



HAL
open science

Typologie des impacts sur l'environnement, ou définir l'environnement

Robert Joumard

► **To cite this version:**

Robert Joumard. Typologie des impacts sur l'environnement, ou définir l'environnement. Liens entre inégalités socio-territoriales, santé et transport, Ifsttar-umrestte, Jul 2014, Bron, France. hal-01250455

HAL Id: hal-01250455

<https://hal.science/hal-01250455>

Submitted on 4 Jan 2016

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.

Typologie des impacts sur l'environnement, ou définir l'environnement

Robert JOUMARD*

* Directeur de recherche émérite, Ifsttar, Bron, France. robert.joumard@laposte.net

Résumé

Que signifie « environnement » ? Quels sont les impacts sur l'environnement ? Quelles en sont les caractéristiques ? Nous tentons tout d'abord de répondre à ces questions essentielles pour qui s'intéresse à la problématique environnementale d'une part à travers les approches globales puis plus détaillées de l'environnement – les impacts sur l'environnement – issues de la littérature, d'autre part à travers les schémas des interactions société - environnement. La conclusion assez insatisfaisante en termes de cohérence logique, de transparence, d'exhaustivité et de non redondance nous amène à partir du concept de chaîne de causalités, décrivant le processus allant de la source à l'impact final. Les paramètres en sont le type de source, le processus lui-même décrit comme une succession de relations cause à effet, le type de cible finale. Nous appliquons ce concept au champ des impacts sur l'environnement dus à l'activité de transport, ce qui permet de proposer une typologie très détaillée de ses impacts, sans que ceux-ci soient spécifiques aux transports. Cela nous permet surtout de donner une définition précise du terme environnement ou de la préoccupation environnementale. Nous définissons ainsi 49 chaînes de causalités, correspondant à différentes préoccupations publiques. Elles peuvent être regroupées en 27 chaînes agrégées et 8 groupes. Elles sont indépendantes et couvrent tous les impacts. Il apparaît que les classifications habituelles selon qualité de vie / patrimoine naturel, générations actuelles / futures, la réversibilité, ou local / mondial ne sont guère pertinentes.

Abstract

What does mean "environment"? What are the impacts on environment? What are their characteristics or typical features? We answer to these key issues for environmentalists by looking in the literature at the global and the more detailed approaches of the environment, and also through the schemes of interaction society-environment. The conclusion is far to be satisfactory in terms of logical coherence, transparency, comprehensiveness and no redundancy. Therefore we use the concept of chain of causalities, describing the process between a source and a final impact. The parameters of the chain of causalities are: the type of source, the process itself as a succession of cause-impact relationships, the type of final target. We apply this concept to the environmental impact of transport, enabling a highly detailed analysis of the types of impact, without them being transport-specific. This also enables a very precise definition of the term 'environment' and of environmental concerns. This method allows us to define 49 chains of causalities, corresponding to various public concerns. They are organized into a hierarchy of 27 aggregated chains and 8 groups. They are independent and cover all the impacts. It appears that the usual classifications according to quality of life / natural heritage, present / future generations, reversibility, or local / global are hardly pertinent.

Le terme d'environnement peut désigner toute espèce de contexte, notamment culturel, technique, ethnique, urbain, etc. Au sens du développement durable, l'acception du terme est plus restreinte. Elle est définie pour l'essentiel par les impacts des activités humaines sur cet environnement, par un ensemble de questions dont est chargé le ministère du même nom.

Au vu de l'évolution de la qualité de l'air telle que mesurée en France par les Associations agréées de surveillance pour la qualité de l'air, les spécialistes de pollution de l'air considèrent souvent que cette qualité s'est globalement améliorée au cours des trois dernières décennies, étant donnée l'évolution favorable des concentrations de la plupart des polluants mesurés. Cette appréciation ne correspond toutefois pas à la perception du public, qui considère en majorité, tout au moins en France, que la qualité de l'air n'a jamais été aussi mauvaise et problématique.

Cet exemple suggère la grande variété des points de vue sur la qualité de l'environnement et donc des concepts d'environnement selon les milieux. Nous nous proposons ici d'analyser les différents impacts sur l'environnement tels que pris en compte dans la littérature, en privilégiant la source transports que nous connaissons mieux, mais en cherchant toutefois à ne pas être spécifique à cette source (Joumard, 2011a et b).

Approches globales

L'OCDE (OECD, 2001a) différencie d'une part les critères de développement dont le volet environnemental traite du bien-être et de la santé liés à l'environnement pour la génération actuelle à travers la qualité de l'air, le bruit et la qualité de l'eau, d'autre part des critères de durabilité dont le volet environnemental traite des conditions qui permettent le développement à long terme à travers les ressources naturelles indispensables, les écosystèmes et la stabilité du climat. Ce second type de critère est souvent traité par les économistes sous forme d'un patrimoine naturel ou d'une ressource utilisée par les hommes pour produire des biens et des services économiques. Détruite, cette ressource peut se renouveler dans une certaine mesure : la problématique environnementale est alors une question de stock de ressources, de flux et de capacité de la biosphère à supporter les activités humaines. Perret (2005) propose une approche semblable, distinguant les flux (relatifs aux conditions de vie des générations présentes) des stock (relatifs aux conditions du développement futur). La distinction flux/stock est cependant assez simpliste : par exemple le bien-être et la qualité de l'environnement se transmettent partiellement et sont des conditions du développement futur ; surtout l'environnement ne peut se réduire à cette vision mécaniste, comme on le verra plus loin.

En parallèle, l'environnement est souvent compris comme la qualité de notre environnement physique ou la qualité de vie : un lieu calme, de l'air et de l'eau purs, un beau paysage... Il est alors difficile de ne considérer que des flux ou pressions.

Ces deux acceptions de l'environnement correspondent approximativement aux durabilités interne et externe des territoires de Wackernagel et Rees (1996) : la durabilité interne consiste à protéger son environnement direct et son cadre de vie, tandis que la durabilité externe consiste à protéger le monde.

Approches plus détaillées

La caractéristique de toutes ces définitions de l'environnement est d'être synthétiques et globales, et de ne pas être basées sur une analyse explicite des impacts ou des préoccupations en matière d'environnement, ce qui ne permet pas de décrire la problématique environnementale ou l'impact sur l'environnement d'une activité humaine. Une analyse exhaustive des impacts sur l'environnement est nécessaire pour présenter une vue d'ensemble, surtout si l'objectif est de déterminer les questions les plus importantes ou de définir les questions à prendre en compte lors d'une décision : comment identifier les points les plus importants sans analyser l'ensemble des points ?

