

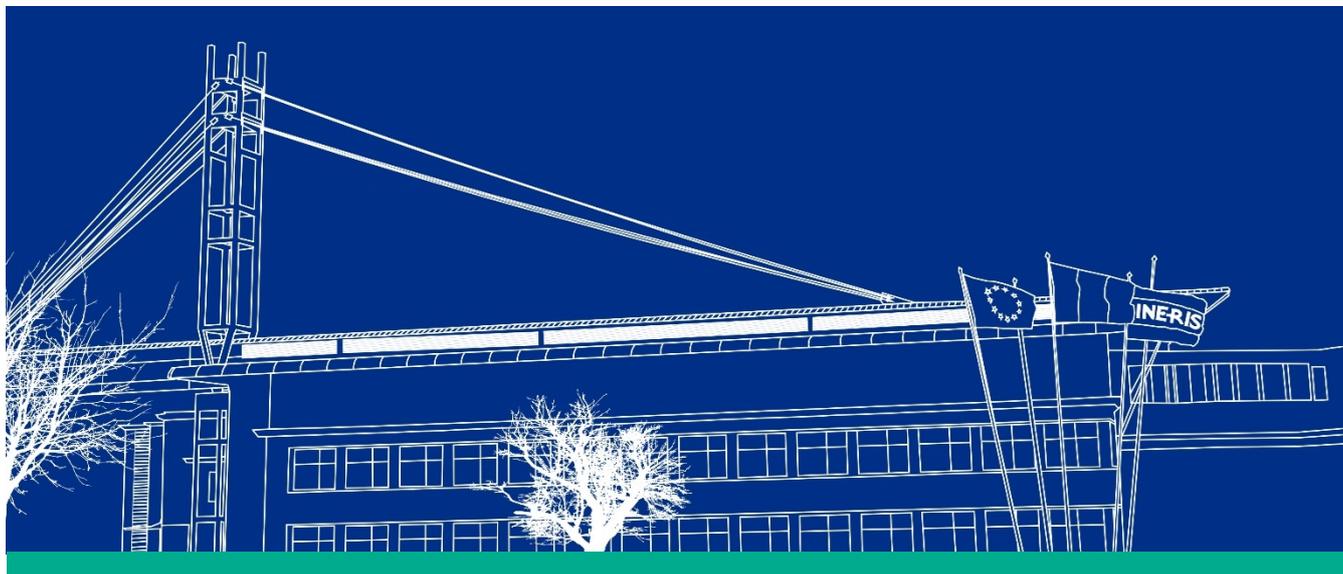


RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

INERIS

maîtriser le risque |  
pour un développement durable |



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 211446 - 2775678 - v1.0

09/10/2024

## Méthodes et valeurs guides pour l'estimation de bénéfices de ZFE

## **PRÉAMBULE**

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : DIRECTION STRATEGIE POLITIQUE SCIENTIFIQUE ET COMMUNICATION

Rédaction : CHAPON Valentin - SCHUCHT SIMONE

Vérification : BOUCARD PIERRE; BRIGNON JEAN MARC

Approbation : Document approuvé le 09/10/2024 par GAY DIDIER

## Table des matières

1	Introduction .....	7
2	Effets sur la santé et sur le temps de transport d'une ZFE-m .....	8
3	Méthodes pour quantifier l'impact sanitaire associé au changement de la qualité de l'air .....	10
3.1	Calculs sur la base d'outils .....	10
3.2	Valeurs de référence .....	13
4	Quantification et monétarisation des effets sanitaires du report modal vers des transports actifs	15
4.1	Calculs sur la base d'un outil .....	15
4.2	L'utilisation de valeurs de référence .....	17
5	Méthodes existantes pour quantifier et monétariser les impacts du bruit sur la santé humaine ...	19
5.1	Méthode détaillée pour évaluer les effets du bruit sur la santé .....	19
5.2	Valeurs de référence .....	20
6	Méthodes pour quantifier et monétariser le temps passé dans les transports .....	22
7	Applicabilité des méthodes et valeurs de référence .....	23
7.1	Présentation des données fournies par le BQA dans les études LOM .....	23
7.2	Mise en perspective avec les données nécessaires pour évaluer les bénéfices d'une ZFE	24
7.2.1	Estimation des bénéfices sanitaires d'une amélioration de la qualité de l'air .....	24
7.2.2	Estimation des bénéfices sanitaires d'une augmentation des modes actifs .....	25
7.2.3	Estimation des bénéfices sanitaires d'une réduction du bruit lié aux transports .....	26
7.2.4	Estimation des bénéfices sanitaires d'une modification du temps passé dans les transports .....	26
7.3	Conclusion de l'utilisation des données des études fournies par le BQA .....	26
8	Conclusions .....	27
9	Références .....	28

## Tables des illustrations

Figure 1 : Impacts sanitaires et temporels générés par la mise en place d'une ZFE-m, figure inspirée de (ORS, 2018) .....	9
Tableau 1 : Impacts sanitaires actuellement quantifiés et monétarisés dans ARP .....	11
Tableau 2 : Coûts unitaires par effet sanitaire, en € <sub>2015</sub> .....	12
Tableau 3 : Coûts marginaux de dommages pour le secteur du transport routier en France, en € <sub>2021</sub> .	14
Tableau 4 : Bénéfices sanitaires de l'activité physique vélo monétisés par kilomètre parcouru .....	18
Tableau 5 : Bénéfices sanitaires de l'activité physique marche à pied monétisé par kilomètre parcouru .....	18
Tableau 6 : Risques associés à la pratique du vélo et à la marche à pied.....	19
Tableau 7 : Coefficients d'efficacité pour le calcul des années de vie en bonne santé perdues pour la nuisance au bruit et les troubles du sommeil .....	20
Tableau 8 : Valeurs monétaires en € <sub>2016</sub> par dB pour l'exposition annuelle par personne exposée au bruit pour l'impact nuisance et l'impact sur la santé .....	21
Tableau 9 : Impacts monétarisés du bruit sur la santé et sur la qualité de vie rapporté aux kilomètres parcourus valeurs en € <sub>2016</sub> .....	21
Tableau 10 : Coût du temps par km par type de transport euros (année non précisée) (CGDD, 2015) .....	22
Tableau 11 : Données nécessaires pour quantifier les bénéfices sanitaires d'une amélioration de la qualité de l'air .....	24
Tableau 12 : Données nécessaires pour quantifier les bénéfices sanitaires d'une augmentation des modes actifs (vélo) .....	25
Tableau 13 : Données nécessaires pour quantifier les bénéfices sanitaires d'une réduction du bruit lié aux transports.....	26
Tableau 14 : Données nécessaires pour quantifier les effets sanitaires d'une modification du temps passé dans les transports.....	26

## Résumé

L'objectif de cette étude est de proposer des méthodes et valeurs de référence pour quantifier certains bénéfices sanitaires des Zones à Faibles Émissions-mobilité (ZFE-m) et de mesures les accompagnant, tels que des investissements pour favoriser les déplacements à pied ou à vélo, aménager des zones de stationnement, ou développer les transports en commun. Ces mesures sont prévues dans la Loi n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités (LOM).

Elles permettent de générer des bénéfices sanitaires directs grâce à l'amélioration de la qualité de l'air et la réduction du bruit, et indirects avec l'augmentation potentielle de l'activité physique. La mise en place de ZFE-m conduit également à une réduction des émissions de gaz à effet de serre, mais pourrait également générer des impacts environnementaux liés au renouvellement du parc de véhicules notamment (extraction de minerais, transport de matériaux...). Le présent rapport traite des impacts sanitaires et des impacts sur le temps passé dans les transports mais pas des impacts environnementaux.

Le rapport recense des méthodes et valeurs de référence disponibles pour quantifier certains bénéfices sanitaires des ZFE-m, présentés dans des guides et outils ou utilisés par des agences publiques en France, au niveau de la Commission européenne (CE) ou de l'Organisation mondiale pour la Santé (OMS). Les éléments présentés dans ce rapport ont pour but d'aider le décideur public à quantifier et monétiser les bénéfices sanitaires associés à la mise en place de la ZFE-m. La quantification des bénéfices associés aux ZFE-m se fera par comparaison de scénarios, par exemple entre la situation en termes de pollution sans et avec la mise en place de ZFE-m.

Le choix de la méthode ou de la valeur de référence pour estimer les bénéfices dépendra des éléments à la disposition de l'utilisateur. L'utilisation des valeurs de référence permettra de faire une première estimation des bénéfices avant d'effectuer des calculs plus spécifiques. Dans la mesure du possible nous privilégions toutefois les calculs plus complets ou outils disponibles au transfert de valeurs de référence. Les limites et incertitudes liées aux différentes approches de quantification sont discutées dans cette étude.

Enfin, le rapport analyse la faisabilité de l'estimation des bénéfices de la mise en place de ZFE-m et d'autres mesures associées. Pour cela, il utilise les méthodes et les valeurs de référence identifiées à partir des données disponibles dans deux études mises à notre disposition par le BQA. Dans ces études, le CITEPA et un certain nombre des AASQA ont étudié les réductions d'émissions atteignables par la mise en place des ZFE-m et les concentrations atmosphériques associées.

Le calcul des coûts pour la mise en place de mesure de type ZFE-m n'est pas étudié dans ce rapport. La disponibilité d'estimations de ces coûts serait utile pour pouvoir mener des études de types coûts-bénéfices ou coût-efficacité.

## Abstract

The aim of this study is to propose methods and reference values for quantifying certain health benefits of Low Emission Zones (LEZs) and accompanying measures, such as investments to encourage walking or cycling, develop parking areas, or develop public transport. Such measures are provided for in the law on the orientation of mobility (LOM - "LOI n° 2019-1428 of 24 December 2019").

They generate direct health benefits through improved air quality and noise reduction, and indirect benefits through the potential increase in physical activity. The introduction of a LEZ will also lead to a reduction in greenhouse gas emissions but could also generate environmental impacts linked to the renewal of the vehicle fleet (extraction of minerals, transport of materials, etc.). This report deals with health impacts and impacts on time spent in transport, for which methods and reference values are available, but not with environmental impacts.

The report lists the methods and reference values available for quantifying certain health benefits of LEZs, presented in guides and tools, or used by public agencies in France or at the level of the European Commission (EC) and the World Health Organisation (WHO). The elements presented in this report are intended to help public decision-makers quantify and monetise the health benefits associated with the introduction of a LEZ. The benefits associated with LEZs will be quantified by comparing different scenarios, for example the pollution situation before and after the introduction of a LEZ.

The choice of method or guide reference for estimating the benefits will depend on the information available to the user. The use of reference values can serve an initial estimate of the benefits before

carrying out more comprehensive calculations. Wherever possible, however, we prefer more comprehensive calculations or available tools to the use of reference values. Finally, the limits and uncertainties associated with the different quantification approaches are also discussed in this report.

