



HAL
open science

Indicateurs d'environnement et de développement durable

Robert Joumard

► **To cite this version:**

Robert Joumard. Indicateurs d'environnement et de développement durable. 4th International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution (ICEMAEP'2018), Université des Frères Mentouri Constantine 1, Apr 2018, Constantine, Algérie. pp.60-71. hal-01817417

HAL Id: hal-01817417

<https://hal.science/hal-01817417>

Submitted on 17 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

INDICATEURS D'ENVIRONNEMENT ET DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Robert JOUMARD ¹

¹ Directeur de recherche émérite, Laboratoire Transports et Environnement, Univ. de Lyon / IFSTTAR / AME,
69500 Bron, France, robert.joumard@laposte.net

RÉSUMÉ

Nous définissons tout d'abord ce qu'est un indicateur : 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 d'environnement ou de développement durable, il est donc indispensable de définir de manière concrète et détaillée l'environnement ou le concept de développement durable. Nous tentons ensuite de définir l'environnement avant d'étudier quelques indicateurs dans ce champ, avec une attention particulière à l'empreinte écologique. Nous analysons et évaluons ensuite certains des indicateurs existant dans le champ du développement durable : PIB, indice de développement humain, et un indicateur à 4 dimensions (économie élargie, justice sociale, environnement, et long terme). La comparaison pour 131 pays du PIB par habitant, de l'indicateur de développement humain et de l'indicateur de développement durable à 4 dimensions montre que ces indicateurs évaluent l'objet du développement de manière très divergente. Les conclusions tirées de l'usage d'indicateurs dépendent donc d'abord des indicateurs eux-mêmes.

Mots Clés: indicateur, méthode, critère de qualité, environnement, développement durable, empreinte écologique, indice de développement humain.

NOMENCLATURE

Symboles :	OEE	opposé de l'empreinte écologique	
IDH	indicateur de développement humain	BMM	biocapacité moyenne mondiale
IEIDH	indicateur d'égalité de l>IDH	IDD4	indicateur de développement durable à 4 dimensions
EE	empreinte écologique	ILT	indicateur de long terme

1. INTRODUCTION

L'environnement et surtout le développement durable sont parfois devenus des formules magiques dont le discours politique et économique contemporain est coutumier, et dont le flou est le principal attribut. Qu'entend-on par "environnement" ou par "développement durable" ? Pour évaluer si tel ou tel décision ou projet contribue ou non à un meilleur environnement ou au développement durable, les outils de mesure permettent cependant d'éliminer en partie ce flou. Parmi ces outils, les indicateurs ont une place de choix comme nous le verrons.

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

Aussi est-il nécessaire de construire des outils de mesure, qui soient transparents quant à leur objet (que

mesurent-ils précisément ?) et quant à leurs propriétés (qu'induisent-elles en termes de propriétés de leur objet ?). Construire un outil qui mesure correctement 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 tenterons de définir les différentes facettes de l'environnement, préalable indispensable à la construction comme à l'utilisation d'un indicateur environnemental, comme l'empreinte écologique que nous étudions plus en détail. Nous présentons et analysons ensuite quelques indicateurs largement utilisés dans le champ du développement durable comme le PIB ou l'indice de développement humain, ainsi qu'un indicateur un peu plus complexe. Sur le cas de 131 pays pour lesquels les données sont disponibles, on cherchera enfin, en comparant les valeurs de ces indicateurs, dans quelle mesure ils induisent des conclusions similaires.

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). 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 :

- l'existence de cette dimension 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 de ses autres dimensions complémentaires ;
- son contenu renvoie à une description détaillée et si possible exhaustive de cette 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*.

De même la mise au point d'un indicateur de santé ou d'impact sur la santé demande de bien définir ce qu'est la santé : la comprend-on par exemple comme l'absence de maladie ou au sens de l'Organisation mondiale de la santé comme « un état de complet bien-être physique, mental et social, et [qui] ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité » ? De même, les impacts sur la santé font-ils partie des impacts sur l'environnement, ou comme certains le considèrent ressortent-ils des impacts sociaux, voire sociétaux ?

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 (par exemple indicateur d'impact sanitaire, potentiel de réchauffement climatique, ou indicateur d'impact paysager) et notamment sous la forme d'une combinaison d'indicateurs (comme l'indice de développement humain – IDH – qui combine des indicateurs de richesse économique, d'éducation et de santé : cf. plus loin). 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 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,
- 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 beaucoup trop détaillés et analytiques pour les non spécialistes (chercheurs d'une autre discipline, décideurs, citoyens) 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 non spécialiste 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.

