



**HAL**  
open science

## Revue méthodologique des meilleures études d'impact sur la santé

Maxime Rigaud

► **To cite this version:**

Maxime Rigaud. Revue méthodologique des meilleures études d'impact sur la santé. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-03004036

**HAL Id: dumas-03004036**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03004036>**

Submitted on 13 Nov 2020

**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.

## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance.

La propriété intellectuelle du document reste entièrement celle du ou des auteurs. Les utilisateurs doivent respecter le droit d'auteur selon la législation en vigueur, et sont soumis aux règles habituelles du bon usage, comme pour les publications sur papier : respect des travaux originaux, citation, interdiction du pillage intellectuel, etc.

Il est mis à disposition de toute personne intéressée par l'intermédiaire de [l'archive ouverte DUMAS](#) (Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance).

Si vous désirez contacter son ou ses auteurs, nous vous invitons à consulter la page de DUMAS présentant le document. Si l'auteur l'a autorisé, son adresse mail apparaîtra lorsque vous cliquerez sur le bouton « Détails » (à droite du nom).

Dans le cas contraire, vous pouvez consulter en ligne les annuaires de l'ordre des médecins, des pharmaciens et des sages-femmes.

Contact à la Bibliothèque universitaire de Médecine  
Pharmacie de Grenoble :  
[bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr)

Année : 2020

REVUE METHODOLOGIQUE DES MEILLEURES ETUDES D'IMPACT SUR LA  
SANTÉ

THÈSE  
PRÉSENTÉE POUR L'OBTENTION DU TITRE DE DOCTEUR EN MÉDECINE  
DIPLOME D'ÉTAT

Maxime RIGAUD

[Données à caractère personnel]

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE  
GRENOBLE

Le :26/10/2020

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE

Président du jury :

M. Jean-Luc BOSSON

Membres :

M. Rémy SLAMA (directeur de thèse)

M. Alexandre MOREAU-GAUDRY

M. Jean-Marc YVON

M. Arnaud SEIGNEURIN

*L'UFR de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.*

Maxime RIGAUD

## REVUE METHODOLOGIQUE DES MEILLEURES ÉTUDES D'IMPACT SUR LA SANTÉ

### RÉSUMÉ :

L'approche des *études d'impact sur la santé* s'est développée pour traduire quantitativement l'effet attendu des politiques, plans ou projets sur la santé de la population concernée.

Notre objectif était de faire une revue méthodologique des études d'impact sanitaire. Pour ce faire nous avons étudié de manière non-systématique la littérature scientifique et grise avec un approche "état de l'art".

Les études d'impact sur la santé contiennent typiquement les étapes de Projection, Cadrage, Analyse et Rapport. Les points clés de ces différentes étapes sont d'établir la liste exhaustive des facteurs environnementaux liés à l'intervention, de choisir pertinemment la fonction exposition-réponse associée à chacun des facteurs et de produire une analyse de sensibilité complète. De façon inconstante, elles incluent des étapes d'analyse socio-économique, d'analyse de sensibilité et d'évaluation. Leur résultat est ensuite rendu sous une forme quantitative ou qualitative. A certaines de ces étapes, notamment la projection et le rapport, une approche participative peut être envisagée. Les problèmes rencontrés lors de l'étude peuvent être le manque de disponibilité des fonctions exposition-réponse, la nécessité de prendre en compte simultanément plusieurs facteurs causalement liés entre eux et obtenir un résultat utile

malgré les incertitudes parfois fortes. De plus, la terminologie floue avec la profusion de différents acronymes peut limiter la création d'un consensus nécessaire.

Les défis à venir sont de proposer une approche quantitative formelle et de standardiser la prise en charge des facteurs d'exposition multiples causalement liés.

**MOTS CLÉS** : Étude d'impact sur la santé ; Santé Publique ; Revue Méthodologique ; HERA ; Europe ; Environnement

**FILIÈRE** : Médecine – Santé Publique

Maxime RIGAUD

## REVIEW OF THE STATE OF THE ART IN HEALTH IMPACT ASSESSMENT METHODOLOGIES

### SUMMARY:

Numerous aspects of human life affect health, notably the environment and public policy. In order to quantify this influence at the scale of populations, the health impact assessment approach was developed to translate the measures of associations available into something more meaningful for public policies.

Our aim was to review the methodology of health impact assessment studies. To do this, we performed a non-systematic review of the scientific literature with a state-of-the-art approach.

Health impact assessment studies typically follow the steps of Screening, Scoping, Assessment and Reporting. The key steps are to establish an exhaustive list of environmental factors influenced by the policy, to choose the exposure-response function associated to each factor-outcome pair and to produce a full uncertainty analysis. Inconsistently, it includes the steps of socio-economic analysis, uncertainty analysis and evaluation. The outcome of the study will either be quantitative or qualitative. At certain steps, notably Screening and Reporting, community and stakeholder participation is possible. Key issues are the availability of the exposure response functions, the necessity to take into account, simultaneously, several factors with inter-relations, and to obtain a useful result despite the possibly strong

uncertainties. Furthermore, confusing terminology with numerous acronyms can impede a necessary consensus.

Pending issues include proposing a formal approach to the quantitative handling of the level of evidence and other technical issues related to the simultaneous consideration of several exposures in particular when some of these exposures are causally related.

**KEY WORDS:** Health Impact Assessment ; Public Health ; Methodological review ; HERA ; Europe ; Environment

**FACULTY:** Medicine – Public Health

## Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier ensemble mes parents qui ont créé chez moi cette envie d'aider les autres et m'ont partagé leur passion pour la médecine.

Mon père, pour m'avoir permis de me délester de mes fortes émotions dues aux diverses situations géopolitiques de ces dernières années.

Ma mère pour son amour fort et son soutien quotidien pendant mon externat.

---

Et maintenant par ordre alphabétique pour ne pas faire de jaloux, je remercie :

Benoît pour avoir été un colocataire de qualité, pour ses imitations hilarantes et pour me rappeler quotidiennement que l'exercice clinique ou chirurgical de la médecine est chronophage et épuisant.

Hugues pour cette amitié si singulière, pour nos discussions passionnées (c'est le moins qu'on puisse dire) et pour être un fidèle compagnon de jeux en ligne depuis 15 ans.

Julien pour être un "cousain" hors pair et pour avoir agrémenté mes études de nombreuses parties de jeux vidéo coopératifs en ligne et de discussions diverses et intéressantes.

Mathilde pour me permettre de rester sur terre, pour son amour fort ces 18 derniers mois et pour d'innombrables moments de paix, de joie et de rire.

Marie-Alix pour sa joie de vivre qu'elle partage avec tant d'aisance et pour ces innombrables moments de vie qu'il m'est impossible de caractériser en deux lignes.

Olivier pour 30 années de fraternité complexes mais heureuses qui ont grandement influencé ma vie et font intégralement partie de mon cheminement.

Poéma pour ces précieux moments en famille, pour son soutien moral quand j'en ai eu besoin et pour notre lien fraternel qui ne peut que se renforcer.

Thibault pour ses visites impromptues durant l'externat, son amitié inébranlable et les nombreux souvenirs (très ennuyants) de soirée médecine.

Yves pour son amitié depuis 20 ans, pour m'avoir soutenu dans les moments les plus sombres de ma vie et pour sa franchise qui me permet de me remettre en cause.

Wandrille pour nos discussions scientifiques et sociales, pour rendre ma meilleure amie heureuse et pour la relecture et le travail de correction de ce document.

Mes potes de G33KLAND pour m'avoir permis de passer une dizaine de weekends improbables à jouer ensemble dans la même pièce puis à rire autour d'un verre ou d'un plateau de fromage et de charcuterie.

---

Je remercie également :

Rémy Slama pour m'avoir permis de rejoindre le projet HERA, pour m'avoir rapidement fait confiance, pour m'avoir beaucoup appris, pour ses compliments sur mon travail qui m'ont permis de garder confiance en moi et enfin pour avoir dirigé cette thèse.



Mes actuels et anciens co-internes Alex, André, Anne-Marie, Aurélie, Aurore, Carola, Émilie, Fabiana, Fanny, Lucie, Meghann, Othmane, Paul, Théo, Val pour les agréables repas et cafés à l'internat et pour les "apéros santé pub".

Mes "chefs" Alexandre, Anne-Marie et Bastien, ce dernier en particulier pour avoir coanimé les séminaires du service sanitaire.

Mes chefs de DES Patrice François, Arnaud Seigneurin, José Labarère, Alexandre Moreau-Gaudry et Caroline Landelle.

Les internes du reste de la France pour avoir partagé leur passion de la santé publique.

Sandrine Mercier, Gaëlle Bal et Damien Delaunay pour m'avoir aidé dans mes premiers pas de l'internat de santé publique et pour leur accueil chaleureux.

Jean-François Blatier pour m'avoir initié à Stata avec patience et pour nos discussions professionnelles passionnantes.

Christine Lequette pour sa joie de vivre professionnelle et pour m'avoir initié à l'étrange monde de l'administration française et plus particulièrement de l'Éducation Nationale.

Agnès Crociati pour ses explications et nos discussions autour de l'école, l'enfant et j'en passe.

Gaëlle Vareilles pour m'avoir fait découvrir une autre facette de l'administration et pour son esprit positif et pour m'avoir inclus pleinement dans ses projets professionnels.

Toutes les secrétaires, paramédicales, TIM, etc. pour m'avoir aidé dans mon travail, pour m'avoir fait rire et m'avoir permis de décompresser quand j'en avais besoin.

---

Et enfin, je remercie :

Le Collège de Liaison des Internes en Santé Publique (Clisp) pour ses séminaires qui m'ont initié à la santé publique pour ensuite développer mes connaissances.

Le Dr Jean-Louis Chiapello pour m'avoir repositionné les dents pendant ma 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> année d'internat, non sans douleur, et pour le professionnalisme remarquable de son équipe.

Ma psychologue pour m'avoir aidé à traverser ce chemin semé d'embûches.

La London School of Hygiene and Tropical Medicine pour les cours de qualité de son Master de Politiques de Santé Mondiale à distance et pour les nouvelles perspectives que j'ai développées via celui-ci.

Wikipédia pour m'avoir tant permis de m'instruire et pour avoir répondu à de nombreuses interrogations.

Alexandra Elbakyan pour m'avoir permis d'accéder à la connaissance scientifique quand ni les moyens légaux de l'Inserm ou de la LSHTM ne le permettaient.

Les gens qui sourient dans la rue.

Et enfin, la COVID, sans quoi cette thèse aurait été de meilleure qualité et, surtout, rendue dans les temps.

Thèse d'exercice de Docteur en Médecine  
de M. Maxime RIGAUD

Dirigée par le Dr. Rémy Slama

# Revue méthodologique des meilleures études d'impact sur la santé

Travail réalisé dans le cadre du projet européen  
*Health-Environment Research Agenda for Europe*

## Résumé

Les avancées de la recherche en santé publique et notamment en épidémiologie ont démontré que la santé est affectée par de nombreux aspects de la vie humaine, dont l'environnement et les politiques publiques, directement ou par des mécanismes complexes. Afin de quantifier cette influence à l'échelle des populations, durant les dernières décennies, l'approche des *études d'impact sur la santé* s'est développée pour traduire quantitativement l'effet attendu des politiques, plans ou projets sur la santé de la population concernée.

Notre objectif était de faire une revue méthodologique des études d'impact sanitaire. Pour ce faire nous avons étudié de manière non-systématique la littérature scientifique et grise avec un approche "état de l'art".

Les études d'impact sur la santé contiennent dans la majorité des cas les étapes de Projection, Cadrage, Analyse et Rapport. Les points clés de ces différentes étapes sont d'établir de façon exhaustive la liste de facteurs environnementaux ou autres liés à l'intervention, de choisir pertinemment la fonction exposition-réponse associée à chacun des facteurs et de produire une analyse de sensibilité intégrant toutes les incertitudes. De façon inconstante, elles incluent des étapes d'analyse socio-économique, d'analyse de sensibilité et d'évaluation à posteriori. Leur résultat, l'impact

sur la santé (et éventuellement le coût économique associé), est ensuite rendu sous une forme quantitative ou qualitative (fort, moyen, faible, etc.). A certaines de ces étapes, notamment la projection et le rendu des résultats, une approche participative peut être envisagée. Les problèmes rencontrés lors de l'étude peuvent être le manque de disponibilité des fonctions exposition-réponse, la nécessité de prendre en compte simultanément plusieurs facteurs causalement liés entre eux et obtenir un résultat utile malgré les incertitudes parfois fortes. De plus, la terminologie floue avec la profusion de différents acronymes peut limiter la création d'un consensus nécessaire.