Finally, the report analyses the feasibility of estimating the benefits of introducing LEZs and other associated measures, using the methods and reference values identified, with the data available in two studies made available to us by the BQA. In these studies, the CITEPA and several AASQAs studied the emission reductions achievable by introducing LEZs and the associated atmospheric concentrations.

The calculation of the costs of implementing measures such as the LEZ is not examined in this report. The availability of cost estimates would be useful for conducting cost-benefit or cost-effectiveness studies.

**Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :**

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Méthode et valeurs guides pour estimation de bénéfices de ZFE Verneuil-en-Halatte : Ineris - 211446 - v1.0, 09/10/2024.

**Mots-clés :**

Qualité de l'air, dommages, bénéfices, santé, quantification des impacts, monétarisation, France, ZFE, bruit, modes actifs, mobilité

# 1 Introduction

Un des objectifs de la LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités (LOM) est d'« accélérer la transition énergétique, la diminution des émissions de gaz à effet de serre et la lutte contre la pollution et la congestion routière, en favorisant le rééquilibrage modal au profit des déplacements opérés par les modes individuels, collectifs et de transport de marchandises les moins polluants, tels que le mode ferroviaire, le mode fluvial, les transports en commun ou les modes actifs, en intensifiant l'utilisation partagée des modes de transport individuel et en facilitant les déplacements multimodaux ». Dans ce cadre, la loi (LOM) a pour objectif de développer de nouvelles actions (plan vélo, prime à la conversion, développement du covoiturage) « pour faire baisser les émissions et les concentrations notamment pour les NO<sub>x</sub> ». (France Stratégie, 2022). En effet, la France a été condamnée à plusieurs reprises par le conseil d'Etat pour non-respect des normes de la qualité de l'air pour les polluants NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub><sup>1</sup>.

Parmi ces actions figurent les Zones à Faibles Émissions-mobilité (ZFE-m). Initialement ces zones étaient prévues pour 10 collectivités (dites « collectivités LOM ») enregistrant des concentrations dépassant des valeurs limites de polluants atmosphériques. La Loi n°2021-1104 du 22 août 2021 dite « Climat et Résilience » a étendu leur déploiement aux agglomérations de 150 000 habitants avant le 31 décembre 2024. (ADEME, 2023). 33 agglomérations rejoignent ainsi les 10 collectivités affichant des concentrations excessives en polluants atmosphériques pour lesquelles ce déploiement avait été rendu obligatoire par la loi (ADEME, 2023). La mise en place de ZFE-m se déroule généralement en parallèle d'autres investissements pour favoriser les déplacements à pied ou à vélo, aménager des zones de stationnement, ou développer les transports en commun par exemple.

Le déploiement d'une ZFE-m représente un coût supporté par les acteurs privés et publics. Pour les premiers, il faut supporter le renouvellement de véhicules, l'achat de vélos... Pour les seconds, il faut également supporter l'achat de véhicules récents et de vélos via les mécanismes de subvention ou encore pour le financement de flottes publiques de véhicules, investir pour les modifications de la voirie, le développement des transports en commun, la construction de parkings... En contrepartie, la ZFE-m permet de générer des bénéfices sanitaires directs grâce à l'amélioration de la qualité de l'air et la réduction du bruit et indirects avec l'augmentation potentielle de l'activité physique. La mise en place de ZFE-m conduit également à une réduction des émissions de gaz à effet de serre, mais pourrait en revanche générer des impacts environnementaux liés au renouvellement du parc de véhicules notamment (extraction de minerais, transport de matériaux...) et aux travaux d'aménagement. Le présent rapport traite des impacts sanitaires et des impacts sur le temps passé dans les transports pour lesquels des méthodes et valeurs de référence sont accessibles, mais il ne porte pas sur les impacts environnementaux.

L'objectif de cette étude est de proposer des méthodes pour quantifier puis monétariser certains bénéfices sanitaires des ZFE-m. La monétarisation permet d'exprimer en une unité commune l'ensemble des impacts (bénéfices ou coûts de dommages) liés à la mise en place d'une ZFE-m, de les agréger dans un seul indicateur et de comparer avec une situation sans ZFE-m. Les bénéfices monétarisés peuvent être utilisés dans des analyses coûts-bénéfices, et ainsi aider les décideurs à comparer différentes mesures politiques entre elles ou de dimensionner des programmes de mesures en conséquence.

L'étude propose des méthodes et valeurs de référence présentées dans des guides et outils ou utilisées par des agences publiques en France, au niveau de la Commission européenne (CE) et de l'Organisation mondiale pour la Santé (OMS). A défaut, nous faisons également référence à d'autres sources bibliographiques. Les éléments présentés dans ce rapport ont pour but d'aider le décideur public à quantifier et monétariser les bénéfices sanitaires associés à la mise en place de la ZFE-m. La comparaison entre différents scénarios, dans le présent cas entre la situation en termes de pollution sans et avec la mise en place d'une ZFE-m, permet de quantifier ces bénéfices. Le choix de la méthode ou de la valeur de référence pour estimer les bénéfices dépendra des éléments à la disposition de l'utilisateur (ex : distances parcourues en voitures, à vélo ou à pied, carte de bruit, temps passé dans

---

<sup>1</sup> Il s'agit des normes définies par la Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du conseil du 21 mai 2008 transcrit en droit Français par le Décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air.

les transports, vitesses de déplacement par mode de transport... avec ou sans ZFE-m). L'utilisation des valeurs de référence permettra de faire une première estimation des bénéfices avant d'effectuer des calculs plus spécifiques. (CGDD, 2015) a estimé par exemple le bénéfice de la pratique du vélo sur la baisse de la mortalité à 0.70 €<sub>2010</sub> par km parcouru. Cette valeur pourrait être utilisée pour réaliser une première estimation d'un des bénéfices sanitaires de report modaux à la suite de la mise en place de ZFE-m.

Enfin, les limites et incertitudes liées aux différentes approches de quantification sont également discutées.

Le calcul des coûts pour la mise en place de mesures de type ZFE-m n'est pas étudié dans ce rapport. La disponibilité d'estimations de ces coûts serait utile pour pouvoir mener des études de types coûts-bénéfices ou coût-efficacité.

## 2 Effets sur la santé et sur le temps de transport d'une ZFE-m

La mise en place de ZFE-m est motivée par un objectif d'amélioration de la qualité de l'air local (NO<sub>x</sub>, PM, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) avec pour bénéfice la réduction de l'impact de la pollution sur la santé humaine. En restreignant l'accès des véhicules plus polluants au territoire où elle est mise en place, la ZFE-m permet d'améliorer la qualité de l'air. Elle encourage le renouvellement de la flotte de véhicules, réduit le trafic de véhicules, et favorise le report vers les transports en commun et les transports actifs comme la marche ou le vélo. Ces changements modaux génèrent des modifications sur l'exposition au bruit et à la pollution de l'air, des modifications de l'activité physique et du risque accidentel lié à la mobilité ainsi que du temps passé dans les transports (ORS, 2018 ; ADEME, 2023).

En effet ;

- le renouvellement de la flotte de véhicules par des véhicules plus modernes réduit en règle générale le risque accidentel, le bruit et les émissions de CO<sub>2</sub>,
- le report modal des transports tels que le vélo et la marche à pied, permet d'augmenter l'activité physique. En revanche ce changement de mode de transport s'accompagne d'une augmentation de l'exposition à la pollution et des risques accidentels légers et graves pour les marcheurs et cyclistes par rapport à d'autres modes de transport. Néanmoins selon plusieurs sources, en Europe, les bénéfices sur la santé de l'activité physique seraient supérieurs aux impacts sanitaires dus à l'exposition augmentée aux polluants de l'air et à l'augmentation des risques accidentels associés à ces modes de transport (Barban P., et al, 2022), (CGDD 2015) (INDDIGO – VERTIGOLAB, 2020),
- le développement du vélo et de la marche a aussi un impact sur le temps passé dans les transports individuels motorisés ou en commun (Rojas-Rueda D., et al. 2012) & (Tarrino-Ortiz J., et al. 2022),
- le développement des transports en commun a également un impact sur le temps passé dans les transports ainsi que sur le nombre de personnes choisissant les modes actifs, le développement des transports en commun modifie également l'exposition à la pollution de l'air (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>) (<https://www.airparif.asso.fr/gares-rer-et-metros>).

La figure 1, illustre la quasi-totalité des effets et impacts sur la santé, et sur le temps, associés à la mise en place d'une ZFE-m<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> La modification de l'exposition de l'individu à la pollution en fonction du mode de transport choisi est un effet qui n'est pas représenté dans la Figure 1. Toutefois, sur la base des connaissances actuelles il n'est pas possible d'évaluer correctement les impacts sanitaires en tenant compte des déplacements de chaque personne (voir plus loin).

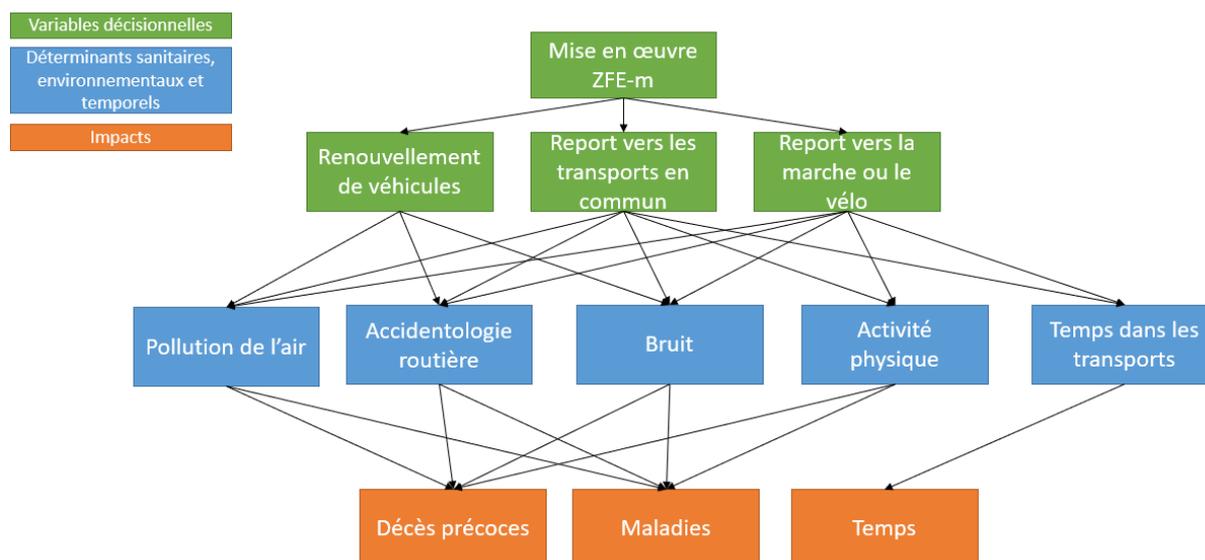


Figure 1 : Impacts sanitaires et temporels générés par la mise en place d'une ZFE-m, figure inspirée de (ORS, 2018)

Dans l'idéal, l'évaluation des bénéfices d'une ZFE-m doit tenir compte de l'ensemble des effets associés, tels que les bénéfices sanitaires générés par la réduction de la pollution de l'air et du bruit, l'augmentation de la part modale des transports actifs..., depuis la mise en place de la ZFE-m jusqu'à plusieurs années après sa mise en application. Notons que les bénéfices associés à la mise en place d'une ZFE seront récurrents sur un temps long contrairement aux coûts pour la mise en place qui sont concentrés sur les premières années. La mise en place d'une ZFE-m peut être accompagnée d'autres politiques de transports comme les politiques d'accompagnement au changement de mobilité, la construction d'infrastructures de recharge pour véhicules électriques, des politiques d'aménagement du territoire (construction de parkings en périphérie, développement de zone piétonnes ou Zones à Trafic Limité (ZTL), construction de pistes cyclables...), le développement du covoiturage, etc. Lorsque d'autres politiques sont menées conjointement à la mise en place d'une ZFE-m, il n'est pas toujours facile de distinguer l'impact exact de chacune. Il serait alors pertinent que l'évaluation de la ZFE-m soit élargie à l'ensemble des mesures ayant un impact sur les mobilités (ADEME, 2023).

