



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Commission de l'économie du
**développement
durable**

Point de repère n° 1

La nécessaire prise en compte
des co-bénéfices
dans l'évaluation des politiques
climatiques

*Corentin Jego-Delacourt et Sandrine Mathy
GAEL-LEA de Grenoble*

NOVEMBRE 2021

Pour établir ses avis, la Commission de l'économie du développement durable s'appuie sur l'expertise scientifique. Ces références, élaborées en toute indépendance par des experts, visent à rendre celle-ci appropriable par tous.

La nécessaire prise en compte des co-bénéfices dans l'évaluation des politiques climatiques

Corentin Jego-Delacourt et Sandrine Mathy
GAEL-LEA de Grenoble

L'évaluation des trajectoires de décarbonation des économies et des politiques climatiques a donné lieu, depuis les années 1990, au développement d'une communauté de modélisations intégrées économie-énergie-environnement. Avec la montée en puissance des travaux du GIEC et en particulier ceux de son Groupe de Travail n°3, qui étudie les conditions de l'atténuation du changement climatique, les modèles d'évaluation se sont multipliés. Leurs analyses permettent d'évaluer notamment le coût marginal de la tonne de carbone évitée, pour d'atteindre un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) ou de stabilisation de leur concentration dans l'atmosphère, ou encore les coûts d'investissements nécessaires dans les différents secteurs. Dans leur grande majorité, ces modèles évaluent que la prévention du risque climatique nécessite certains coûts, conduisant dans un premier temps, au-delà des éventuels effets keynésiens immédiats, à des impacts négatifs sur le PIB et la consommation marchande, par rapport aux scénarios de référence¹.

Cependant, pour apprécier la « valeur sociale nette » des politiques de réduction des émissions, il faut non seulement intégrer les bénéfices découlant des dommages climatiques ainsi évités (événements extrêmes, effets sanitaires des vagues de chaleur par exemple, impacts sur les rendements agricoles, les régimes hydrologiques et la biodiversité...), mais aussi des co-bénéfices associés, c'est-à-dire des bénéfices autres que la diminution des impacts du changement climatique (par exemple la réduction conjointe d'autres polluants atmosphériques agissant directement sur la santé des populations). Ces co-bénéfices sont nombreux et de natures diverses.

Etat des lieux sur les méthodologies développées pour les évaluer et sur les résultats obtenus et enjeux pour l'acceptabilité des politiques climatiques...

Les co-bénéfices des politiques climatiques

Karlsson et al. (2020) fournissent une revue de littérature très complète de ces co-bénéfices (cf. figure 1).

¹ La possibilité d'une augmentation de l'activité économique à la suite des efforts de réduction des émissions de GES, et inversement le risque d'impacts économiques importants, ne sont pas exclus. Peu d'études constatent que l'atténuation augmente la vitesse de la croissance économique par rapport aux scénarios de référence (Pollitt et Mercure 2018 ; Mercure et al. 2019b). Ces études se fondent sur un cadre de modélisation macroéconomique qui suppose que le scénario de référence n'est pas optimal d'un point de vue économique.

