dimension des besoins couvre à la fois les besoins fondamentaux et les droits fondamentaux individuels et collectifs. Les besoins fondamentaux sont à entendre au sens de dimensions les plus fondamentales de l'épanouissement humain, des raisons de l'action qui ne demandent donc aucune autre justification et ne sont pas négociables. Les droits fondamentaux pourraient intégrer les droits de la nature, comme dans la constitution équatorienne (cf. Ecuador, 2008 ; Monjean-Decaudin, 2010).
- La dimension du long terme consiste à se préoccuper de l'évolution des autres dimensions dans le futur long, au minimum de l'ordre de plusieurs générations, afin que nos décisions n'aient pas d'impact négatif sur les dimensions économique, sociale et environnementale des générations futures, dans la mesure où cet impact est prévisible.
- La dimension de gouvernance ou de participation doit être comprise comme la démocratie, c'est-à-dire la définition des choix collectifs par l'ensemble des hommes et des femmes, qui sont libres et égaux en droit et jouissent des droits individuels et collectifs fondamentaux. Il s'agit donc de la dimension démocratique. La démocratie inclut les droits et besoins fondamentaux, mais ne s'y réduit pas.

Ces six dimensions diffèrent assez sensiblement des six dimensions du développement durable proposées par Villeneuve et coll. (2016) dans leur Grille d'analyse de développement durable, qui ont l'intérêt d'être très détaillées et explicites. Ils répartissent la dimension environnementale en une dimension dite sociale qui concerne notamment la dimension qualité de vie et bien-être – la durabilité interne de Wackernagel et Rees (1996), et une dimension dite écologique qui permet le développement à long terme à travers les ressources naturelles indispensables, les écosystèmes et la stabilité du climat – la durabilité externe de Wackernagel et Rees. La dimension démocratique est incluse dans une dimension dite de gouvernance qui inclut aussi la participation et la transparence, dont on ne voit guère l'apport par rapport à la démocratie sinon d'en édulcorer le sens. La justice sociale n'apparaît pas clairement, ni la dimension du long terme. En revanche ils ajoutent une dimension culturelle, suivant en cela Esho (2004) par exemple.

4. Analyse d'indicateurs

Les indicateurs les plus utilisés pour représenter les dimensions économique, sociale et environnementale du développement durable (au sens entendu plus haut) sont présentés ci-dessous de manière critique.

4.1. Le produit intérieur brut ou PIB

Issu de la comptabilité d'entreprise, étendu à la comptabilité nationale pour mesurer la puissance industrielle d'un pays, l'indicateur *produit intérieur brut* est l'outil des comptes nationaux. Il additionne toutes les valeurs ajoutées produites par des activités faisant l'objet d'un échange marchand. Il intègre aussi le travail au noir par estimation, ainsi que la production domestique de biens (bricolage, jardinage...) via une équivalence monétaire, mais pas la production domestique de services (ménage, cuisine, s'occuper des enfants...). Le PIB ne tient donc pas compte d'une part importante de l'activité, de manière encore plus importante dans les pays en développement (Stiglitz et coll., 2010). Il n'est donc pas robuste aux variations des habitudes de vie, comme le passage de l'autoconsommation à la consommation marchande ou l'inverse, et ne dit généralement rien de la qualité de l'activité, de son utilité sociale. Ces limites classiques du PIB ne posent pas problème en soi, dans la mesure où le PIB est réputé mesurer l'activité économique marchande. Il en va tout autrement s'il est utilisé pour mesurer la richesse ou le développement d'une nation, qui ne se mesurent pas seulement par ses échanges

marchands, ceux-ci ne se mesurant en outre pas seulement par leur quantité mais aussi par leur qualité ou leur utilité sociale.

4.2. Indice de développement humain, IDH ajusté aux inégalités

Défini initialement en 1990 pour le PNUD (ul Haq, 1990) comme une alternative à la focalisation sur le PIB qui prévalait alors parmi les organisations internationales et les économistes, l'indice de développement humain IDH a été depuis légèrement modifié. Sa dernière version (Klugman, 2010) combine l'espérance de vie à la naissance, la durée moyenne de scolarisation combinée à la durée attendue de scolarisation, et le logarithme du revenu national brut par habitant du pays. Ces variables sont normalisées par leur écart au minimum observé et leur plage maximale de variation. La combinaison de ces variables s'opère par la moyenne géométrique.

L'indice de développement humain ajusté aux inégalités IDHI réduit l'IDH selon les inégalités de répartition de ses différentes dimensions au sein de la population (Klugman, 2010; Alkire et Foster, 2010). Pour cela, il prend en compte la moyenne géométrique de chaque variable (entre valeurs au sein de la population) divisée par sa moyenne arithmétique.

L'évaluation de l'IDH comme de l'IDHI selon les critères définis plus haut (cf. tableau 1) montre que ces indicateurs sont de bonne qualité. Le rapport IDHI/IDH est un indicateur d'égalité du pays, variant de 0 (inégalité) à 1 (égalité).

4.3. Autres indicateurs sociaux, socio-économiques ou de durabilité

À la suite de l'IDH, de très nombreux indicateurs sociaux et socio-économiques ont été mis au point (Charpentier, 2004 ; Gadrey et Jany-Catrice, 2005 ; Klugman, 2010). Ils intègrent des indicateurs économiques, d'inégalité, d'impact environnementaux, voire de démocratie. La disponibilité d'indicateurs selon les dimensions du développement durable est très variable. Les indicateurs mesurant l'inégalité sont nombreux, la plupart des indicateurs intégrant la dimension sociale en tenant compte. La dimension sociale du développement durable est donc assez bien mesurable. Ces indicateurs sont utiles pour mettre en évidence les évolutions temporelles fortes et les différences fortes entre pays, car ils comportent toujours un peu d'arbitraire et d'imprécision.

La dimension environnementale est souvent prise en compte par le biais des coûts externes monétarisés, méthode très classique utilisée dans les études coûts-avantages généralement « sous réserve bien sûr d'évaluer correctement les valeurs tutélaires » (Didier et Prud'homme, 2007). Or comment peut-on aujourd'hui évaluer correctement le coût de certains impacts comme l'effet de serre ? Ses impacts réels ne sont que vaguement imaginés en raison de l'extraordinaire complexité de la chaîne de causalité, de son échelle temporelle multiséculaire, de la multiplicité des cibles finales. Les impacts finaux réels ne sont aujourd'hui modélisables qu'avec une marge d'erreur de l'ordre d'un facteur 1000 (c'est-à-dire, en ce qui concerne la seule vie humaine, un million ou un milliard de morts ?). Le coût monétaire de ces impacts ne peut donc être évalué qu'avec une incertitude telle que l'évaluation est vide de sens.

La dimension démocratique (ou de gouvernance démocratique) est très peu prise en compte.

Beaucoup des indicateurs adoptent, par le biais de l'addition des composantes, le principe de la substituabilité des dimensions économique, sociale et environnementale du développement durable, qui correspond à sa conception économique faible. Seuls les indicateurs proposés par le PNUD à partir de 2010 (Klugman, 2010) utilisent la moyenne géométrique qui ne permet la substituabilité que si elle fait progresser l'équilibre entre dimensions (cf. plus loin).