Lorsque l'environnement est décrit de manière détaillée, ces descriptions sont généralement assez hétérogènes, structurées de manière souvent contestable, et souvent critiquables :

- Dans la littérature, les impacts pris en compte par les auteurs sont souvent le reflet de leur propre domaine de recherche ou d'une perception locale de la problématique environnementale ou écologique. Par exemple, la perte de visibilité au-dessus des agglomérations due à la pollution de l'air est souvent citée en Amérique du Nord, mais jamais en Europe, bien que les réalités physiques soient similaires.
- Dans la littérature économique, la problématique environnementale est souvent réduite aux gaz à effet de serre (cf. par exemple CE, 2009, p. 12) ou à quelques impacts bien connus, ou est réduite inconsciemment aux impacts pour lesquels des outils d'évaluation simples à utiliser sont disponibles, sans que ces simplifications soient justifiées ni même mentionnées.
- Les objectifs environnementaux de la mobilité durable, tels que présentés par exemple par des municipalités suédoises d'après Gudmundsson (2007, p. 37), mélangent souvent des objectifs primaires (la qualité de l'environnement par exemple), des objectifs secondaires qui devraient en être déduits (utiliser moins de ressources non renouvelables par exemple), et des objectifs en termes de solutions (plus utiliser les transports publics par exemple), sans que les différences en soient perçues et que les objectifs soient hiérarchisés logiquement. Il en est de même pour de nombreux rapports traitant de la dimension environnementale du développement durable qui mélangent des processus d'impact et des cibles (OECD, 2001b ; UN DESA, 2001 ; UNEP, 2004).
- Très souvent, la santé humaine, la sécurité ou l'occupation des sols sont mises en parallèle avec l'environnement, ce qui induit qu'ils n'en font pas partie (voir par exemple Wolfram, 2004 ; SSNC, 2006).
- Lardé et Zuindeau (2008) ne justifient pas le choix des 12 critères qu'ils utilisent pour établir les profils environnementaux et de politique environnementale de 21 pays. Ces 12 critères sont considérés comme également importants, dès leur définition, tandis que les outils statistiques utilisés éliminent les variables bien corrélées. Ainsi les émissions de CO et de CO₂, qui ne sont sans aucun doute guère corrélées, sont deux variables qui jouent le même rôle dans la définition de profils environnementaux, alors que le CO est aujourd'hui considéré comme un polluant très secondaire et le CO₂ comme un polluant majeur, et sans doute le paramètre source le plus important. Cela construit sans aucun doute une typologie, mais on ne voit pas bien de quoi.
- Il en est de même dans l'analyse de cycle de vie (ACV), mise au point pour évaluer l'impact sur l'environnement du cycle de vie d'un produit, d'un procédé ou d'un service, méthode bien établie, normalisée, qui inclut une phase d'évaluation des impacts où les impacts potentiels sont quantifiés et agrégés. Les impacts pris en compte sont très variables sans que le choix soit expliqué, ce qui rend difficiles les comparaisons entre méthodes et entre études.

En outre, si la plupart des études traitent bien d'environnement, elles ne traitent quasiment jamais de l'environnement, concept qui n'est jamais défini explicitement et précisément, dans sa globalité : certains impacts ou préoccupations sont pris en compte, d'autres ne le sont pas, sans que ce choix soit évoqué et encore moins justifié.

Par contre, Van Assche et al. (2008) ou Block et al. (2007), avant de définir près de 200 indicateurs de ville durable pour les agglomérations flamandes, insistent avec raison sur la nécessité de définir d'abord une vision matricielle pour une ville durable et viable, y compris une vision matricielle de l'environnement, ce qui est une approche système.

Schémas des interactions société – environnement

Les interactions société – environnement sont décrites dans la littérature sous différentes formes. Un rapport du PNUE (UNEP, 2006, p. 16) distingue trois schémas : le schéma DPSIR, l'approche

biogéophysique, et un troisième schéma qui considère les flux de capital naturel et les approches comptables, mesurant les intrants, les extrants et les stocks.

Le schéma DPSIR est un schéma causal décrivant ces interactions par le biais des forces motrices, pressions, états, impacts, et réponses (EEA, 2009a : cf. fig. 1). C'est une première tentative de description des chaînes de causalités menant aux impacts sur l'environnement, par le biais de pressions, d'un état intermédiaire entre la source et l'impact, et d'un impact unique. Une version antérieure du schéma DPSIR, le schéma PSR, ne prenait en compte que les pressions, états et réponses (EEA, 2009a). Cependant :

- Toute source ne peut être considérée comme une pression, à moins de donner à ce dernier terme une acception extrêmement vague. Ainsi, dans le cas des risques technologiques ou des incendies de forêts, l'élément déclencheur est souvent un dysfonctionnement ou une concomitance d'événements mineurs. Dans le cas des odeurs, la source n'est pas la présence de polluants odorants, assimilable à une pression, mais le gradient instantané de leur concentration, assimilable au taux de variation d'une pression dans le temps.
- Dans certains cas, il est impossible de distinguer pression et état ou état et impact. Ainsi dans le cas des impacts d'une infrastructure sur le paysage, l'infrastructure est à la fois la source de l'impact et l'impact lui-même ; la relation entre les caractéristiques de la source et l'impact n'a guère à voir avec un simple flux.
- Dans certains cas, la chaîne de causalités entre source et impact final est une succession de couples état-impact, comme pour les impacts du réchauffement climatique.

Une distinction parallèle est faite dans l'Évaluation des impacts du cycle de vie (Goedkoop et coll., 2009) entre un niveau intermédiaire appelé problème ou *midpoint* – comme l'acidification ou la modification du climat, et un niveau final appelé dommage ou *endpoint* – comme la détérioration de la santé humaine ou les dommages en termes de qualité des écosystèmes.

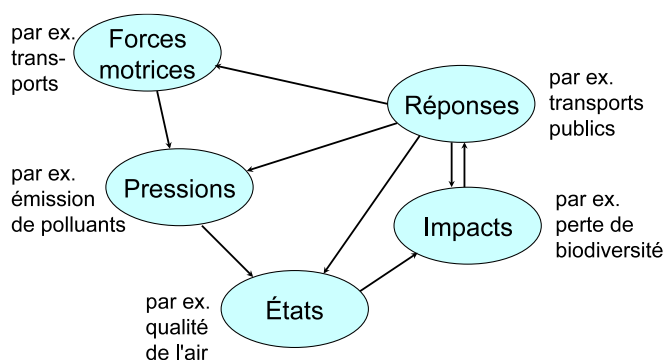


Figure 1 : Approche DPSIR et interactions entre ses éléments (EEA, 2009b)

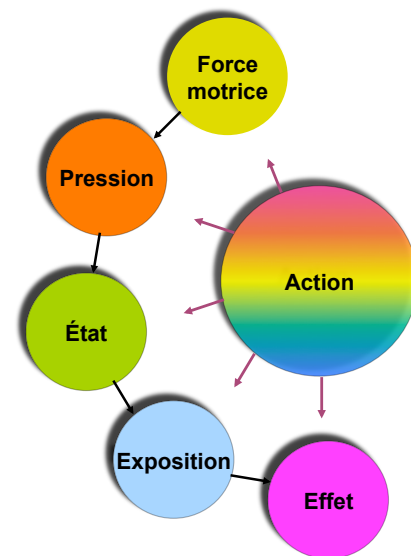


Figure 2 : Modèle DPSEEA d'après Corvalan et coll. (1996) et Briggs, (1999, p. 5)

Une autre tentative de description des interactions société – environnement est faite par Niemeijer et de Groot (2008) par extension du système DPSIR, en introduisant le concept de réseau causal : ils considèrent de multiples chaînes parallèles menant de la force motrice à une pression, un état, un impact et finalement une réponse ou action de la société, et incluent les interrelations entre les

différentes chaînes causales.