Ce rapport présente des méthodes développées pour quantifier et monétariser les impacts sur la santé humaine et sur le temps passé dans les transports à la suite de la mise en place d'une ZFE-m. Ces impacts sont dus à l'amélioration de la qualité de l'air, à la réduction du bruit et au développement de l'activité physique en lien avec des changements modaux. Pour le temps, la valeur de l'impact (bénéfice ou coût) dépendra des reports modaux. L'impact sur le temps doit être faite en comparant le temps passé dans les transports avec ou sans ZFE-m. Le rapport présente également des valeurs de référence qui pourraient directement être utilisées pour une première évaluation si les données pour mettre en place les méthodes plus spécifiques présentées ne sont pas disponibles.

Les valeurs économiques rassemblées dans ce rapport, sont présentées dans les prix relatifs aux années de chaque étude évoquée. Pour utiliser les valeurs présentées dans ce rapport, il convient de rendre ces valeurs comparables entre elles, en les convertissant à une année de prix commune<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> L'approche habituelle consiste à utiliser l'indice des prix à la consommation harmonisé (IPCH) pour convertir les valeurs économiques d'une année à une autre.

### 3 Méthodes pour quantifier l'impact sanitaire associé au changement de la qualité de l'air

Ce chapitre traite des effets sanitaires associés à la mise en place d'une ZFE via son impact sur la qualité de l'air résultant de l'ensemble des changements structurels ou de comportement tels que :

- Le renouvellement du parc des véhicules utilisés,
- Le changement modal (vers des modes dits actifs ou vers différents types de transports publics),
- Le changement de la demande de mobilité qui peut se manifester soit par une réduction des véhicule-kilomètres parcourus sans réduire les personnes-kilomètres (par exemple covoiturage, le service de mobilité étant maintenu au même niveau) ou par une réduction conjointe des personne-kilomètres (des personnes renonçant à se déplacer, impliquant ainsi une réduction du service de mobilité<sup>4</sup>).

Des méthodes d'évaluation des changements de la qualité de l'air sur la santé sont développées depuis les années 1990 en Europe.

#### 3.1 Calculs sur la base d'outils

En France, Santé Publique France<sup>5</sup> mène des études quantitatives de l'impact de la pollution de l'air sur la santé, notamment des effets en termes de mortalité liée à l'exposition de la population aux particules fines, dans des contextes de recherche et pour le compte du Ministère de la Santé et de la Prévention. Cet institut est impliqué dans le développement de fonctions exposition-réponse, permettant de lier une augmentation de risque de subir un effet sanitaire à un niveau de concentration de polluants auquel la population est exposée. La monétarisation des effets sanitaires quantifiés par SPF est généralement assurée par l'Université Aix-Marseille (Olivier Chanel) qui applique, en règle générale pour des études françaises, des valeurs tutélaires françaises telles que la valeur statistique de la vie, VSV, recommandée dans le rapport Quinet (2013) et qui s'élève à environ 3 millions d'euros en €<sub>2010</sub>.

L'Ineris, dans le cadre de son rôle d'appui au ministère de l'Environnement, s'est doté du modèle de quantification et de monétarisation des impacts sanitaires **Alpha-RiskPoll (ARP)**, dans le but de participer au suivi de la Directive (EU) 2016/2284 sur les engagements nationaux de réduction des émissions, ainsi que du Protocole de Göteborg<sup>6</sup>. Le modèle n'est pas en libre accès. ARP a été développé par EMRC (consultant anglais) et est utilisé également pour les évaluations dans ces deux contextes politiques dans des études pour la Commission Européenne (CE) et pour la Convention Air de la Commission Economique pour l'Europe des Nations-Unies (CEE/NU)<sup>7</sup>. Sur la base de fonctions exposition-réponse, il quantifie différents effets sanitaires (mortalité et différents types de morbidité, cf. Tableau 1) liés à l'exposition de la population aux particules fines (PM<sub>2,5</sub>), à l'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>) et au dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Pour traduire les effets sanitaires estimés en dommages économiques, il applique des valeurs unitaires monétaires. En termes de mortalité, le modèle quantifie deux indicateurs alternatifs : des morts prématurées attribuables à la pollution qui sont monétarisées par la VSV, et des années de vie perdues, un indicateur qui tient compte de l'espérance de vie au moment du décès, monétarisées par la valeur pour une année de vie.

---

<sup>4</sup> Si c'est pour opter pour une alternative, par exemple une téléconsultation médicale au lieu d'un rendez-vous physique, c'est sans impact socio-économique notable. En revanche, si ces renoncements correspondent à un renoncement à un besoin, il peut y avoir un impact socio-économique indirect que notre étude ne prend pas en compte, car une telle analyse serait très difficile à réaliser.

<sup>5</sup> <https://www.santepubliquefrance.fr/>

<sup>6</sup> <https://unece.org/environment-policy/air/protocol-abate-acidification-eutrophication-and-ground-level-ozone>

<sup>7</sup> <https://unece.org/environmental-policy-1/air>

Tableau 1 : Impacts sanitaires actuellement quantifiés et monétarisés dans ARP

<b>Mortalité toute cause</b>
PM <sub>2,5</sub> (chronique, adultes)
PM <sub>2,5</sub> (enfant) (converti d'une fonction exposition-réponse pour PM <sub>10</sub> )
NO <sub>2</sub> (chronique)
O <sub>3</sub> (aiguë)
<b>Morbidité PM<sub>2,5</sub></b>
Bronchite infantile (âge 6 -12) (converti d'une fonction exposition-réponse pour PM <sub>10</sub> )
Bronchite chronique adultes (converti d'une fonction exposition-réponse pour PM <sub>10</sub> )
Admissions à l'hôpital pour raisons cardiovasculaires
Admissions à l'hôpital pour raisons respiratoires
Journées d'activité restreinte
Journées de travail perdues
AVC
Cancer des poumons
Nouvelles incidences d'asthme enfants (âge < 16)
Diabète mellitus Type2
Infarctus du myocarde non fatal
<b>Morbidité NO<sub>2</sub></b>
Bronchite infantile (âge 5 - 14)
Nouvelles incidences d'asthme
AVC
Diabète
Admissions à l'hôpital pour raisons respiratoires
<b>Morbidité O<sub>3</sub></b>
Admissions à l'hôpital pour raisons cardiovasculaires
Admissions à l'hôpital pour raisons respiratoires
Journées d'activité restreinte mineure

Source : Klimont et al.,2022

Dans sa configuration par défaut, ARP se base sur des paramétrisations recommandées par l'OMS, telles que les fonctions exposition-réponse dans l'étude HRAPIE (Health Risks of Air Pollution In Europe, OMS, 2013), dont la mise à jour est en cours, ainsi que des valeurs unitaires économiques utilisées pour la CE et, récemment, pour le Third Clean Air Outlook<sup>8</sup> (Klimont et al.,2022). Les valeurs sont présentées dans le Tableau 2) ci-dessous.

<sup>8</sup> [https://environment.ec.europa.eu/publications/third-clean-air-outlook\\_en](https://environment.ec.europa.eu/publications/third-clean-air-outlook_en)

Tableau 2 : Coûts unitaires par effet sanitaire, en €<sub>2015</sub>

Mortalité	€
Valeur d'une année de vie	94 660
Valeur d'une vie statistique	3,6 millions
Mortalité infantile	5,5 millions
Morbidité	
Bronchite infantile	358
Bronchite chronique adultes	63 800
Admissions à l'hôpital pour raisons cardiovasculaires	5 900
Admissions à l'hôpital pour raisons respiratoires	4 800
Journées d'activité restreinte	131
Journées d'activité restreinte mineure	48
Journées de travail perdues	155
AVC	460 000
Cancer des poumons	92 832
Nouvelle incidence d'asthme enfants	6 927
Diabète mellitus Type2	21 194
Infarctus du myocarde non fatal	33 599

Source : Klimont et al., 2022

Les fonctions exposition-réponse utilisées dans la version la plus récente d'ARP sont également fournies dans Klimont et al. (2022).

Ces paramètres peuvent être modifiés, pour utiliser, par exemple, des valeurs plus spécifiques à la France. On pourra ainsi utiliser des fonctions exposition-réponse développées par SPF pour la France ou les valeurs tutélares françaises pour monétariser la mortalité<sup>9</sup>.

Un outil en libre accès est **AirQ+** (<https://www.who.int/tools/airq>), développé par l'OMS, qui permet actuellement de quantifier des impacts sanitaires en termes de mortalité et de différents types de morbidité, sur la base des fonctions exposition-réponse recommandées par l'OMS. Actuellement, AirQ+ ne dispose pas, au contraire d'ARP, de moyens de calculer les dommages économiques de la pollution atmosphérique bien qu'à terme une fonction de monétarisation soit également prévue. Les résultats d'AirQ+ peuvent évidemment être monétarisés en appliquant des valeurs unitaires disponibles par ailleurs (ARP, France Stratégie, autre littérature...). Tandis qu'ARP quantifie la mortalité liée à toute cause<sup>10</sup>, AirQ+ permet de choisir entre des fonctions exposition-réponse pour quantifier la mortalité liée à toute cause ou à des causes spécifiques<sup>11</sup>. Les deux types de mortalité ne peuvent pas être agrégés, l'agrégation conduisant à des doubles comptes. Les impacts sanitaires avec leurs fonctions exposition-

<sup>9</sup> France Stratégie (2021) et Quinet (2013) proposent des valeurs tutélares pour monétariser des morts prématurées et des années de vie perdues qui sont explicités ailleurs dans ce rapport.

<sup>10</sup> Dans les statistiques, l'ensemble des personnes décédées sont comptés, sans distinction liée à la cause du décès. C'est l'indicateur de mortalité souvent considéré le plus robuste car il n'y a pas de risque de se tromper dans la classification.