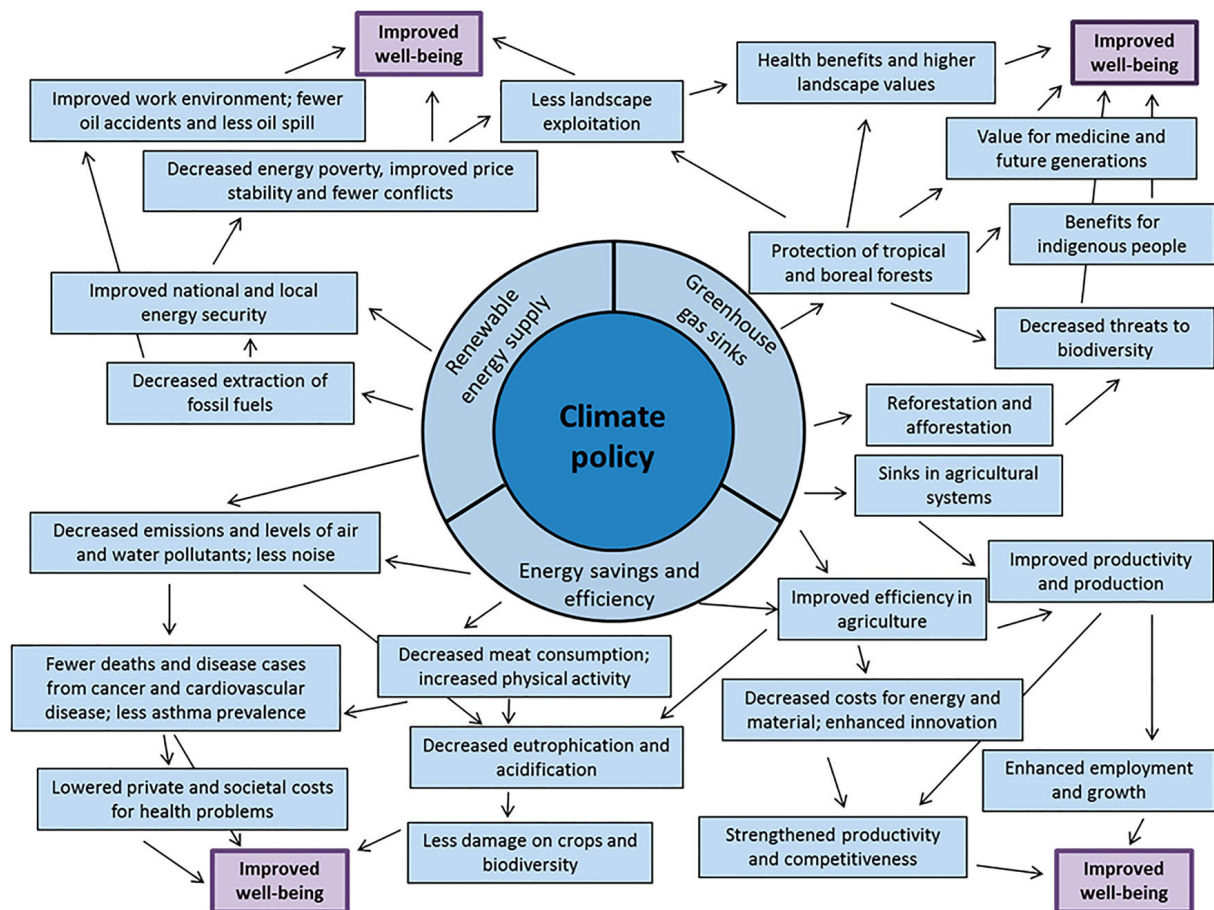


Figure 1 : Catégories de co-bénéfices des politiques climatiques (Source : Karlson et al. 2020)

Tout d’abord, il est généralement admis que les politiques visant à réduire les émissions de GES entraîneraient une **amélioration de la qualité de l’air** en raison de la réduction associée des polluants atmosphériques co-émis lors de la combustion de combustibles fossiles. La pollution atmosphérique a des effets mondiaux majeurs sur la santé humaine, principalement à travers les maladies cardiovasculaires et respiratoires. La pollution de l’air ambiant par les particules (PM) et l’ozone (O₃) serait à l’origine de près de 4,5 millions de décès dans le monde en 2015 (Cohen et al., 2017).

Le coût de ces impacts sanitaires a été estimé à 1 700 milliards de dollars dans les pays de l’OCDE en 2010 et à 1 800 milliards de dollars/an en Chine et en l’Inde. La pollution atmosphérique a également un impact sur les forêts, les écosystèmes, les bâtiments et l’agriculture. On estime que l’ozone entraîne des pertes de récolte mondiales relatives pour le soja (6-16 %), le blé (7-12 %) et le maïs (3-5 %) (UNECE²). En Europe, les pertes économiques dues à l’impact de l’ozone sur 23 cultures s’élèveraient à 6,7 milliards d’euros.

Les politiques climatiques dans le domaine des transports peuvent conduire à des reports modaux de la voiture individuelle vers la marche à pied, le vélo classique ou à assistance électrique, modes que l’on qualifie d’actifs car ils entraînent **une activité physique**, qui permet de diminuer la sédentarité et le risque de maladies cardiovasculaires et de mortalité prématurée.

² <https://unece.org/air-pollution-and-food-production> consulté le 22 octobre 2021

Le changement de **diète alimentaire** dans les pays ayant une alimentation carnée vers une végétalisation de l'alimentation est un potentiel important de baisse des émissions de GES (Rogissart et al., 2019) à travers l'impact sur les émissions liées à l'élevage et à l'usage des terres. Ceci contribuerait à atténuer la destruction de biodiversité. En outre, la diminution de la consommation de produits animaux - qui est actuellement excessive dans le Nord et dans certaines régions du Sud - pourrait réduire le risque de maladies non infectieuses (Garnett 2016). Une évolution mondiale vers un régime méditerranéen pourrait à la fois diminuer ces risques sanitaires et réduire les besoins mondiaux en terres cultivées en 2050 (Tilman et Clark 2014) d'un niveau similaire aux terres supplémentaires requises pour les cultures énergétiques dans des scénarios compatibles avec un réchauffement de 1,5 à 2°C (~300-600 Mha) (Humpeöder et al., 2018 ; van Vuuren et al., 2018).

D'autres impacts positifs peuvent accompagner les politiques climatiques : le développement des énergies renouvelables réduit la vulnérabilité aux approvisionnements énergétiques et renforce la **sécurité énergétique** ; les actions d'efficacité énergétique à travers le déploiement des travaux de rénovation thermique des logements permettraient de réduire la **précarité énergétique**.

Un effet levier sur l'adoption de politiques climatiques

Les actions de réduction des émissions de GES à consentir aujourd'hui génèrent des bénéfices qui ne seront tangibles que plus tard du fait de la durée de vie dans l'atmosphère des gaz à effet de serre. La lutte contre le changement climatique relève donc un problème d'arbitrage entre le présent et le futur. D'autre part, que cela soit pour un Etat, un individu, une collectivité, il est plus intéressant d'attendre que les autres agissent afin de bénéficier de leur action sans avoir à en supporter le coût. C'est le problème du « passager clandestin » qui paralyse la prise de décision politique.