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

À côté des méthodes mathématiques d'agrégation d'indicateurs, l'agrégation peut être visuelle en représentant graphiquement des indicateurs multiples. Cela 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.

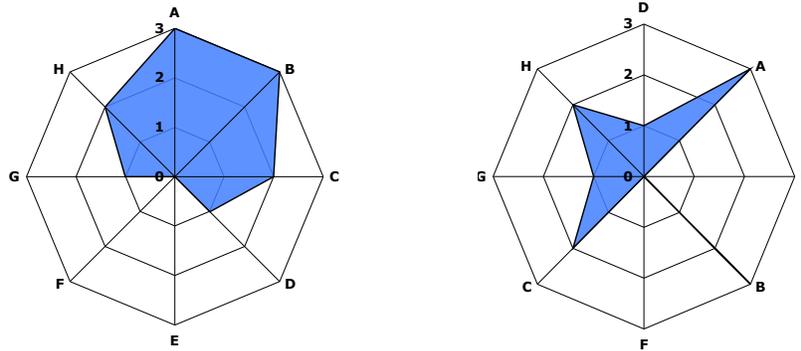


FIGURE 1 : Représentation graphique de 2 jeux de 8 indicateurs sous forme d'étoile ou de radar.

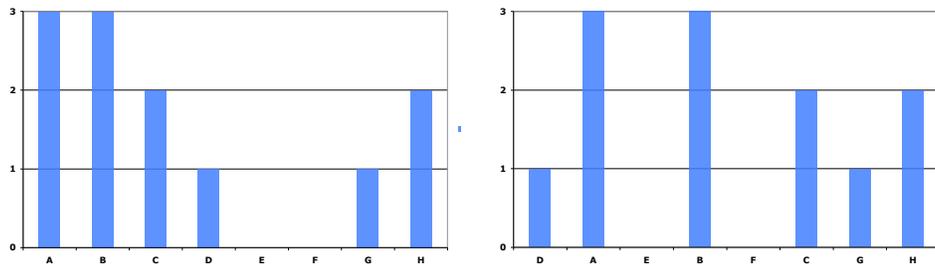


FIGURE 2 : Représentation graphique de 2 jeux de 8 indicateurs sous forme d'histogramme.

3. INDICATEURS D'ENVIRONNEMENT

Une spécificité de la recherche en environnement (par rapport à d'autres champs de recherche) est que les thèmes traités dépendent fortement de la demande sociale. Aussi les axes de recherche des chercheurs ne peuvent-ils être déduits du seul questionnement scientifique (comprendre ce qu'on ne comprend pas), mais doivent tenir compte des enjeux publics du domaine. C'est particulièrement vrai quand on veut mettre au point des indicateurs d'environnement, qui sont faits pour des non spécialistes. Parler d'indicateurs d'environnement, de pollution des eaux, d'impact sanitaire ou de pollution de l'air oblige à partir du sens que les non spécialistes donnent à ces expressions.

3.1. Définir l'environnement

L'environnement est essentiellement une construction personnelle, basée sur la perception personnelle de ses enjeux, au travers de notre perception par nos sens (la vue, l'odorat) à laquelle viennent s'ajouter des éléments intellectuels issus des informations techniques ou scientifiques que nous recevons par le biais du système éducatif et des médias (van Staëvel, 2006). Cette construction personnelle est ensuite structurée par la vision du long terme.

Des enquêtes internationales (European Commission, 2008 ; 2017 par exemple) montrent bien que le sens donné au terme environnement ou à l'expression développement durable comme les principaux enjeux identifiés par les citoyens sont variables d'un pays à un autre et évoluent dans le temps : place de la nature, des enjeux globaux comme le changement climatique, de la raréfaction des ressources naturelles, ou importance donnée aux générations futures.

Au sein du monde académique, le sens du terme environnement est aussi extrêmement variable. Le concept d'environnement le plus courant, notamment chez les économistes, le considère comme une ressource utilisée par l'humanité pour produire des biens économiques. Cette ressource est détruite mais peut aussi se renouveler

dans une certaine mesure : les questions d'environnement sont des problèmes de flux de ressources et de capacité de la biosphère à supporter les effets des activités humaines (capacité de charge). Le système Pression – État – Impact (PSI en anglais) de l'OCDE semble tout à fait adapté à cette conception, avec une pression représentant un flux.