4.4. L'empreinte écologique

Il existe de nombreux indicateurs environnementaux, par exemple ceux que le PNUD présente dans son rapport sur le développement humain (Jahan, 2015) : taux d'approvisionnement en énergie renouvelable, taux d'électrification, émission de CO₂ par habitant, taux de couverture du sol par la forêt, taux d'approvisionnement en eau renouvelable, taux de décès dus à la pollution de l'air, à

l'insalubrité ou à des catastrophes naturelles... Ces indicateurs sont cependant généralement des indicateurs d'un impact sur l'environnement et n'agrègent pas différents impacts.

L'empreinte écologique, proposée par Rees et Wackernagel (1994), s'est récemment imposée comme l'un des indicateurs environnementaux les plus prisés ; il est composite ou agrégé. L'empreinte écologique d'une population donnée peut être définie comme « la surface terrestre et aquatique biologiquement productive nécessaire à la production des ressources consommées et à l'assimilation des déchets produits par cette population, indépendamment de la localisation de cette surface » (Wackernagel et Rees, 1996 / 1999 ; Rees, 1996). L'unité choisie est la surface de terre cultivable, exprimée en hectares globaux, c'est-à-dire de productivité moyenne au plan mondial.

Les éléments du capital naturel qui ne peuvent se régénérer par le biais plus ou moins direct de la photosynthèse sont par définition exclus du champ de l'empreinte écologique (Boutaud et Gondran, 2009).

4.4.1. *Méthode de construction de l'empreinte écologique*

L'empreinte écologique d'un pays est le produit de la production récoltée ou des déchets émis en t/an, de leur rendement national moyen pour en t/ha, d'un facteur de rendement (sans unité) et de l'inverse du facteur d'équivalence en hag/ha, pour le type d'usage du sol en question (Ewing et coll., 2008, p. 3). Le facteur de rendement se justifie par le fait que la bioproduktivité moyenne varie selon le type d'usage du sol, comme entre pays pour un type d'usage du sol donné. Il permet d'effectuer des comparaisons entre pays et entre types d'usage du sol. Les facteurs d'équivalence convertissent les surfaces réelles exprimées en hectares de différents types d'usage du sol en leurs équivalents en hectares globaux. 6 types d'usage du sol sont pris en compte: cultures, forêt, pâturage, pêche, et terrain construit, ainsi que pour la séquestration du carbone.

La séquestration du carbone mesure l'empreinte écologique liée à la consommation d'énergie fossile, pour laquelle deux méthodes sont utilisables. La première, par assimilation des déchets (séquestration), évalue la surface de forêt nécessaire pour séquestrer le CO₂ atmosphérique effectivement dégagé lors de la combustion des énergies fossiles. La seconde méthode, de substitution par la biomasse, peu utilisée jusqu'à présent, considère la surface de sol bioproduktiv nécessaire pour fournir une quantité équivalente d'énergie de substitution tirée de la photosynthèse – notamment par la production de biomasse végétale.

4.4.2. *Critiques de l'empreinte écologique*

La méthode de l'empreinte écologique a fait l'objet de nombreuses critiques (Van den Bergh et Verbruggen, 1999 ; Boisvert, 2005 ; Ledant, 2005 ; Guibert, 2006 ; Fiala, 2008 ; Venetoulis et Talberth, 2008 ; Franz et Papyrakis, 2009), que l'on peut synthétiser ainsi :

- Les hypothèses jouent un rôle majeur par le biais des facteurs d'équivalence, notamment entre les surfaces marine et terrestre basés sur les productivités en saumon et boeuf.
- Le faible nombre d'impacts sur l'environnement pris en compte : quand nous les comparons par exemple à la liste des chaînes de causalités proposée par Joumard (2011a), seules sont prises en compte 3 des 49 chaînes de causalités, et encore partiellement. Par construction l'empreinte écologique ne prend pas en compte les impacts environnementaux qui ne sont pas des flux et ne peuvent être liés à des surfaces de terre. Le bruit et les vibrations, les accidents, la pollution atmosphérique, la pollution des sols et des eaux, la plupart des impacts sur les territoires ou sur les écosystèmes, la consommation de la plupart des ressources non renouvelables, les déchets, entre autres impacts, ne sont pas pris en compte, en contradiction avec le titre de l'une des premières publications de Wackernagel et Rees, 1996 : *Our ecological footprint : Reducing human impact on the Earth*), et avec sa définition habituelle.
- La non-prise en compte du long terme.
- La part importante de l'empreinte écologique due aux carburants fossiles. La plupart des conclusions des études sur l'empreinte écologique sont en fait dues aux variations de l'empreinte

carbone et non aux autres usages du sol considérés. Or la méthode d'intégration de l'empreinte carbone à l'empreinte écologique est fragile car basée sur une pure hypothèse.

4.4.3. Évaluation de l'empreinte écologique

Lorsque nous évaluons l'indicateur d'impact environnemental Empreinte écologique selon les dix critères définis plus haut (cf. tableau 1), son principal problème réside dans sa faible validité qui induit une interprétation erronée, l'empreinte ne mesurant pas ce qu'elle est censée mesurer.

Tableau 1 : *Évaluation de différents indicateurs selon les dix critères définis par Gudmundsson et coll. (2010).*

Indicateur	représentativité			opérationnalité			aide à la décision			
	validité	reproductibilité	sensibilité	mesurabilité	disponibilité des données	éthique	transparence	interprétabilité	liable à un objectif	liable à une décision
PIB	xxx	xxxx	xxx	xx	xxxx	xx	xxx	xx	xxxx	xxxx
Indice dév ^t humain IDH	xxx	xxxx	xxxx	xxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxx	xxx	xxx
IDH ajusté aux inégalités	xxx	xxxx	xxxx	xx	xxx	xxxx	xxxx	xxx	xxx	xxx
Empreinte écologique	x	xxx	xxx	xx	xxx	xxxx	xxx	x	xxxx	x
MIPS	x	xx	xx	xx	xxx	xxxx	xxxx	xx	x	x
IISCEP	xxx	xxxx	xxxx	xxx	xxx	xxxx	xxxx	xxx	xx	xxx
Ind. dév ^t durable IDD3	xx	xxx	xxxx	xx	xxx	xxxx	xxx	xxx	xxx	xx
Ind. dév ^t durable IDD4	xxx	xxx	xxxx	xx	xxx	xxxx	xxx	xxx	xxx	xx
Ind. dév ^t durable IDD4ma	xx	xxx	xxxx	xx	xxx	xxxx	xxxx	xxx	xxx	xx

(x=faible; xx=limité; xxx=bon; xxxx=excellent)

La qualité essentielle de l'empreinte écologique, qui explique une bonne part de son succès, est d'être comparable à une variable très concrète, une surface de territoire, qui représente assez bien les ressources dont dispose en propre une population nationale. Sa seconde qualité est de combler un vide méthodologique, aucun autre indicateur ne prétendant mesurer de manière globale les impacts environnementaux. Une autre spécificité et qualité de l'empreinte écologique est de considérer les impacts des consommations locales et non des productions locales, ce qui en fait un indicateur de responsabilité. Il répond ainsi à la première recommandation du rapport de Stiglitz et coll. (2010) qui est de se référer aux revenus et à la consommation plutôt qu'à la production.