Au contraire, les co-bénéfices peuvent être privatisés (ou « privatifs »), locaux et à beaucoup plus court terme. Ils peuvent alors servir d'effet levier sur l'adoption de politiques climatiques. La littérature montre d'ailleurs que ces co-bénéfices augmentent l'acceptabilité des politiques climatiques et la disponibilité à payer des individus pour lutter contre le réchauffement climatique (Longo et al., 2012).

Néanmoins, ces co-bénéfices ne sont pas totalement immédiats et évidents à obtenir puisqu'ils nécessitent de mettre en œuvre les bonnes synergies. Ainsi, dans le domaine de la pollution atmosphérique par exemple, un enjeu important est de limiter la pollution atmosphérique de particules fines (PM2.5 et PM10) liée au chauffage au bois non efficace (foyers ouverts, poêles à bois non efficaces), alors que le développement du bois énergie est un enjeu important de la limitation des émissions de GES dans le secteur du chauffage. Les synergies sont à trouver dans le déploiement de chaudières ou poêles à granulés performants notamment ou dans d'autres systèmes de chauffage décarbonés et non émetteurs de particules.

Le déploiement de ces synergies permet alors de faire d'une pierre deux coups en terme de politiques publiques et évite de superposer de manière contreproductive des politiques dont les objectifs peuvent s'avérer antagonistes.

De la modélisation des impacts à l'évaluation économique des co-bénéfices des politiques climatiques

Avant 2010, la littérature sur l'évaluation des co-bénéfices des politiques climatiques est restée parcellaire. Par contre depuis 2010 et encore plus depuis 2015 et la signature de l'Accord de Paris qui met sur le devant de la scène les co-bénéfices des politiques climatiques à travers la soumission des contributions nationales des pays, cette littérature est devenue prolifique. La communauté de modélisation a ainsi travaillé à l'évaluation physique et économique des co-bénéfices et à leur intégration dans les modèles économie-énergie-environnement.

L'amélioration de la qualité de l'air est la catégorie de co-bénéfices qui domine la littérature, mais des études portent également sur l'alimentation, l'activité physique, la qualité des sols et de l'eau, la biodiversité, les performances économiques et la sécurité énergétique. Cependant, la part des études quantifiant ou monétisant les co-bénéfices est limitée, et les preuves empiriques sont peu nombreuses, en particulier pour les domaines autres que la qualité de l'air et la santé.

Jego-Delacourt et Mathy (2021) réalisent une revue de littérature des méthodologies de modélisation développées pour l'évaluation physique et économique des co-bénéfices des politiques climatiques sur la pollution atmosphérique et ses impacts (Figure 2). Ces méthodes ont beaucoup évolué ces dernières années.

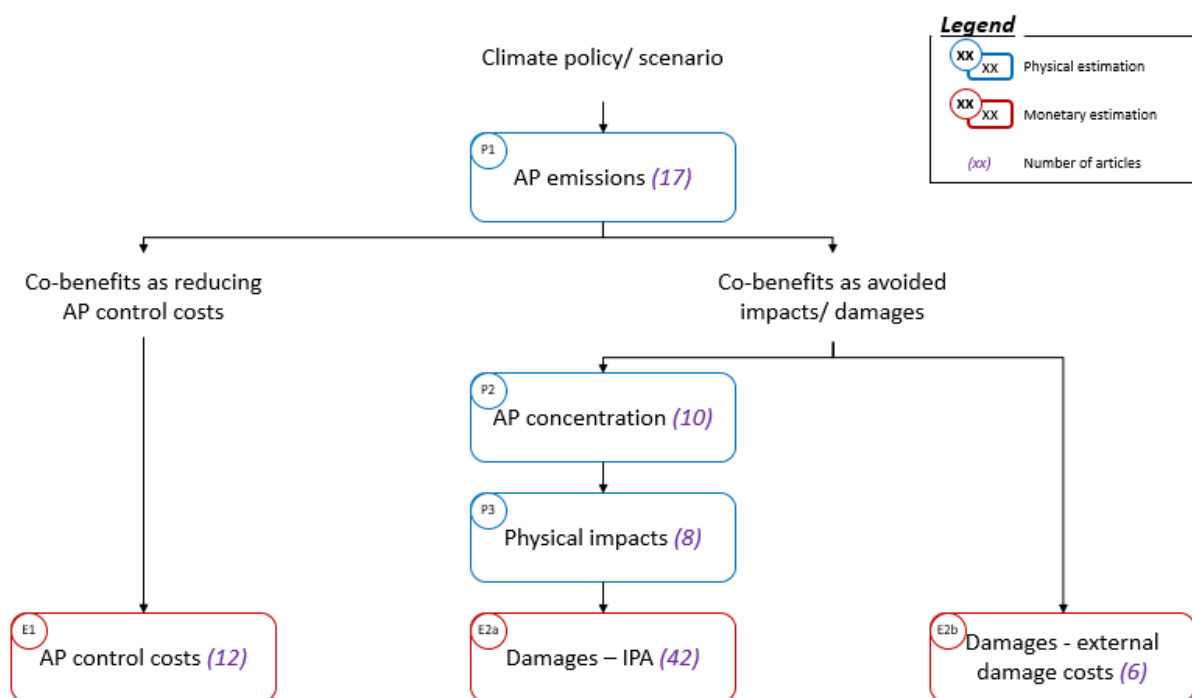


Figure 2 : Méthodologie d'évaluation des co-bénéfices des politiques climatiques sur la réduction de la pollution atmosphérique (Source : Jego-Delacourt et Mathy, 2021)

Les co-bénéfices des politiques climatiques sur l'amélioration de la qualité de l'air peuvent être perçues de deux manières distinctes : soit sous l'angle de la réduction des coûts de contrôle à mettre en œuvre pour réduire la pollution, soit sous l'angle de la réduction des impacts de la pollution.