En parallèle, l'environnement est souvent compris comme la qualité de notre environnement physique ou la qualité de vie là où nous vivons : du calme, de l'air et de l'eau purs, un beau paysage... Ici il est difficile de parler seulement de flux et de pressions.

Ces définitions sont bien trop globales et vagues pour pouvoir décrire les enjeux environnementaux d'une activité particulière comme le système de transport, l'agriculture ou une activité industrielle. Une description exhaustive des relations entre sources et cibles environnementales finales est nécessaire. Scientifiquement des impacts doivent être distingués quand ils ressortent d'une chaîne de causalité différente, en tenant compte que les catégories d'impact doivent couvrir l'ensemble des impacts connus (complétude) et en même temps avoir le moins possible de recouvrements (indépendance). Cela amène à élargir le schéma Pression – État – Impact au concept de processus ou de chaîne de causalités entre une cause première et un impact final, avec éventuellement une succession de couples cause-effet. Un bon exemple est l'effet de serre pour lequel l'émission de gaz à effet de serre est une première étape, qui fait croître la température à la surface de la terre par des phénomènes physiques, ce qui modifie les climats locaux et global, ce qui a des conséquences sur l'agriculture ou le niveau des mers, qui ont elles-mêmes des impacts sur l'ensemble de la biocénose, y compris les hommes. Si une pression initiale peut aisément être évaluée (émission de GES), on trouve ensuite une succession d'états et d'impacts. Un autre avantage du concept de chaîne de causalités est d'être bien plus large qu'une théorie de flux : tout processus peut y être intégré, qu'il soit culturel, psychologique, psycho-physique, physique ou biologique par exemple.

Une chaîne de causalités se décrit donc au travers :

- des éléments d'une activité humaine (industrie, système de transport...) qui sont au début du processus, tenant compte d'une approche analyse de cycle de vie, c'est-à-dire en considérant toutes les activités qui y contribuent.
- des cibles finales. On peut considérer 6 cibles (les ressources, les écosystèmes, la santé au sens restreint, le bien-être humain, le patrimoine anthropique, le globe),
- les éléments intermédiaires, c'est-à-dire la chaîne de causalités entre l'activité humaine et les cibles finales.

Selon cette structure, une typologie des impacts du seul système de transport trouvés dans la littérature donne 43 chaînes de causalités, indépendantes et couvrant tous les impacts (Joumard et coll., 2010). Si l'on se restreint aux impacts issus de polluants atmosphériques, on obtient les 18 impacts suivants :

- acidification : morbidité et mortalité des écosystèmes, perte de biodiversité,
- acidification : perte du patrimoine commun,
- acidification : destruction du patrimoine archéologique,
- toxicité directe : effets sur les écosystèmes,
- toxicité directe sur les hommes,
- eutrophisation,
- trou d'ozone : effets sur les écosystèmes,
- trou d'ozone : effets sur les hommes,
- pollution photochimique : santé,
- pollution photochimique : perte de productivité agricole,
- pollution photochimique : écotoxicité,
- pollution photochimique : destruction du patrimoine commun,
- pollution photochimique : destruction du patrimoine culturel,
- (- pollution photochimique : effets secondaires : effet de serre, acidification)
- odeurs,
- salissures,
- visibilité,

- effet de serre,
- obscurcissement (*dimming*).

3.2. Que peuvent mesurer des indicateurs d'environnement ?

Que peuvent mesurer des indicateurs de pollution de l'air (pour rester sur cet exemple) ? Ils peuvent évaluer la source, c'est-à-dire les émissions de certains polluants ou au mieux de tous les polluants connus. À l'autre bout de la chaîne de causalité, ils peuvent évaluer un impact final, c'est-à-dire l'un des 18 impacts ci-dessus, voire une agrégation d'impacts : par exemple l'impact sanitaire direct des polluants, ou l'impact sanitaire direct ou indirect (trou d'ozone, pollution photochimique, effet de serre) des polluants émis.

Les indicateurs peuvent aussi évaluer une étape intermédiaire entre émissions et cible finale, comme des teneurs sur un territoire donné et pendant une période de temps donnée, c'est-à-dire la qualité de l'air, ou l'exposition des populations, le potentiel de réchauffement climatique, le potentiel de formation d'ozone...