Guibert (2006, p. 60) note que le concept de l'empreinte écologique – l'équilibre écosystémique – internalise les aspects économiques, c'est-à-dire intègre la dimension économique du développement durable à sa dimension environnementale. Ainsi, « au lieu que ce soit l'économie qui internalise les coûts de l'environnement, avec l'empreinte écologique, c'est la compétition économique qui devient un département local d'une écologie généralisée ». Cela montre l'importance de l'approche disciplinaire – la science économique pour le PIB et les coûts externes, l'écologie pour l'empreinte écologique – qui modèle les indicateurs et est capable de prendre en compte très correctement son objet traditionnel, assez mal voire pas du tout ce qui n'en fait pas partie. Ainsi l'approche économique traite correctement ce qui fait l'objet d'un échange monétarisé et au plus très imparfaitement les autres aspects ; l'approche écologique traite correctement nombre d'aspect liés aux écosystèmes, mais mal ou pas du tout les impacts environnementaux qui relèvent de la physique ou de la psychophysique. Aucune approche disciplinaire ne peut traiter correctement une approche système qui couvre en même temps de multiples logiques disciplinaires. Pour cette raison, et à la suite de Block et coll. (2007) ou Van Assche et coll. (2008), il nous semble préférable de structurer le développement durable en une arborescence de sous-systèmes homogènes disciplinairement, de définir pour chacun un ou des indicateurs répondant à la logique de sa discipline, puis d'agréger ces indicateurs selon cette même

arborescence avec un opérateur mathématique (ou plus généralement une approche multicritère) qui tient compte des relations entre sous-systèmes.

4.6. MIPS

La méthode MIPS pour *Material Input per Service-unit* calcule les ressources utilisées pour produire une unité de produit ou de service avec une approche d'analyse de cycle de vie (Schmidt-Bleek, 1994). Cinq types de ressources sont considérés : les ressources abiotiques (matériaux, énergie fossile...), la biomasse, les déplacements de terre mécaniques ou par érosion, l'eau, et l'air (Ritthoff et coll., 2002). Ces consommations sont simplement sommées, ce qui donne un indicateur de consommation de ressources.

L'absence de pondération des différentes ressources consommées se traduit par la prépondérance de la ressource la plus consommée en masse, c'est-à-dire généralement l'eau, qui compte par exemple pour 96 % du total dans l'étude de Burger et coll. (2009). L'indicateur MIPS est donc bien un indicateur de consommation de ressources, mais celle-ci n'acquiert le caractère d'impact sur l'environnement que si la ressource n'est pas renouvelable ou consommée au-delà de son taux de production naturel. La non-prise en compte de la disponibilité de la ressource ôte tout intérêt environnemental à cet indicateur et induit de grossières erreurs d'interprétation puisqu'il mesure essentiellement la consommation d'une ressource très largement renouvelable et non d'un panier de ressources problématiques.

L'évaluation du MIPS selon les dix critères (cf. tableau 1), donne les plus mauvais scores pour les critères de validité, de lien vis-à-vis d'un objectif et d'une décision.

4.7. Indicateur d'impact sanitaire des émissions de polluants (IISCEP)

Lépicié et coll. (2012 ; 2013) ont mis au point un indicateur d'impact sanitaire chronique des émissions de polluants atmosphériques (IISCEP) intégrant leurs impacts sanitaires (hors aspects de gêne), directs (pour les polluants primaires seulement), chroniques et par inhalation. Cet indicateur somme les émissions de chaque polluant par zone géographique, multipliées par la population, la gravité de son effet sanitaire, et divisées par la surface de la zone, une hauteur de dispersion, et une valeur toxicologique du polluant correspond à la dose ou à la concentration d'exposition à partir de laquelle des effets apparaissent.

L'indicateur IISCEP a montré sa validité pour comparer par exemple des technologies véhicule selon leur impact sanitaire, ou évaluer l'intérêt sanitaire d'un plan de déplacement urbain. Il permet d'agréger des niveaux d'émissions très différents de polluants qui ont eux-mêmes des impacts sur la santé très différents. Une première évaluation de ses qualités que nous avons faite tableau 1 montre qu'il est assez performant. Il s'agit cependant d'un indicateur relativement nouveau qu'il est encore difficile d'évaluer.

5. Méthodes de prise en compte conjointe d'indicateurs

La prise en compte simultanée de plusieurs indicateurs amène souvent soit à les présenter sous forme graphique, soit à les agréger. Nous traitons ci-dessous certains aspects méthodologiques de ces options.

5.1. Influence du mode de présentation d'un jeu d'indicateurs

La représentation graphique d'indicateurs multiples se fait parfois sous la forme d'étoile ou de radar. Nous en donnons deux exemples en figure 1 : l'impression d'ensemble est que le cas de gauche présente de meilleurs indicateurs que le cas de droite.

Or les deux cas présentent exactement les mêmes valeurs d'indicateurs, mais dans deux ordres différents (cas de gauche : fonction continûment croissante, cas de droite : fonction hachée). L'impression visuelle est en fait liée à la surface de l'étoile, qui est maximale quand les indicateurs sont continus. Dans le cas de droite, l'indicateur B, bien qu'excellent, ne compte pas dans l'appréciation

subjective car il est encadré par deux indicateurs très mauvais et ne crée aucune surface. La représentation graphique d'un jeu d'indicateurs sous la forme d'étoile ou de radar est donc ambiguë et source d'interprétation erronée.

La figure 2 présente les mêmes valeurs d'indicateurs, présentées toujours dans deux ordres différents, respectivement identiques à l'ordre du cas de gauche et du cas de droite de la Figure 1, mais sous la forme d'un histogramme classique, qui n'est guère sensible à l'ordre de présentation et nous semble donc préférable.

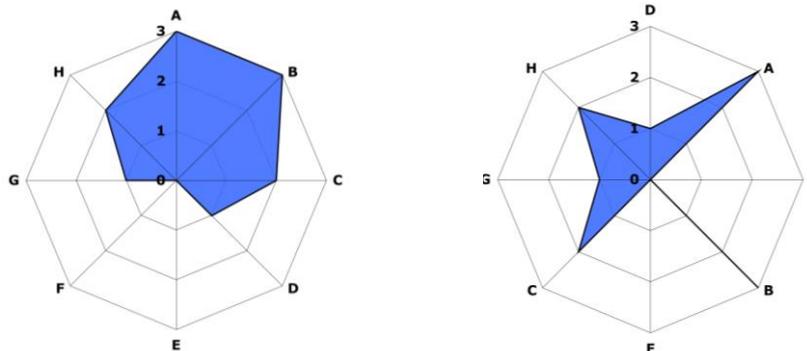


Figure 1 : Représentation graphique de 2 jeux de 8 indicateurs sous forme d'étoile ou de radar

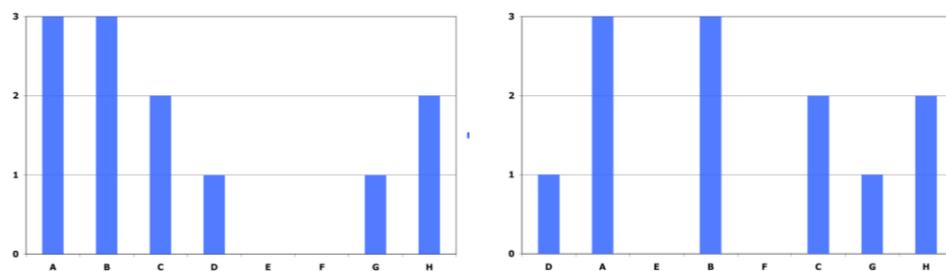


Figure 2 : Représentation graphique de 2 jeux de 8 indicateurs sous forme d'histogramme

5.2. Méthodes d'agrégation des indicateurs composites

Les indicateurs composites que nous avons vus plus haut utilisent deux méthodes d'agrégation : la moyenne arithmétique et la moyenne géométrique (cas des derniers indicateurs du PNUD – Klugman, 2010), éventuellement pondérées. Federici (2007) propose la moyenne arithmétique pondérée, diminuée de la variance pondérée par un facteur de pénalité, pour intégrer la non substituabilité des dimensions et l'équilibre entre ces dimensions.