La première approche nécessite d'avoir recours aux coûts des technologies de dépollution et repose souvent sur le recours au modèle GAINS développé par l'IIASA. Ceci permet de calculer un coût de réduction des émissions de GES net **des coûts de dépollution**. Plusieurs de ces études se focalisent par exemple sur l'impact du Protocole de Kyoto et leurs conclusions restent de ce fait modestes sur les économies en terme de coût de contrôle fournies par les politiques climatiques (inférieures à 20 %). Plus récemment Li et al. (2019) montrent que pour la Chine, la réduction du coût de contrôle de la pollution compense le coût nécessaire pour la mise en œuvre de la contribution nationale mais pas dans le cas d'un scénario 2°C. Bollen (2015) montre que pour un scénario 450 ppm que les coûts évités couvriraient 75 % des coûts des politiques climatiques dans les pays en développement et la totalité au niveau global.

L'autre approche vise l'évaluation économique de la baisse des impacts physiques liés à la pollution atmosphérique. Deux types de démarches de modélisation peuvent alors être déployées.

Une première catégorie utilisée jusqu'au début des années 2010 repose **sur la méthode des coûts externes**. Elle consiste à appliquer directement aux réductions des émissions de pollution atmosphérique projetées les coûts des dommages par tonne de polluant provenant de la littérature. Les coûts externes unitaires des dommages utilisés sont par exemple un coût sanitaire par tonne de polluant, un dommage marginal concernant la dégradation des forêts, de la qualité de l'eau douce, la valeur des productions agricoles.

Néanmoins, la validité de cette méthodologie est limitée. En effet, il n'existe pas dans la littérature de valeur unitaire des dommages spécifiques à chaque contexte ou pays. Une particule fine n'aura pas le même impact si elle est émise en milieu urbain et dense ou dans une zone agricole ou encore dans une zone sensible d'un point de vue de la biodiversité ou des écosystèmes. Des évaluations plus robustes de ces impacts nécessiteraient d'avoir une meilleure connaissance de l'exposition à la pollution des hommes et des milieux spécifiquement à chaque contexte.

C'est pourquoi sous l'impulsion des progrès dans le domaine des modèles de qualité de l'air et en épidémiologie sur l'impact sanitaire de l'exposition à la pollution (à travers l'établissement de fonctions doses-réponses), la **méthode par voie d'impact** s'est développée. C'est majoritairement cette méthode qui est désormais utilisée pour l'évaluation économique des co-bénéfices des politiques climatiques sur la pollution atmosphérique. Elle repose sur le couplage de modèles tels que décrits dans la figure 3.

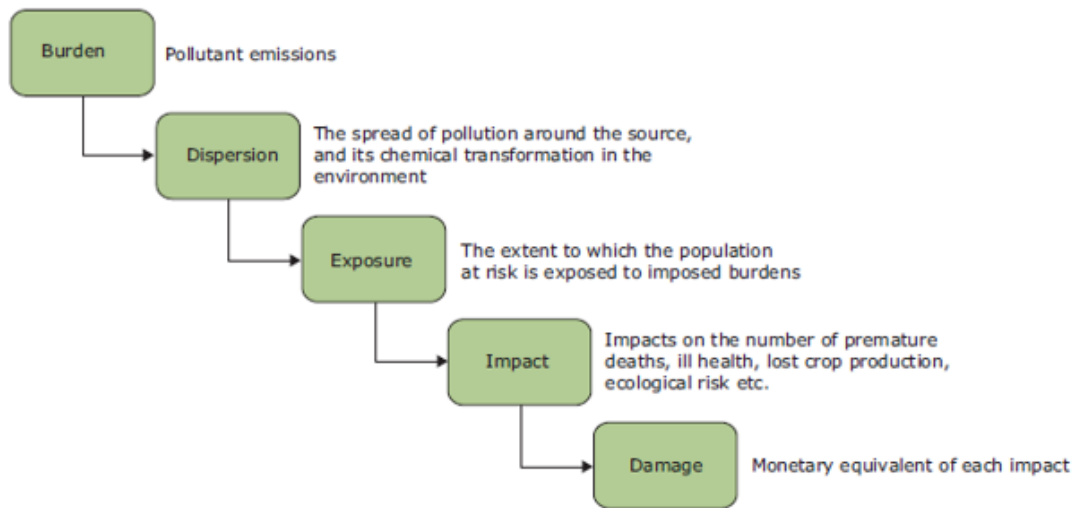


Figure 3: La méthode par voie d'impact (Source: EEA Technical report No 20/2014)