Le système DPSEEA est un autre système pour définir des indicateurs de santé environnementale proposé par l'OMS (Corvalan et coll., 1996 ; Briggs, 1999, p. 5). Il est semblable au système DPSIR, l'impact étant différencié entre exposition et effet, et les actions de la société pouvant influencer chacun des cinq éléments (cf. fig. 2). Il fait partie des indicateurs dits biogéophysiques axés sur les conditions et le processus des relations entre l'homme et l'environnement.

Il faut noter que ces schémas incluent les réponses de la société aux impacts sur l'environnement et sont donc plus larges que ces derniers.

Description précise des impacts environnementaux dans la littérature

Les impacts environnementaux ou écologiques sont souvent listés précisément dans la littérature sur les transports (par exemple USEPA, 1996 ; OECD, 1996 ; Swedish EPA, 1996 ; EC, 2001 ; OECD, 2002 ; EEA, 2002 ; Borken, 2003 ; Ahvenharju et coll., 2004 ; Goger, 2006 ; Calderon et coll., 2009 ; Joumard et Nicolas, 2010), dans des enquêtes d'opinion nationales (Boy, 2007) ou internationales (EC, 2008), comme dans la littérature portant sur d'autres domaines comme le bâtiment (Assefa et coll., 2007 ; Bunz et coll., 2006 ; Lippiatt et Boyles, 2001 ; Scheuer et coll., 2003). Leur définition n'est presque jamais claire ni précise. Les listes sont souvent hétérogènes, mélangeant sources, états intermédiaires de l'environnement comme la qualité locale de l'air, la qualité des eaux, impacts finaux sur l'environnement comme les impacts sur la santé, voire même des mesures prises pour améliorer la situation. Par exemple l'USEPA (1996) ou Ahvenharju et coll. (2004) listent essentiellement des pressions ou des conséquences premières du système de transport sur l'environnement, plutôt que des impacts sur l'environnement, bien que les premiers soient appelés impacts. Alors que certains impacts sont presque toujours mentionnés comme les changements climatiques, la pollution photochimique ou les impacts du bruit, d'autres sont rarement mentionnés comme l'érosion des sols, les vibrations, la pollution lumineuse, les risques hydrologiques et hydrauliques, les odeurs, les salissures ou la visibilité. L'obscurcissement, le risque d'incendie ou la pollution électromagnétique ne sont pas mentionnés du tout parmi les treize références étudiées. Certains impacts listés sont très larges, agrégeant de nombreux impacts sur l'environnement, comme la pollution de l'air ou la protection des sols et paysages. Des listes comme celle de la directive européenne (EC, 2001) recensent bien des impacts sur les cibles finales, mais avec des redondances comme biodiversité / faune et flore, ou population / santé humaine.

Goger (2006) donne la liste la plus précise, mais seulement en termes d'impacts liés aux émissions de polluants atmosphériques : les impacts sont différenciés selon leur chaîne de causalités, avec pour objectif que l'ensemble des impacts énumérés couvrent la totalité des impacts actuellement connus (exhaustivité), tout en évitant autant que possible les chevauchements (indépendance).

L'une des descriptions les plus structurées de l'environnement consiste à traiter cette question par le biais d'objectifs comme le propose Keeney (1992). Rousval (2005) et Rousval et Maurin (2008) ont appliqué cette méthode à l'environnement, et ont obtenu une hiérarchie d'objectifs. Cette liste est cependant assez hétérogène, mélangeant des cibles finales (faune, flore), des processus (effet de serre), et des impacts intermédiaires (appauvrissement des sols). Elle a cependant le grand avantage, comme l'approche de Van Assche et coll. (2008) ou Block et coll. (2007), d'utiliser une approche système, avec une logique claire.

Les impacts sur l'environnement dépendent cependant de la société en question. Ainsi une enquête de la Commission européenne, menée fin 2007 auprès de 26 730 Européens de plus de 15 ans en face à face, donne un éclairage sur le sens du terme environnement et sur les

principaux enjeux identifiés par les citoyens (EC, 2008). On voit que le sens du terme et les enjeux sont variables d'un pays à un autre et évoluent dans le temps. Le point de vue des Africains, des Asiatiques, des Sud ou Nord Américains a-t-il aussi de fortes chances d'être différent. Il faut en la matière se garder d'extrapoler des opinions bien évidemment très liées à la culture, à l'information disponible et au mode de vie de chacun. Lammel et Resche-Rigon (2007) montrent combien le concept d'environnement lui-même diffère entre des sociétés dont la pensée est plutôt holistique comme les sociétés Totonaque, Inuit ou Badui, et des sociétés individualistes ou analytiques comme les sociétés occidentales.

Dans les sociétés occidentales tout au moins, 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 (Brüggemeier, 2002 ; van Staëvel, 2006). Cette construction personnelle est aujourd'hui structurée par la vision du long terme.

Le concept de chaîne de causalités ou chaîne causale

Pour utiliser une approche système de l'environnement, couvrant tous les impacts sur l'environnement et tous les objectifs potentiels d'une politique environnementale, nous proposons d'élargir le schéma pression-état-impact ou le schéma état intermédiaire - état final au concept de mécanisme, processus ou chaîne de causalités entre une cause et un impact final (cf. fig. 3).

Une chaîne de causalités peut ainsi être définie comme un « processus homogène ou une série de processus homogènes entre une activité humaine et une cible finale des impacts sur l'environnement ».