Parmi ces 3 méthodes d'agrégation, la moyenne géométrique pondérée est la méthode la plus sensible aux variations des composantes de l'indice, quels que soient ses coefficients de pondération. L'exemple de l'indicateur de développement durable décrit au paragraphe suivant à l'aide de la moyenne géométrique montre bien que cet opérateur favorise la convergence. La sensibilité de la moyenne géométrique pondérée augmente quand ses coefficients de pondération sont très différents les uns des autres.

En outre, la moyenne géométrique est particulièrement sensible aux faibles valeurs : la diminution du plus faible des paramètres (de 0,4 à 0,1 par ex.) a un impact beaucoup plus fort qu'une augmentation absolue équivalente du paramètre le plus élevé (de 0,6 à 0,9 par ex.). En revanche la diminution d'un paramètre d'un facteur relatif (par exemple diminution de moitié) est compensée par l'augmentation d'un autre paramètre du même facteur relatif (par exemple doublement).

La moyenne géométrique est donc un opérateur permettant d'agréger des indicateurs en un indicateur composite qui admet un certain degré de substituabilité entre composantes, tout en favorisant leur convergence et en étant très sensible aux faibles valeurs. C'est donc un opérateur d'équilibre entre

composantes.

Le PNUD a comparé les méthodes d'agrégation de trois variables par moyenne arithmétique et par moyenne géométrique : pays par pays, les différences sont notables. Une autre différence entre les méthodes d'agrégation est leur capacité à être comprises par le plus grand nombre : la moyenne arithmétique est bien plus facile à comprendre que la moyenne géométrique ou que la moyenne arithmétique diminuée de la variance.

6. Construction d'indicateurs de développement durable

Une fois défini précisément le concept de développement durable, nous proposons de construire un indicateur de développement durable par combinaison ou agrégation de six indicateurs, correspondant aux six dimensions, en utilisant la moyenne géométrique pondérée comme méthode générale, pour traduire une faible substituabilité entre composantes.

6.1. Indicateur de développement durable à trois dimensions IDD3

Dans un premier temps, nous proposons de ne tenir compte que des trois premières dimensions que sont la richesse socio-économique, la justice sociale, et l'environnement, par le biais resp. des indicateurs suivants :

- l'indicateur de développement humain IDH ;
- l'indicateur d'égalité de l'IDH IEIDH = IDHI/IDH ;
- l'empreinte écologique EE de la consommation, et la qualité de l'impact sur l'environnement par l'opposé de cette empreinte écologique OEE = max(EE)-EE.

De manière parallèle au calcul de l'IDH, ces indicateurs sont normés par leur taux de variation :

$$X_N = \frac{X - \min X}{\max X - \min X}$$

avec :

- X_N = valeur normée de la variable X
- min X et max X les valeurs minimale et maximale de la variable X

Quand on applique ces formules aux données du PNUD pour les 131 pays disposant dans Jahan (2015) de valeurs 2014 pour les indicateurs IDH et IDHI et dans Klugman (2011) de valeurs 2007 pour l'indicateur EE issues de GFN (2010), on obtient les valeurs minimales et maximales du tableau 2. Nous avons choisi les minima proches indiqués tableau 2 pour avoir des plages de variation des variables normées proches.

Tableau 2: Valeurs minimales et maximales des indicateurs composant les indicateurs de développement durable IDD3 et IDD4 (données : GFN, 2010 et Jahan, 2015).

	minimum		moyenne	maximum	
	réel	pris		réel	pris
IDH	0,35	0	0,68	0,94	0,94
IEIDH	0,56	0,5	0,78	0,95	0,95
EE	0,40		2,82	9,40	
OEE	0	-1,0	6,58	9,0	9,0
IDD3	0,37		0,68	0,86	
ILT	0,19	0	0,74	1	1
IDD4	0,36		0,67	0,89	
IDD4ma	0,54		0,72	0,90	

La formule de l'indicateur de développement durable IDD3 du pays (ou groupe social) j est donc :

$$IDD3_j = \sqrt[3]{\frac{IDH_j - 0}{0,94 - 0} \cdot \frac{\frac{IDHI_j}{IDH_j} - 0,5}{0,95 - 0,5} \cdot \frac{9,4 - EE_j + 1}{9,4 - 0,4 + 1}}$$

avec :

IDH_j = indice de développement humain du pays (ou groupe social) j

IDHI_j = indice de développement humain du pays (ou groupe social) j ajusté aux inégalités

EE_j = empreinte écologique du pays (ou groupe social) j

Le calcul de l'IDD3 pour l'ensemble des 131 pays montre que les pays caractérisés par un IDH faible, une forte inégalité ou une empreinte écologique très élevée sont mal classés ; les pays bons dans ces trois dimensions obtiennent les valeurs les plus élevées de l'indicateur, tandis que les pays très bons selon une dimension mais mauvais selon les deux autres obtiennent un score faible.

6.2. Indicateur de développement durable à 4 dimensions IDD4

Pour être plus représentatif de son objet, l'indicateur de développement durable devrait aussi tenir compte de ses 3 autres dimensions : besoins et droits fondamentaux, démocratie, long terme. Encore faut-il disposer d'indicateurs pour chacune de ces dimensions. On peut imaginer un indicateur de satisfaction des besoins fondamentaux par exemple à partir d'enquêtes de satisfaction, voire d'autres données, ou construire un indicateur de respect des droits fondamentaux, mais un tel indicateur n'est pas disponible à notre connaissance. L'indicateur de liberté politique défini par Klugman (2010) pourrait être un indicateur de démocratie, mais il ne mesure que l'existence d'élections non contestées et est donc loin de mesurer le degré de souveraineté du peuple, dont la mesure devrait tenir compte en outre de la qualité de l'espace public (accès à une information diversifiée, possibilité d'informer de ses propositions), de l'indépendance des pouvoirs exécutif, législatif et judiciaire, du respect des droits fondamentaux individuels et collectifs. Nous considérons donc ne pas disposer d'indicateur un peu performant de ces 2 dimensions.

Il est en outre nécessaire de disposer d'un indicateur de prise en compte du long terme, qui s'applique essentiellement aux besoins et à l'environnement. Pour l'environnement, un tel indicateur devrait mesurer le caractère irréversible de l'ensemble des impacts sur l'environnement, ce qu'est loin de faire l'empreinte écologique comme on l'a vu. L'empreinte écologique EE peut cependant être comparée à la biocapacité moyenne mondiale BMM, qui est la surface productive moyenne par habitant et qui s'élève à 1,8 hag/pers en 2007. La comparer à la biocapacité moyenne nationale aurait moins de sens, car la production de nos consommations est aujourd'hui largement mondialisée. Nous proposons un indicateur de la dimension long terme ILT de la forme suivante :

$$ILT = \min\left(\frac{BMM}{EE}, 1\right)$$

min étant la fonction minimum. ILT est donc un facteur correcteur pénalisant les pays dont la consommation n'est pas soutenable à long terme car induisant un dépassement de la biocapacité moyenne mondiale. Cet indicateur varie par définition de 0 à 1 et est donc normé.