Un scénario ou une trajectoire d'émissions de GES est traduit en émissions de polluants souvent par le biais d'un module d'émissions de polluants intégré dans le modèle économie-énergie-environnement. La concentration en polluants et l'exposition de la population à cette pollution sont alors obtenues par le couplage à un modèle de qualité de l'air qui combine dispersion des polluants dans l'atmosphère et chimie de l'atmosphère représentant la transformation physique du polluant (agglomération des particules à une taille supérieure) et la transformation chimique des polluants (transformation non linéaire des précurseurs de l'ozone, conversion des polluants gazeux tels que les NOx en particules). Le modèle CHIMERE développé par l'IPSL et l'INERIS est par exemple utilisé au niveau européen (Colette et al., 2012a; Colette et al., 2012b; Colette et al., 2013) notamment pour évaluer les feuilles de route européennes, mais de nombreux autres modèles de qualité de l'air existent à différents niveaux géographiques. La difficulté du couplage avec un scénario d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants réside dans les différences de résolution géographique (un modèle de chimie transport a un niveau de résolution très fin par exemple de l'ordre de 2 km pour CHIMERE). Un enjeu méthodologique important est le traitement appliqué aux émissions de polluants atmosphériques prises en compte dans le modèle de qualité de l'air afin de surmonter les différences d'agrégation spatiale mentionnées précédemment.

Les impacts physiques induits par l'exposition à la pollution sont alors calculés. La catégorie d'impacts la plus couverte est la santé grâce aux fonctions dose-réponse établies en épidémiologie. Les impacts sanitaires étudiés sont alors principalement la mortalité prématurée ou le nombre d'années de vie perdues liés à une exposition de long terme aux PM2,5 ou au NO2.

Ce n'est que plus récemment que les impacts sur la morbidité (principalement maladies cardiovasculaires et respiratoires) ont également été pris en compte, car l'établissement des fonctions doses-réponses nécessitent des niveaux de preuve suffisant qui sont difficiles à établir et nécessitent des études de cohortes sur un temps long. Gabet et al., (2021) montrent également l'association entre exposition à long terme au NO2 ou à des polluants atmosphériques co-émis et augmentation du risque de cancer du sein. Au-delà des impacts sanitaires liés à une exposition de long terme

des impacts de court terme (épisodes de santé liés suivant immédiatement une exposition tels que l'asthme) peuvent également être pris en compte.

La dernière étape de cette modélisation par voie d'impact est la monétarisation des dommages évités. La mortalité est généralement monétarisée en s'appuyant sur la méthodologie de la valeur de la vie statistique ou la valeur des années de vie perdues. Ceci suscite des controverses sur la valeur d'une vie humaine et ses limites. Ainsi on entend souvent qu'il est immoral de donner une valeur à la vie humaine. Néanmoins ce qui est pris en compte dans ces études, c'est la valeur statistique de la vie humaine qui est la valeur que la société est prête à payer pour diminuer le risque de mortalité due à telle ou telle cause dans la population (voir encadré). Une autre limite est la pertinence d'appliquer une valeur calculée pour un pays à un autre pays. Afin de pallier ce problème, plusieurs articles utilisent une méthode de transfert et ajustent la valeur de la vie statistique par le PIB, avec une élasticité allant de 0,5 à 0,8.

Le coût de la morbidité est principalement basé sur le coût de la maladie et les dépenses médicales. La perte de production induite par l'absentéisme peut également être prise en compte.

Des impacts autres que sanitaires sont aussi considérés mais beaucoup plus rarement. L'impact sur les rendements agricoles induits par les émissions de précurseurs à l'origine d'une augmentation de la concentration en ozone sont monétarisés à l'aide du prix des marchés agricoles. Ščasný, et al. (2015) évaluent également le coût économique lié à la dégradation du bâti à partir des coûts de maintenance et de rénovation et sur la biodiversité en s'appuyant sur une mesure du « Potential Disappeared Fraction » des espèces (Frischnecht and Steiner 2006) induits par l'eutrophisation et l'acidification et sur la méthode des coûts de restauration.

Les co-bénéfices des politiques climatiques peuvent être supérieurs au coût de la décarbonation

Les résultats intégrant les co-bénéfices des politiques climatiques montrent que les co-bénéfices peuvent partiellement (Syri et al. 2001, van Vuuren et al. 2006, Woollacott 2018, Chang et al. 2020) ou complètement (Thompson et al. 2016, Kim et al. 2020) compenser les coûts de réduction des émissions de GES, particulièrement dans le cadre de trajectoires de 1,5 à 2°C (Markandya et al. 2018, Vandyck et al. 2018, Xie et al. 2018, Sampedro et al. 2020).

De nouvelles dimensions et un périmètre élargi d'évaluation permettent également d'atteindre des valeurs plus élevées.

Ainsi, West et al. (2013) tiennent compte de l'impact du transport transfrontalier des polluants atmosphériques sur la santé et de l'impact des émissions de méthane sur l'ozone. Outre les co-bénéfices directs de la réduction des polluants atmosphériques co-émis (principalement locaux et immédiats), ils intègrent un deuxième mécanisme de co-bénéfices, non quantifié auparavant, dans lequel le ralentissement du changement climatique diminue ses effets sur la qualité de l'air (au niveau mondial et à long terme). Avec un tel périmètre élargi, les co-bénéfices sont estimés entre 50 et 380 \$/tCO₂ en moyenne au niveau mondial, de 30 à 600 \$/tCO₂ pour les États-Unis et l'Europe occidentale, de 70 à 840 \$/tCO₂ pour la Chine et de -20 à 400 \$/tCO₂ pour l'Inde.