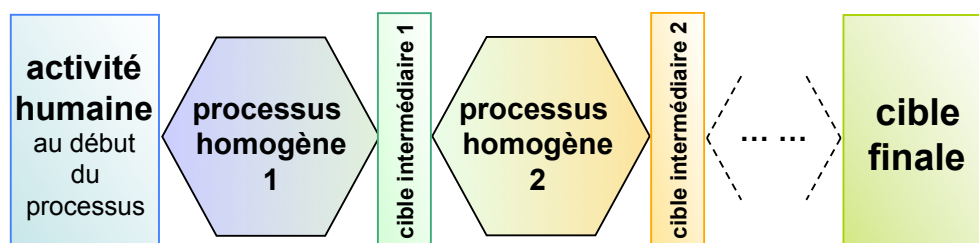


Figure 3 : Diagramme d'une chaîne de causalités

Ce concept offre la possibilité d'une succession de couples cause-impact. Un bon exemple est l'effet de serre : l'émission de gaz à effet de serre (GES) en est la cause initiale – même si on peut faire remonter la cause initiale beaucoup plus loin, à l'activité humaine émettant des GES comme les transports, voire aux paramètres sociaux générant des transports. Cette émission initiale augmente le forçage radiatif infrarouge par un phénomène physique, qui induit lui-même une augmentation de la température moyenne de l'atmosphère, ce qui modifie le climat à l'échelle mondiale et locale. Ces modifications du climat ont une incidence notamment sur l'agriculture et le niveau des mers, avec des impacts finaux sur l'ensemble de la biocénose, y compris les humains. Si une pression initiale peut aisément être définie (émissions de GES), on observe ensuite un grand nombre d'états intermédiaires et d'impacts successifs, chaque état intermédiaire étant la source d'un impact qui modifie lui-même un autre état intermédiaire.

Des impacts comme les odeurs, les salissures, la pollution photochimique, la perte de visibilité, la fragmentation de l'habitat, la qualité du paysage ou la perte du patrimoine culturel ne peuvent être expliqués selon un schéma mécanistique de flux et de capacité de charge : les phénomènes qu'ils recouvrent sont bien plus complexes, dépendent de systèmes (comme l'équilibre entre composants), font intervenir des valeurs (une même infrastructure de transport peut être

considérée comme valorisante ou dévalorisante selon son histoire et la culture de la population concernée)... Pour couvrir tous les impacts, le concept de chaîne de causalités doit donc être beaucoup plus large qu'un modèle de stock et de flux inspiré par la physique : tout processus peut être pris en compte, qu'il soit culturel, psychologique, psychophysique, biologique, chimique, ou bien sûr physique.

Les chaînes de causalités doivent décrire tous les impacts sur l'environnement, et en même temps éviter les chevauchements ou redondances : un même processus ne peut participer de deux chaînes. Par exemple, si nous considérons la chaîne odeurs et la chaîne effet sur la santé de la pollution photochimique, nous ne pouvons considérer en même temps une chaîne effets sur la santé de la pollution de l'air, car le bien-être (influencé par les odeurs) est une composante de la santé telle que définie par l'OMS et parce que la pollution photochimique est incluse dans la pollution de l'air. C'est la raison pour laquelle nous définissons une chaîne intitulée effets directs restreints des polluants atmosphériques sur la santé (chaîne 11) : direct exclut les polluants secondaires, et restreint exclut le bien-être.

INFRASTRUCTURE	Construction	ÉNERGIE	Production d'électricité	VEHICULE	Production
	Existence		Distribution d'électricité		Existence
	Maintenance		Production de carburant		Maintenance
	Destruction		Distribution de carburant		Destruction
Trafic = utilisation de l'infrastructure, d'énergie finale et du véhicule					

Tableau 1 : Typologie des principaux sous-systèmes des transports

Une chaîne de causalités peut être décrite par :

- Les éléments du champ de l'activité humaine (le système de transports ou tout autre secteur) qui est à l'origine du processus, avec une approche du cycle de vie, c'est-à-dire en considérant tous les processus nécessaires à cette activité au cours de son cycle de vie : extraction et traitement des matières premières nécessaires, production, distribution, utilisation, réutilisation, entretien et destruction du produit ou service concerné.

Le cycle de vie des transports se décompose en trois sous-systèmes principaux : les infrastructures, l'énergie utilisée, et le véhicule. Chacun d'eux comprend cinq phases du cycle de vie : production, existence, utilisation, entretien, et destruction. Globalement, cela donne treize sous-systèmes, car les utilisations de l'infrastructure, de l'énergie et du véhicule sont communes et correspondent au trafic : cf. tab. 1. Ces treize sous-systèmes peuvent être réduits à quatre, c'est-à-dire les trois sous-systèmes principaux dont on a extrait le trafic qui en forme le quatrième.

- Les cibles finales : Goger (2006) considère trois cibles (la nature, les humains, le patrimoine anthropique) et une pseudo cible, la terre. L'approche Eco-indicator (Brand et coll., 1998; Goedkoop et Spriemsma, 2001) inclut trois types de dommages finaux : les ressources, la qualité de l'écosystème, et la santé humaine. La santé (humaine) est définie par l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 1946) comme « un état de complet bien-être physique, mental et social, [qui] ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité ». Il est utile de distinguer la santé dans un sens restreint (absence de maladie ou d'infirmité) et son complément appelé bien-être humain, car les chaînes de causalités de ces impacts sont très différentes. Finalement nous obtenons la structure du tab. 2 avec six cibles : les ressources, les

écosystèmes (hors humains) – les deux formant la cible nature, la santé humaine restreinte, le bien-être humain – les deux formant la cible des humains ou de la santé humaine au sens de l'OMS, le patrimoine anthropique, et le globe.

- Les éléments intermédiaires, c'est-à-dire la chaîne de causalités entre l'activité humaine (comme les transports) et les cibles finales, qu'il faut décrire en détail.

Cibles		Pseudo cible
Nature	Ressources	Globe : Couvre toutes les cibles précédentes (nature, hommes, et patrimoine), dont leur environnement physique comme l'atmosphère et les océans
	Écosystèmes : Nature comprise comme un écosystème, c'est-à-dire l'association entre un environnement physico-chimique et abiotique (le biotope) d'une part, et les êtres vivants qui s'y développent (la biocénose)	
Hommes : Humanité, extraite de la nature et réduite à la santé telle que définie par l'OMS	Santé (humaine) : Au sens restreint	
	Bien-être humain	
Patrimoine anthropique : En distinguant patrimoine commun et patrimoine historique		

Tableau 2 : Typologie des cibles des impacts sur l'environnement

Le concept de chaîne de causalités nous permet de définir précisément l'expression impact sur l'environnement ou impact environnemental, et le terme environnement : quels sont les impacts sur l'environnement ? Quels sont les problèmes, les objectifs ? Quelles en sont les caractéristiques ?

Description des chaînes de causalités issues des transports

Selon cette structure, nous proposons 49 chaînes de causalités des impacts sur l'environnement, principalement dus au système de transport (tab. 3). Cette typologie est détaillée en termes de source, cible et processus, tandis que chaque chaîne est brièvement décrite dans Joumard et Gudmundsson (2010) dont on a extrait deux exemples tab. 4.