L'indicateur de développement durable IDD4 selon 4 dimensions pondérées également, se définit ainsi :

$$IDD4_j = \sqrt[4]{\frac{IDH_j - 0}{0,94 - 0} \cdot \frac{\frac{IDHI_j}{IDH_j} - 0,5}{0,95 - 0,5} \cdot \frac{9,4 - EE_j + 1}{9,4 - 0,4 + 1} \cdot \min\left(\frac{BMM}{EE_j}, 1\right)}$$

Quand on calcule l'indicateur IDD4 pour les mêmes 131 pays pour lesquels nous avons calculé l'indicateur IDD3, on voit que l'indicateur IDD4 est relativement bien corrélé avec l'opposé de l'empreinte écologique OEE ($R^2=0,40$) et l'indicateur de long terme ILT ($R^2=0,30$), et peu corrélé avec l'indice d'égalité de l>IDH IEIDH ($R^2=0,07$) et avec l'indice de développement humain IDH ($R^2=0,01$). Les pays qui ont une empreinte écologique très nettement supérieure à la biocapacité moyenne

mondiale sont assez pénalisés : ces sociétés ne sont pas durables.

6.3. Indicateur linéaire de développement durable à 4 dimensions IDD4ma

Nous testons en parallèle le mode d'agrégation par moyenne arithmétique des mêmes quatre indicateurs, ce qui donne l'indicateur IDD4ma défini par :

$$IDD4ma_j = \frac{\frac{IDH_j - 0}{0,94 - 0} + \frac{IDHI_j - 0,5}{0,95 - 0,5} + \frac{9,4 - EE_j + 1}{9,4 - 0,4 + 1} + \min\left(\frac{BMM}{EE_j}, 1\right)}{4}$$

Les corrélations entre l'indicateur IDD4ma et ses composantes sont assez proches de ce que nous avons trouvé pour IDD4, les taux de corrélation étant cependant encore plus faibles.

6.4. Évaluations et conclusion

Les deux indicateurs IDD3 et IDD4 sont assez différents comme le montre la figure 3, ce qui traduit l'impact d'un indicateur de long terme. Les deux indicateurs IDD4 et IDD4ma donnent des résultats assez proches comme en témoigne la figure 4.

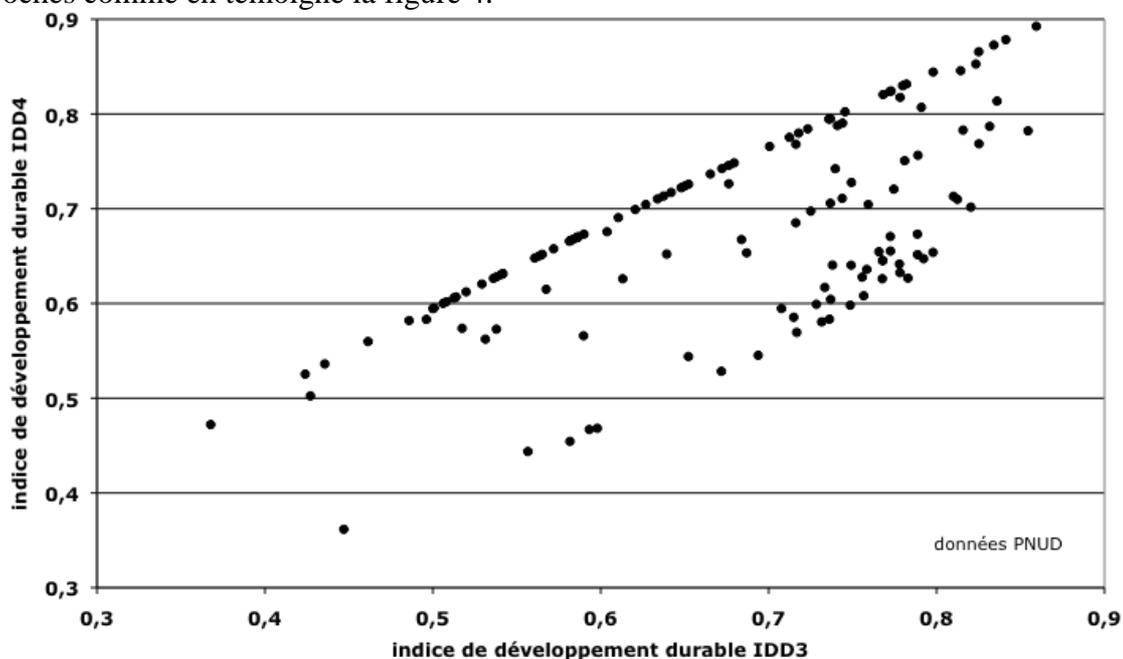


Figure 3 : Indicateur de développement durable IDD4 en fonction de l'indicateur IDD3 (données GFN, 2010 et Jahan, 2015).

Nous évaluons ces trois indicateurs de développement durable au tableau 1 selon les critères définis plus haut. Cela donne des résultats assez proches de ceux de leurs trois composantes fondamentales (IDH, IDHI, EE), sauf en termes de validité, relativement faible pour IDD3 puisqu'il ne représente que très partiellement les dimensions du développement durable. IDD4 est un peu meilleur qu'IDD3 car plus représentatif de ces dimensions. IDD4 est un peu plus représentatif qu'IDD4ma (moindre substituabilité de leurs composantes), mais moins transparent.

La forme de ces indicateurs de développement durable pourrait être modifiée, soit en prenant d'autres indicateurs de richesse socio-économique, de justice sociale, de qualité environnementale, ou de long terme, soit en utilisant des pondérations différentes :

- L'indicateur de la dimension environnementale que nous avons pris est notamment peu représentatif de ce qu'il est censé mesurer comme nous l'avons montré plus haut, mais c'est à ce jour l'indicateur disponible le plus performant.

- L'indicateur de long terme ILT étant exclusivement basé sur l'empreinte écologique n'est guère meilleur. Bien que l'empreinte écologique soit utilisée deux fois, pour mesurer les dimensions environnement et long terme, il n'y a pas double comptage, car l'indicateur ILT est différent de l'empreinte (introduction de la fonction minimum).