L'état de l'art est souvent représenté par les études quantitatives, celles-ci ne sont pas réalisables en toute circonstances, que ce soit par manque de moyen ou parce que les facteurs étudiés sont médiés par des comportements humains. Cependant cela n'excuse en rien le trop grand nombre d'études d'impact sanitaire réalisées dans des conditions médiocres, bien souvent sans analyse de sensibilité. Les défis à venir sont de confronter les approches d'évaluation des risques avec celles reposant sur des données toxicologiques, de proposer une approche quantitative formelle et enfin de standardiser la prise en charge des facteurs d'exposition multiples causalement liés.

La situation actuelle, où nombre d'études sont réalisées avec une qualité faible qui remet en cause les résultats, nécessite de nouvelles lois imposant leur réalisation avec une méthode dans les règles de l'art décrites dans ce document.

## Table des matières

Table des matières .....	10
1. Introduction .....	12
2. Objectifs et méthodes .....	16
3. Résultats .....	17
1. Généralités .....	17
2. Les étapes des Évaluations d'Impact sur la Santé .....	20
A. Planification.....	21
B. Analyse.....	27
C. Analyse de sensibilité.....	41
D. Rapport/recommandation et évaluation.....	41
4. Discussion.....	42
5. Conclusion .....	43
6. Références.....	45
7. Annexe : Autres revues de la littérature sur les EIS.....	48

## Liste des sigles

EIS : Étude d'impact sur la santé

ERS : Évaluation des Risques Sanitaires

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

DALY : Disability Adjusted Life Years, ou Espérance de vie corrigée sur l'incapacité

GBD : Global Burden of Disease Study, ou étude du fardeau mondial des maladies

HERA : Health Environment Research Agenda

HIA : Health Impact Assessment

UE : Union Européenne

PAF : Population attributable Fraction, ou Fraction attribuable au risque pour la pop.

BD : Burden of Disease, ou Fardeau de la maladie

RR : Risque Relatif

ERF : Exposure-Response Function, ou Fonction exposition-réponse

# 1. Introduction

L'environnement humain est l'ensemble des conditions naturelles et culturelles susceptibles d'agir sur les organismes vivants et les activités humaines. Il impacte la santé humaine, dans la définition de l'Organisation Mondiale de la Santé de 1948, via de nombreux facteurs. Lorsqu'un facteur influençant notre santé est identifié (typiquement, sous la forme d'une relation exposition-réponse caractérisée par exemple par un risque relatif ou odds-ratio), il peut être pertinent de traduire cette influence à l'échelle de la population (Figure 1), sous la forme d'un impact. Cet *impact* correspond au nombre de cas d'une ou des pathologies attribuables à l'exposition (ou à une intervention modifiant son niveau) et est généralement plus parlant, notamment pour les décideurs, qu'un risque relatif\*. C'est le but des évaluations de risque sanitaire (ERS) et des études d'impact sur la santé (EIS).

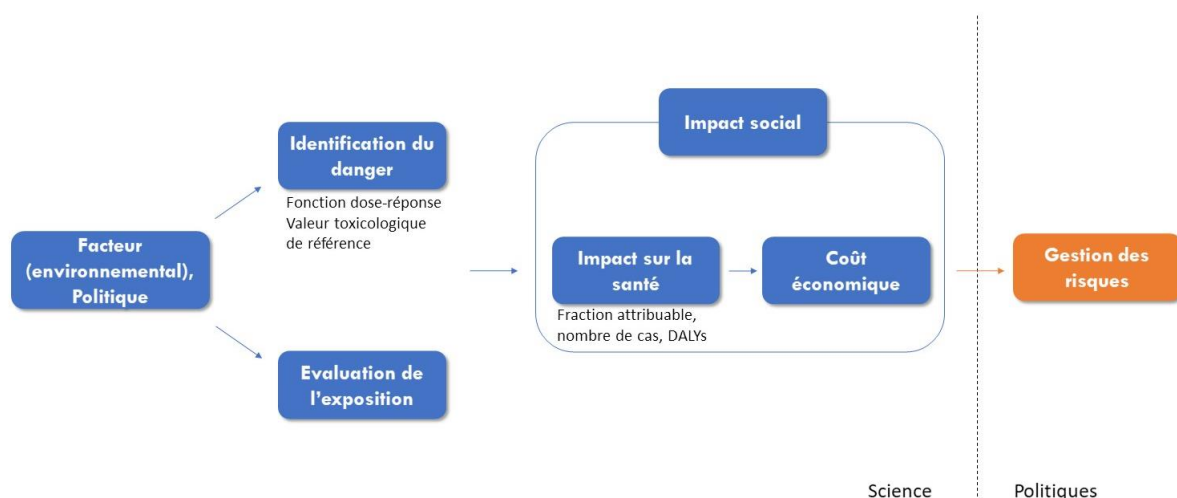


Figure 1 : Processus de gestion des risques dans les études d'impact sur la santé

\* Notamment parce qu'un risque relatif élevé peut se traduire par un faible nombre de cas à l'échelle de la population (si la fréquence d'exposition est faible) et, symétriquement, parce qu'un risque relatif faible peut correspondre à un impact élevé, dans le cas où la fréquence d'exposition est grande (cas de la pollution atmosphérique particulaire en France).

Les ERS traduisent un effet identifié en risque ou impact, qui sont des connaissances utiles à l'élaboration de futures politiques, alors que les EIS partent des politiques plutôt que des risques pour faire évaluer l'impact. Par exemple, lors de l'évaluation de l'impact de la pollution sonore sur la santé, l'ERS comparera un niveau actuel à un niveau plus bas qui promouvra la diminution de la pollution sonore, tandis que l'EIS pourra considérer un projet de pose de mur anti-bruit aux abords d'une voie rapide à la circulation dense et l'ampleur de ses bénéfices sur la santé due à la diminution de la pollution sonore.

Lorsqu'il s'agit de donner une définition aux EIS on utilise classiquement celle de la conférence de Gothembourg de 1999<sup>1</sup> : "Une combinaison de procédures, méthodes et outils afin de juger les effets potentiels d'une politique ou d'un projet sur la santé d'une population, et la distribution de ces effets parmi cette population."

Du point de vue méthodologique, les EIS présentent de fortes similitudes avec les ERS, lors de la phase de détermination de l'impact sur la santé. En effet, comme le montre la Figure 2, les impacts (bénéfiques ou négatifs) sur la santé associés à une politique peuvent être assimilés au risque environnemental d'une évaluation des risques. Par exemple, une évaluation des risques de la pollution de l'air actuelle comparée aux niveaux recommandés par l'OMS utilisera une méthodologie similaire voire identique à une EIS cherchant à évaluer une politique visant à abaisser la pollution à ce même niveau.

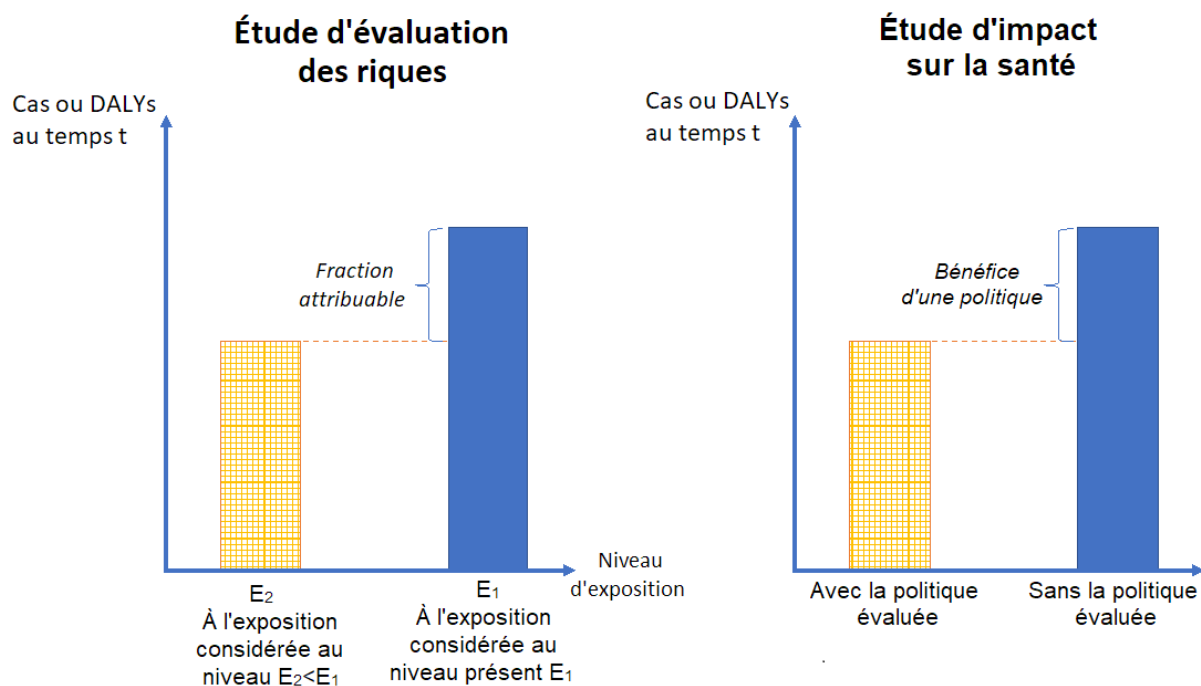


Figure 2 : Illustration des similitudes méthodologiques lors de la mesure des conséquences sur la santé entre les ERS et les EIS. DALYs pour Disability Adjusted Life Years.

L'étude du Fardeau Mondial des Maladies (Global Burden of Disease study, ou GBD) est un projet de recherche visant à mesurer exhaustivement le fardeau des maladies ainsi que leur mortalité, morbidité et facteurs de risque.<sup>2</sup> Outre le fait qu'elle représente une étude à l'échelle du monde, son évaluation des risques est également unique en son genre. Sa méthodologie permet d'ouvrir des perspectives pour les EIS que nous aborderons plus tard dans ce document.

L'impact sur la santé d'une politique ou d'un facteur environnemental dépend en premier lieu de la distribution de l'exposition ainsi que de la force de l'effet associé à l'exposition. En effet, la fonction exposition-réponse n'est pas suffisante pour classer les facteurs par fardeau attribuable croissant, il est aussi nécessaire de prendre en compte la prévalence de l'exposition à ce facteur, comme le montre la Figure 3.



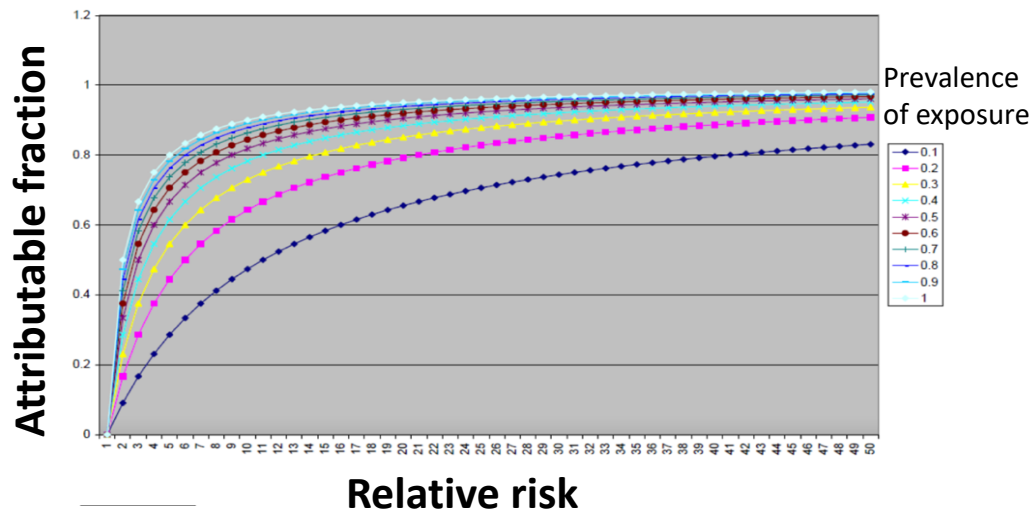


Figure 3 : Représentation de la relation entre la fraction attribuable au risque, le risque relatif et la prévalence de l'exposition au risque. Exemple de la consommation de cigarette. Par Rosen et al.<sup>3</sup>

Enfin, l'évaluation socio-économique est un élément essentiel permettant de caractériser l'impact de la maladie, en jours d'arrêt de travail par exemple, ou en coût financier pour le système de santé ou le patient.