A. Bruit et vibrations

I. Bruit

- . Disparition de zones calmes (chaîne 1)
- . Gêne due au bruit (chaîne 2)
- . Effets du bruit sur la santé (sens restreint) (chaîne 3)
- . Effets du bruit sur la santé animale (chaîne 4)

II. Vibrations (chaîne 5)

B. III. Insécurité routière

- . Traumatismes humains routiers (chaîne 6)
- . Mortalité animale par collision (chaîne 7)

C. Pollution de l'air

IV. Pollution sensible

- . Odeurs (chaîne 8)
- . Salissures (chaîne 9)
- . Visibilité (chaîne 10)

V. Toxicité directe (restreinte) des polluants atmosphériques

- . Effets sanitaires directs restreints des polluants atmosphériques (ch. 11)

. Écotoxicité directe sur la faune et la flore des polluants de l'air (ch. 12)

VI. Pollution photochimique

. Effets sur la santé de la pollution photochimique (chaîne 13)

. Perte de productivité agricole due à la pollution photochimique (ch. 14)

. Écotoxicité sur la faune et la flore de la pollution photochimique (ch. 15)

. Dégradation du patrimoine culturel due à la pollution photoch. (ch. 16)

. (Effets secondaires : gaz à effet de serre, acidification)

VII. Acidification

. Écotoxicité, diminution de la biodiversité dues à l'acidification (ch. 17)

. Dégradation du patrimoine bâti et d'autres biens culturels due à l'acidification (chaîne 18)

VIII. Eutrophisation (chaîne 19)

IX. Obscurcissement (chaîne 20)

X. Diminution de la couche d'ozone

. Effets sur la santé du trou de la couche d'ozone (chaîne 21)

. Écotoxicité sur la faune et la flore du trou de la couche d'ozone (ch. 22)

D. Pollution du sol et de l'eau

XI. Pollution des sols, des eaux de surface et des nappes phréatiques

. Effets sur la santé des écosystèmes de la pollution des sols, des eaux de surface et des nappes phréatiques (chaîne 23)

. Effets sur la santé (humaine) de la pollution des sols, des eaux de surface et des nappes phréatiques (chaîne 24)

. Restriction des zones de loisir due à la pollution des sols et des eaux de surface (chaîne 25)

XII. Pollution marine

. Effets sur la santé des écosystèmes de la pollution marine, y compris la destruction des habitats par les sillages et ancres (chaîne 26)

. Effets sur la santé (humaine) de la pollution marine (chaîne 27)

. Restriction des zones de loisir due à la pollution marine (chaîne 28)

XIII. Régime des eaux et risques hydrauliques

. Modifications du régime des eaux (chaîne 29)

. Risques hydrauliques (chaîne 30)

E. Impacts liés à l'espace

XIV. Consommation d'espace

. Perte d'habitats naturels due à la consommation d'espace (chaîne 31)

. Dégradation des écosystèmes, perte de biodiversité, y compris par culture d'agrocultures, dues à la consommation d'espace (chaîne 32)

. Modification des zones de loisir due à la consommation d'espace (ch. 33)

. Perte de patrimoine culturel par consommation d'espace (chaîne 34)

XV. Effets de coupure

. Dégradation des écosystèmes, perte de biodiversité dues aux effets de coupure (chaîne 35)

. Réduction des accès pour la population due aux effets de coupure (chaîne 36)

XVI. Érosion des sols (chaîne 37)

XVII. Qualité du paysage (chaîne 38)

F. Consommation de matières premières non renouvelables et déchets

XVIII. Consommation de matières premières non renouvelables (chaîne 39)

XIX. Déchets non recyclables (chaîne 40)

XX. Déchets en bordure de route (chaîne 41)

G. XXI. Effet de serre (chaîne 42)

H. Autres impacts

XXII. Pollution électromagnétique

. Effet sur la santé (humaine) de la pollution électromagnétique (ch. 43)

. Effet sur la santé des écosyst. de la pollution électromagnétique (ch. 44)

XXIII. Pollution lumineuse (chaîne 45)

XXIV. Introduction d'espèces exotiques envahissantes (chaîne 46)

XXV. Propagation d'agents pathogènes (chaîne 47)

XXVI. Risques d'incendie (chaîne 48)

XXVII. Risques technologiques (chaîne 49)

Tableau 3 : Typologie des 49 chaînes de causalités, en 27 chaînes agrégées (I-XXVII) et 8 groupes (A-H)

Chaîne 9 « Salissures »

Les surfaces de notre environnement physique sont plus ou moins sales : c'est le résultat de la déposition sur ces surfaces de particules générées par l'activité humaine comme par des processus naturels. Cela dépend des caractéristiques de la surface et de la météorologie. Le trafic est responsable d'émissions directes de particules à l'échappement et par usure des pneus et d'autres composants, mais aussi de la remise en circulation mécanique de particules présentes sur le sol. Comme nuisance, cet impact dépend de paramètres psychophysiques et en premier lieu culturels. C'est une pollution sensible perçue essentiellement par la vue (De Boer et coll., 1987 ; Moch et Roussel, 2000).

Chaîne 11 « Impacts sanitaires directs restreints des polluants atmosphériques »

Au sens restreint du terme, la santé est l'absence de maladie ou d'infirmité. Un impact sanitaire est qualifié de direct quand il est dû aux polluants primaires (émis) et non à des polluants secondaires issus de transformations physico-chimiques des polluants primaires. Un impact direct des polluants sur la santé restreinte est donc une maladie directement liée à l'émission de polluants. Un groupe de travail du ministère de la Santé a sélectionné les composants dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires des infrastructures routières, après avoir considéré une très longue liste de polluants (Chiron et coll., 1996 ; Cassadou et coll., 2004 ; Krzyzanowski et coll., 2005). Un grand nombre de composants ont une incidence sur la santé. Ils sont surtout émis à l'échappement, mais aussi par évaporation du carburant. Les pneus et les autres composants du véhicule sont, avec la remise en circulation des particules déposées, d'autres sources de polluants de l'air. Ces polluants émis sont ensuite dispersés à proximité en fonction de la vitesse et de la direction du vent, de la topographie locale et de la stabilité atmosphérique. Au plan individuel, l'impact sanitaire se produit essentiellement lorsque les concentrations sont élevées, c'est-à-dire en cas de mauvaises conditions atmosphériques et à proximité des sources principales, et pour des groupes de personnes à risque (par exemple femmes enceintes, enfants, personnes âgées, mais aussi sujets atteints de certaines maladies). Au plan collectif, les concentrations sont bien plus faibles, mais les personnes exposées (ou les jours concernés) sont bien plus nombreuses. Cela induit que la plupart des impacts sanitaires en termes de santé publique sont attribuables à des jours ou lieux à concentrations assez faibles. L'impact en termes de santé publique ne dépend pas que de la concentration, mais aussi de la population exposée, du type de population exposée (groupes à risque), et de la toxicité de chaque polluant.