Zhang et al. (2017) quantifient les co-bénéfices issus des réductions d'émissions de GES en dehors des frontières nationales en plus des réductions domestiques. Ceci conduit à des bénéfices sur la mortalité prématurée évitée du fait de la pollution à l'ozone et aux PM2.5 conduisant à des valeurs élevées des co-bénéfices dont 31 % proviennent des réductions d'émissions de GES non domestiques.

Perspectives de recherches

Malgré tous ces résultats, il reste des enjeux de taille dans l'évaluation des co-bénéfices des politiques climatiques.

Tout d'abord, certains éclaircissements méthodologiques seraient nécessaires pour une évaluation sanitaire robuste. Ainsi, la manière dont les fonctions doses-réponses sont utilisées dans les travaux d'évaluation des co-bénéfices ne semble pas pertinente.

En effet, pour les bénéfices sanitaires liés à des pathologies résultant d'une exposition de long terme, il y a un délai entre la mise en place d'une réglementation ou d'une politique et l'atteinte effective de l'ensemble des bénéfices sanitaires. Or, les fonctions doses-réponses élaborées par les épidémiologistes suivent des populations distinctes exposées à des niveaux différents de pollution sur le long terme, ce qui n'est pas le contexte de déploiement progressif de scénarios de baisse de l'exposition. Pour remédier à ce problème, l'Environmental Protection Agency (2004) propose d'avoir recours à un *cessation lag* qui permet de ne comptabiliser qu'une fraction des bénéfices sanitaires les premières années à la suite de la baisse de l'exposition (Figure 4). Ces enjeux ne sont presque jamais évoqués dans les évaluations des co-bénéfices des politiques climatiques, mais pourraient conduire à une réévaluation à la baisse des co-bénéfices sanitaires.

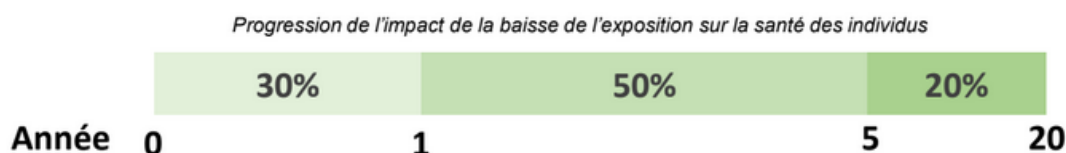


Figure 4 : Le principe du Cessation Lag. Source : EPA (2004)

Les recherches portant sur les impacts sanitaires de la pollution continuent de progresser. Au-delà de la robustesse des associations entre pathologies et expositions, les enjeux actuels portent notamment sur l'évaluation sanitaire du *black carbon*, un des composant des particules fines (Sommar et al., 2021), et sur le potentiel oxydant comme nouveau marqueur de l'impact sanitaire des particules (Daellenbach et al., 2020). En effet les particules fines selon les secteurs émetteurs n'ont pas la même composition chimique et donc le même potentiel oxydant à l'intérieur de l'organisme, ce potentiel oxydant conduisant à des pathologies. Ceci pourrait conduire à l'identification de secteurs émetteurs de particules fines plus nocives que d'autres.

Au-delà des co-bénéfices en terme de pollution, un des principaux enjeux de recherche est bien sûr d'élargir le périmètre considéré, notamment sur la biodiversité et les écosystèmes, l'agriculture, l'activité physique liée aux changements de mobilité.

Enfin, la systématisation de l'évaluation des politiques climatiques au regard de l'ensemble de leurs co-bénéfices semble un impératif à mettre en place pour sortir d'une logique dans laquelle les politiques climatiques ne sont perçues que comme un coût net pour la société. Les évaluations des récentes propositions de la Commission européenne, mais aussi les trajectoires nationales devraient ainsi être élargies.

Au niveau local, les co-bénéfices des politiques climatiques générant des bénéfices de court terme et plus appropriables par la population que les bénéfices climatiques peuvent constituer l'entrée privilégiée des collectivités territoriales pour l'adoption et la mise en œuvre de politiques ambitieuses.

Ainsi, Bouscasse et al. (under review) dans le projet MobilAir³ (Figure 5) étudient les mesures sectorielles permettant de réduire de 2/3 la mortalité prématurée liée la pollution atmosphérique dans la métropole grenobloise. Pour atteindre cet objectif sanitaire, il faudrait ainsi remplacer tous les chauffages au bois non efficaces par des poêles à granulés d'ici à 2030, instaurer une zone à faible émission interdisant tous les véhicules diesel et les véhicules essences datant d'avant 2011 pour aboutir à une réduction de 36 % des kilomètres parcourus par les voitures individuelles. Cette réduction de la place de la voiture individuelle devrait conduire à des reports modaux massifs vers les modes actifs (marche et vélo classique ou à assistance électrique) dont la pratique entraîne des bénéfices sanitaires extrêmement importants du fait du regain d'activité physique. L'analyse coût-bénéfice de ces mesures tenant compte à la fois du coût des mesures, de l'impact sur les dépenses des ménages et de l'ensemble des externalités conduit à un bénéfice net annuel moyen par habitant de près de 600 € sur la période 2020-45.