Une étude d'impact sanitaire a été réalisée pour la création ou l'élargissement d'un accotement sur une route de campagne menant à une école, dans le comté de Kitsap aux États-Unis. L'étude préliminaire a rapidement conclu à la nécessité d'une EIS, puis a choisi de comparer un scénario avec création/élargissement contre un scénario sans. Elle a collecté les données de la communauté et de la littérature, puis a organisé un atelier de travail rassemblant communauté et parties prenantes. Au vu des données locales limitées et des principales préoccupations de la communauté, il a été décidé dans cet atelier de limiter l'étude à deux facteurs : le trafic routier et le changement de comportement, et à leurs effets respectifs sur les accidents de la route et l'activité physique. L'évaluation de l'exposition initiale a été faite en recueillant les données des accidents de la route et par questionnaire d'intention de changement de comportement, et l'exposition contrefactuelle a été évaluée de façon qualitative (augmentation, diminution ou pas de changement)

pendant l'atelier de travail. L'impact sur la santé a aussi été évalué qualitativement (faible, moyen, fort) au vu du manque de données et de la petite ampleur du projet. Il n'y a pas eu d'évaluation économique, et une brève échelle de notation du niveau de preuve basé sur la revue de la littérature a remplacé l'analyse de sensibilité. L'étude s'est conclue avec la rédaction d'un rapport incluant résultats, méthode et plan d'évaluation à postériori. L'étude a donc montré que la création ou l'élargissement de l'accotement pourrait avoir un impact positif sur l'activité physique des enfants comme des adultes et diminuer les risques d'accident sur cette route.

*Encadré 1 : Exemple d'étude d'impact sur la santé, création ou agrandissement d'un accotement sur 2km de longueur d'une route de campagne dans le comté de Kitsap, état de Washington, États-Unis d'Amérique.*

## 2. Objectifs et méthodes

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet *Health Environment Research Agenda for Europe* (HERA), financé par la commission européenne (programme H2020), dont l'objectif est de définir les priorités de l'agenda de la recherche environnementale, climatique et sanitaire en Europe.

Nous avons pour objectifs de réaliser une revue non exhaustive des méthodes d'études d'impact sanitaire puis d'identifier les manquements méthodologiques.

Nous avons donc effectué une revue non systématique des approches méthodologiques d'étude d'impact sur la santé avec une approche de type "état de l'art". Nous avons tenté d'inclure le plus de domaines d'application possible (évaluation des politiques publiques, évaluation des risques chimiques, planification urbaine) en

prenant en compte toutes les étapes de la planification jusqu'à la mesure d'incertitude et la rédaction du rapport.

Nous avons effectué nos recherches dans les bases de données bibliographiques grâce à PubMed, Google Scholar et Web of Science, ainsi qu'une recherche de la littérature grise via Google.com. Les mots-clés utilisés pour ces recherches étaient : "Health Impact Assessment" AND "review", "methods", "community" OR "public participation" OR "involvement", "economic analysis" OR "impact", "Dose" OR "Exposure" AND "Response Function", "qualitative", "uncertainty", "evaluation". Nous avons aussi fait une recherche des références croisées lorsque cela nous a paru pertinent. Enfin nous avons contacté plusieurs fois les experts en EIS du consortium HERA pour leur demander d'identifier les documents qui auraient pu nous manquer.

### 3. Résultats

#### 1. Généralités

Nous avons constaté que les facteurs considérés dans les études d'impact sur la santé varient de la pollution de l'air<sup>4</sup> aux pesticides agricoles<sup>5</sup> jusqu'à ceux accompagnants la construction d'un accotement sur une route de campagne<sup>6</sup>, et que toutes les politiques sont concernées. La quantification implique idéalement une unité de mesure comme l'espérance de vie corrigée de l'incapacité (Disability-Adjusted Life Years, ou *DALY*) qui permet d'inclure à la fois la mort et le handicap (quel que soit son degré) et donc de combiner mortalité et morbidité en une seule valeur. Mais les impacts peuvent aussi être positifs et leurs amplitudes évaluées de manière qualitative (fort, moyen, faible). On observe souvent une distinction forte entre EIS qualitative et quantitative, des guides différents avec en plus des communautés professionnelles fréquemment distinctes.

Nous avons remarqué un foisonnement de terminologie au sein des études qui cherchent à évaluer l'impact des politiques sur les facteurs sociaux ou sanitaires et ce malgré une méthodologie identique : *Health Impact Assessment* (HIA, ou EIS en français), *Health Risk Assessment* (HRA), *Environmental Health Impact Assessment* (EHIA), *Integrated Environmental Health Impact Assessment* (IEHIA), *Human Impact Assessment* (HuIA)... Les nuances de ces différents acronymes limitent la compréhension et le consensus et pourraient faire croire à tort qu'ils ne correspondent pas à des EIS (ou HIA).

Ces études peuvent aussi être incluses dans d'autres, comme c'est le cas avec les *Environmental Impact Assessments* (EIA) qui évaluent le projet d'une société et les *Strategic Environmental Assessments* (SEA) qui concernent plutôt les politiques d'état.

Ces différentes études sont présentées dans des guides méthodologiques différents<sup>7-9</sup> souvent à cause des types de facteur différents pris en compte, mais aussi parfois pour des seules raisons historiques, bien que leurs différences méthodologiques soient minimales<sup>10</sup>.

L'examen de la littérature a fait apparaître que la principale différence méthodologique entre les évaluations *d'impact* et *de risque* est que les premières se concentrent sur une politique avant sa mise en œuvre ("quel effet sur la santé peut-on attendre de cette politique une fois qu'elle sera appliquée ?") alors que les autres essaient de répondre à une question concernant le présent ou le passé ("combien de cas de cancer du poumon auraient pu être évités si on avait suivi les recommandations de l'OMS sur la pollution de l'air ?").

Il est aussi important de faire la distinction entre EIS et *études avant-après*. Ces dernières cherchent à évaluer l'impact d'un événement dans une approche purement

observationnelles, qui reposent sur des événements naturels ou catastrophiques, tel un pic de pollution, une explosion d'usine chimique ou un changement soudain de régulation. De tels événements sont rares, ils permettent des conditions expérimentales uniques où un facteur change drastiquement tandis que les autres restent relativement constants. Mais leur rareté et l'absence de contrôle que nous avons sur leur occurrence justifient une approche plus flexible comme les EIS. Elles se distinguent des études avant-après par le fait que la situation comparée n'est pas observée mais simulée à partir d'un modèle généralement quantitatif. Dans l'EIS le comparant est simulé ou supposé, et on fait comme s'il coexistait dans un monde parallèle à la population de référence observée ; dans l'étude avant-après, le comparant est observé, mais à un moment différent, dans une population qu'on va supposer identique à celle d'avant la survenue de l'événement.

La Figure 4 montre les différentes voies que peut emprunter une EIS ainsi que ses points de départ possibles (numérotation). Celui-ci peut être 1) La source d'un ou plusieurs facteurs environnementaux (la construction ou l'existence d'une usine dont le fonctionnement (ou parfois le dysfonctionnement) pourrait impacter négativement la santé des citoyens, mais aussi un espace vert et ses effets bénéfiques). 2) Le niveau de ce facteur dans l'environnement (typiquement la concentration de particules fines dans l'air). 3) L'exposition à ce ou ces facteurs (par exemple la quantification de l'impact de l'exposition individuel au bisphénol A basé sur des données biologiques). 4) Un comportement (comme l'impact du tabagisme ou de sa réduction). 5) Une politique qui peut soit impacter la source, le niveau environnemental, l'exposition ou le comportement.

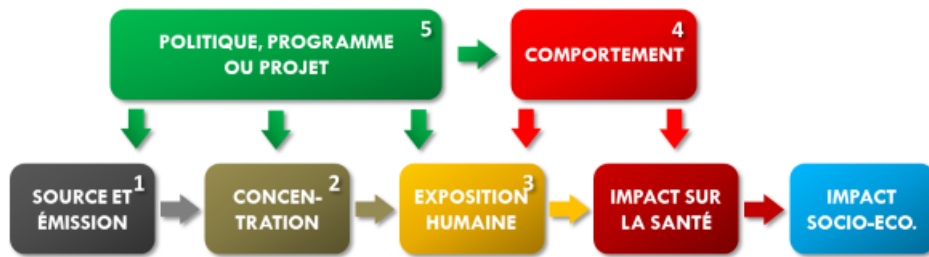


Figure 4 Vue d'ensemble des différents types d'EIS et leurs points de départ.

Il apparaît aussi qu'en fonction du point de départ ce sont soit les émissions, les niveaux environnementaux, l'exposition humaine ou les comportements qui peuvent être quantifiées, et à partir de là une mesure d'impact sur la santé, qui sera souvent une comparaison à un scénario alternatif (dit *situation contrefactuelle*), où le niveau du facteur environnemental est différent, ou un scénario dans lequel la politique n'est pas mise en œuvre. L'impact sur la santé peut être limité à certains symptômes ou maladies, mais peut aussi être mesuré via des indices multifactoriels tels les DALYs. L'estimation de l'impact sur la santé va reposer sur les connaissances de la distribution de l'exposition au sein de la population et la façon dont celle-ci affecte la santé (idéalement sous la forme d'une relation exposition-réponse).

## 2. Les étapes des Évaluations d'Impact sur la Santé

Les étapes des EIS sont habituellement décrites comme suit :

### A. Planification : Projection (screening) et cadrage (scoping) de l'étude :

1. Jugement de l'opportunité d'une EIS
2. Description des situations contrefactuelles comparées
3. Identification et caractérisation des facteurs impactant la santé
4. Définition de la zone et de la population d'étude
5. Participation de la population concernée

## B. Analyse

6. Analyse des expositions (si pertinent, typiquement à un polluant, peut aussi être le degré d'exposition à la politique envisagée)
7. Détermination de l'impact sur la santé
8. Détermination de l'impact socio-économique

## C. 9. Analyse de sensibilité

## D. 10. Rapport/recommandations et évaluation.

Toutes les EIS ne suivent pas l'ensemble de ces étapes, cela dépend de leur approche et de leur étendue. Par exemple, l'analyse de sensibilité peut être absente ou peu élaborée. Cela peut dépendre de la loi de chaque pays, qui impose ou recommande certaines étapes<sup>11</sup>.

## A. Planification

### 1. Jugement de l'opportunité d'une EIS

Il nous a semblé logique que toute politique, plan ou projet ne justifie pas d'une EIS complète, mais que tous doivent passer la première étape. Elle juge du potentiel impact sur la santé de la population, et sera la seule étape si elle conclut qu'il n'y en a aucun possible. En effet de nombreuses politiques, plans ou projets n'ont pas d'impact sur la santé (ou alors de façon trop indirecte), comme par exemple une politique de développement de la recherche en robotique ou un projet de construction de nouveaux bureaux.

Il est de coutume que les politiques, plans ou projets contribuant directement à la santé de la population incluent par défaut une forme d'EIS, la santé étant le souci premier. Donc les EIS en tant que telles sont conçues pour les politiques dont la santé n'est pas l'objectif.

## 2. Description des situations contrefactuelles comparées

Une EIS compare au moins deux situations contrefactuelles qu'il est d'abord important de détailler, l'une avec la politique, plan ou projet, l'autre sans. Par exemple, si l'on étudie une politique qui prendra effet dans 10 ou 20 ans, il est important de prendre en compte ce délai et de comparer la situation attendue dans 20 ans dans l'hypothèse où la politique aura été mise en œuvre non pas à la situation d'aujourd'hui sans la politique, mais à la situation dans 20 ans dans un monde hypothétique où la politique n'aura pas été mise en œuvre.

Ensuite, pour estimer l'impact d'un facteur (dont l'origine peut-être une politique), on utilise la différence du nombre de cas (ou DALYs) estimée entre les situations contrefactuelles.

Ceci peut être fait pour la période présente ou une période future :

- L'approche contrefactuelle dans le présent compare une situation réelle à un temps  $t_0$  proche du moment présent à une situation hypothétique (contrefactuelle) au même temps  $t_0$  où la politique aurait été appliquée (par exemple, l'exposition diminuée).
- L'approche contrefactuelle dans le futur compare une situation à un temps  $t_1$  du futur de la population étudiée, avec la politique en place, par rapport à un autre futur au même temps  $t_1$  qui serait soit celui où rien n'a changé, soit celui où la tendance de l'évolution du facteur environnemental est restée inchangée.