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... Tous ces indicateurs sont des évaluations d'un ou de quelques impacts finaux, et non pas de l'ensemble des impacts sur l'environnement.

L'ensemble des impacts sur l'environnement sont souvent évalués 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 et notamment de celui qui est souvent considéré comme le plus préoccupant, 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.

3.3. Empreinte écologique

L'empreinte écologique, proposée par Rees et Wackernagel (1994), s'est 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). 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).

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., 2010). 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 bioproduitif nécessaire pour fournir une quantité équivalente d'énergie de substitution tirée de la photosynthèse – notamment par la production de biomasse végétale.

Critiques de l'empreinte écologique

La méthode de l'empreinte écologique a fait l'objet de nombreuses critiques 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 bœuf.
- 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.

Évaluation de l'empreinte écologique

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

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.

Guibert (2006) 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, pour construire des indicateurs agrégés, il nous semble préférable de structurer les impacts sur l'environnement (comme 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 tienne compte des relations entre sous-systèmes.

4. INDICATEURS DE 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. L'expression a été proposée pour la première fois en 1980 dans la Stratégie mondiale de la conservation, puis 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, *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.*

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.

Nous présentons ci-dessous de manière critique les indicateurs les plus utilisés pour représenter les dimensions économique et sociale du développement durable, la dimension environnementale ayant été traitée plus haut.

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, et de manière encore plus importante dans les pays en développement. 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 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. Indicateur de développement durable à 4 dimensions IDD4

Nous avons développé un indicateur de développement durable à 4 dimensions que sont la richesse socio-économique, la justice sociale, l'environnement, et le long terme par le biais respectivement des indicateurs suivants (Joumard, 2011b) :

- 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.
- l'indicateur de long terme ILT, qui est le rapport entre l'empreinte écologique EE et la biocapacité moyenne mondiale BMM (surface productive moyenne par habitant).

De manière parallèle au calcul de l'IDH, ces indicateurs sont normés par leur taux de variation. L'indicateur de développement durable IDD4 est la moyenne géométrique de ces 4 indicateurs pondérés également :

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

La moyenne géométrique a été choisie pour favoriser l'équilibre entre éléments agrégés (elle est d'autant plus élevée que les indicateurs de base sont proches) et pour limiter la substituabilité des 4 composantes (une empreinte écologique très faible n'est que très partiellement compensée par un PIB très élevé par exemple, contrairement à la moyenne arithmétique).