<sup>11</sup> La mortalité spécifique (par exemple mortalité respiratoire, cardiovasculaire, d'un cancer des poumons...) peut donner lieu à des classements différents d'un décès en fonction du médecin ou pays, lorsque aucune autopsie n'est menée.

réponse actuellement disponibles dans l'outil sont consultables à partir de la page de garde du logiciel. Ce logiciel ainsi que des guides d'utilisation peuvent être téléchargés sur le site internet d'AirQ+.

Indépendamment de l'outil utilisé pour quantifier puis monétariser les impacts de la pollution atmosphérique, les données suivantes sont nécessaires :

- L'exposition (en moyenne annuelle) de la population à la pollution pour chaque polluant considéré, avec ou sans mise en place de la ZFE,
- La population concernée (ville ou zone pour laquelle la ZFE-m est mise en œuvre et les impacts sont à quantifier) selon différents groupes d'âges<sup>12</sup>,
- L'incidence de base de l'impact sanitaire en question (cas de mortalité, de maladie), ou parfois la prévalence<sup>13</sup>, selon la fonction exposition-réponse sélectionnée.

Les données de population par classes d'âges et les données d'incidence relative à la mortalité et certains types de maladies sont disponibles en libre accès à l'échelle nationale et européenne. En revanche, ces données sont peu disponibles à l'échelle des villes et encore moins à l'échelle des zones d'application de ZFE-m. Afin d'obtenir les données de mortalité et de morbidité pour des villes, notamment des données d'incidence ou de prévalence de mortalité et de types de morbidité, des conventions avec l'INSEE ou des Observatoires régionaux de santé (ORS) ou encore des villes sont souvent nécessaires.

Il convient enfin de noter qu'il est seulement possible de quantifier les effets sanitaires d'un changement de la qualité de l'air ambiant en moyenne sur la zone étudiée, et non l'impact d'un changement individuel de l'exposition. La raison est que les fonctions d'exposition-réponse sont établies dans la très grande majorité en estimant l'exposition de la population en croisant données de concentration moyennes à l'air ambiant et population statique, c'est-à-dire comptabilisée au lieu de résidence (Real & Malherbe, 2016). Ces études épidémiologiques mettent en relation des observations de cas de maladie ou de mortalité parmi la population habitant dans une zone étudiée avec des niveaux de qualité de l'air ambiant observés. Ils tiennent donc compte de la population selon son adresse principale mais pas des aspects dynamiques de cette population, tels que les déplacements et le temps passé dans différents environnements (intérieurs et extérieurs et potentiellement caractérisés par différentes concentrations de pollution).

Il existe toutefois des outils qui essaient d'estimer certains effets des aspects dynamiques de l'exposition à la pollution de l'air (chapitre 4) mais qui ne sont pas facilement cumulables avec les résultats de méthodes les excluant.

## 3.2 Valeurs de référence

Il existe également des coûts de référence, exprimés par tonne de polluant, qui permettent de calculer des externalités d'un polluant donné sur la santé et l'environnement à partir de ses émissions. Ils ont été estimés à l'échelle nationale pour plusieurs pays européens. Un rapport Ineris (Schucht & Chapon, 2023) rassemble ces coûts de référence disponibles en Europe et pour la France, et une publication par l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE à paraître), basée sur des travaux du European Topic Centre on Health and the Environment (ETC/HE) coordonnés par l'Ineris, présente la mise à jour la plus récente de ces valeurs. Ces dernières sont reprises dans le Tableau 3, déclinées pour le secteur du transport routier en France, avec une indication des types de dommages couverts.

---

<sup>12</sup> Les classes d'âges utilisées varient avec les fonctions exposition-réponse qui sont spécifiques aux impacts sanitaires et aux polluants.

<sup>13</sup> L'incidence désigne le nombre de cas apparus pendant une année au sein d'une population. La prévalence désigne la proportion de personnes malades à un moment donné (c'est-à-dire le nombre de personnes avec la maladie en question dans une population rapporté au nombre de personnes composant ladite population à un moment donné).

Tableau 3 : Coûts marginaux de dommages pour le secteur du transport routier en France, en €<sub>2021</sub>

Polluant	Type de source	Type de valeur	Valeur (€ <sub>2021</sub> /t de polluant)	Année cible	Impacts pris en compte
COVNM	Moyenne sur les émissions du secteur du transport routier	Basse	2 506	2019	Santé humaine (mortalité et morbidité via formation O <sub>3</sub> et PM <sub>2,5</sub> ), rendements agricoles et sylvicoles (formation O <sub>3</sub> )
		Haute	6 369		
NH <sub>3</sub>		Basse	17 581		Santé humaine (mortalité et morbidité, formation PM <sub>2,5</sub> secondaires)
		Haute	52 184		
NO <sub>x</sub>		Basse	25 236		Santé humaine (mortalité et morbidité, formation PM <sub>2,5</sub> secondaires, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> ), baisse de rendements agricoles et sylvicoles, détérioration de matériaux de bâtiments
		Haute	71 694		
PM <sub>10</sub>		Basse	86 475		Santé humaine (mortalité et morbidité)
		Haute	263 080		
PM <sub>2,5</sub>		Basse	144 413		Santé humaine (mortalité et morbidité)
		Haute	439 344		
SO <sub>2</sub>	Basse	44 554	Santé humaine (mortalité et morbidité, formation PM <sub>2,5</sub> secondaires) et détérioration de matériaux de bâtiments		
	<b>Haute</b>	<b>133 952</b>			

Source : AEE (2024), Schucht et al., 2023, calculs par les auteurs

Il est préférable d'utiliser ces valeurs – en multipliant la quantité d'émissions d'un polluant donné avec la valeur (coût marginal de dommage correspondant) – seulement dans le cas où l'estimation des impacts sanitaires (voir 3.1) n'est pas possible. Leur utilisation pour le calcul des bénéfices atteignables par la mise en place de ZFE-m ne serait donc seulement qu'une seconde meilleure solution, pour les raisons suivantes :

- La qualité de l'air (et donc de l'exposition de la population) d'une ville donnée ne dépend pas seulement des émissions locales, mais également des émissions nationales et internationales, car certains polluants peuvent être transportés sur des longues distances. En effet Khomenko et al. (2023) ont estimé les contributions de la pollution transfrontalière, nationale et locale à la qualité de l'air d'environ 850 villes européennes. Cette contribution est également ventilée par secteur économique.
- Les coûts de référence indiqués dans le Tableau 3 représentent, par unité de polluant émis en France par le secteur du transport routier, le coût moyen des impacts générés au niveau européen. Toutefois, afin de réduire les incertitudes inhérentes à l'utilisation des coûts de référence pour l'estimation des bénéfices d'une ZFE, il faudrait les différencier non seulement par secteur émetteur mais également selon la zone d'émission. Cela n'a pas été l'objectif des travaux dans l'ETC.

## 4 Quantification et monétarisation des effets sanitaires du report modal vers des transports actifs

En restreignant l'usage de véhicules polluants, la mise en place de ZFE-m favorise le développement de la pratique du vélo et/ou de la marche à pied (Figure 1). De plus, la mise en place de ZFE-m peut s'accompagner de politiques favorisant ces modes de déplacements (développement de zones piétonnes ou des pistes cyclables, accompagnement au changement de mobilité, construction de parkings...) (ADEME, 2023). Les activités de cyclisme et de marche à pied permettent de diminuer les risques de morbidité (maladies coronariennes, maladies cardiovasculaires, accidents cardiovasculaires cérébraux, diabète, plusieurs types de cancer, troubles musculo squelettiques, santé mentale...) ainsi que la mortalité liée à la sédentarité (Bouscasse, H., et al 2022) (INDDIGO – VERTIGOLAB, 2020). Néanmoins, ces pratiques présentent des risques accidentels légers ou graves différents pour les usagers par rapport à la voiture ou aux transports en commun. La pratique du vélo peut également engendrer des risques accidentels pour d'autres usagers de la voie publique. La pratique du vélo et de la marche à pied s'accompagne également d'une modification de l'exposition à la pollution atmosphérique, supérieure ou inférieure selon le report modal, le trajet, la localité... (Ineris, 2009). Selon plusieurs sources européennes consultées dans le cadre de cette étude, les bénéfices sanitaires liés à la pratique du vélo et à la marche à pied seraient supérieurs aux impacts sanitaires dus aux accidents et à la possible surexposition à la pollution (CGDD 2015) (INDDIGO – VERTIGOLAB, 2020). Enfin, l'augmentation des modes actifs de transports peut modifier quantitativement et qualitativement le temps passé dans les transports.

Ainsi pour l'évaluation économique des ZFE-m, les coûts et bénéfices associés à la pratique du vélo et de la marche à pied doivent inclure l'ensemble de ces impacts. En s'appuyant sur la littérature consultée, le coût complet de la pratique du vélo rapporté au kilomètre pourrait être estimé comme suit :

### Equation 1

Coût complet du km de vélo = coût marchand de la pratique vélo + coût du temps + coût du risque accidentel pour les cyclistes et les autres usagers + impacts sur la santé dû à l'exposition aux polluants atmosphériques (PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> ) + bénéfices sanitaires associés à l'activité physique
---

De la même façon on pourrait présenter le coût total de la marche à pied comme suivant :

### Equation 2

Coût complet de la marche à pied = coût du temps + coût du risque accidentel + impacts sur la santé dû à l'exposition aux polluants atmosphériques (PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> ) + bénéfices sanitaires associés à l'activité physique
--

Concernant le coût marchand de la pratique du vélo, nous recommandons au lecteur de se reporter au document (INDDIGO – VERTIGOLAB, 2020) dans lequel des valeurs de coûts sont présentées.

Le coût du temps correspond à la différence de temps passé dans les transports, pour chaque mode de transport, avec ou sans mise en place de ZFE-m, multiplié par la valeur économique du temps. En fonction des reports modaux et des conditions de circulation, ce coût pourra être positif ou négatif. Concernant le coût du temps associé à la pratique du vélo ou de la marche et sa monétarisation, le rapport traite cet impact séparément dans le chapitre 6.

Nous présentons ci-après des approches permettant d'estimer les bénéfices sanitaires de la marche et du vélo en incluant le risque accidentel associé à ces pratiques.

### 4.1 Calculs sur la base d'un outil

Depuis 2013, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a développé l'outil Health Economic Assessment Tool- HEAT (Götschi T., et al, 2020) (Kahlmeier S., et al. 2017) (<https://www.who.int/tools/heat-for-walking-and-cycling>). L'outil permet d'évaluer l'impact sanitaire des activités de pratique du vélo et de la marche à pied tout en prenant en compte l'impact de la qualité de l'air sur la santé lors de ces pratiques, notamment du fait qu'elles modifient l'exposition aux polluants (une surexposition liée à un taux de ventilation supérieure pour les modes actifs, voir plus loin) ainsi que le risque d'accidentel mortel. L'outil permet de comparer jusqu'à deux scénarios de transports actifs pour une population donnée. Seuls les impacts sur la tranche de la population âgée de 20 à 74 ans de

la population sont évalués par le modèle pour la marche à pied, et sur la tranche de 20 à 64 ans pour le vélo. Concernant l'exposition de la population, seule la pollution aux PM<sub>2,5</sub> est considérée.