Un aspect spécifique à l'approche contrefactuelle dans le futur est l'évolution temporelle de caractéristiques de la zone d'étude. Cela peut inclure des changements démographiques (structure de la pyramide de l'âge et donc de la vulnérabilité aux maladies), épidémiologiques (autres facteurs de risques en dehors de ceux sur



lesquels l'EIS se concentre) ou sociaux (les changements de comportements seront particulièrement complexes à prévoir, d'autant plus sur des périodes s'étalant sur plusieurs décennies). De telles échelles de temps peuvent être pertinentes, par exemple dans le cas d'études sur l'impact attendu des mesures de lutte contre le changement climatique<sup>12</sup>.

### 3. Identification et caractérisation des facteurs

L'identification des facteurs et des associations facteur-conséquence (ou facteur-maladie) qui vont définir la base de l'étude est faite lors de la projection grâce à une revue de la littérature. Ces associations sont ensuite fixées et caractérisées lors du cadrage. Cette identification est particulièrement délicate, car les conséquences d'une mauvaise identification sont graves. En effet, manquer une association peut mener à une profonde sous-évaluation de l'impact sur la santé de la politique, plan ou projet étudié. Par exemple, dans le cas extrême où, lors de l'EIS d'une centrale à charbon, on oublie de considérer l'association entre émission de particules fines et morbidité cardiaque et pulmonaire, l'impact sur la santé mesuré sera grandement sous-estimé, ce qui pourrait avoir pour conséquence la construction de la centrale à trop grande proximité de foyers d'habitation denses.

Si le point de départ est une catégorie de facteurs (perturbateurs endocriniens, facteurs environnementaux, facteurs comportementaux, etc.) alors il faudra définir quels facteurs sont catégorisés dans celle-ci.

Lors de la caractérisation des différents facteurs (F1, F2, ...), on les associe à une conséquence (ou maladie) ou à plusieurs conséquences (C1, C2, ...), on va ensuite évaluer les éléments de preuves associés à chaque paire [(F1, C), (F2, C), ...] ou [(F, C1), (F, C2), ...].

Le niveau de preuve des paires facteur-conséquence nécessite donc une gestion particulière qui a évolué au cours du temps. Une pratique courante consistait à ne prendre en compte que les paires qui n'étaient associées qu'avec un fort niveau de preuve. La conséquence négative d'une telle méthode est que l'impact de la politique, du plan ou du projet risque d'être fortement sous-estimé (si toutes les associations vont dans le même sens) ou au moins biaisé. Les alternatives possibles sont de prendre en compte :

- Toutes les paires facteur-conséquence pour lesquelles le niveau de preuve est au-dessus d'un niveau défini (« association probable » ou davantage), en gardant à l'esprit que ces niveaux peuvent être définis de façon différente selon les domaines d'étude.
- Toutes les paires pour lesquelles il y a au moins « un certain niveau de preuve » (non nul). Dans ce cas, le risque devient alors de surestimer l'impact (à nouveau, si toutes les associations vont dans le même sens).
- Toutes les paires facteur-conséquence pour lesquelles le niveau de preuve quantifié est au-delà d'un seuil relativement faible, puis d'intégrer cette estimation du niveau de preuve dans les étapes suivantes de l'EIS pour pondérer tous les facteurs choisis.

Un exemple de cette dernière approche est une étude sur l'impact de l'exposition aux perturbateurs endocriniens dans l'UE<sup>13</sup>, où l'impact sur la santé attribuable à l'exposition à tous les perturbateurs endocriniens choisis a été mesuré en admettant que l'effet était certain, après quoi l'impact total de toutes les expositions a été estimé d'après une somme de tous les impacts pondérés par le niveau de preuve de chaque association (Figure 5). Par exemple, dans le cas d'une paire (exposition, effet) dont le niveau de preuve était évalué à 50%, seule la moitié des cas attribuables à partir de la

relation exposition-réponse étaient comptés. Bien que biaisée au cas par cas (car le facteur a soit un impact, soit il n'en a pas), dans un contexte où on considère un grand nombre de facteurs simultanément (cas d'une EIS sur l'exposome ou les perturbateurs endocriniens dans leur ensemble), une telle approche semble intéressante. En effet, si la littérature n'est pas biaisée de façon systématique (ce qui peut être débattu), en prenant l'exemple de 20 facteurs dont le niveau de preuve estimé est de 50% chacun, on peut s'attendre à ce qu'au final 10 de ces facteurs aient un réel impact. Ne décompter que la moitié des effets des 20 facteurs serait donc plus réaliste que n'en prendre aucun en compte au motif que le niveau de preuve n'aurait pas été suffisamment élevé.

Exposure	Outcome	Strength of Human Evidence	Strength of Toxicological Evidence	Probability of Causation, %
PBDEs	IQ loss and intellectual disability	Moderate-to-high	Strong	70–100
Organophosphate pesticides	IQ loss and intellectual disability	Moderate-to-high	Strong	70–100
DDE	Childhood obesity	Moderate	Moderate	40–69
DDE	Adult diabetes	Low	Moderate	20–39
Di-2-ethylhexylphthalate	Adult obesity	Low	Strong	40–69
Di-2-ethylhexylphthalate	Adult diabetes	Low	Strong	40–69
BPA	Childhood obesity	Very low-to-low	Strong	20–69
PBDEs	Testicular cancer	Very low-to-low	Weak	0–19
PBDEs	Cryptorchidism	Low	Strong	40–69
Benzyl and butyl phthalates	Male infertility, resulting in increased assisted reproductive technology	Low	Strong	40–69
Phthalates	Low T, resulting in increased early mortality	Low	Strong	40–69
Multiple exposures	ADHD	Low-to-moderate	Strong	20–69
Multiple exposures	Autism	Low	Moderate	20–39

Abbreviation: ADHD, attention-deficit hyperactivity disorder.

Tableau 1, Estimation du poids des preuves de l'effet des perturbateurs endocriniens sur la santé, basée sur les études épidémiologiques et toxicologiques. Par Trasande et al.<sup>13</sup>

#### 4. Définition de la zone et de la population d'étude

Il ressort également de notre analyse que la composition de la population d'étude doit être comparable à celle de l'intervention future, la représentativité qui en découle

permettra d'obtenir l'effet évalué. La même problématique se pose lorsque l'intervention évaluée est une campagne de prévention de la santé visant à changer les comportements d'un groupe populationnel spécifique<sup>14</sup>. En regroupant la population en un seul groupe, sans identifier les personnes vulnérables, l'efficacité de l'intervention risque d'être faussée. Cependant, la prise en compte d'une population vulnérable nécessite d'avoir une fonction exposition-réponse adaptée à celle-ci. Ces situations peuvent survenir en pratique lorsque le choix de la zone d'étude n'est pas déterminé par l'intervention mais par la disponibilité des données. En effet les informations administratives ne sont parfois disponibles qu'à l'échelle de la ville ou des quartiers, rendant difficiles les études plus précises sans de fortes hypothèses, par exemple sur une absence d'hétérogénéité de la densité de population ou des conditions sanitaires et sociales.

#### 5. Participation de la population concernée

La participation citoyenne dans l'EIS est désormais vue comme un élément essentiel de celle-ci<sup>15</sup>. La participation peut prendre part durant la phase de planification, et à nouveau à la fin dans les étapes de recommandations et d'évaluation. C'est à la fois un moyen d'élargir les points de vue, diversifier les scénarios envisagés, d'informer les communautés concernées avant les décisions et même d'améliorer le processus démocratique. Cette inclusion du public ne doit pas concerner l'étape d'analyse, comme pointé par la revue de Nieuwehuijsen et al.<sup>15</sup> : « Dans les EIS, les citoyens et la participation des parties prenantes devrait avoir lieu lors de la sélection des scénarios, l'identification des effets sur la santé et des populations vulnérables, pour la sélection et la périodisation des recommandations ; pour identifier les meilleurs moyens de dissémination, et pour la surveillance et l'évaluation ». Plusieurs méthodes permettant la participation citoyenne ont été décrites dans la littérature, comme les

« focus groupes », les entretiens, les discussions communautaires élargies, les sondages et les ateliers de travail. Gérer ce genre de données qualitatives doit être fait avec attention et reposer sur une expertise des sciences sociales. La participation de la population concernée est une adaptation récente. Il nous a semblé que, bien que son importance fasse consensus depuis 1999, la majorité des EIS à ce jour ne l'inclue pas. Cela peut être expliqué par le fait que la plupart du temps cette dimension participative est coûteuse et complexifie le processus d'EIS.

## B. Analyse

### 6. Analyse des expositions

D'abord, rappelons que nous utilisons le mot « expositions » dans un sens large, et que nous englobons aussi le degré d'exposition à toutes sortes de facteurs modifiés par la politique envisagée. La Figure 4 montre que le niveau d'intervention correspond soit aux émissions de facteurs (de la somme du parc automobile d'une ville, par année), à leur concentration dans un milieu (air, eau, etc.), à l'exposition humaine (intensité du contact avec le facteur) ou aux comportements (relations sexuelles sans préservatif). Quel que soit le point de départ de l'étude, l'estimation de l'impact sur la santé repose idéalement sur une estimation de l'exposition cohérente avec la fonction exposition-réponse choisie. Par ailleurs, cette fonction doit être choisie en minimisant les incertitudes et les biais. Si par exemple on vise à changer les comportements sexuels à risque, l'estimation nécessiterait d'obtenir des données sur ce genre de comportement avant et après l'intervention hypothétique, et ce pour fournir une estimation de l'incidence de l'infection sexuellement transmissible qu'on cherche à étudier.

#### a. Outils

Tous les outils de la science des expositions et des études épidémiologiques d'étiologie peuvent en théorie être utilisés pour évaluer les expositions. Toutefois, tous n'ont pas la même précision ni les mêmes biais potentiels. En effet, on attend qu'une étude d'évaluation des risques fournisse une estimation spécifique pour une communauté donnée ; la représentativité de l'échantillon est alors un critère central. A contrario, ce n'est habituellement pas le cas dans les études étiologiques épidémiologiques<sup>16</sup>. C'est pour cela que des approches plus simples que celles des études étiologiques pour l'évaluation des expositions sont parfois souhaitables. Elles peuvent être plus précises mais toutefois requérir une participation active des sujets d'étude et ainsi un biais de sélection. Par exemple les modèles ou données environnementaux qui peuvent être développés sans contact avec la population sont souvent utilisés en évaluation des risques environnementaux<sup>17</sup>. Pour les comportements, l'utilisation de questionnaires est possible, mais dans de nombreuses situations, la mesure de biomarqueurs sera préférée, si disponible.

#### b. Échelle spatiale du facteur considéré

De façon générale, l'exposition varie en fonction de l'espace et des comportements individuels. Pour de nombreux facteurs de risque, il est possible de se reposer sur des modèles environnementaux qui peuvent utiliser différentes résolutions spatiales. Une résolution fine va permettre une bien plus grande précision dans la mesure de l'exposition alors que l'utilisation de modèles à basse résolution risque une grave sur ou sous-estimation de l'impact sur la santé. En effet, lorsqu'il est question de mesurer la pollution de l'air, les dernières avancées, correspondant à la création d'un modèle de régression sur l'utilisation du terrain, ont permis de montrer que les anciens

modèles, dans le cas de la ville de Lyon, sous-estimaient la mortalité attribuable aux particules fines de 10 à 20%<sup>18</sup>.

Ces modèles peuvent ensuite être intégrés à des données de densité de population. L'étude de Kulhánová et al.<sup>19</sup> a montré qu'en ignorant ces données, on sous-estimait la mortalité attribuable d'environ un tiers. Cet effet s'explique par un phénomène de lissage (et donc sous-estimation) des expositions à mesure que le modèle d'exposition perd en finesse spatiale.

### c. Questionnaires

Les questionnaires peuvent être utilisés pour évaluer de nombreux comportements tels que le moyen de transport préféré, le régime alimentaire, l'activité physique ou la consommation de tabac. Comme pour les modèles environnementaux, les études permettant de valider ces questionnaires sont importantes et la quantification des biais doit être faite. Il faut aussi porter attention aux spécificités populationnelles sur lesquels le questionnaire a pu être validé, par exemple un questionnaire validé sur la consommation d'alcool des lycéens ressortira des résultats biaisés sur une population plus âgée. De plus les évolutions sociétales au cours du temps limitent potentiellement la durée de validité des questionnaires.