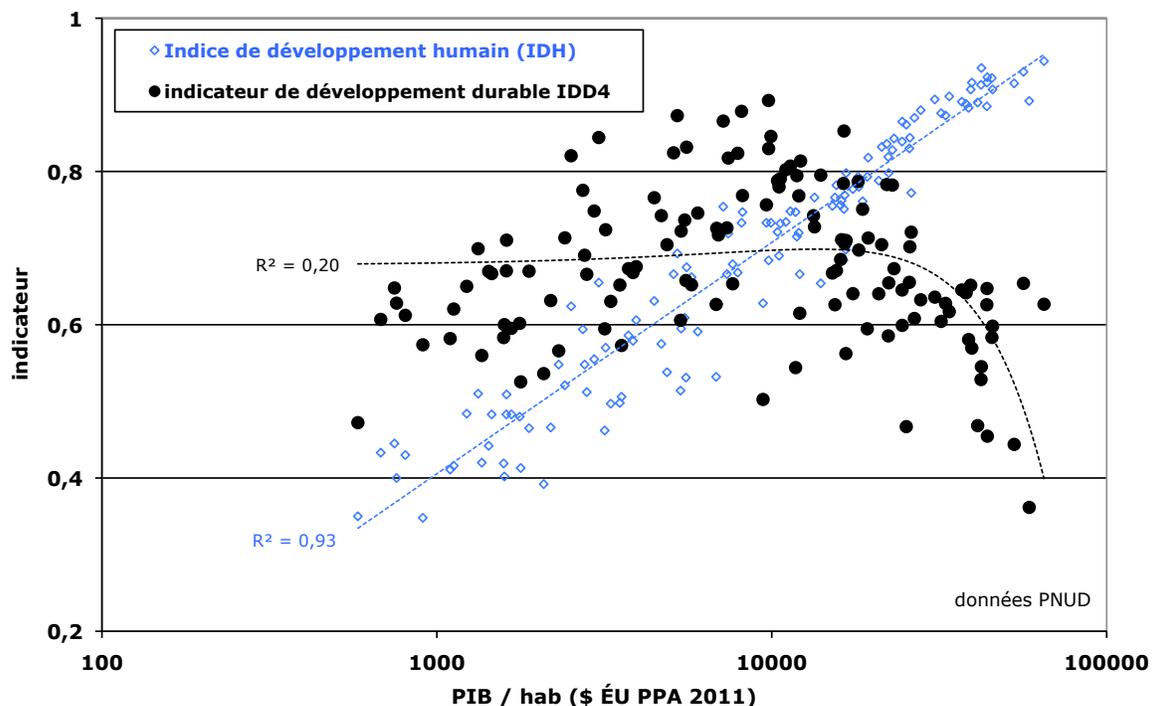


FIGURE 3 : Indicateur de développement humain IDH et indicateur de développement durable IDD4 en fonction du PIB par habitant à parité de pouvoir d'achat pour 131 pays (données GFN, 2010 et Jahan, 2015), et courbes de tendance.

4.4. Comparaison d'indicateurs de développement durable

Sans analyser de manière exhaustive les indicateurs de développement durable, comparons certains d'entre eux, ou tout au moins des indicateurs relevant plus ou moins du concept, avec l'objectif de comparer des pays ou

d'évaluer leur durabilité : le PIB par habitant à parité de pouvoir d'achat, l'Indice de développement humain, et l'indicateur de développement durable à 4 dimensions IDD4.

Quand on calcule ces indicateurs avec les 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 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 ($R^2=0,01$).

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 3. 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 qui ont une empreinte écologique très nettement supérieure à la biocapacité moyenne mondiale se retrouvent assez mal classés : ces sociétés ne sont pas durables. 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 la Tunisie 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 la Tunisie, malgré de bons indicateurs en terme de PIB, d'égalité et de développement humain (cf. Tableau 1).

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
Tunisie	10 404	0,72	1,9	0,78	0,95	0,79

TABLEAU 1 : 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 la Tunisie. En rouge les indicateurs les moins favorables.

5. CONCLUSIONS

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, 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.

Construire ou étudier des indicateurs oblige donc à avoir une vision claire de son champ de recherche, à bien synthétiser l'ensemble des connaissances scientifiques du domaine par le biais de la bibliographie. C'est donc une excellente introduction à une activité de recherche, une très bonne manière de débiter une activité de chercheur, et est donc bien adaptée à un sujet de thèse.

En même temps, un indicateur d'environnement ou de développement durable doit être – comme tout indicateur – utilisable par ses utilisateurs, qui ne sont sauf exception pas des spécialistes du domaine. Ces indicateurs doivent donc tenir compte de la compréhension du domaine qu'ont ces utilisateurs, de leur perception de tel impact sur l'environnement, de l'environnement en général ou du développement durable. Ces utilisateurs étant des décideurs, des citoyens dans le débat public, ou des chercheurs d'autres disciplines, construire un indicateur demande aussi de prendre en compte les débats de société autour de son objet. Ceci est particulièrement vrai dans les domaines de l'environnement ou du développement qui sont d'abord faits de débats de société avant d'être l'objet de recherches.

Un indicateur d'environnement ou de développement durable est donc à l'intersection de la connaissance

scientifique et des débats de société. Avant de traiter de la mécanique d'un indicateur, il faut donc se poser les questions suivantes : Comment la société comprend ce que nous nous proposons de mesurer ? Que veut-on mesurer précisément ? Que nous dit la science sur ce phénomène, quels en sont les mécanismes ?

Le résultat ne sera que bien rarement pleinement satisfaisant, en raison de la connaissance imparfaite de ces mécanismes, de la difficulté à disposer de données de base de qualité, de la sensibilité des indicateurs à leur mode de construction, de l'hétérogénéité difficilement réductible des éléments à agréger. Cela justifie de n'utiliser les indicateurs que comme éléments d'appréciation d'une situation ou d'un projet parmi de très nombreux autres. Mais sans ces indicateurs imparfaits, la prise en compte de tel impact environnemental ou du développement durable serait impossible, ou plutôt extraordinairement superficielle et sujette à manipulations. L'indicateur est le moyen d'introduire simplement de la connaissance scientifique et de la transparence dans la décision, autant que nos connaissances actuelles le permettent : imparfait mais nécessaire.