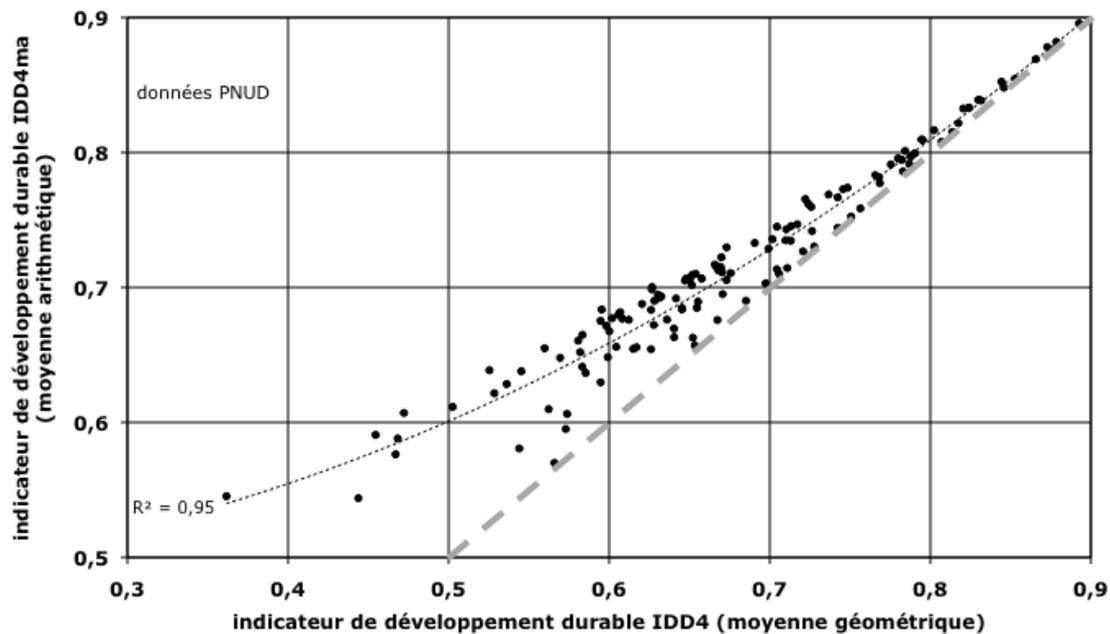


Figure 4 : Indicateur de développement durable IDD4ma en fonction de l'indicateur IDD4, pour 131 pays (données GFN, 2010 et Jahan, 2015), et courbe de tendance.

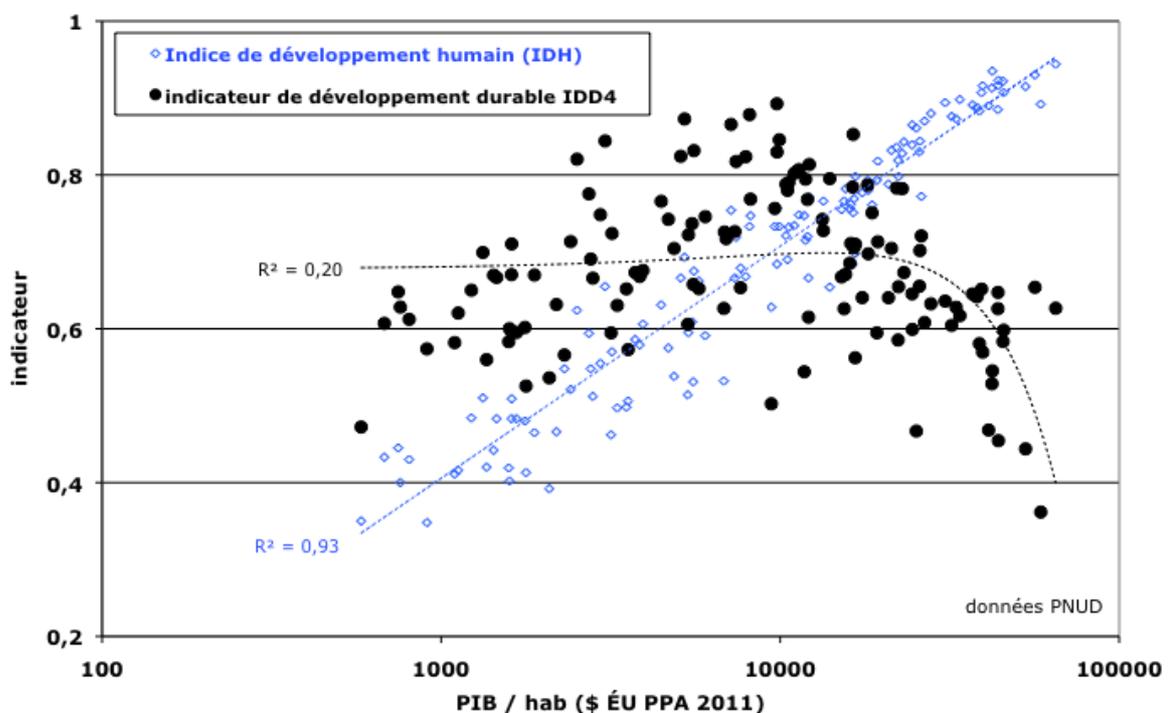


Figure 5 : Indicateur de développement humain IDH et indicateur de développement durable IDD4 en fonction du PIB par habitant à parité de pouvoir d'achat pour 131 pays (données GFN, 2010 et Jahan, 2015), et courbes de tendance.

- Pondérer différemment la moyenne géométrique ou arithmétique ne changerait pas fondamentalement les indicateurs, mais pourrait permettre de les affiner.
- La non substituabilité des différentes dimensions, qui est fondamentale pour un indicateur de

développement durable au sens fort du terme, n'est pas prise en compte par le mode d'agrégation moyenne arithmétique, et assez peu par la moyenne géométrique. C'est donc une caractéristique importante des relations entre les dimensions du développement durable qui reste à intégrer correctement.

La disponibilité d'indicateurs de meilleure qualité pour chacune des dimensions du développement durable permettrait de construire un indicateur de développement durable qui représente correctement le développement durable d'un pays ou d'un groupe social tel que nous le définissons. Nous en sommes cependant encore loin.

La comparaison du PIB par habitant, de l'indicateur de développement humain IDH et de l'indicateur de développement durable IDD4 montre que ces trois indicateurs évaluent l'objet du développement de manière très divergente : cf. figure 5. L'IDH introduit de la variabilité par rapport au PIB qui en est l'une de ses composantes, mais un PIB élevé entraîne un IDH élevé. L'IDD4 introduit encore plus de variabilité, mais les pays à PIB élevé dépassant de très loin la biocapacité moyenne mondiale se retrouvent assez mal classés. Les États-Unis et le Luxembourg occupent ainsi les 2 dernières places parmi 131 pays pour cet indicateur IDD4, car ils ont l'empreinte écologique parmi les 3 plus élevées. À l'inverse, la Tanzanie qui a une faible empreinte écologique (103^e place) a un IDD4 assez élevé, se situant à la 44^e place. De même, la comparaison de la France et de Madagascar montre bien l'impact sur l'indicateur de développement durable IDD4 de l'empreinte écologique et de l'indicateur de long terme : les mauvaises valeurs pour la France de ces derniers indicateurs lui donne un indicateur de développement durable inférieur à celui de Madagascar, malgré de bons indicateurs en terme de PIB, d'égalité et de développement humain (cf. Tableau 3).