Une telle approche et ce type de résultats rendent tangibles les bénéfices des politiques environnementales et devraient être généralisés pour une meilleure appropriation par les collectivités territoriales des synergies à mettre en œuvre au niveau local.

³ Le projet MobilAir (<https://mobilair.univ-grenoble-alpes.fr/mobilair/>) est un projet interdisciplinaire comprenant des modélisateurs de l'atmosphère, des chimistes de l'atmosphère, des épidémiologistes, des géographes, des psychologues, des économistes et l'agence de qualité de l'air de la région Auvergne-Rhône Alpes. Une chaîne de modélisation très complète a été développée, permettant notamment d'identifier et d'évaluer à partir d'objectifs sanitaires donnés, les mesures sectorielles compatibles avec ces objectifs.



Projet MobilAir

145 personnes meurent prématurément chaque année dans l'agglomération grenobloise du fait de la pollution aux particules fines

Source: Morelli et al., 2019

Objectif : Réduire de 2/3 (97) la mortalité due aux particules fines sur l'agglomération grenobloise



Remplacer tous les chauffages au bois non efficaces par des poêles à granulés d'ici à 2030



- Mettre en place une **zone à faible émission** interdisant tous les véhicules diesel et les véhicules essence datant d'avant 2011

- **Baisse de 36% du nombre de pass.km** parcourus par les voitures sur le territoire

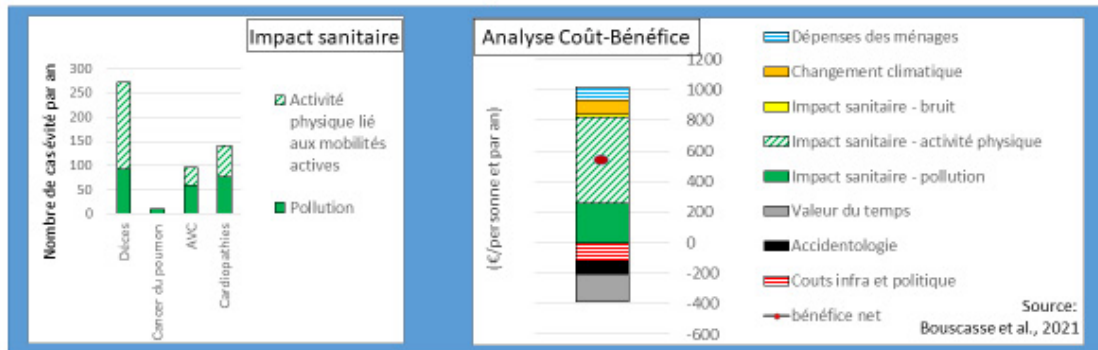


Figure 5 : le projet MobilAir

Tout ceci constitue en soi un agenda de recherche interdisciplinaire ambitieux mais nécessaire. Ce n'est qu'à cette condition que les co-bénéfices pourront jouer un rôle d'effet levier dans l'adoption de politiques ambitieuses, faire émerger des synergies entre les enjeux environnementaux et sociaux.

Bibliographie

- Bollen, J. (2015). The value of air pollution co-benefits of climate policies: Analysis with a global sector-trade CGE model called WorldScan. *Technological Forecasting and Social Change*, 90, 178–191.
- Bouscasse H., Gabet S., Kerneis G., Provent A., Rieux C., Ben Salem N., Troude F., Mathy S., Remy S., (under review). Designing local air pollution policies focusing on mobility and heating to avoid a targeted number of pollution-related deaths: forward and backward approaches combining air pollution modeling, health impact assessment, and cost-benefit analysis, *Environment International*
- Chang et al. 2020. Air quality and health co-benefits of China's national emission trading system. *Applied Energy*
- Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*. 2017;389(10082):1907-1918. doi:10.1016/S0140-6736(17)30505-6
- Colette et al. 2012.a Future air quality in Europe: a multi-model assessment of projected exposure to ozone. *Atmospheric Chemistry and Physics*
- Colette et al. 2012.b Cobenefits of climate and air pollution regulations - The context of the European Commission Roadmap for moving to a low carbon economy in 2050. ETC/ACM Technical Paper 2011/20
- Colette, A., Bessagnet, B., Vautard, R., Szopa, S., Rao, S., Schucht, S., Klimont, Z., Menut, L., Clain, G., Meleux, F. et al. 2013. European atmosphere in 2050, a regional air quality and climate perspective under CMIP5 scenarios. *Atmospheric Chemistry and Physics*
- Daellenbach, K. R., Uzu, G., Jiang, J., Cassagnes, L. E., Leni, Z., Vlachou, A., ... & Prévôt, A. S. (2020). Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe. *Nature*, 587(7834), 414-419.
- Frischknecht R., Steiner R., Braunschweig A., Elgi N., Hildesheimer G. (2006). *Swiss Ecological Scarcity Method: The New Version 2006*
- Garnett, T., 2016: Plating up solutions. *Science* (80-.), 353, 1202–1204, <https://doi.org/10.1126/science.aah4765>.
- Humpenöder, F., and Coauthors, 2018: Large-scale bioenergy production: How to resolve sustainability trade-offs? *Environ. Res. Lett.*, 13, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9e3b>.
- Jego-Delacourt C. et Mathy S. 2021. (Working Paper). Assessing the co-benefits of climate policies on air pollution and its impacts: issues and methods
- Karlsson, M., E. Alfredsson, and N. Westling, 2020b: Climate policy co-benefits: a review. *Clim. Policy*, 20, 292–316, <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1724070>.
- Kim et al. 2020. Air quality co-benefits from climate mitigation for human health in South Korea. *Environment International*
- Li, N. et al. 2019. Air Quality Improvement Co-benefits of Low-Carbon Pathways toward Well Below the 2 °C Climate Target in China. *Environmental science and technology*
- Li, M. et al. 2019. Co-benefits of China's climate policy for air quality and human health in China and transboundary regions in 2030. *Environmental Research Letters*
- Longo, A., Hoyos, D., & Markandya, A. (2012). Willingness to pay for ancillary benefits of climate change mitigation. *Environmental and Resource Economics*, 51(1), 119-140
- Markandya, A., Sampedro, J., Smith, S. J., Van Dingenen, R., Pizarro-Irizar, C., Arto, I., & González-Eguino, M. (2018). Health co-benefits from air pollution and mitigation costs of the Paris agreement: A modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 2(3), e126–e133. doi:10.1016/S2542-5196(18)30029-9