RÉFÉRENCES

- Alkire S. et J. Foster, 2010. *Designing the Inequality-Adjusted Human Development Index (HDI)*. Human Development Research Paper 28, UNDP-HDRO, New York, 50 p.
http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdrp_2010_28.pdf
- 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.wwwv1.agora21.org/entreprise/these4.html (consulté le 25 janv. 2018).
- Boutaud A. et N. Gondran, 2009. *L'empreinte écologique*. La Découverte, Paris, 122 p.
- Didier M. et Prud'homme R., 2007. *Infrastructures de transport, mobilité et croissance*. La Documentation française, Paris, 241 p.
- European Commission, 2008. *Attitudes of European citizens towards environment*. Special Eurobarometers 295, March 2008. http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_295_en.pdf (consulté le 25 janv. 2018)
- European Commission, 2017. *Attitudes of European citizens towards environment*. Special Eurobarometers 468, Nov. 2017.
<http://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/index.cfm/ResultDoc/download/DocumentKy/80328> (consulté le 25 janv. 2018)
- Ewing B., A. Reed, A. Galli, J. Kitzes and M. Wackernagel, 2010. *Calculation Methodology for the National Footprint Accounts, 2010 edition*. Global Footprint Network, Oakland, USA, 21 p.
www.footprintnetwork.org/content/images/uploads/National_Footprint_Accounts_Method_Paper_2010.pdf (consulté le 25 janv. 2018)
- GFN, 2010. *Global Footprint Network*. Oakland, États-Unis. www.footprintnetwork.org. (consulté le 15 avril 2011 par Klugman, 2011)
- Gudmundsson H., R. Joumard, R. Aschemann and A. Tennøy, 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://cost356.inrets.fr/pub/reference/reports/Indicators_EST_May_2010.pdf and <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00492823/fr/> (consultés le 25 janv. 2018)
- Guibert B., 2006. Plaidoyer pour l'empreinte écologique. *Cosmopolitiques*, n° 13, p. 55-63.
www.cosmopolitiques.com/sites/default/files/06-_Guibert.pdf (consulté le 25 janv. 2018)
- 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 (consulté le 25 janv. 2018)

- 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/> (consulté le 25 janv. 2018)
- Joumard R., 2011b. *Durable ?* Éd. Ifsttar, Recherches R284, Bron, France, 292 p. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00637532/fr/> (consultés le 25 janv. 2018)
- Joumard R. and H. Gudmundsson (eds), 2010. *Indicators of environmental sustainability in transport: an interdisciplinary approach to methods*. INRETS report, Recherches R282, Bron, France, 422 p. http://cost356.inrets.fr/pub/reference/reports/Indicators_EST_May_2010.pdf and <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00492823/fr/> (consultés le 25 janv. 2018)
- Joumard R., H. Gudmundsson, F. Kehagia, S. Mancebo Quintana, P. Boulter, L. Folkesson, I. McCrae, M. Boughedaoui, P. Waeger and E. Calderon, 2010. Transport, environment and sustainability. In Joumard R. and H. Gudmundsson (eds), *Indicators of environmental sustainability in transport: an interdisciplinary approach to methods*. INRETS report, Recherches R282, Bron, France, chap. 2, p. 45-78. http://cost356.inrets.fr/pub/reference/reports/Indicators_EST_May_2010.pdf and <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00492823/fr/> (consultés le 25 janv. 2018)
- 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/sites/default/files/hdr_2010_fr_complete_reprint.pdf (consulté le 25 janv. 2018)
- 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. http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2011_fr_complete.pdf (consulté le 25 janv. 2018)
- 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 (consulté le 25 janv. 2018)
- Perret B., 2005. Développement social durable : quels indicateurs ? In Maréchal J.-P. et Quenault B. (dir.), *Le développement durable, une perspective pour le XXIe siècle*. Presses universitaires de Rennes, Rennes, France, 422 p., p. 341-347.
- Rees W. and M. Wackernagel, 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.
- ul Haq M. (dir.), 1990. *Rapport mondial sur le développement humain 1990*. Economica, Paris, 213 p. Version anglaise : http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/219/hdr_1990_en_complete_nostats.pdf (consulté le 25 janv. 2018)
- 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 (consulté le 25 janv. 2018)
- 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> (consulté le 25 janv. 2018)
- Van Staëvel E. (2006). *La pollution sauvage*. Coll. Partage du savoir, PUF, 191 p.
- Wackernagel M. and W. Rees, 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.