HEAT permet de quantifier (puis monétariser) les cas de morts prématurées évitées dus à l'activité physique, les accidents mortels liés à l'activité de vélo, ainsi que les effets sanitaires liés à l'exposition des cyclistes à la qualité de l'air. Toutefois, ce dernier effet risque de créer un double comptage si les résultats sont cumulés avec ceux d'un calcul des bénéfices sanitaires d'une amélioration de la qualité de l'air pour la population totale habitant dans la zone étudiée.

HEAT quantifie les bénéfices de l'activité physique en estimant la réduction du risque de mortalité générée par l'augmentation de l'activité physique pour une population donnée. Pour estimer la réduction du risque de mortalité, cet outil utilise des fonctions dose-réponse linéaires pour évaluer le risque de mortalité d'une population donnée, pour deux scénarios associés à deux types d'activité physique différentes. HEAT évalue également l'impact de la pollution atmosphérique sur la mortalité mais ne prend pas en compte les impacts sur la morbidité, considérant les incertitudes pour les calculer comme trop élevées. Enfin HEAT évalue l'augmentation du risque mortel associé aux déplacements actifs. Pour cela, des statistiques nationales de « International Transport Forum » représentant le risque mortel rapportés au kilomètre sont utilisées. Tous les impacts sur la mortalité sont quantifiés en termes de morts prématurées et monétarisés par la Valeur Statistique de la Vie - VSV estimée par l'OCDE et converti en euros 2015 à 2,8 millions<sup>14</sup>. Pour l'exposition à la pollution de l'air (PM<sub>2,5</sub>), l'outil contient des données spécifiques par ville ou pays. Les données du modèle, qui peuvent être modifiées par l'utilisateur, considèrent que la marche à pied et le vélo conduisent à une surexposition à la pollution par les PM<sub>2,5</sub>. La surexposition à la pollution atmosphérique lors d'activités physiques est prise en compte par HEAT avec des taux de ventilation plus ou moins importants. Par exemple, il est considéré pour le vélo un taux de 2.55 m<sup>3</sup>/heure contre un taux de 0.61 m<sup>3</sup>/heure pour une personne restant chez elle.

Pour calculer le risque accidentel, HEAT contient également des données spécifiques par pays.

L'outil permet de différencier les résultats d'impacts sanitaires comme suit :

- bénéfices de l'activité physique,
- coûts (bénéfices négatifs) dus à l'exposition à la pollution de l'air en tenant compte d'une surexposition lors de l'activité physique,
- coûts (bénéfices négatifs) dus au risque augmenté d'accidents (dans la version actuelle, HEAT considère uniquement le risque d'accidents mortels).

Afin d'utiliser l'outil HEAT, il est nécessaire de disposer *a minima* des données suivantes :

- Quantité moyenne de l'activité physique, exprimée par exemple en termes de :
  - Distances parcourues à vélo ou à pied par les individus pour chaque scénario étudié et fréquence par unité de temps, ou
  - Temps passé à vélo ou à pied par les individus pour chaque scénario étudié et fréquence par unité de temps, ou
  - Taux relatif des modes actifs dans les transports totaux, c'est-à-dire part du mode en question dans tous les déplacements et pourcentage de variation entre les deux scénarios, ou
  - Nombre de pas par jour ...
- Population et âge de la population concernée par la pratique du vélo ou de la marche à pied (les populations dont l'âge est inférieur à 20 ans et supérieur à 74 ans ne peuvent pas être considérées dans l'outil).

Si l'utilisateur dispose des données sur la population étudiée (taille, répartition en fonction de l'âge...), les risques accidentels mortels pour les activités de vélo et de marche à pied, la concentration en PM<sub>2,5</sub>, il peut les renseigner à la place des données automatiquement renseignées dans l'outil.

---

<sup>14</sup> ARP utilise actuellement la même valeur, qui est aussi cohérent avec celle recommandée par Quinet (2013) pour la France dans le cadre des investissements d'infrastructure du transport.

L'outil dispose de valeurs par défaut à utiliser lorsque des données spécifiques ne sont pas disponibles. Toutes ces valeurs sont publiées dans le guide. Les données de lien entre activité physique et effet sur la santé (risques relatifs) sont également explicitées dans le guide (OMS, 2017).

Dans HEAT, la réduction du risque de mortalité par activité physique est plafonnée afin d'éviter de surestimer les bénéfices liés à des très hauts niveaux d'activité physique. Pour le cyclisme, HEAT applique une réduction maximale du risque de mortalité de 45 % et une réduction maximale de 30 % pour la marche.

## 4.2 L'utilisation de valeurs de référence

Deux études menées en France ont calculé les valeurs des bénéfices sanitaires associés à l'activité physique. Les coûts associés à la surexposition à la pollution atmosphérique et les coûts des risques accidentels graves ou légers pour les usagers ou les autres utilisateurs de la voie publique ne sont pas systématiquement pris en compte

L'outil HEAT a été utilisé par (INDDIGO – VERTIGOLAB, 2020) dans une **étude réalisée pour l'ADEME** pour estimer les bénéfices sanitaires du développement de l'activité vélo en prenant en compte le risque accidentel et l'exposition à la pollution. En utilisant cet outil et en utilisant une VSV de 3.2 millions d'euros, les bénéfices sanitaires du vélo par rapport à un transport motorisé ont été estimés à 0.69 € par km parcouru. En prenant en compte le coût du risque accidentel pour les usagers ainsi que le coût de la surexposition à la pollution de l'air durant l'activité physique, les bénéfices sanitaires du vélo sont estimés entre 0.60 et 0.64 € par km parcouru en fonction du scénario étudié, illustrant un déploiement plus ou moins important de la part modale du vélo en France par types de territoires (centres des grandes villes, banlieues, périphéries...) et fréquences d'utilisation par les utilisateurs. Les bénéfices de l'activité physique estimés dans cette étude sont supérieurs aux coûts du risque accidentel et de la surexposition à la pollution lors de l'activité physique, ceux-ci étant inférieurs à 0.09 euros/km. L'étude ne permet pas de connaître les coûts dissociés pour risque accidentel et surexposition des cyclistes à la pollution mais il indique que le premier est bien inférieur au second.

**Le CGDD** (2015) a utilisé les données de baisse de la mortalité induite par l'activité physique (marche à pied vélo) utilisées par HEAT (dans sa version de 2014) pour estimer la réduction de la mortalité prématurée atteignable par le développement des transports actifs. L'étude estime le bénéfice sanitaire d'une baisse de la mortalité prématurée à 10% pour 23 km de vélo parcourus ou 160 minutes de vélo par semaine. Dans cette étude, les plafonds des réductions de risque dans HEAT (45% pour le vélo et 30% pour la marche) correspondent à une pratique de 103 km ou 720 minutes de vélo par semaine et de 615 minutes de marche à pied ou 40 km par semaine. L'hypothèse est donc qu'une activité au-delà de ces distances (temps) n'augmentera pas les bénéfices sanitaires.

Le CGDD a complété l'évaluation par une estimation de l'impact de l'activité physique sur la morbidité. Pour cela, il a retenu l'hypothèse du rapport Boiteux 2 (Boiteux M., et al, 2001), selon laquelle le coût de morbidité équivaut à 30% des coûts de mortalité. La baisse de la mortalité a été monétarisée avec la VSV préconisée par le rapport Quinet (2013, VSV autour de 3 millions €<sub>2010</sub>). Les valeurs de bénéfices estimées par ce rapport, rapportées au kilomètre parcouru, sont de 0.91 €<sub>2010</sub>/km de vélo et de 1.68 €<sub>2010</sub>/km de la marche à pied. Ces dernières valeurs ne tiennent compte que de l'impact lié à l'activité physique par rapport au transport motorisé, et ne prennent pas en compte l'impact sanitaire dû à l'exposition aux PM<sub>2,5</sub> ou autres polluants lors de l'activité physique, ni le risque accidentel augmenté.

Les valeurs calculées dans ces deux études françaises sont résumées dans le Tableau 4 pour la pratique du vélo et dans le Tableau 5 pour la marche à pied.

Tableau 4 : Bénéfices sanitaires de l'activité physique vélo monétisés par kilomètre parcouru

Impacts	Valeur	Référence
Bénéfice de la pratique du vélo sur la baisse de la mortalité (risques accidentels mortel et légers ainsi qu'exposition à la pollution exclus)	0.70 € <sub>2010</sub> par km	(CGDD 2015)
Bénéfice de la pratique du vélo sur la mortalité et la morbidité avec hypothèse Boiteux (bénéfice de la baisse de la morbidité équivaut à 30% de la baisse de la mortalité, risques accidentels mortel et légers ainsi qu'exposition à la pollution exclus)	0.91 € <sub>2010</sub> par km	(CGDD 2015)
Bénéfice de la pratique du vélo sur la mortalité et la morbidité (risques accidentels mortel et légers inclus, exposition à la pollution exclus)	0.74 € <sub>2010</sub> par km	(CGDD 2015)
Bénéfice de la pratique du vélo sur la baisse de la mortalité	0.69 € par km	(INDDIGO – VERTIGOLAB, 2020)
Bénéfice de la pratique du vélo sur la mortalité (risque accidentel grave non mortel et exposition à la pollution inclus)	0.60 à 0,64 € par km	(INDDIGO – VERTIGOLAB, 2020)

Tableau 5 : Bénéfices sanitaires de l'activité physique marche à pied monétisé par kilomètre parcouru

Impacts	Valeur	Source
Bénéfice de la pratique de la marche sur la baisse de la mortalité (risques accidentels mortel et légers ainsi qu'exposition à la pollution exclus)	1.30 € <sub>2010</sub> par km	(CGDD 2015)
Impact de la pratique de la marche sur la morbidité	30% valeurs de l'impact de la marche sur la mortalité	Rapport Boiteux 2
Impact de la pratique de la marche sur la mortalité et la morbidité	1.68 € <sub>2010</sub> par km	(CGDD 2015) valeur obtenue en utilisant l'outil HEAT

Il n'est pas possible de comparer tous les résultats des deux études (INDDIGO – VERTIGOLAB, 2020 ; CGDD 2015) car elles ne prennent pas en compte les mêmes impacts : impact sanitaire de la pollution de l'air (mortalité et morbidité), risque d'accident graves et légers. Toutefois, le bénéfice de l'activité vélo sur la mortalité peut être comparé entre les deux études et s'avère très proche pour les deux références. L'écart d'un centime par km parcouru pourrait s'expliquer par une évolution de l'outil entre ces deux études, une modification de certains paramètres ou une différence dans les données d'entrée dans les calculs. **Dans le cas où l'utilisateur souhaiterait utiliser une valeur de référence sans estimer les coûts spécifiques à son cas d'étude en utilisant HEAT par exemple, nous préconisons d'utiliser pour l'estimation du bénéfice de la pratique du vélo et de la marche sur la mortalité comme valeurs de référence les valeurs estimées dans INDDIGO – VERTIGOLAB (2020) car cette valeur est plus récente et permet de prendre en compte ou non l'effet de l'exposition à la pollution de l'air.**