Mercure, J. F., F. Knobloch, H. Pollitt, L. Paroussos, S. S. Scricciu, and R. Lewney, 2019b: Modelling innovation and the macroeconomics of low-carbon transitions: theory, perspectives and practical use. *Clim. Policy*, 19, 1019–1037, <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1617665>.

Pollitt, H., and J. F. Mercure, 2018: The role of money and the financial sector in energy-economy models used for assessing climate and energy policy. *Clim. Policy*, 18, 184–197, <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1277685>.

Rogissart L., Bellassen V., Foucherot C. (2019). Estimating greenhouse gas emissions from food consumption: methods and results, I4CE report.

Sampedro, J., J. Smith, S., Artoa, I., González-Eguino, M., Markandya, A., M. Mulvaney, K., Pizarro-Irizar, C., Van Dingenen, R. 2020. Health co-benefits and mitigation costs as per the Paris Agreement under different technological pathways for energy supply. *Environment International*

Ščasný, M. et al. 2015. Quantifying the ancillary benefits of the Representative Concentration Pathways on air quality in Europe

Sommar, J. N., Andersson, E. M., Andersson, N., Sallsten, G., Stockfelt, L., Ljungman, P. L., ... & Forsberg, B. (2021). Long-term exposure to particulate air pollution and black carbon in relation to natural and cause-specific mortality: a multicohort study in Sweden. *BMJ open*, 11(9), e046040.

Syri S et al. 2001 Low-CO₂ energy pathways and regional air pollution in Europe *Energy Policy* 29 871–84

Thompson, T. M., Rausch, S., Saari, R. K., & Selin, N. E. (2016). Air quality co-benefits of subnational carbon policies. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 66(10), 988–1002. doi:10.1080/10962247.2016.1192071

Tilman, D., and M. Clark, 2014: Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515, 518–522, <https://doi.org/10.1038/nature13959>.

US EPA. 2004. Advisory Council on Clean Air Compliance Analysis Response to Agency Request on Cessation Lag. EPA-COUNCIL-LTR-05-001

Vandyck, T., Keramidas, K., Kitous, A., Spadaro, J.V., Van Dingenen, R., Holland, M., Saveyn, B., 2018. Air quality co-benefits for human health and agriculture counterbalance costs to meet Paris Agreement pledges. *Nat. Commun.* 9. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06885-9>.

Vandyck, T., Keramidas, K., Tchong-Ming, S., Weitzel, M., Van Dingenen, R. 2020. Quantifying air quality co-benefits of climate policy across sectors and regions. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02685-7>

van Vuuren, D. P., Cofala, J., Eerens, H. E., Oostenrijk, R., Heyes, C., Klimont, Z., ... Amann, M. (2006). Exploring the ancillary benefits of the Kyoto Protocol for air pollution in Europe. *Energy Policy*, 34, 444–460.

van Vuuren, D. P., M. G. J. den Elzen, P. L. Lucas, B. Eickhout, B. J. Strengers, B. van Ruijven, S. Wonink, and R. van Houdt, 2007: Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Clim. Change*, 81, 119–159, <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9172-9>.

West, J.J., Smith, S.J., Silva, R.A., Naik, V., Zhang, Y., Adelman, Z., et al., 2013. Co-benefits of mitigating global greenhouse gas emissions for future air quality and human health. *Nat. Clim. Chang.* 3, 885–889.

Woollacott 2018. The economic costs and co-benefits of carbon taxation: a general equilibrium assessment. *Climate change economics*

Xie, et al. 2018. Co-benefits of climate mitigation on air quality and human health in Asian Countries. *Environment International*

Zhang, Y., Smith, S. J., Bowden, J. H., Adelman, Z., & West, J. J. (2017). Co-benefits of global, domestic, and sectoral greenhouse gas mitigation for US air quality and human health in 2050. *Environmental Research Letters*, 12, 114033. doi:10.1088/1748-9326/aa8f76