Tableau 3 : PIB/hab., indice de développement humain IDH, indicateur de développement durable IDD4 et ses composantes (empreinte écologique EE, indicateur d'égalité de l'IDH IEIDH, et indicateur de long terme ILT) pour la France et Madagascar. En rouge les indicateurs les moins favorables.

indicateur unité	PIB/hab (\$ PPA)	IDH	EE (hag/hab)	IEIDH	ILT	IDD4
France	38 056	0,89	5,0	0,91	0,36	0,64
Madagascar	1 358	0,51	1,8	0,73	1	0,70

7. Conclusion

Les indicateurs sont des outils simplifiés d'évaluation ou de mesure dont les critères de qualité appartiennent à trois domaines - la représentativité, l'opérationnalité et l'aide à la décision. Un indicateur est en outre toujours spécifique à un objet particulier, ce qu'il a pour fonction de mesurer. Avant de construire ou d'utiliser un indicateur, il est donc indispensable de définir de manière concrète et détaillée son objet. Dans le domaine du développement durable, la définition du concept est donc un préalable à tout indicateur de développement durable. Il en est de même pour un indicateur d'une de ses dimensions ou sous-dimensions, économique, sociale, environnementale ou autre.

Les indicateurs disponibles dont nous avons exploré les principaux sont plus ou moins nombreux et plus ou moins performants selon les dimensions. Ils sont assez ou très nombreux pour mesurer respectivement les dimensions économique et sociale du développement durable, mais assez peu nombreux dans le domaine environnemental. Il n'existe pas d'indicateur capable de mesurer l'impact sur l'environnement dans son ensemble, mais des indicateurs mesurant des impacts particuliers. La plupart de ces indicateurs sont critiquables quant à leur méthode de construction au regard de ce qu'ils sont censés mesurer : c'est notamment le cas de l'empreinte écologique, malgré d'autres qualités. Enfin, il n'existe pas à notre connaissance d'indicateur de qualité suffisante des dimensions Droits et besoins, et Démocratie.

Quand des indicateurs agrègent d'autres indicateurs, le mode d'agrégation n'est pas neutre et doit exprimer une qualité attendue de l'indicateur agrégé. Deux modes d'agrégation principaux sont utilisés : la moyenne arithmétique pondérée et la moyenne géométrique pondérée. Le premier mode induit une substituabilité entière entre les éléments agrégés et doit donc être utilisé lorsque la substitution apparaît normale – c'est notamment le cas assez général mais pas systématique au sein de chacune des dimensions du développement durable. Le second mode traduit une exigence d'équilibre entre éléments agrégés et ne favorise la substitution que si elle induit une plus grande convergence. C'est donc un mode un peu mieux adapté à l'agrégation des dimensions de la conception forte ou systémique du développement durable.

Nous avons proposé ensuite trois indicateurs de développement durable dont les deux derniers (*IDD4* et *IDD4ma*) tiennent compte des dimensions Économie élargie, Justice sociale ou égalité, Environnement et Long terme, faute d'indicateurs des dimensions Besoins et droits fondamentaux, et Démocratie. Ils sont applicables à tout groupe social pour lequel on dispose de données, donc pas seulement aux nations. Les appliquer à un élément particulier de l'activité (un système de transport par exemple, ou une industrie) est sans doute difficile et mériterait d'être exploré.

Les indicateurs sont assez sensibles à leur mode de construction. Si l'on ajoute la faible qualité de nombre de leurs composantes vis-à-vis de ce qu'elles sont censées mesurer, on voit bien que la qualité finale d'un indicateur de développement durable est généralement très faible, ce qui justifie de n'utiliser les indicateurs que comme éléments d'appréciation d'une situation ou d'un projet parmi de très nombreux autres. Un indicateur de développement durable de qualité reste donc encore très largement à construire.

Références

- Alkire S. et Foster J., 2010. Designing the Inequality-Adjusted Human Development Index (HDI). Human Development Research Paper 28, UNDP-HDRO, New York. Cité par Klugman, 2010, p. 243.
- Baillargeon N., 2006. Petit cours d'autodéfense intellectuelle. Lux Éd., Montréal, Canada, 338 p.
- Block T., Van Assche J., Vandewiele D., De Rynck F. and Reynaert H., 2007, Steden op koers ? Stadsmonitor voor Leefbare en Duurzame Vlaamse Steden, Editie 2006, Brugge, Vanden Broele, 440 p.
- Boisvert V., 2005. L'"empreinte écologique" : un indicateur de développement durable ? In Maréchal J.-P. & Quenault B. (dir.), *Le développement durable, une perspective pour le XXI^e siècle*, Presses universitaires de Rennes, Rennes, France, 422 p., p. 165-183.
- Bourg D., 2005. Démocratie représentative et démocratie participative. In Maréchal J.-P. et Quenault B. (dir.), *Le développement durable, une perspective pour le XXI^e siècle*. Presses universitaires de Rennes, Rennes, France, 422 p., p. 411-418.
- Boutaud A., 2005. Le développement durable : penser le changement ou changer le pansement ? Bilan et analyse des outils d'évaluation des politiques publiques locales en matière de développement durable en France : de l'émergence d'un changement dans les modes de faire au défi d'un changement dans les modes de penser. Thèse, École des Mines de Saint-Étienne / Univ. J. Monnet, 14 février 2005, 414 p. www.agora21.org/entreprise/these4.html (consulté le 15 février 2011).
- Boutaud A. et Gondran N., 2009. L'empreinte écologique. La Découverte, Paris, 122 p.
- Burger E., Giljum S., Manstein C. and Hinterberger F., 2009. Comprehensive ecological indicators for products: Three case studies applying MIPS and ecological footprint. 8th Int. Conf. of the European Society for Ecological Economics *Transformation, innovation and adaptation for sustainability – Integrating natural and social sciences*, Ljubljana, 29 June - 2 July, 2009.
- Charpentier D., 2004. Les mesures du bien-être. Alternatives économiques, n° 227.
- CIT, 1944. Déclaration de Philadelphie. Conférence internationale du Travail, Philadelphie, États-Unis, 6 p. www.ilo.org/public/english/century/information_resources/download/phil-en-fr.pdf
- Didier M. et Prud'homme R., 2007. Infrastructures de transport, mobilité et croissance. La Documentation française, Paris, 241 p.
- Ecuador, 2008. Constitución Política del Ecuador. ftp://ftp.unach.edu.ec/leyes/Nueva_Constitucion_del_Ecuador.pdf
- Esoh E., 2004. Interculturaliser le développement durable. Colloque, Agence internationale de la Francophonie, *Développement durable – leçons et perspectives*, Ouagadougou, Burkina Faso, 1-4 juin 2004.