Il est à noter que (CGDD, 2015) n'a pas utilisé HEAT pour estimer les coûts accidentels associés à la pratique du vélo et de la marche. Les risques d'accidents graves, lourds et légers ont été estimés à partir de données locales, étant donné que les risques varient d'une ville à une autre (les risques d'accidents à vélo sont plus élevés à Paris que dans le reste de la France). (CGDD, 2015) a estimé

également les risques accidentels des vélos pour les piétons. Pour cela, cette étude s'est appuyée sur les données de l'Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière (ONISR) ou plus directement sur les fichiers BAAC (Bulletins d'Analyse d'Accident de la Circulation). Pour la monétarisation des accidents mortels, (CGDD, 2015) utilise la recommandation du rapport (Quinet, 2013) et, pour la morbidité induite par les blessures des accidents graves et légers, la recommandation du rapport Boiteux 2. Cette dernière étude a considéré les risques induits par les vélos pour les autres usagers de la route. Les valeurs estimées pour le coût du risque rapporté au kilomètre sont présentées dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Risques associés à la pratique du vélo et à la marche à pied

Risque accidentel	Valeur du risque (nombre de cas d'accident)	Risque monétisé au km	Source
Risque d'accident mortel à vélo	0.010 pour 1 millions de km	2.9 euros (2010)	(CGDD, 2015)
Risque d'accident grave à vélo	0.168 pour 1 millions de km	7.6 euros (2010)	(CGDD, 2015)
Risque d'accident léger à vélo	0.822 pour 1 millions de km	5.5 euros (2010)	(CGDD, 2015)
Risque d'accident mortel causé par la pratique du vélo aux autres usagers de la route	0.0001 pour 1 millions de km	0.17 € <sub>2010</sub> /km	(CGDD, 2015)
Risque d'accident grave causé par la pratique du vélo aux autres usagers de la route	0.017 pour 1 millions de km	0.76 € <sub>2010</sub> /km	(CGDD, 2015)
Risque d'accident léger causé par la pratique du vélo aux autres usagers de la route	0.069 pour 1 millions de km	0.47 € <sub>2010</sub> /km	(CGDD, 2015)
Risque global de l'insécurité à vélo		17.4 € <sub>2010</sub> /km	(CGDD, 2015)

Enfin, une troisième étude, **Barban et al. (2022)**, a également utilisé l'outil HEAT, mais pour estimer spécifiquement les bénéfices sur la santé du vélo électrique. L'objectif de l'étude était de quantifier les bénéfices sanitaires de l'activité physique liés au développement des transports actifs dans le scénario de transition énergétique français negaWatt sur la période 2021-2050. Pour cela, les auteurs ont considéré qu'ils s'élèvent à 90% des bénéfices estimés pour le vélo non électrique.

## 5 Méthodes existantes pour quantifier et monétariser les impacts du bruit sur la santé humaine

La mise en place de ZFE-m réduit l'exposition des populations aux bruits des véhicules à moteur du fait des incitations au changement modal. Or, cette exposition peut favoriser le développement de maladies cardiovasculaires (maladies cardiaques ischémiques), d'acouphènes, de troubles cognitifs, d'accidents vasculaires cérébraux, de cas d'obésité et de diabète... (France Stratégie, 2021) (AEE, 2010) (EC, 2019) ou générer également de la gêne (sentiment de mal-être, haine, dépression...) et perturber le sommeil (BruitParif, 2019).

### 5.1 Méthode détaillée pour évaluer les effets du bruit sur la santé

Il est possible d'évaluer les bénéfices sanitaires associés à la réduction du bruit, si l'exposition des populations au bruit, avec ou sans mise en place de la ZFE-m, peut être quantifiée. Cette exposition des populations au bruit peut être représentée par des cartes d'exposition. L'unité de mesure la plus courante pour le bruit est le décibel pondéré dB(A), permettant de corriger la sensibilité de l'oreille humaine à la fréquence du son. Selon (EC, 2019) le seuil à partir duquel le bruit est considéré comme une nuisance se situe entre 50 et 60 dB(A). Des indicateurs pour prendre en compte des variations d'exposition journalière possible ont été développés, tels que l'indicateur « Lden » (bruit pondéré sur 24h) et l'indicateur « Ln » (EAA, 2010) (France Stratégie, 2021). Ces indicateurs sont définis comme suit par (BruitParif, 2019) :

- « L'indicateur Lden (pour Level day evening night) correspond à un indicateur de bruit global perçu sur 24 heures qui tient compte de la sensibilité accrue des individus au bruit sur les périodes de soirée et de nuit. Ainsi l'indicateur Lden est calculé à partir des niveaux de bruit moyens équivalents sur les périodes de journée (LD : 6-18h), de soirée (LE : 18-22h) et de nuit (LN : 22- 6h) en appliquant des pondérations de +5 dB(A) et de +10 dB(A) aux niveaux de bruit de soirée (LE) et de nuit (LN). Il est évalué en moyenne sur l'année. »

#### Equation 3

$$L_{DEN} = 10 \log \left( \frac{12}{24} * 10^{\frac{LD}{10}} + \frac{10}{24} * 10^{\frac{LE+5}{10}} + \frac{8}{24} * 10^{\frac{LN+10}{10}} \right)$$

- « L'indicateur Ln pour « Level night » correspond au niveau moyen énergétique de bruit sur la période nocturne (22-6h). Il est évalué en moyenne sur l'année. »

En utilisant des fonctions dose-réponse et l'exposition au bruit, il est possible d'estimer le nombre d'individus chez qui le bruit génère un effet négatif parmi les personnes exposées au bruit. Logiquement, en fonction de l'intensité d'une source de bruit, le nombre des personnes qu'elle impacte augmente. Des fonctions dose-réponse pour la gêne, la perturbation du sommeil, les effets cardiovasculaires et troubles cognitifs sont présentés dans (AEE, 2010).

Avec cette méthode (BruitParif 2019) a estimé, en utilisant les fonctions dose réponse de (OMS 2018), la part de la population très gênée par le bruit et dont le sommeil est altéré parmi l'ensemble des personnes exposées. Le résultat de la fonction dose-réponse correspond au quotient dans l'équation 4. Ces impacts peuvent ensuite être convertis en années de vie en bonne santé perdues (Disability Adjusted Life Years « DALY »), en utilisant les coefficients d'incapacité présentés dans le Tableau 7 et en utilisant la formule suivante (France Stratégie 2021) :

#### Equation 4

$$\text{Impact sanitaire par personnes exposée à un certain niveau de bruit} = \frac{\text{Nombre d'individus impactés}}{\text{Nombre d'individus exposés}} * \text{Coefficient d'incapacité} *$$

Tableau 7 : Coefficients d'efficacité pour le calcul des années de vie en bonne santé perdues pour la nuisance au bruit et les troubles du sommeil

Coefficients d'incapacité	Coefficient d'incapacité (valeur inférieure OMS)	Coefficient d'incapacité (recommandation OMS)	Coefficient d'incapacité (valeur supérieure OMS)
Nuisance	0.01	0.02	0.12
Trouble du sommeil	0.04	0.07	0.10

Les impacts estimés en année de vie perdue (DALY) peuvent être monétarisés en utilisant des valeurs tutélaires pour une année de vie. (France Stratégie, 2021) et (Quinet, 2013) utilisent une valeur de 132°000 €<sub>2020</sub> pour monétariser les DALY estimés dans l'équation 4. Il existe d'autres valeurs dans la littérature qui peuvent être utilisées pour la monétarisation d'impacts, mais qui ne représentent donc pas de valeurs tutélaires françaises.

## 5.2 Valeurs de référence

Sans fonction dose-réponse mais avec une exposition au bruit connue, il est possible d'utiliser des valeurs tutélaires associées à une exposition au bruit (exprimées en dB(A) par exemple).

Le rapport (EC, 2019) propose des coûts marginaux pour monétariser la gêne au bruit (Tableau 8) et certains impacts sanitaires. Le coût marginal de la gêne au bruit a été estimé par la méthode des préférences déclarées, en interrogeant des individus sur leur consentement à payer pour réduire leur exposition au bruit. Avec la méthode des préférences déclarées, le coût marginal de la gêne au bruit devrait inclure la perturbation du sommeil (HEATCO, 2006). Pour les impacts sanitaires liés au bruit, (EC, 2019) s'est appuyé sur les résultats de (Defra, 2014). Ces coûts sanitaires prennent en compte

l'impact du bruit sur le développement de démences, d'infarctus aigu du myocarde, d'accidents vasculaires cérébraux et d'attaques ischémiques.

*Tableau 8 : Valeurs monétaires en €<sub>2016</sub> par dB pour l'exposition annuelle par personne exposée au bruit pour l'impact nuisance et l'impact sur la santé*

Niveau de bruit du trafic routier	Nuisance	Impact sur la santé	Total
50-54 dB(A)	14	3	17
55-59 dB(A)	28	3	31
60-64 dB(A)	28	6	34
65-69 dB(A)	54	9	63
70-74 dB(A)	54	13	67
>= 75 dB(A)	54	18	72

Source : EC (2019)

Enfin dans le cas où l'exposition au bruit n'est pas connue mais où des distances parcourues par type de véhicules sont quantifiées avec ou sans mise en place de la ZFE-m, il est possible d'utiliser les valeurs d'impacts monétarisés, rapportées aux km parcourus. (EC, 2019) propose des valeurs rapportées aux distances parcourues qui tiennent compte de la population exposée au bruit en moyenne au niveau européen, du moment de la journée où le bruit est émis et du lieu. Les valeurs sont présentées dans le Tableau 9. Ces valeurs incluent l'impact sanitaire du bruit, évalué sur la base des coûts sanitaires liés à 3 maladies (crise cardiaque, AVC, démence) et de la gêne du bruit estimée par les méthodes des préférences déclarées.