Tableau 4 : Description des chaînes 9 « Salissures » et 11 « Impacts sanitaires directs restreints des polluants atmosphériques » d'après Joumard et Gudmundsson (2010, p. 316)

Les chaînes sont indépendantes car il n'y a pas de double comptage (par exemple l'impact sanitaire restreint des polluants atmosphériques est partagé entre ceux qui sont dus aux polluants primaires – chaîne 11 – et ceux qui sont dus à des polluants photochimiques secondaires – chaîne 13). Elles couvrent en outre tous les impacts trouvés dans la littérature. La description des chaînes pourrait être plus détaillée, en partageant une chaîne en deux chaînes ou plus, si elle est considérée hétérogène en termes de mécanisme ou de cible. Des chaînes peuvent en outre avoir été oubliées.

Le nombre de catégories ne pouvant dans la pratique être trop élevé, certains impacts pourraient être agrégés ou des chaînes considérées comme mineures abandonnées. Comme il est primordial de donner aux futurs utilisateurs la possibilité de faire de telles simplifications, la structure en chaînes de causalités doit être aussi détaillée que possible : il est en effet beaucoup plus facile d'agréger ou d'abandonner des chaînes que d'ajouter ou de scinder des chaînes.

Une première tentative de construction d'une typologie ou de structure des 49 chaînes de causalités est de les agréger en 27 chaînes agrégées sans tenir compte de la dernière étape du processus, c'est-à-dire de la cible finale. Celles-ci peuvent ensuite être agrégées en 8 groupes, qui reprennent des typologies classiques et permettent une présentation plus aisée : cf. tab. 3.

Analyse des typologies macroscopiques

Comment se situent les 49 chaînes de causalités ainsi définies dans les descriptions globales de l'environnement que nous avons vues plus haut ? Ces dernières sont finalement de quatre types :

- selon l'axe cadre de vie / patrimoine naturel, avec deux catégories : V1 pour le bien-être, la qualité de vie, V2 pour les ressources indispensables à la vie, le patrimoine naturel,
- selon l'axe générations actuelles ou court terme (T1) / générations futures ou long terme (T2),
- selon la réversibilité, ou non, avec deux catégories : réversible (R1) ou irréversible (R2),
- selon le caractère local (G1) ou mondial (G2).

Quand on classe ces 49 chaînes de causalité selon V1/V2, T1/T2, R1/R2 et selon G1/G2, un certain nombre de chaînes ne peuvent être différenciées en fonction de ce classement binaire, car elles appartiennent aussi bien à la première catégorie qu'à la seconde, comme illustré fig. 4 pour les dimensions temporelle T (chaînes 6, 7, 40 et 46) et géographique G (chaîne 40). Il en est de même de la plupart des 27 chaînes agrégées. Par exemple, la plupart des impacts sur les écosystèmes appartiennent à V1 et V2, T1 et T2 ; les impacts sur le patrimoine culturel concernent les générations présentes et futures, etc.

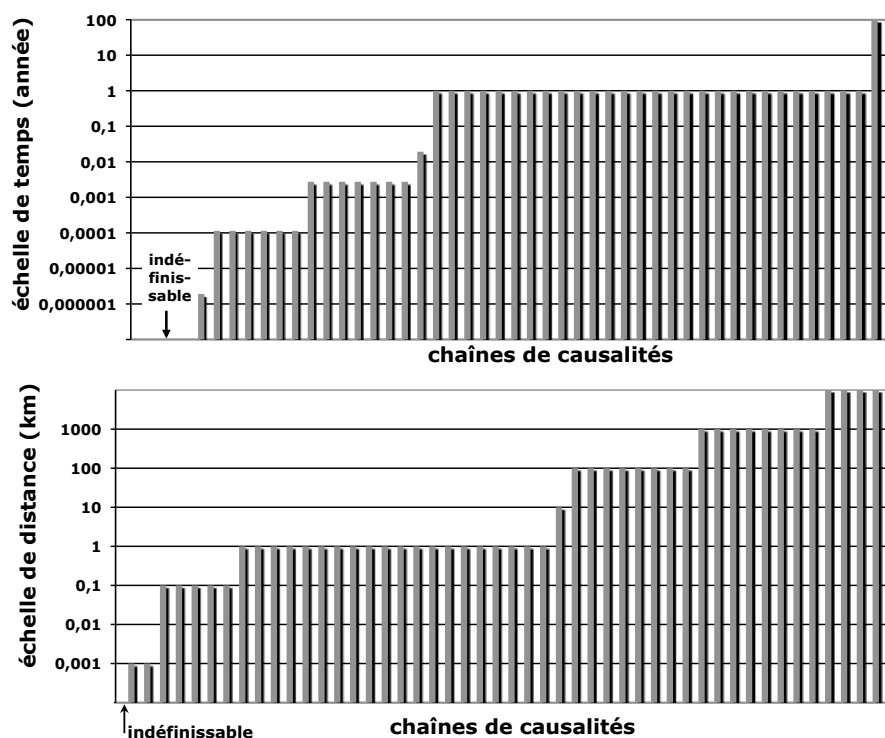


Figure 4 : Ordres de grandeur des échelles de temps et de distance des 49 chaînes de causalités, par ordre croissant d'échelle

Ces axes sont en fait plus continus que binaires. Ainsi pour l'échelle temporelle, entre le très

court terme (l'heure pour les odeurs ou l'effet hypoxique du monoxyde de carbone) et le très long terme (en milliers d'années pour les impacts de certains déchets nucléaires) se placent des impacts à temporalité moyenne très variable comme la pollution photochimique (jour), les salissures ou les risques hydrauliques (année)...

Quant au caractère irréversible, il doit être d'abord défini par rapport à son objet – d'une part pour les individus, d'autre part pour les espèces ou la société. Si l'on s'en tient au caractère irréversible pour la collectivité, c'est-à-dire une modification définitive de nos conditions de vie sur terre, là encore la dichotomie réversible / irréversible n'est qu'apparente : plusieurs chaînes d'impact, et non des moindres, ne sont ni totalement réversibles ni totalement irréversibles. Ainsi l'effet de serre est bien réversible, mais seulement au bout de quelques siècles : il est totalement réversible à l'échelle géologique, mais irréversible à échelle humaine.

L'échelle géographique enfin varie du très local (la centaine de mètres pour les odeurs) au mondial (la terre entière pour l'effet de serre), mais en passant par des impacts d'échelle moyenne comme la pollution photochimique (le millier de kilomètres).

Considérer les chaînes de causalités montre donc que les classifications globales discrètes ou binaires des impacts sur l'environnement ne sont guère pertinentes, puisque ces classifications ne peuvent caractériser certaines chaînes. La réalité est définitivement plus complexe que les approches globalisantes. Il n'en reste pas moins que les quatre axes V à G sont pertinents pour caractériser les impacts en tant que variables continues (plutôt que discrètes).