Lorsqu'il est question d'exposition à des facteurs chimiques ou physiques, l'utilisation de questionnaires n'est pas conseillée, étant donné que les capacités de chacun à objectivement évaluer ces expositions sont limitées et fortement biaisées par des facteurs psycho-sociaux. Cela n'empêche pas certaines approches d'être parfois plus pertinentes ; par exemple, l'utilisation simultanée de données quantitatives et de questionnaires.

De plus, les questionnaires impliquent souvent un biais de sélection introduit par la participation ou non des personnes le recevant. En effet, refuser ou accepter de participer peut, à priori, être associé à des caractéristiques socio-démographiques, elles-mêmes possiblement liées au facteur ou à la conséquence sur la santé étudié. Le recueil d'un échantillon représentatif peut s'avérer compliqué dans certaines zones et pour certains sujets, rendant l'utilisation de questionnaires risquée, et d'autant plus sachant qu'une participation de 100% est impensable. Certains outils (de pondération à partir de données du recensement par exemple) permettent toutefois de limiter ces biais.

#### d. Bases de données existantes

Dans certaines zones, des bases de données ont été créées par des institutions publiques, celles-ci peuvent renseigner sur divers facteurs et peuvent être une source d'information d'intérêt. Ces bases de données sont construites à partir de différentes sources ou modèles, comme des bases sur la contamination des eaux, la composition des cosmétiques ou des données populationnelles socio-économique. Ces sources ont l'avantage d'être représentatives d'un milieu spécifique, d'autant plus si elles sont basées sur des mesures environnementales. Toutefois, cela pose le problème de fournir une estimation d'un niveau d'exposition environnemental et non une estimation de l'exposition individuelle au sens strict du terme. Ceci peut être compensé en combinant ces bases à d'autres sources d'informations comme des questionnaires. Des données sur l'eau potable peuvent être complétées par des questionnaires individuels sur la consommation d'eau, et les données sur la contamination alimentaires des pesticides par des questionnaires sur les habitudes alimentaires<sup>20</sup>.



Il est également nécessaire d'estimer l'incidence ou la prévalence de la maladie liée au facteur étudié, dans la population étudiée. La situation idéale est lorsqu'un registre existe dans la zone. Ces registres existent parfois pour les cancers, mais sont plus rares, en dehors des pays scandinaves, pour les autres maladies. Les données des études étiologiques de cohorte peuvent, à nouveau, s'avérer utiles afin d'estimer l'incidence ou la prévalence de la maladie, au risque de perdre en représentativité pour la population spécifique étudiée.

## 7. Détermination de l'impact sur la santé

L'impact sur la santé peut être quantifié en unité simple (nombre de cas, morts, journées d'arrêt maladie, etc.) ou agrégées comme les DALYs. Il reste comme possibilité, lorsque les moyens ne le permettent pas, d'indiquer un impact sur la santé via une estimation qualitative (impact fort, moyen, faible).

Il nous semble toutefois clair que l'idéal requiert une quantification de l'impact sur la santé, pour cela il faudra une distribution de l'exposition dans la population étudiée dans les situations contrefactuelles, une fonction exposition-réponse et la fraction attribuable au risque pour la population (*Population Attributable Fraction, ou PAF*). Cette dernière fournit une estimation de la fraction de cas de maladie qu'on espère éviter si l'exposition au facteur disparaissait, tout autre facteur stable. La combinaison de la PAF avec le fardeau total de la maladie permet d'obtenir le fardeau attribuable à l'exposition.

### a. Valeur contrefactuelle du facteur

Lorsqu'il s'agit d'évaluer une politique dont le but est de diminuer au maximum l'effet d'un facteur, il peut s'agir simplement de fixer l'influence de ce facteur à 0 dans la situation contrefactuelle, ou, de façon plus complexe, de fixer un minimum. Pour cela

il existe plusieurs approches ; le projet GBD utilise un niveau minimum théorique d'exposition au risque défini par le niveau d'exposition « qui minimise le risque de la population [...] ou exclut le fardeau attribuable maximum »<sup>2</sup>. Le fardeau attribuable d'un facteur est la part du nombre de cas d'une maladie due à celui-ci. Par extension on peut établir la relation inverse avec la part du nombre de cas d'une maladie évitée par un facteur positif (comme les infarctus du myocarde et la pratique régulière du vélo). D'autres possibilités pour définir le minimum d'un facteur sont le « minimum faisable » ou le « minimum coût-efficace »<sup>21</sup>.

Il y a aussi le cas particulier des courbes exposition-réponse en U, à l'image de la chaleur ou l'activité physique, où la question du minimum n'a plus de sens et où on considérera plutôt une exposition permettant de minimiser l'impact sanitaire, qui n'est pas forcément une valeur minimum ou maximum de l'exposition. Nous abordons ce sujet à nouveau et plus en détail ci-dessous.

#### b. Calcul de l'impact

En prenant un exemple plus simple et une exposition binaire qu'on change de 1 à 0 (par exemple, tous les fumeurs arrêtent de fumer) dans la situation contrefactuelle l'impact sur la santé estimé ainsi :

$$PAF = \frac{P \times (RR - 1)}{1 + P \times (RR - 1)} \quad (1) \qquad HealthImpact = PAF \times BD \quad (2)$$

Avec P la prévalence de l'exposition au facteur dans la population, RR le risque relatif associé à l'exposition et BD le fardeau de la maladie dans la population concernée. L'unité de BD (morts, DALYs, etc.) va déterminer l'unité de mesure de l'impact sur la santé.

Dans le cas d'une évaluation des expositions par catégories, l'impact sur la santé doit être estimé dans chaque catégorie. Ce après quoi l'impact total est estimé en additionnant tous les niveaux d'exposition. Si l'exposition est une mesure continue, la formule (1) est généralisée en intégrant la PAF à tous les niveaux d'exposition comme ci-dessous :

$$PAF = \frac{\int_{x=0}^m RR(x)P1(x)dx - \int_{x=0}^m RR(x)P2(x)dx}{\int_{x=0}^m RR(x)P1(x)dx} \quad (3)$$

Avec  $m$  le niveau d'exposition maximum,  $P1$  la distribution observée du niveau d'exposition,  $P2$  la distribution de l'exposition sous l'hypothèse contrefactuelle (qui peut correspondre à une distribution de Dirac avec tous les sujets à zéro si zéro est le niveau ciblé) et  $RR$  la fonction exposition-réponse, où  $RR(x)$  correspond au risque relatif à l'exposition  $x$ .

L'exposition à des facteurs chimiques ou physiques peut être évaluée sur des échelles quantitatives qui peuvent permettre d'estimer le risque de façon plus pertinente que lorsque les expositions sont considérées binaires. Par exemple, pour de nombreuses substances, il est difficile d'identifier les sujets non-exposés.

### c. Fonctions Exposition-Réponse

Les termes de Fonction Dose/Concentration/Exposition -Réponse (DRF, CRF, ERF) et les courbes associées peuvent, dans le cadre d'une EIS, être utilisées de façon synonyme ; nous avons choisi le terme ERF dans ce document. L'ERF permet de donner une estimation de l'effet (positif ou négatif) associé à l'exposition à chaque niveau. Les problèmes liés à l'ERF sont liés à la rigueur mise en œuvre lors de son

utilisation ; ceux-ci concernent sa pente et sa forme, ainsi que son applicabilité à la population de l'étude, qui n'est généralement pas la même que celle utilisée pour sa génération. En effet, dans le contexte d'une EIS, on ne génère pas de nouvelle ERF, contrairement à l'estimation des expositions qui doit parfois être réalisée. Il est donc nécessaire de se reposer sur une ERF existante, externe à l'étude. Si aucune n'est disponible, il faudra alors 1) dériver une ERF d'études toxicologiques (animales)<sup>22</sup> ou sinon 2) faire une EIS qualitative.

Nous poursuivrons en faisant l'hypothèse que ces ERF sont disponibles. L'ERF nécessite d'être ajustée pour des potentiels facteurs de confusion (en rapport avec la population dans laquelle l'étude étiologique a été conduite) mais pas pour les facteurs en aval de l'exposition concernée, tels que les médiateurs de ces effets. Les chercheurs doivent souvent choisir entre une ERF locale, d'une population voisine, ou une estimation plus globale, qui repose sur des méta-analyses, plus robustes mais qui ignorent les possibles différences de vulnérabilité de la population étudiée dans l'EIS. L'utilisation d'ERF provenant d'une méta-analyse pourra être préférable concernant les facteurs dont les études n'ont pas montré d'hétérogénéité dans la vulnérabilité au facteur (tel que montré dans la Figure 5).

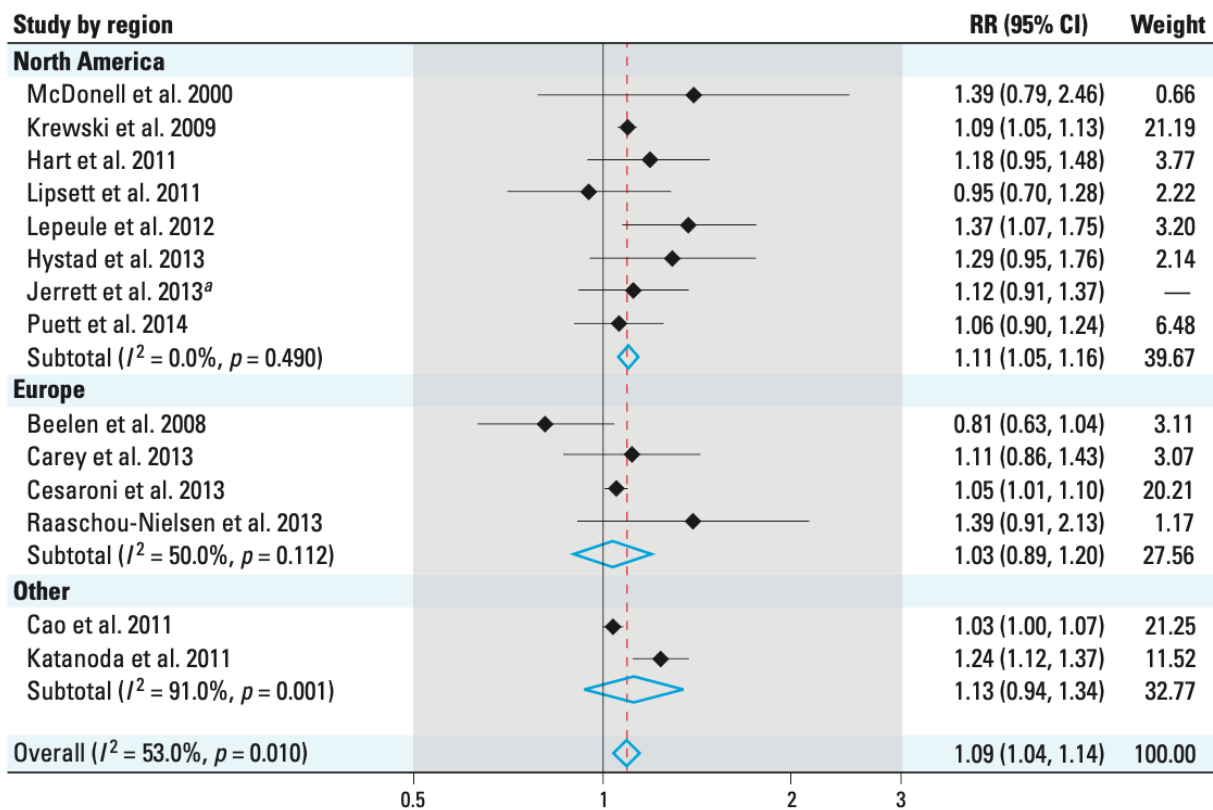


Figure 5 Meta-analyse du risque relatif de cancer du poumon associé aux particules fines montrant une homogénéité de ce risque entre les régions du monde étudiées<sup>23</sup>.

Le facteur étudié peut avoir une association non-linéaire avec le paramètre de santé<sup>24</sup>.

Une ERF linéaire signifie qu'une variation égale dans l'exposition aura toujours le même impact sur la santé, quel que soit le point de départ. Les fonctions non-linéaires ne sont pas constamment recherchées dans les études étiologiques. Une revue de 2001 sur l'ERF de l'activité physique l'illustre bien que, sur les 44 études conduites, seules 17 ont fait un test de linéarité, et aucune ne mentionne la possibilité d'une ERF curvilinéaire<sup>25</sup>. Une revue plus récente et robuste réalise une méta-analyse sur des études avec de plus larges échantillons et trouve qu'une courbe  $y = -x^{0.25}$ , avec un effet plus marqué d'une activité physique modérée, convient mieux<sup>26</sup>.