*Tableau 9 : Impacts monétarisés du bruit sur la santé et sur la qualité de vie rapporté aux kilomètres parcourus valeurs en €<sub>2016</sub>*

Km parcouru par :	Moment de la journée	Traffic	Urbain	Banlieue	Rural
Voiture	Jour	Dense	0.5	0.03	0.004
		Fluide	1.1	0.07	0.009
	Nuit	Dense	0.9	0.05	0.007
		Fluide	2.1	0.13	0.015
Motocycle	Jour	Dense	7.4	0.4	0.06
		Fluide	18.0	1.2	0.14
	Nuit	Dense	13.5	0.8	0.11
		Fluide	32.7	2.1	0.24
Bus	Jour	Dense	05	003	0.004
		Fluide	1.3	0.08	0.010
	Nuit	Dense	1.0	005	0.008
		Fluide	2.4	0.15	0.018
Camion	Jour	Dense	0.7	0.04	0.01
		Fluide	1.6	0.11	0.01
	Nuit	Dense	1.2	0.07	0.01
		Fluide	3.0	0.19	0.02

Source : EC (2019)

## 6 Méthodes pour quantifier et monétariser le temps passé dans les transports

Le temps consacré aux transports, est un temps qui n'est plus disponible pour la réalisation d'autres activités (travail, loisir, ...). Ce temps peut donc être monétarisé par rapport aux activités qui n'ont pas pu être effectuées, c'est-à-dire comme un coût d'opportunité.

Trois études pour la France proposent des valeurs de référence, qui peuvent être utilisées en fonction des informations disponibles.

Le rapport (Quinet, 2013) propose des estimations pour monétariser le temps dans les transports en fonction du type de transport ; transport professionnel, transport domicile-travail/études/garderie. En pondérant par le temps moyen passé dans chaque type de déplacement, des valeurs moyennes ont été estimées, elles sont de 10,70 €<sub>2010</sub>/heure pour Paris et de 7,90 €<sub>2010</sub>/heure pour d'autres villes en France.

La valeur économique du temps étant corrélée à l'activité économique, une actualisation des valeurs pourrait être réalisée en fonction de l'évolution du PIB.

En s'appuyant sur ces estimations de valeurs du temps et en se concentrant sur les trajets en ville de moins de 5 km estimés par l'enquête « Nationale Transports et Déplacement » de 2008, (CGDD, 2015) a estimé un coût rapporté au kilomètre par type de transport. Les hypothèses de vitesse par type de transport sont présentées dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Coût du temps par km par type de transport euros (année non précisée) (CGDD, 2015)

Type de transport	Vélo	Marche à pied	Voiture	Transports Collectifs Urbains
Vitesse (km/h)	9.9	3.7	18.5	9.16
Coûts du km en euros	0.87	2.32	0.46	0.94

La valeur du temps pour l'estimation de ces coûts par kilomètre est de 8,6 euros/heure. L'année des euros n'est pas précisée dans le rapport.

Ces valeurs ne prennent pas en compte le temps d'attente, de marche en pré-/post-acheminement, et de correspondance. Quinet (2013) considère que ces temps devraient être pris en compte avec des facteurs de pénibilités et propose les coefficients suivants : 1,5 pour les temps d'attente et 2 pour les temps de marche et les temps de correspondance.

Enfin, (Bouscasse, 2019), avec la méthode des préférences déclarées (méthode des choix discrets), a estimé les valeurs suivantes : 10,92 €/heure pour un trajet en voiture, 11,51 €/heure pour le train, si un siège est garanti, et 15,67 €/heure, si un siège n'est pas garanti durant le trajet. Ces valeurs semblent être cohérentes avec les valeurs précédemment citées. Ces valeurs ont été estimées pour la ville de Grenoble.

Nous préconisons d'utiliser la méthode utilisée par (CGDD, 2015) pour estimer le coût du temps par mode déplacement en utilisant les valeurs de vitesse par mode de déplacement spécifique à la ville ou la zone étudiée. Si des valeurs de vitesse ne sont pas disponibles, il est possible d'utiliser les valeurs monétaires de (CGDD, 2015) présentées dans le tableau 11 qui se basent sur des données nationales contrairement aux autres références qui se sont concentrées sur Paris ou Grenoble.

## 7 Applicabilité des méthodes et valeurs de référence

Dans les parties précédentes nous avons présenté des méthodes et valeurs de référence disponibles dans la littérature pour estimer, en termes économiques, les bénéfices de la mise en place des ZFE-m et de mesures associées et proposées dans la LOM. Dans ce chapitre, nous présentons les données disponibles dans deux études transmises par le BQA dans lesquelles des ZFE-m et d'autres mesures LOM ont été évaluées. Puis nous étudions si ces données pourraient permettre de monétariser les bénéfices sanitaires de ces mesures en utilisant les méthodes ou valeurs de références précédemment identifiées.

### 7.1 Présentation des données fournies par le BQA dans les études LOM

Deux rapports du BQA ont été mis à la disposition de l'Ineris dans le cadre de cette étude. Il s'agit des rapports « évolution de politiques publiques en matière de qualité de l'air » (MTE, 2022) et « Evaluation des gains en concentrations de polluants atmosphériques des mesures de la Loi d'Orientation des Mobilités » (ATMO, 2023). Ces rapports décrivent les méthodes utilisées pour estimer les impacts sur les émissions et les concentrations de polluants atmosphériques de différentes mesures mises en place dans le cadre de la loi LOM, ainsi que leurs impacts en termes d'émissions et de concentrations de polluants évitées. Il s'agit des mesures « développement du covoiturage », « infrastructures de recharge pour véhicules électriques », « autorités organisatrices de la mobilité » (transports publics et actifs), « part modale du vélo et de zones à faibles émissions » pour 11 zones dans lesquelles des ZFE existent ou doivent être mises en œuvre.

Le rapport MTE (2022) fournit les informations suivantes :

- Hypothèses sur la mise en place de mesures (part modale du vélo, du covoiturage, quantité d'infrastructures développées ou de véhicules vendus...)
- Les résultats en termes d'émissions sont présentés pour 4 scénarios :
  - Situation 2018
  - Scénario 2025 fil de l'eau
  - Mesure scénario bas
  - Mesure scénario haut
- Les résultats sont disponibles en termes de :
  - Niveaux d'émissions par mesure, polluant et zone étudiés
  - Gains d'émissions pour les scénarios bas et haut relatifs à 2018 et 2025 selon le fil de l'eau, par mesure, polluant et zone étudiés, et aussi par type de véhicule concerné par chaque mesure
  - Taux modal de l'activité vélo dans tous les transports en 2019, et en 2025 selon les scénarios bas et haut,
  - Véhicules-kilomètres évités pour les véhicules privés pour la mesure d'augmentation de la part modale du vélo (mais non l'augmentation des véh-km pour le vélo).

Le rapport ATMO (2023) fournit des informations suivantes pour les zones administratives de surveillance de qualité de l'air ambiant (ZAS) :

- Surface en km<sup>2</sup> de chaque ZAS concernée par les dépassements de valeurs limites de qualité de l'air et la population (nombre d'habitants) associée
- Pour certaines agglomérations la population habitant sur la zone concernée par les études portant sur les mesures de la LOM, et parfois une estimation de la surface concernée (e.g. Paris, mais non pour Lyon)
- Les concentrations moyennes annuelles par polluant (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) et par station de mesure en 2018 et 2021
- Les hypothèses prises dans les scénarios étudiés (5 mesures : covoiturage, infrastructures de recharge pour véhicules électriques, autorités organisatrices de la mobilité (transports publics et actifs), augmentation de la part modale du vélo, zone à faibles émissions mobilité ; avec chaque fois un jeu d'hypothèses basses et un jeu d'hypothèses hautes appliquées à l'année 2025, puis la situation de référence en 2018 et en 2025).
- Les résultats sont présentés pour 5 scénarios :
  - Situation 2018,
  - Scénario 2025 fil de l'eau,
  - Scénario 1 : ZFE-m bas + autres actions bas,
  - Scénario 2 : ZFE-m bas + autres actions haut,

- Scénario 3 : ZFE-m haut.
- Ces résultats sont
  - Les gains en émissions (en %) pour les 4 scénarios 2025 par rapport à la situation 2018 par polluant et zone étudiée
  - Les gains en émissions (en %) pour les scénarios 1, 2 et 3 par rapport à la situation « fil de l'eau » en 2025 par mesure, par polluant et zone étudiée
  - Les concentrations par polluant et zone concernée pour les 5 scénarios quantifiées par station de mesure, polluant et zone en termes graphiques (mais pas par mesure individuelle)
  - L'exposition médiane de la population en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les 5 situations quantifiées par polluant et zone (mais pas par mesure individuelle), ainsi que le nombre d'habitants exposés à un dépassement de la valeur limite.

Nous avons contacté certains auteurs de ces rapports afin de connaître l'éventuelle disponibilité de résultats supplémentaires que ceux présentés dans les rapports. Leurs réponses sont prises en compte dans la section 7.2.

## 7.2 Mise en perspective avec les données nécessaires pour évaluer les bénéfices d'une ZFE

L'objectif de ce travail était de proposer des méthodes et valeurs de référence disponibles pour quantifier certains bénéfices sanitaires des ZFE-m afin d'aider le décideur public à quantifier et monétariser les bénéfices sanitaires associés à la mise en place de la ZFE-m.

Les tableaux suivants résument les données d'entrée nécessaires pour évaluer respectivement les bénéfices sanitaires associés à une amélioration de la qualité de l'air, une réduction du bruit lié aux transports, une augmentation des modes actifs et le temps passé dans les transports, en utilisant des méthodes plus complexes permettant de quantifier les impacts sanitaires (en nombre de cas de maladies évitées, années de vie perdues...) ou en transférant des valeurs de référence estimées et recommandées dans des études menées pour des décideurs publics.

Puis, dans un second temps, ces données sont confrontées aux données disponibles dans les études LOM.

### 7.2.1 Estimation des bénéfices sanitaires d'une amélioration de la qualité de l'air

*Tableau 11 : Données nécessaires pour quantifier les bénéfices sanitaires d'une amélioration de la qualité de l'air*

Outils de quantification et de monétarisation			
Concentrations moyennes annuelles de polluants sur la zone étudiée par polluant et scénario, ou	Exposition moyenne annuelle de la population par polluant et scénario, et	Population exposée, et	Incidence de base d'indicateur de l'impact sanitaire en question (cas de mortalité, de bronchite, d'asthme ...) par classe d'âge
Valeurs de référence			
Le niveau d'émissions pour chaque zone étudiée, par polluant et scénario			

Les deux études fournies permettent de connaître les :

- Concentrations annuelles moyennes par mesure et polluant pour la situation 2018, 2025 selon quatre scénarios (référence/fil de l'eau, ZFE-m bas + autres actions bas, ZFE-m bas + autres actions haut et ZFE-m haut), qui représentent donc en majorité un ensemble de différentes mesures
- Expositions médianes de la population en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les 5 scénarios quantifiées par polluant et zone.

En revanche ces études ne fournissent pas d'information concernant la population concernée (sauf pour Paris), ni de données d'incidences de mortalité et différents types de morbidité. Un premier contact avec

deux AASQA<sup>15</sup> laisse penser que ces données peuvent être fournies sur demande, tout comme des données sur les expositions en valeurs moyennes.

L'application d'outils présentés dans la partie 3.1 de ce rapport (ex : Alpha-RiskPoll (ARP) ou AirQ+) demanderait alors de disposer du nombre d'habitants dans chaque zone concernée par les études (et devrait être disponible auprès des rédacteurs des études), ainsi que des données sur les incidences. Il conviendrait de contacter les acteurs locaux (département, ville, ORS ...) afin d'obtenir ces données, ainsi que les rédacteurs des 2 études afin de connaître la délimitation exacte des zones étudiées et la population y habitant.