Conclusion

La description des impacts sur l'environnement d'une activité comme les transports par le biais d'une liste complète de chaînes de causalités nous permet tout d'abord de donner une définition précise du terme environnement. Cependant, dans la plupart des applications, cette liste de 49 chaînes est bien trop détaillée : les chaînes doivent alors être agrégées, ou certaines laissées de côté. La connaissance d'une liste exhaustive permet d'agréger ou de choisir en toute connaissance de cause. Cela constitue aussi une bonne base pour étudier la perception sociale de la problématique environnementale par enquête.

Le niveau de détail ou d'agrégation des chaînes de causalités présentées ici est cependant assez arbitraire. Ainsi la chaîne Effets sanitaires directs restreints des polluants atmosphériques pourrait être scindée entre les effets cancérigènes, mutagènes ou sur la reproduction, etc., comme nous l'avons fait pour construire un indicateur d'impact sanitaire (Lépicier et coll., 2013). La liste des chaînes de causalités ne doit donc pas être considérée comme définitive, mais plutôt comme une ébauche permettant d'explicitier le concept de chaîne.

L'approche chaîne de causalités ne tient pas compte d'interactions entre les chaînes bien qu'il puisse y en avoir. Par exemple, nous savons que les impacts psychophysiques ne sont pas indépendants (entre impacts dus aux odeurs, au bruit, à la qualité du paysage...). Plus généralement les mécanismes d'impacts différents mais touchant une même cible finale (les humains, ou les écosystèmes par exemple) réagissent les uns avec les autres. Néanmoins, considérer des chaînes indépendantes est une première étape avant de s'intéresser à d'éventuelles interactions.

Le cadre des chaînes de causalités devrait être un cadre d'analyse universellement valide. Les chaînes ont cependant été proposées pour couvrir les impacts sur l'environnement dans le seul domaine des transports. Bien que la plupart d'entre elles ne soient pas spécifiques aux transports, la même analyse devrait être menée dans d'autres secteurs d'activité tels que l'agriculture, la production d'énergie, l'industrie etc. pour obtenir un schéma réellement universel. Il pourrait être alors utilisé dans des méthodes et outils d'évaluation de la dimension environnementale du

développement durable des différents secteurs d'activité.

La principale limite à ce schéma est culturelle : il est certainement bien adapté aux sociétés occidentales, mais pourrait ne pas l'être aux sociétés asiatiques, africaines ou autres, où le concept d'environnement lui-même peut être fondamentalement différent, voir ne pas exister sous cette forme.

Références

- AFSSE, 2005. Avis de l'Afsse sur la téléphonie mobile. AFSSE, Maisons-Alfort, France, 7 juin 2005, 13 p. www.afsset.fr/upload/bibliotheque/497012767495214981898781396532/avis_telephonie_mobile_2005.pdf (consulté le 15 février 2010).
- Ahvenharju S., Könnölä T., van Grol R., Walker W., Klautzer L., Röhling W., Burg R., de Tommasi R., Arendt M., Steiner P., Bickel P. and De Ceuster G., 2004. Operationalising Sustainable Transport and Mobility: The System Diagram and Indicators. SUMMA Deliverable 3, Rand Europe report, The Netherlands, 104 p.
- Assefa G., Glaumann M., Malmqvist T., Kindembe B., Hult M., Myhr U. and Eriksson P., 2007. Environmental assessment of building properties—Where natural and social sciences meet: The case of EcoEffect. *Building and Environment*, vol. 42, Issue 3, p. 1458-1464. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.12.011>
- 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.
- Borken J., 2003. Indicators for sustainable mobility – a policy oriented approach. 1st Int. Symposium "Environment and Transport", Avignon, France, 19-20 June 2003, proceedings, n° 93, Inrets ed., Arcueil, France, p. 87-94.
- Boy P., 2007. Les représentations sociales de l'effet de serre - 8^e vague d'enquête. Rapport, RCB Conseil, Paris, 39 p.
- Brand G., Braunschweig A., Scheidegger A. and Schwank O., 1998. Weighting in Ecobalances with the ecoscarcity method – Ecofactors 1997. BUWAL (SAFEL) Environment Series, No. 297, Bern.
- Briggs D., 1999. Environmental health indicators: Framework and methodologies. WHO report, Geneva, WHO/SDE/OEH/99.10, 122 p. www.who.int/ceh/publications/cehframework/en/index.html (consulté le 15 février 2011).
- Brüggemeier F.J., 2002. Le dépérissement de la forêt (Waldsterben) : construction et déconstruction d'un problème d'environnement. In Bernhardt C. et Massard-Guilbaud G. (dir.), *Le Démon Moderne : La pollution dans les sociétés urbaines et industrielles d'Europe*. Presses universitaires Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand, France, p. 75-90.
- Bunz K.R., Henze G.P. and Tiller D.K., 2006. Survey of Sustainable Building Design Practices in North America, Europe, and Asia. *J. Arch. Engrg.*, vol. 12, n° 1, p. 33-62. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0431\(2006\)12:1\(33\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0431(2006)12:1(33))
- Calderon E., Pronello C. and Goger T., 2009. Integrated assessment of environmental impact of traffic and transport infrastructure. COST 350 final report, Univ. Politécnica Madrid, ISBN 978-84-7493-401-4, 405 p.
- Cassadou S., Nicoulet I., Noppe J., Chiron M., Rouhan A., Barneaud A., Bassi C., Calovi L., Vinot J.-P. et Desqueyroux H., 2004. Selection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières. Ministère Santé, DGS, Paris, 77 p et 163 p (annexes). www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/etud_impact/rapgt_ei52.pdf et www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/etud_impact/axgt_ei52.pdf (consultés le 15 février 2011).
- CE, 2009. Un avenir durable pour les transports – vers un système intégré, convivial et fondé sur la technologie. Commission européenne, DG énergie et transports, Bruxelles, 26 p.
- Chiron M., Donati J., Festy B., Quenel P., Zmirou D., Bignon J., Deloraine A., Elichegaray C., Gonnet F.F., Jouan M., Lafon D., Le Moulec Y., Medina S., Momas I., Pichard A., Stroebel R. et Wallaert B.,