Les fonctions non-linéaires sont d'autant plus fréquentes quand les mécanismes d'action du facteur sont complexes et que l'échelle de valeur de l'exposition est grande.

Ignorer cela, c'est-à-dire considérer une relation linéaire, peut biaiser l'impact du risque estimé<sup>27</sup>.

Les ERF non linéaires ont été trouvées dans plusieurs facteurs de risque tel que la température, la pollution de l'air sur la mortalité et les effets de l'activité physique sur la santé (Figure 6)<sup>28-30</sup>.

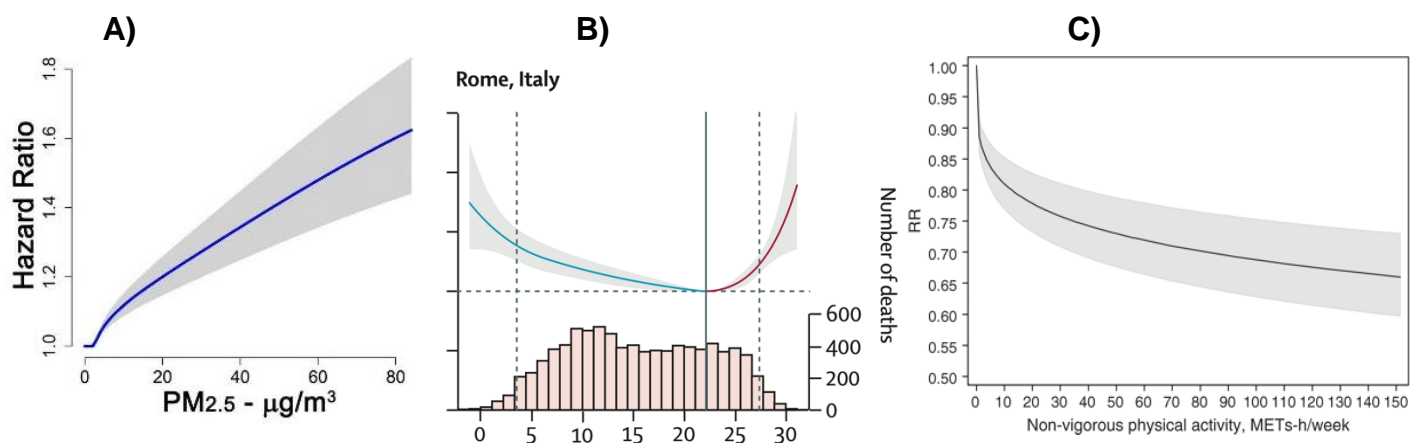


Figure 6 : représentation de fonctions exposition-réponse non linéaires. A) Particules fines et mortalité (Burnett R 2018) B) Température et mortalité à Rome (Gasparrini et al 2015) C) Activité physique et incidents cardiaques (Sattelmair et al. 2011).

#### d. Facteurs d'exposition multiples

Une fois que l'impact sur la santé d'un facteur est évalué, il peut être tentant de répéter l'exercice pour les autres conséquences sur la santé possiblement influencées par le facteur et pour les autres facteurs influençant potentiellement les conséquences. Intégrer l'évaluation pour d'autres conséquences sur la santé supposément en lien avec le facteur et les combiner permet d'obtenir le fardeau global d'une exposition sur la santé. Les cas peuvent être convertis en DALYs, d'une façon relativement pratique pour fournir une synthèse de l'impact global. Cela requiert une estimation du nombre de cas attribuables dans les différentes strates d'âge et ensuite une estimation du nombre de DALY pour chaque maladie. Ce nombre peut varier d'un pays à l'autre,

mais aussi en fonction du temps. Les cas et les DALYs peuvent ensuite être utilisés pour fournir une estimation des coûts économiques.

Lorsqu'il s'agit de répéter l'évaluation pour d'autres facteurs d'exposition influant une maladie donnée, il est important de prendre en compte que, pour une maladie donnée, le nombre de cas attribuables à différents facteurs de risque ne peuvent être additionnés, ce qui est la conséquence de la pluralité étiologique des maladies<sup>31</sup> ainsi que des relations entre facteurs de risque, en particulier la médiation.

La première option est d'agréger la PAF avec R facteurs de risque, en faisant l'hypothèse de leur indépendance, ce qui donne la formule suivante :

$$PAF = 1 - \prod_{r=1}^R (1 - PAF^r) \quad (4)$$

Avec la PAF associé au facteur r, estimé de façon indépendante des autres facteurs.

Prenons par exemple le cas de la maladie D (disons, les cancers du poumon), influencée par plusieurs facteurs de risque dont la cigarette (A) et l'exposition aux espaces verts (B), effet partiellement médié par des changements de pollution de l'air (C). La Figure 7 donne un modèle possible des relations entre A, B, C et D.

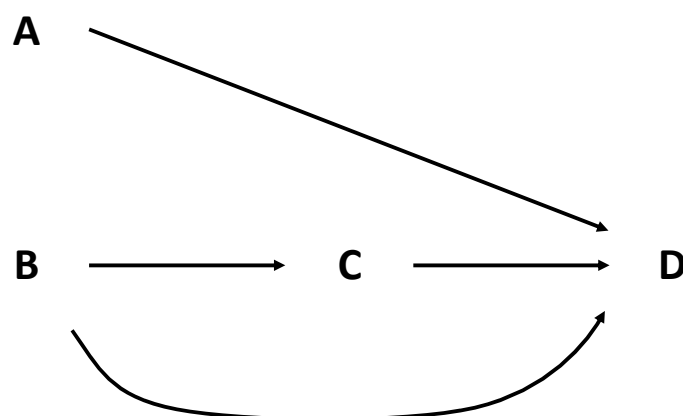


Figure 7 : Diagramme résumant la relation causale de plusieurs facteurs hypothétiques A, B et C et d'une maladie D. Ici A et B affecte D de façon indépendante, tandis qu'une partie de l'effet de B sur D est médié par C.

En faisant l'hypothèse que l'on veut estimer l'impact total des facteurs A, B et C sur D, c'est-à-dire le nombre de cas de la maladie D qui seraient évités si A, B et C avaient des niveaux optimaux. Le premier problème rencontré sera le fait qu'il est impossible d'additionner les estimations d'impact sur la santé de B et C du fait qu'une partie de l'effet de B est inclus dans l'effet de C. C'est pourquoi les estimations de la part de l'effet de B médié par C et de l'effet de B sur D non médié par C (qui peut toutefois être médié par d'autres facteurs non pris en compte) doivent être fournis. Dans la méthodologie du projet du *Global Burden of Disease*, pour chaque paire de facteurs qui partagent une conséquence sur la santé, la fraction du risque médié à travers l'autre facteur est estimée en utilisant des techniques d'analyse de médiation, si les études pertinentes sont disponibles.

Un problème soulevé par ces techniques vient du fait que si les facteurs A et B sont corrélés positivement, supprimer A aura pour conséquence une diminution du nombre de cas qui aurait été évités par un changement de B (avec A constant). Si, au contraire il n'y a aucun chevauchement entre les expositions à A et B (tous les sujets exposés à A ne le sont pas à B et inversement, une corrélation négative de -1, typiquement le sexe), alors le nombre de cas évités par un changement de A peut être ajouté au nombre de cas évités par un changement de B. Il apparaît donc que, pour que ce problème soit pris en compte correctement, les informations concernant les relations entre expositions dans la population d'étude doivent être connues. Et plus spécifiquement, dans le cas de deux facteurs de risques corrélés  $x_1$  et  $x_2$ , leur distribution  $P(x_1, x_2)$  doit être prise en compte dans l'estimation de la PAF et la formule (3) doit être adaptée en remplaçant chaque intégrale par :

$$\int_{x_1=0}^{m_1} \int_{x_2=0}^{m_2} RR_1(x_1)RR_2(x_2)P(x_1, x_2)dx_1dx_2 \quad (5)$$



Pour ce qui est de l'interaction entre les facteurs de risque ou entre un facteur et une caractéristique de la population, il est possible de la gérer en prenant en compte différentes ERFs pour différentes strates de population, ce qui implique bien sûr que l'information sur la distribution commune de tous les facteurs est disponible ou recueillie lors de l'évaluation.

En pratique, nous conseillons de commencer par construire un diagramme causal identifiant les relations entre les facteurs de risques et les conséquences sur les maladies, comme dans la Figure 7, sur la base d'études existantes et des connaissances actuelles. Il faut ensuite identifier puis faire un résumé des forces des associations puis utiliser les approches présentées ci-dessus.

Il ressort de notre travail qu'envisager de telles relations entre facteurs de risques dans les EIS est très pertinent dans le contexte actuel (avec le développement de l'exposome par exemple) mais également un défi méthodologique. Les comparaisons avec les méthodes utilisées en toxicologie peuvent aussi être très pertinentes.

#### 8. Détermination de l'impact socio-économique

L'analyse économique peut être effectuée à la fin d'une EIS afin d'aider les décideurs politiques à mieux comprendre les bénéfices d'une action. Cette analyse va estimer les coûts et bénéfices monétaires de l'impact sur la santé de l'action envisagée, cela inclut les coûts tangibles, directement liés au système de santé, et parfois les coûts intangibles correspondant à la souffrance de la population. Les deux principales options méthodologiques sont les analyses coût-bénéfice et les analyses coût efficacité. Alors que la première mesure les coûts (sanitaires et financiers) et bénéfices en monnaie, le deuxième affichera l'impact sanitaire de diverses façons (nombre de cas,

DALYs, etc.). Les deux termes sont parfois utilisés de manière synonymique. Un exemple d'étude d'impact sur la santé avec analyse économique est l'étude sur l'expansion du réseau cyclable en Europe<sup>32</sup>.

Dans le contexte des EIS, on s'intéresse rarement à autre chose qu'à l'évaluation socio-économique des effets sur la santé. Si une politique a aussi des effets socio-économiques via un facteur indirectement lié à la santé (par exemple via une diminution du nombre de citoyens sans emploi dû à la construction de l'infrastructure évaluée), il faudra possiblement réaliser une étude d'impact socio-économique séparée.

Les recommandations sur le calcul des coûts financiers de Chanel<sup>33</sup> décrivent 3 méthodes principales pour les conséquences sur la santé, il peut être basé sur les prix du marché, les préférences révélées et les préférences annoncées. Il nous a semblé qu'avec de telles méthodes, le défi reste les coûts intangibles, pour lesquelles il est possible d'agréger toutes les conséquences sur la santé en DALYs et de faire l'évaluation financière basée sur la volonté à payer (*Willingness to Pay*), mais cette méthode soulève encore d'autres défis<sup>34</sup>.

Dans les EIS les plus récentes, il est fait l'hypothèse que les cas évités le sont dès la mise en œuvre de la politique, ce qui n'est jamais le cas dans la réalité, mais il est toutefois possible de modéliser la diminution de cas sur la durée. Ainsi les coûts de santé évités vont aussi être répartis sur le temps et cela va donc impacter les bénéfices. Cela peut être pris en compte en dévaluant ces coûts évités en prenant en compte la valeur de la monnaie en fonction du temps.

### C. 9. Analyse de sensibilité

Les incertitudes font partie intégrante des EIS, à cause du grand nombre de facteurs influençant la santé, des conséquences multiples de ceux-ci sur la santé et de la difficulté de résoudre ces nombreuses incertitudes. De plus, elles augmentent avec le nombre de facteurs étudiés et l'étendue de l'échelle de temps choisie.

L'estimation de l'impact possible des incertitudes sur les résultats est d'autant plus complexe qu'elles sont multiples. Les approches analytiques (comme la méthode du delta) peuvent être utilisées dans des situations relativement simples, sinon c'est l'approche de Monte-Carlo qui sera préférée<sup>35</sup>. Les simulations de Monte-Carlo reposent sur la répétition d'un grand nombre d'estimations d'impact sur la santé, en laissant tous les paramètres sous-jacents (risques relatifs, distribution des expositions, etc.) varier dans des intervalles réalistes. Ces simulations permettent de fournir une estimation de la distribution possible de l'impact sur la santé, mais nécessitent une connaissance ou des hypothèses fiables sur la distribution probable des paramètres variables. Si une telle approche est utilisée, les auteurs seront capables de décrire une distribution des valeurs d'impact les plus probables. Ces résultats pourront, par exemple, être rapportés de la façon suivante : "Au vu de toutes les sources d'incertitude prises en compte, il y a une probabilité de 90% pour que le nombre de morts attribuables au facteur A dans la zone soit au-dessus de 10, 50% de chance qu'il soit supérieur à 30, et 10% de chance qu'il soit au-dessus de 50".