- Ewing B., Reed A., Rizk S.M., Galli A., Wackernagel M. and Kitzes J., 2008. Calculation Methodology for the National Footprint Accounts, 2008. Global Footprint Network, Oakland, USA, 17 p. www.footprintnetwork.org/download.php?id=508 (consulté le 16 octobre 2009)
- Federici A., 2007. An index for sustainable development. In Kungolos A., Brebbia C.A. and Beriatos E. (Eds), *Sustainable development and planning III*, vol. 2, WIT press, Southampton, UK, and Boston, USA, p. 651-660.
- Fiala N., 2008. Measuring sustainability: Why the ecological footprint is bad economics and bad environmental science. *Ecol. Econ.*, 67, p. 519-525. Cité par Franz et Papyrakis, 2009.
- Franz J. and Papyrakis E., 2009. Reconsidering the 'Ecological Footprint' index: Does it promote sustainable behaviour? 8th Int. Conf. of the European Society for Ecological Economics *Transformation, innovation and adaptation for sustainability – Integrating natural and social sciences*, Ljubljana, 29 June - 2 July, 2009.
- Gadrey J. et Jany-Catrice F., 2005. Les nouveaux indicateurs de richesse. La Découverte, Paris, 2005, 123 p.
- GFN, 2010. Global Footprint Network. Oakland, États-Unis. www.footprintnetwork.org. (consulté le 15 avril 2011 par Klugman, 2011)
- Gudmundsson H., Joumard R., Aschemann R. and Tennøy A., 2010. Indicators and their functions. In Joumard R. and Gudmundsson H. (eds), *Indicators of environmental sustainability in transport: an interdisciplinary approach to methods*. INRETS report, Recherches R282, Bron, France, chap. 1, p. 23-43. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00492823/fr/> (consulté le 15 février 2011).
- Guibert B., 2006. Plaidoyer pour l'empreinte écologique. *Cosmopolitiques*, n° 13, p. 55-63. <http://cosmopolitiques.phpnet.org/pages/node/85> (consulté le 25 mai 2010).
- Jahan S. (dir.), 2015. Human Development Report 2015. Report, UNDP, New York, 288 p. www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/HDR/HDR%202015/HumanDevelopmentReport_EN.pdf?download
- Joumard R., 2011a. Environmental sustainability assessments: toward a new framework. *Int. J. Sustainable Society*, Vol. 3, No. 2, p. 133-150. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00587027/fr/>
- Joumard R., 2011b. Durable ? Éd. Ifsttar, Recherches R284, Bron, France, 292 p. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00637532/fr/>
- Joumard R. and Gudmundsson H. (eds), 2010. Indicators of environmental sustainability in transport: an interdisciplinary approach to methods. INRETS report, Recherches R282, Bron, France, 422 p. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00492823/fr/> (consultés le 15 février 2011)
- Klugman J. (dir.), 2010. Rapport sur le développement humain 2010 - La vraie richesse des nations : Les chemins du développement humain. Rapport PNUD, New York, 268 p. http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2010_FR_Complete_reprint.pdf (consulté le 15 février 2011).
- Klugman J. (dir.), 2011. Rapport sur le développement humain 2011 - Durabilité et équité : Un meilleur avenir pour tous. Rapport, PNUD, New York, 2 nov., 202 p. www.undp.org/content/undp/fr/home/librarypage/hdr/humandevelopmentreport2011.html
- Ledant J.-P., 2005. L'empreinte écologique : un indicateur de... quoi ? Institut pour un développement durable, Ottignies, Belgique, 19 p. <http://users.skynet.be/idd/documents/divers/empreinte.pdf> (consulté le 15 février 2011).
- Lépicié V., Chiron M. et Joumard R., 2012. Mise au point d'un indicateur d'impact sanitaire chronique des émissions de polluants. Rapport IFSTTAR, Bron, France, n°LTE1101, 224 p.
- Lépicié V., Chiron M. and Joumard R., 2013. Developing an indicator for the chronic health impact of traffic-related pollutant emissions. *Environ. Impact Asses. Rev.*, vol. 38, p. 35-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2012.05.001>
- Monjean-Decaudin S., 2010. Constitution et équatorianité : la Pacha Mama proclamée sujet de droit. *Histoire(s) de l'Amérique latine*, vol. 4, 14 p. www.hisal.org/revue/article/Monjean-Decaudin2010-1
- ONU, 2015. Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030. Résolution adoptée par l'Assemblée générale, 25 sept., 38 p. www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/Resolution_A_RES_70_1_FR.pdf
- Perret B., 2005. Développement social durable : quels indicateurs ? In Maréchal J.-P. et Quenault B. (dir.), *Le développement durable, une perspective pour le XXI^e siècle*. Presses universitaires de Rennes, Rennes, France, 422 p., p. 341-347.
- Rees W.E., 1996. Revisiting carrying capacity: area-based indicators of sustainability. *Population and Environment*, 17, 3, p. 195-215.
- Rees W. and Wackernagel M., 1994. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy. In Janson A.M., Hammer M., Folke C. and Costanza R. (Eds), *Investing in natural capital: The ecological economics approach to sustainability*, Island Press, Washington DC, USA, p. 362-390.

- Ritthof M., Rohn H. und Liedtke C., 2002. MIPS berechnen? Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen. Wuppertal Spezial 27, Wuppertal Institut, Wuppertal, Allemagne.
- Schmidt-Bleek F., 1994. Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS – das Mass für ökologisches Wirtschaften (*De combien d'environnement l'homme a-t-il besoin ? MIPS – la masse pour une économie écologique*). Birkhauser, Berlin, Boston, Basel. ISBN 3-7643-2959-9.
- SDN, 1919. Pacte de la Société des Nations. <http://mjp.univ-perp.fr/traites/sdn1919.htm>
- Stiglitz J.E., Sen A. et Fitoussi J.-P., 2010. Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social. 324 p. http://www.stiglitz-sen-fitoussi.fr/documents/rapport_francais.pdf (consulté le 7 janvier 2011).
- UICN, PNUE et WWF, 1980. Stratégie mondiale de la conservation : la conservation des ressources vivantes au service du développement durable. Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources, Gland, Suisse, 72 p.
- ul Haq M. (coord.), 1990. Rapport mondial sur le développement humain 1990. Economica, Paris, 213 p. <http://hdr.undp.org/fr/rapports/mondial/rdh1990/chapitres/francais/> (consulté le 15 février 2011).
- UN General Assembly, 1987. Report of the World Commission on Environment and Development. 96th plenary meeting, 11 December 1987. 42/187. www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm
- United Nations, 2016. Report of the Inter-Agency and Expert Group on Sustainable Development Goal Indicators. Report, Economic and Social Council, Statistical Commission. E/CN.3/2016/2/Rev.1, 62 p. <http://unstats.un.org/unsd/statcom/47th-session/documents/2016-2-SDGs-Rev1-E.pdf>
- Van Assche J., Block T. and Reynaert H., 2008. Une méthode participative pour mesurer la durabilité urbaine. Le cas du Moniteur des Villes Flamandes. Coll. internat. La problématique du développement durable vingt ans après : nouvelles lectures théoriques, innovations méthodologiques, et domaines d'extension, Lille, France, 20-22 nov. 2008.
- Van den Bergh J.C.J.M. and Verbruggen H., 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint. *Ecological Economics*, No 29, p. 61-72. Cité par Boutaud, 2005 et Franz et Papyrakis, 2009.
- Venetoulis J. and Talberth J., 2008. Refining the ecological footprint. *Environ. Dev. Sustain.* 10, p. 441-469. Cité par Franz et Papyrakis, 2009.
- Villeneuve C., O. Riffon & D. Tremblay, 2016. Comment réaliser une analyse de développement durable ? Guide d'utilisation de la Grille d'analyse de développement durable. Rapport, Univ. Québec, Chicoutimi, Canada, 137 p. http://ecoconseil.uqac.ca/wp-content/uploads/2016/05/Guide-dutilisation_GADD_2016.pdf
- Wackernagel M. and Rees W., 1996. Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth. New Society Pub., Gabriola Islands B.C., Canada, 160 p. Traduction française : Notre empreinte écologique. Écosociété, Paris, 1999, 207 p.
- Wai Z., 2007. Whither African Development? A Preparatory for an African Alternative Reformulation of the Concept of Development. *Africa Development*, Vol. 37, No 4, p. 71-98. <http://ajol.info/index.php/ad/article/view/57322>