1996. La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique : Bilan de 15 ans de recherche internationale. Société française de santé publique, Paris, 4, 251 p.
- Corvalan C., Briggs D. and Kjellstrom T., 1996. Development of environmental health indicators. In Briggs D., Corvalan C. and Numinen M., Linkage methods for environmental and health analysis. General guidelines. UNEP, USEPA and WHO report, Geneva, p. 19-53. Cité par Briggs, 1999, p. 5.
- De Boer J., Van der Linden J. and Van der Pligt J., 1987. Air pollution, annoyance and coping. Proc. Int. Symp. "Environmental annoyance: Characterisation, measurement, and control", Amsterdam, The Netherlands, 15-18 Sept., 1986, Oxford Elsevier Science Pub., p. 165-174.
- EC, 2001. Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32001L0042:EN:HTML> (consulté le 15 février 2011).
- EC, 2008. Attitudes of European citizens towards the environment. EC report, Brussels, 92 p. http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_295_en.pdf (consulté le 15 février 2011).
- EEA, 2002. Paving the way for EU enlargement - Indicators of transport and environment integration - TERM 2002. European environment agency, Environmental Issue Report, N° 32, Copenhagen, 64 p. www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2002_24 (consulté le 15 février 2011).
- EEA, 2009a. Glossary. European Environment Agency. <http://glossary.eea.europa.eu/EEAGlossary/D/DPSIR> (consulté le 15 février 2011).
- EEA, 2009b. www.eea.europa.eu/about-us/documents/images/image118.gif (consulté le 15 février 2011).
- Goedkoop M. and Spriensma R., 2001. The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment, Methodology report. Report, nr 1999/36A, 3rd ed., PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands, 144 p. www.pre.nl/download/EI99_methodology_v3.pdf (consulté le 15 février 2011).
- Goger T., 2006. Un indicateur d'impact environnemental global des polluants atmosphériques émis par les transports. Thèse, Insa Lyon, 28 nov. 2006, et rapport Inrets, n LTE 0633, Bron, France, 283 p. <http://cost356.inrets.fr/> (consulté le 15 février 2011).
- Gudmundsson H., 2007. Sustainable Mobility and incremental change – Some building blocks for IMPACT. Report, Danish Transport Research Institute, Copenhagen, 79 p.
- Hours M., Aran J.M., Azoulay A., Buser P., Couturier F., Debouzy J.C., Lagroye I., Terre M., Vecchia P. et Veyret B., 2005. Rapport à l'AFSSE sur téléphonie mobile et santé. AFSSE, Maisons-Alfort, France, 128 p. www.afsset.fr/upload/bibliotheque/184632204692143805342647948037/telephonie_mobile_2005.pdf (consulté le 15 février 2011).
- Joumard R., 2011a. Durable ? Éd. Ifsttar, Recherches R284, Bron, France, 292 p. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00637532/fr/>
- Joumard R., 2011b. 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. 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://cost356.inrets.fr/pub/reference/reports/IndicatorsESTMay2010.pdf> and <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00492823/fr/>
- Joumard R. and Nicolas J.-P., 2010. Transport project evaluation methodology within the framework of sustainable development. *Ecological Indicators*, vol. 10, n° 2, p. 136-142. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.04.002>
- Juan S., 2005. Historicité du développement durable. 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. 69-81.
- Keeney R.L., 1992. Value-focused thinking. A path to creative decision-making. Harvard University Press, Cambridge, London, 416 p.

- Krzyzanowski M., Kuna-Dibbert B. and Schneider J. (Eds), 2005. Health effects of transport-related air pollution. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, 190 p.
www.euro.who.int/document/e86650.pdf (consulté le 15 février 2011).
- Lammel A. et Resche-Rigon L., 2007. La pollution atmosphérique comme objet cognitif : diversité des perceptions. In L. Charles, P. Ebner, I. Roussel and A. Weill Évaluation et perception de l'exposition à la pollution atmosphérique, la Documentation française, Paris, p. 71-84.
- Lardé P. and Zuindeau B., 2008. Théorie de la régulation et développement durable : analyse de la diversité nationale des profils environnementaux et des politiques environnementales. 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.
- 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>, <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00916521>
- Lippiatt B.C. and Boyles A.S., 2001. Using BEES to select cost-effective green products. *Intern. J. Life Cycle Assessment*, vol. 6, n° 2, p. 76-80. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02977841>
- Moch A. et Roussel I., 2000. Représentation et évaluation de la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Dunkerque. Rapport APPA, Lille, France, 82 p.
- Niemeijer D. and de Groot R.S., 2008. Conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indicators*, vol 8, p. 14-25.
- OECD, 1996. Environmental criteria for sustainable transport: Report on phase 1 of the project on Environmentally Sustainable Transport (EST). Organisation for Economic Cooperation and Development report, OECD/GD(96), Paris, 96 p.
- OECD, 2001a. Sustainable Development: Critical Issues. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 420 p.
- OECD, 2001b. OECD environmental indicators: Towards sustainable development. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris. Cité par UNEP, 2006, p. 54.
- OECD, 2002. Impact of Transport Infrastructure Investment on Regional Development. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 151 p.
www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/02RTRinvestE.pdf (consulté le 15 février 2011).
- OMS, 1946. Préambule à la Constitution de l'Organisation mondiale de la santé, tel qu'adopté par la Conférence internationale sur la Santé, New York, 19-22 juin 1946.
- 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.
- Rousval B., 2005. Aide multicritère à l'évaluation de l'impact des transports sur l'environnement. Thèse de doctorat, Univ. Paris IX Dauphine-Lamsade, Paris.
- Rousval B. and Maurin M., 2008. Évaluation de l'impact des transports sur l'environnement : quels modèles utiliser ?. *Rech. transp. sécurité*, n° 100, p. 169-184.
- Scheuer C., Keoleian G.A. and Reppe P., 2003. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. *Energy and Buildings*, vol. 35, issue 10, p. 1049-1064. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00066-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00066-5)
- SSNC, 2006. Website of Swedish Society for Nature Conservation. www.snf.se/snf/english/english-sust-transport.htm. Cité par Gudmundsson, 2007 (consulté le 1^{er} nov. 2006).
- Swedish EPA, 1996. Towards an environmentally sustainable transport system. Swedish EPA report, Stockholm, n° 4682, 52 p.
- UN DESA, 2001. Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies. UN Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development. Cité par UNEP, 2006, p. 48.
www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/indisd/indisd-mg2001.pdf (consulté le 15 février 2011).

- UNEP, 2004. GEO indicators: GEO year book 2003. United Nations Environment Programme, Global Environment Outlook. Cité par UNEP, 2006, p. 48. www.unep.org/yearbook/2003/103.htm (consulté le 15 février 2011)
- UNEP, 2006. Environmental Indicators for North America. UNEP-DEWA report, Nairobi, 160 p.
- USEPA, 1996. Indicators of environmental impacts of transportation - Highway, Rail, aviation and maritime transport. USEPA report, 230-R-96-009, Washington, 268 p.
- 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 Staëvel E., 2006. La pollution sauvage. Coll. Partage du savoir, PUF, Paris, 191 p.
- 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.
- WHO, 2000. Electromagnetic fields and public health: mobile telephones and their base stations. Fact sheet 193. www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/ (consulté le 15 février 2011).
- Wolfram M. (ed.), 2004. Expert Working Group on Sustainable Urban Transport Plans. Final Report. Deliverable D4, Rupprecht Consult, Cologne, Germany, 6 Dec. 2004.