### D. 10. Rapport/recommandations et surveillance/évaluation.

En plus d'un rapport scientifique et d'une éventuelle publication détaillant l'étude depuis l'hypothèse jusqu'aux données sources et aux approches utilisées, un rapport pour la population et les décideurs politiques est indispensable. Dans le cas d'un

rapport pour les décideurs, il nous a semblé qu'il fallait le rédiger d'une manière intelligible ne contenant pas de "jargon" et inclure un résumé (habituellement de 5 à 10% de la longueur totale du rapport, 2 à 4 pages pour un rapport de 40 pages), un très bon exemple est le SR15 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). L'écriture du rapport doit bénéficier de la participation des parties prenantes et les résultats peuvent être présentés et discutés avec la population concernée par l'EIS. La mise en place de la politique, plan ou projet peut ensuite être surveillée quant à son effet réel sur la santé. Enfin une évaluation à posteriori de l'EIS doit être effectuée.

#### 4. Discussion

Nous avons centré cette revue sur les EIS quantitatives, car elles représentent l'état de l'art des EIS. Toutefois il est important de comprendre que, en pratique, de nombreuses EIS utilisent des approches qualitatives, tout en se reposant sur de la littérature grise. Ces approches peuvent parfois permettre de palier les failles des méthodes quantitatives<sup>15,36</sup>, en particulier quand l'exposition est médiée par les comportements humains.

Cependant, il est nécessaire de noter qu'il existe aussi de nombreuses EIS de mauvaise qualité, qualitatives ou quantitatives, qui ne respectent pas suffisamment la méthodologie décrite ci-dessus. Elles peuvent mener à des politiques, plans ou projets inefficaces en fournissant une évaluation erronée de l'impact sur la santé. Dans les pires situations, elles peuvent mener à des politiques qui mettent en danger la vie des citoyens. Il est facile alors de supposer qu'une partie de ces EIS, contrairement aux recommandations des sociétés savantes, n'est jamais publiée.

Les EIS devraient toujours être mises en place le plus tôt possible dans la construction de toute politique, afin que leur rôle ne soit pas de justifier un choix déjà fait.

## Recommandations

Cette revue permet donc d'identifier plusieurs faiblesses et défis à venir dans les pratiques actuelles d'étude d'impact sur la santé.

Tout d'abord, mettre en perspective les différentes approches d'évaluation des risques basées sur les Fonctions exposition-réponse dont nous avons parlé et les données toxicologiques afin de mieux évaluer leurs relations.

Ensuite, la nécessité de proposer une approche quantitative formelle pour gérer les niveaux de preuve de chaque couple exposition-conséquence sur la santé. Certaines existent déjà mais n'ont pas été formalisées. C'est typiquement le cas des "*Integrated Assessment Models*", des outils "clés en main" permettant d'accélérer l'étape d'analyse, ils restent peu accessibles et aucun ne fait consensus.

Enfin, les divers défis techniques en lien avec la prise en compte simultanée de plusieurs expositions (ou de politiques changeant plusieurs facteurs), en particulier quand celles-ci sont causalement reliées doivent faire preuve d'une approche plus rigoureuse. L'exemple du Fardeau Mondial des Maladies montre que cela est possible tout en illustrant le défi technique. À nouveau, la création d'une méthode standard dans le domaine pourrait permettre la généralisation de celles-ci à de plus petites études.

## 5. Conclusion

Les Études d'Impact sur la Santé sont un outil central à la fois pour la recherche environnementale et la prise de décision. Les liens sont donc forts, en amont, avec les approches toxicologiques et épidémiologiques, et en aval, avec les approches plus

proches des sciences économiques comme les études coût bénéfice, mais aussi avec les études toxicologiques ou d'évaluation des risques du secteur industriel. L'intégration des disciplines clés au développement de l'EIS, de la toxicologie à la biologie moléculaire jusqu'à l'épidémiologie, bien que difficile, est en cours<sup>37</sup>. Cette position à la croisée des chemins contribue aux limites floues, à la terminologie ambiguë et à l'influence des secteurs non universitaires dans la mise en œuvre des EIS. Une méthode rigoureuse telle celle décrite dans ce document est donc nécessaire pour garantir que les politiques, plans ou projets évalués aient l'effet anticipé et minimisent le risque pour la population.

**THÈSE SOUTENUE PAR : Maxime RIGAUD**

**TITRE :**

REVUE METHODOLOGIQUE DES MEILLEURES ÉTUDES D'IMPACT SUR LA SANTÉ

**CONCLUSION :**

Les Études d'Impact sur la Santé sont un outil central à la fois pour la recherche environnementale et la prise de décision. Les liens sont donc forts, en amont, avec les approches toxicologiques et épidémiologiques, et en aval, avec les approches plus proches des sciences économiques comme les études coût bénéfice, mais aussi avec les études toxicologiques ou d'évaluation des risques du secteur industriel. L'intégration des disciplines clés au développement de l'EIS, de la toxicologie à la biologie moléculaire jusqu'à l'épidémiologie, bien que difficile, est en cours. Cette position à la croisée des chemins contribue aux limites floues, à la terminologie ambiguë et à l'influence des secteurs non universitaires dans la mise en œuvre des EIS. Une méthode rigoureuse telle celle décrite dans ce document est donc nécessaire pour garantir que les politiques, plans ou projets évalués aient l'effet anticipé et minimisent le risque pour la population.

**VU ET PERMIS D'IMPRIMER**  
**A Grenoble, le 13 Octobre 2020**

**LE DOYEN**



**Pr. Patrice MORAND**

Pour le Président  
et par délégation  
—  
Le Doyen de Médecine  
Pr. Patrice MORAND

**LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE**

**Pr. Jean-Luc BOSSON**



## 6. Références

1. WHO European Centre for Health Policy. WHO Gothenburg consensus paper - Health Impact Assessment, Main concepts and suggested approach. (1999).
2. Gakidou, E. *et al.* Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet* **390**, 1345–1422 (2017).
3. Rosen, L. An Intuitive Approach to Understanding the Attributable Fraction of Disease Due to a Risk Factor: The Case of Smoking. *IJERPH* **10**, 2932–2943 (2013).
4. Pascal, M. *et al.* Aphekom - Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: Results of the Aphekom project. *Science of The Total Environment* **449**, 390–400 (2013).
5. Fantke, P., Friedrich, R. & Jolliet, O. Health impact and damage cost assessment of pesticides in Europe. *Environment International* **49**, 9–17 (2012).
6. Kitsap Public Health District. *Banner road shoulders: A Kitsap County Health Impact Assessment*. <http://www.hiaguide.org/hia/hia-kitsap-county-transportation-improvement-program-which-proposes-widen-shoulder-each-side-ban> (2019).
7. WHO European Centre for Environment and Health. *Health risk assessment of air pollution. General principles*. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2016/health-risk-assessment-of-air-pollution.-general-principles-2016> (2016).
8. IFC. Introduction to Health Impact Assessment. [https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/Topics\\_Ext\\_Content/IFC\\_External\\_Corporate\\_Site/Sustainability-At-IFC/Publications/Publications\\_Handbook\\_HealthImpactAssessment\\_\\_WCI\\_\\_1319578475704](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/Topics_Ext_Content/IFC_External_Corporate_Site/Sustainability-At-IFC/Publications/Publications_Handbook_HealthImpactAssessment__WCI__1319578475704) (2009).
9. K. Lock, C. H. B. *Health impact assessment as part of strategic environmental assessment*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/108532> (2001).
10. Mindell, J. S., Boltong, A. & Forde, I. A review of health impact assessment frameworks. *Public Health* **122**, 1177–1187 (2008).
11. Code de l'environnement. Livre 1er. Titre II. Chapitre II: Evaluation environnementale (Articles R122-1 à R122-27). [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006159331/2020-09-30/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006159331/2020-09-30/).
12. Patz, J., Campbell-Lendrum, D., Gibbs, H. & Woodruff, R. Health Impact Assessment of Global Climate Change: Expanding on Comparative Risk Assessment Approaches for Policy Making. *Annu. Rev. Public Health* **29**, 27–39 (2008).
13. Trasande, L. *et al.* Estimating burden and disease costs of exposure to endocrine-disrupting chemicals in the European union. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **100**, 1245–1255 (2015).



14. Noar, S. M., Benac, C. N. & Harris, M. S. Does tailoring matter? Meta-analytic review of tailored print health behavior change interventions. *Psychological Bulletin* **133**, 673–693 (2007).
15. Nieuwenhuijsen, M. J., Khreis, H., Verlinghieri, E., Mueller, N. & Rojas-Rueda, D. Participatory Quantitative Health Impact Assessment of Urban and Transport Planning in Cities: A Review and Research Needs. *Environment International* **103**, 61–72 (2017).
16. Rothman, K. J., Gallacher, J. E. & Hatch, E. E. Why representativeness should be avoided. *Int J Epidemiol* **42**, 1012–1014 (2013).
17. Nieuwenhuijsen, M., Paustenbach, D. & Duarte-Davidson, R. New developments in exposure assessment: The impact on the practice of health risk assessment and epidemiological studies. *Environment International* **32**, 996–1009 (2006).
18. Morelli, X., Rieux, C., Cyrus, J., Forsberg, B. & Slama, R. Air pollution, health and social deprivation: A fine-scale risk assessment. *Environmental Research* **147**, 59–70 (2016).
19. Kulhánová, I. *et al.* The fraction of lung cancer incidence attributable to fine particulate air pollution in France: Impact of spatial resolution of air pollution models. *Environment International* **121**, 1079–1086 (2018).
20. Traoré, T. *et al.* To which mixtures are French pregnant women mainly exposed? A combination of the second French total diet study with the EDEN and ELFE cohort studies. *Food and Chemical Toxicology* **111**, 310–328 (2018).
21. Murray, C. & Lopez, A. On the Comparable Quantification of Health Risks: Lessons from the Global Burden of Disease Study. *Epidemiology* **10**, 594–605 (1999).
22. Pedeli, X., Hoek, G. & Katsouyanni, K. Risk assessment of diesel exhaust and lung cancer: combining human and animal studies after adjustment for biases in epidemiological studies. *Environmental Health* **10**, 30 (2011).
23. Hamra Ghassan B. *et al.* Outdoor Particulate Matter Exposure and Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives* **122**, 906–911 (2014).
24. Mueller, N. *et al.* Health impact assessment of active transportation: A systematic review. *Preventive Medicine* **76**, 103–114 (2015).
25. Lee, I.-M. & Skerrett, P. J. Physical activity and all-cause mortality: what is the dose-response relation? *Medicine and Science in Sports and Exercise* **33**, S459–S471 (2001).
26. Woodcock, J., Franco, O. H., Orsini, N. & Roberts, I. Non-vigorous physical activity and all-cause mortality: systematic review and meta-analysis of cohort studies. *International Journal of Epidemiology* **40**, 121–138 (2011).
27. Pope, C. A., Cropper, M., Coggins, J. & Cohen, A. Health benefits of air pollution abatement policy: Role of the shape of the concentration–response function. *Journal of the Air & Waste Management Association* **65**, 516–522 (2015).
28. Burnett, R. *et al.* Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proc Natl Acad Sci USA* **115**, 9592–9597 (2018).
29. Gasparri, A. *et al.* Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet* **386**, 369–375 (2015).

30. Sattelmair, J. *et al.* Dose Response Between Physical Activity and Risk of Coronary Heart Disease: A Meta-Analysis. *Circulation* **124**, 789–795 (2011).
31. Rothman, K. J., Greenland, S. & Lash, T. L. *Modern epidemiology*. (Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 2008).
32. Mueller, N. *et al.* Health impact assessment of cycling network expansions in European cities. *Preventive Medicine* **109**, 62–70 (2018).
33. Chanel, O. *Aphekom – Guidelines on monetary cost calculations related to air-pollution health impacts – Deliverable D6*. 45 (2011).
34. Ryen, L. & Svensson, M. The Willingness to Pay for a Quality Adjusted Life Year: A Review of the Empirical Literature: THE WILLINGNESS TO PAY FOR A QALY. *Health Econ.* **24**, 1289–1301 (2015).
35. Wagener, T. & Kollat, J. Numerical and visual evaluation of hydrological and environmental models using the Monte Carlo analysis toolbox. *Environmental Modelling & Software* **22**, 1021–1033 (2007).
36. O’Connell, E. & Hurley, F. A review of the strengths and weaknesses of quantitative methods used in health impact assessment. *Public Health* **123**, 306–310 (2009).
37. Pelkonen, O., Bennekou, S. H., Crivellente, F., Terron, A. & Hernandez, A. F. Integration of epidemiological findings with mechanistic evidence in regulatory pesticide risk assessment: EFSA experiences. *Arch Toxicol* **93**, 1779–1788 (2019).

Doyen de la Faculté : Pr. Patrice MORAND

Année 2020-2021

**ENSEIGNANTS DE L'UFR DE MEDECINE**

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	ALBALADEJO Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH	APTEL Florent	Ophthalmologie
PU-PH	ARVIEUX-BARTHELEMY Catherine	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	BAILLET Athan	Rhumatologie
PU-PH	BARONE-ROCHETTE Gilles	Cardiologie
PU-PH	BAYAT Sam	Physiologie
MCF Ass.MG	BENDAMENE Farouk	Médecine Générale
PU-PH	BENHAMOU Pierre-Yves	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	BERGER François	Biologie cellulaire
MCU-PH	BIDART-COUTTON Marie	Biologie cellulaire
PU-PH	BLAISE Sophie	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
PR Ass. Méd.	BOILLOT Bernard	
MCU-PH	BOISSET Sandrine	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	BONAZ Bruno	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PU-PH	BONNETERRE Vincent	Médecine et santé au travail
PU-PH	BOREL Anne-Laure	Nutrition
PU-PH	BOSSON Jean-Luc	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	BOTTARI Serge	Biologie cellulaire
PR Ass.MG	BOUCHAUD Jacques	Médecine Générale
PU-PH	BOUGEROL Thierry	Psychiatrie d'adultes
PU-PH	BOUILLET Laurence	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MCU-PH	BOUSSAT Bastien	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	BOUZAT Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH émérite	BRAMBILLA Christian	Pneumologie
PU-PH émérite	BRAMBILLA Elisabeth	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU-PH	BRENIER-PINCHART Marie Pierre	Parasitologie et mycologie
PU-PH	BRICAULT Ivan	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	BRICHON Pierre-Yves	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
MCU-PH	BRIOT Raphaël	Thérapeutique-médecine de la douleur ; Addictologie
PU-PH émérite	CAHN Jean-Yves	Hématologie
PU-PH émérite	CARPENTIER Patrick	Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire
PR Ass.MG	CARRILLO Yannick	Médecine Générale
PU-PH	CESBRON Jean-Yves	Immunologie
PU-PH	CHABARDES Stephan	Neurochirurgie
PU-PH	CHABRE Olivier	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	CHAFFANJON Philippe	Anatomie
MCF Ass.MG	CHAMBOREDON Benoît	Médecine Générale
PU-PH	CHARLES Julie	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	CHAUVET Marion	Médecine Générale
PU-PH	CHAVANON Olivier	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	CHIQUET Christophe	Ophthalmologie
PU-PH	CHIRICA Mircea	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	CINQUIN Philippe	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	CLAVARINO Giovanna	Immunologie
PU-PH	COHEN Olivier	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	COURVOISIER Aurélien	Chirurgie infantile
PU-PH	COUTTON Charles	Génétique
PU-PH	COUTURIER Pascal	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	CRACOWSKI Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH	DEBATY Guillaume	Médecine d'Urgence
PU-PH	DEBILLON Thierry	Pédiatrie
PU-PH	DECAENS Thomas	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PR Ass. Méd.	DEFAYE Pascal	Cardiologie
PU-PH	DEGANO Bruno	Pneumologie ; addictologie
PU-PH	DEMATTEIS Maurice	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH émérite	DEMONGEOT Jacques	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	DERANSART Colin	Physiologie
PU-PH	DESCOTES Jean-Luc	Urologie
PU-PH	DETANTE Olivier	Neurologie
MCU-PH	DIETERICH Klaus	Génétique
MCU-PH	DOUTRELEAU Stéphane	Physiologie
MCU-PH	DUMESTRE-PERARD Chantal	Immunologie
PU-PH	EPAULARD Olivier	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	ESTEVE François	Biophysique et médecine nucléaire
MCU-PH	EYSSERIC Hélène	Médecine légale et droit de la santé
PU-PH	FAUCHERON Jean-Luc	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	FAURE Julien	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	FERRETTI Gilbert	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	FEUERSTEIN Claude	Physiologie
PU-PH	FONTAINE Éric	Nutrition
PU-PH	FRANCOIS Patrice	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-MG	GABOREAU Yoann	Médecine Générale
PU-PH	GARBAN Frédéric	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	GAUDIN Philippe	Rhumatologie
PU-PH	GAVAZZI Gaëtan	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	GAY Emmanuel	Neurochirurgie
MCU-PH	GILLOIS Pierre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	GIOT Jean-Philippe	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; Brûlologie
MCU-PH	GRAND Sylvie	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH émérite	GRIFFET Jacques	Chirurgie infantile
MCU-PH	GUZUN Rita	Nutrition
PU-PH	HAINAUT Pierre	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH émérite	HALIMI Serge	Nutrition
PU-PH	HENNEBICQ Sylviane	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PU-PH	HOFFMANN Pascale	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH émérite	HOMMEL Marc	Neurologie
PU-MG	IMBERT Patrick	Médecine Générale

CORPS	NOM-PRENUM	Discipline universitaire
PU-PH émérite	JOUK Pierre-Simon	Génétique
PU-PH	KAHANE Philippe	Physiologie
MCU-PH	KASTLER Adrian	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	KRAINIK Alexandre	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	LABARERE José	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-PH	LABLANCHE Sandrine	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
MCU-PH	LANDELLE Caroline	Bactériologie – virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	LANTUEJOL Sylvie	Anatomie et cytologie pathologiques
PR Ass. Méd.	LARAMAS Mathieu	Cancérologie ; radiothérapie
MCU-PH	LARDY Bernard	Biochimie et biologie moléculaire
MCU - PH	LE GOUELLEC LE PISSART Audrey	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	LECCIA Marie-Thérèse	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	LEDOUX Jean-Nicolas	Médecine Générale
PU-PH émérite	LETOUBLON Christian	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	LEVY Patrick	Physiologie
PU-PH	LONG Jean-Alexandre	Urologie
MCU-PH	LUPO Julien	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	MAIGNAN Maxime	Médecine d'urgence
PU-PH	MAITRE Anne	Médecine et santé au travail
MCU-PH	MALLARET Marie-Reine	Bactériologie – virologie ; Hygiène hospitalière
MCU-PH	MARLU Raphaël	Hématologie ; Transfusion
PR Ass. Méd.	MATHIEU Nicolas	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
MCU-PH	MAUBON Danièle	Parasitologie et mycologie
PU-PH	MAURIN Max	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
MCU-PH	MC LEER Anne	Histologie, embryologie et cytogénétique
MCU-PH	MONDET Julie	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	MORAND Patrice	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	MOREAU-GAUDRY Alexandre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	MORO Elena	Neurologie
PU-PH	MORO-SIBILOT Denis	Pneumologie ; addictologie
MCU-PH	MORTAMET Guillaume	Pédiatrie
PU-PH	MOUSSEAU Mireille	Cancérologie ; radiothérapie
PU-PH émérite	MOUTET François	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie
MCF Ass.MG	ODDOU Christel	Médecine Générale
PR Ass. Méd.	ORMEZZANO Olivier	Cardiologie
MCU-PH	PACLET Marie-Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	PAILHE Régis	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	PALOMBI Olivier	Anatomie
PU-PH	PARK Sophie	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	PASSAGGIA Jean-Guy	Anatomie
PR Ass.MG	PAUMIER-DESBRIERES Françoise	Médecine Générale
PU-PH	PAYEN DE LA GARANDERIE Jean-François	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
MCU-PH	PAYSANT François	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	PELLETIER Laurent	Biologie cellulaire
PU-PH	PELLOUX Hervé	Parasitologie et mycologie
PU-PH	PEPIN Jean-Louis	Physiologie
PU-PH	PERENNOU Dominique	Médecine physique et de réadaptation

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	PERNOD Gilles	Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire
PU-PH	PIOLAT Christian	Chirurgie infantile
PU-PH	PISON Christophe	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH	PLANTAZ Dominique	Pédiatrie
PU-PH	POIGNARD Pascal	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	POLACK Benoît	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	POLOSAN Mircea	Psychiatrie d'adultes ; Addictologie
PU-PH	RAMBEAUD Jean-Jacques	Urologie
PU-PH	RAY Pierre	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PR Ass. Méd.	RECHE Fabian	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	RENDU John	Biochimie et biologie moléculaire
MCU-PH émérite	RIALLE Vincent	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	RIETHMULLER Didier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH	RIGHINI Christian	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH émérite	ROMANET Jean Paul	Ophthalmologie
PU-PH	ROSTAING Lionel	Néphrologie
PU-PH	ROUSTIT Matthieu	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	ROUX-BUISSON Nathalie	Biochimie et biologie moléculaire
PR Ass.MG	ROYER DE VERICOURT Guillaume	Médecine Générale
PU-PH émérite	SARAGAGLIA Dominique	Chirurgie orthopédique et traumatologie
MCU-PH	SATRE Véronique	Génétique
PU-PH	SAUDOU Frédéric	Biologie cellulaire
PU-PH	SCHMERBER Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH	SCHWEBEL Carole	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	SCOLAN Virginie	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	SEIGNEURIN Arnaud	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH émérite	STAHL Jean-Paul	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	STANKE Françoise	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	STASIA Marie-José	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	STURM Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	TAMISIER Renaud	Physiologie
PU-PH	TERZI Nicolas	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	THEVENON Julien	Génétique
MCU-PH	TOFFART Anne-Claire	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH	TONETTI Jérôme	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	TOUSSAINT Bertrand	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	VALMARY-DEGANO Séverine	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	VANZETTO Gérald	Cardiologie
PU-PH	VUILLEZ Jean-Philippe	Biophysique et médecine nucléaire
PU-PH	WEIL Georges	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	ZAOUI Philippe	Néphrologie
PU-PH émérite	ZARSKI Jean-Pierre	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

PU-PH : Professeur des Universités - Praticiens Hospitaliers  
 MCU-PH : Maître de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers  
 PU-MG : Professeur des Universités de Médecine Générale  
 MCU-MG : Maître de Conférences des Universités de Médecine Générale  
 PR Ass. Méd. : Professeur des Universités Associé de Médecine  
 PR Ass.MG : Professeur des Universités Associé de Médecine Générale  
 MCF Ass.MG : Maître de Conférences Associé de Médecine Générale

## 7. Annexe : Autres revues de la littérature sur les EIS

Nom	année	Premier Auteur	Dernier Auteur	DOI	Sujet Principal	Sujet sous-jacent	Autres sujets
Health impact assessment – A survey on quantifying tools	2016	Fehr R	Mackenbach J	doi.org/10.1016/j.eiar.2016.01.001	Quantitative Methods		Inequalities, Uncertainty, Evaluation
Participatory Quantitative Health Impact Assessment of Urban and Transport Planning in Cities: A Review and Research Needs	2017	Nieuwenhuijsen M	Rojas-Rueda D	doi.org/10.1016/j.envint.2017.03.022	Community participation	Urban and/or transport planning	Quantitative Methods, Full-chain HIA
Community participation in Health Impact Assessment. A scoping review of the literature	2017	Broeder L	Schuit A	doi.org/10.1016/j.eiar.2017.06.004	Community participation		
A framework for integrated environmental health impact assessment of systemic risks	2008	Briggs D		doi.org/10.1186/1476-069X-7-61	Full-chain HIA	wide review HIA	
Towards environmental health equity in health impact assessment, innovations and opportunities	2018	Buse C	Parkes M	doi.org/10.1007/s00038-018-1135-1	Equity	wide review HIA	
Differing forms, differing purposes: A typology of health impact assessment	2011	Harris-Roxas B	Harris E	doi.org/10.1016/j.eiar.2010.03.003	wide review HIA	Typology	
A review of health impact assessment frameworks	2008	Mindell J	Forde I	doi.org/10.1016/j.puhe.2008.03.014	wide review HIA	Typology	
The integration of health into environmental assessments, with a special focus on strategic environmental assessment	2018	Nowacki J	WHO Europe	frama.link/KB1KtBp8	wide review HIA		
Integrated Environmental Health Impact Assessment for Risk Governance Purposes; Across What Do We Integrate?	2016	Lebret E		doi.org/doi:10.3390/ijerph13010071	Full-chain HIA		
Aphekom – Guidelines on Monetary Cost Calculations Related to Air-Pollution Health Impacts	2011	Chanel O		frama.link/4PLCDJxA	Socio-economic evaluation		