Alternativement, il peut être envisagé de faire l'hypothèse d'une répartition de la mortalité et de différents types de morbidité identique sur tout le territoire. Les incidences au niveau local pourraient alors être estimées à partir de ces données nationales et du ratio de la population locale sur la population nationale. Une telle approximation introduit évidemment une incertitude contrairement à l'utilisation de données locales.

L'application des coûts de référence serait possible sur la base des données disponibles. Il convient toutefois de noter qu'il n'existe actuellement pas de jeu de données de référence (coûts/tonne d'émission) adapté à des villes françaises. L'incertitude d'un calcul des bénéfices sanitaires de la mise en place de politiques de transport dans des villes spécifiques est alors plus importante que pour l'utilisation d'un outil de calcul des impacts sanitaires.

Enfin, l'utilisation de données de concentration et d'exposition de la population par zone ne permet pas de calculer les bénéfices (l'impact sanitaire du changement de la qualité de l'air) par mesure individuelle (telle que ZFE-m), mais seulement pour l'ensemble de mesures regroupées dans les scénarios.

## 7.2.2 Estimation des bénéfices sanitaires d'une augmentation des modes actifs

*Tableau 12 : Données nécessaires pour quantifier les bénéfices sanitaires d'une augmentation des modes actifs (vélo)*

<b>Outil de quantification et de monétarisation (HEAT)</b>			
Distances parcourues par vélo et fréquence pour chaque scénario, ou	Temps passé en vélo et fréquence par unité de temps (jour, semaine ...) pour chaque scénario, ou	Taux relatifs du mode vélo dans les transports totaux pour chaque scénario, et	Population et âge de la population concernée par la pratique du vélo
<b>Valeurs de référence</b>			
Vélo-kilomètres pour la mesure dans chaque scénario			

Les deux études ne fournissent pas d'information sur les vélo-kilomètres pour chaque scénario, ni le temps passé ou la fréquence ou encore des informations sur l'âge de la population. Dans ces études seuls les véhicules-kilomètres évités ont été calculés. Les taux relatifs du mode vélo dans tous les transports sont disponibles pour les scénarii hauts et bas en 2025, mais pas pour la référence en 2018 et 2025. Les véhicule-kilomètres sont a priori disponibles auprès des auteurs pour tous les modes, ce qui devrait permettre de calculer aussi les taux relatifs au mode vélo. En revanche, les véhicule-km par mode ont été évalués pour chaque action de la LOM (ZFE-m, covoiturage ...) séparément pour chaque scénario. Pour l'action ZFE seul le renouvellement des véhicules anciens est étudié. Par conséquent il n'est pas possible de cumuler les effets de toutes les actions sans risque de double-compte.

<sup>15</sup> Air'Parif, ATMO AURA

### 7.2.3 Estimation des bénéfices sanitaires d'une réduction du bruit lié aux transports

Tableau 13 : Données nécessaires pour quantifier les bénéfices sanitaires d'une réduction du bruit lié aux transports

Méthode de quantification des bénéfices d'une réduction du bruit		
Cartes d'exposition de la population concernée au bruit, en termes de décibel pondéré A, ou	Cartes d'exposition de la population concernée au bruit, en termes d'indicateurs LD (niveaux de bruit moyens équivalents sur les périodes de journée = 6-18h), LE (de soirée = 18-22h) et LN (de nuit = 22- 6h), et	La population concernée, également spatialisée sur une carte
Valeurs de référence		
Exposition moyenne annuelle au bruit (en dB(A)) et la population concernée, et	Distances parcourues (en km) par an et par type de véhicule motorisé différencié en jour et nuit, avec conditions de trafic (dense, fluide) et caractéristiques de la zone concernée (urbaine, banlieue, rurale)	

Les deux études LOM à notre disposition ne se sont pas intéressées aux impacts du bruit. Les données disponibles dans ces études ne permettent donc pas de calculer les impacts des mesures étudiées sur le bruit et la santé.

### 7.2.4 Estimation des bénéfices sanitaires d'une modification du temps passé dans les transports

Tableau 14 : Données nécessaires pour quantifier les effets sanitaires d'une modification du temps passé dans les transports

Valeurs de référence	
Temps passé dans les transports, ou	Distances parcourues (en km) par mode de transport

Les deux études ne se sont pas non plus intéressées au temps passé dans les transports. Elles ne fournissent pas les données nécessaires pour calculer les impacts des mesures étudiées sur le temps.

## 7.3 Conclusion de l'utilisation des données des études fournies par le BQA

Les données disponibles dans les études fournies par le BQA ne permettent pas à ce jour d'estimer les impacts liés au temps passé dans les transports, ni aux bénéfices associés à la réduction du bruit avec les méthodes de quantification et de monétarisation ou avec l'utilisation de valeurs de référence.

Un échange avec le CITEPA laisse penser que les données supplémentaires disponibles permettraient de calculer les bénéfices du développement des transports actifs sur la base de valeurs de référence.

Concernant l'évaluation des impacts sanitaires, des données sur l'exposition, nécessaires à l'évaluation a minima des effets de la réduction de la pollution atmosphérique sur la santé semblent être disponibles auprès des deux AASQA interrogés. Ceci n'est en revanche pas le cas pour les données sur les incidences sanitaires.

Une application, a minima partielle, des méthodes proposées dans ce rapport paraît alors faisable, du moins pour Paris et Lyon.

Dans le cas où la monétarisation des bénéfices ne serait possible que partiellement, des études coût-efficacité pourraient être envisagées, ainsi que l'utilisation d'indicateurs d'amélioration autres que monétaires, telles que de mesures de changement modal, des distances parcourues en modes non motorisé, ou d'exposition.

## 8 Conclusions

Une première conclusion de ce rapport est qu'il faudrait développer des études sur les effets des mesures des actions mises en place dans le cadre de la loi LOM, telles que les ZFE-m, dans le but de fournir les données nécessaires pour une évaluation économique. Néanmoins, certaines données nécessaires à l'évaluation *a minima* des effets de la réduction de la pollution atmosphérique sur la santé sont disponibles dans les deux rapports et/ou semblent être disponibles auprès des auteurs des deux études fournies par le BQA.

Une deuxième conclusion concerne la difficulté de séparer les effets de différentes mesures développées dans le cadre de la loi LOM. Par exemple, le développement de ZFE-m peut directement favoriser des changements modaux avec des possibles augmentations de modes actifs, indépendamment d'autres mesures les favorisant plus spécifiquement (e.g. politiques visant l'augmentation de la part modale du vélo). Inversement, les différents bénéfices ne sont pas liés à une seule mesure mais à une combinaison de mesures. Il est donc recommandé d'évaluer les effets des différentes mesures, mises en place en parallèle, dans leur ensemble. C'est-à-dire, les effets sanitaires de l'amélioration de la qualité de l'air, les véhicules-kilomètres parcourus par mode, etc. pouvant être générés par toutes ces mesures.

Dans le cadre des études réglementaires à mener par des villes qui mettent en œuvre des ZFE, des analyses sont en cours pour plusieurs villes. Selon les interlocuteurs interrogés, dans le cadre de ces études des modélisations des flux de trafic ont lieu qui tiennent compte des différents choix qui se posent au propriétaire d'un véhicule qui n'aura plus le droit de circuler dans la zone concernée : le remplacer par un véhicule plus récent, changer le mode de transport ou changer l'itinéraire.

A l'avenir, il pourrait être envisagé de ne pas se limiter à la prise en compte des impacts sanitaires et environnementaux directs, mais d'intégrer également les impacts indirects, tels que les coûts environnementaux du renouvellement du parc de véhicules, la réduction des émissions de gaz à effet de serre... Un autre sujet important, mais qui n'est pas l'objectif du rapport, est la répartition des coûts et des bénéfices entre différentes zones géographiques et entre personnes appartenant à différentes catégories socio-économiques (en fonction du revenu). Il peut s'agir des inégalités dans la répartition des améliorations de la qualité de l'air, et donc des réductions des effets sanitaires, mais aussi des effets redistributifs en termes de temps de transports. Concernant l'étude des bénéfices sanitaires en fonction de facteurs socio-économiques, des études ont été menées pour regarder la répartition des bénéfices sanitaires en fonction des revenus. Pour la ville de Rome, par exemple, Cesaroni et al. (2011) ont trouvé des bénéfices sanitaires plus importants pour des classes socio-économiques plus élevées. Dans le cadre du projet MobilAir, pour les agglomérations de Lyon et Grenoble, Morelli, et al. (2019) ont étudié différents scénarios de réduction des émissions par rapport à la répartition des bénéfices. Ils ont trouvé que des scénarios visant une exposition homogène aux polluants atmosphériques dans toutes les zones étudiées étaient plus efficaces pour réduire les inégalités sociales d'exposition que des scénarios visant une réduction de pollution dans les zones les plus polluées.

A l'extérieur du territoire de la ZFE-m ou ZAS, d'autres impacts environnementaux et sanitaires pourraient être générés, notamment les impacts associés à l'extraction des matières premières indispensables pour la production de véhicules neufs, ou la production d'électricité pour alimenter les véhicules électriques du nouveau parc. Il est également possible que la modification de la qualité de l'air impacte positivement ou négativement la santé des populations dans les territoires proches de la ZFE. Une méthode rigoureuse devrait prendre en compte l'ensemble des impacts du renouvellement du parc et de son alimentation énergétique par rapport à la situation actuelle et ceci sur la totalité du cycle de vie des différents véhicules. Etant donné la quantité des informations nécessaires nous recommandons toutefois de se limiter d'abord aux impacts directs se manifestant sur les zones étudiées.

Pour plusieurs bénéfices des ZFE-m ou d'autres actions développées dans le cadre de la loi LOM, le rapport a présenté des outils ou des méthodes permettant de quantifier les impacts ainsi que des valeurs de références. Lorsque les données sont disponibles, il est préférable d'utiliser les outils ou méthodes pour quantifier les impacts plutôt que d'utiliser les valeurs de référence. Les valeurs seront spécifiques au cas d'étude et comprendront moins d'incertitudes.

Dans le cas où la quantification des impacts n'est pas possible, l'utilisation de valeurs de référence peut être envisagée. Concernant les valeurs de références pour les bénéfices des transports actifs et pour les bénéfices dus à la réduction du bruit, nous recommandons d'utiliser respectivement les valeurs de

(INDDIGO – VERTIGOLAB, 2020) et (EC, 2019). Pour l'impact sur le temps passé dans les transports, impacts pour lequel nous n'avons pas identifié de méthode ou d'outil de quantification des impacts, nous proposons d'utiliser (CGDD, 2015).

Concernant les valeurs de référence disponibles pour les bénéfices sanitaires liés à l'amélioration de la qualité de l'air (AEE, à paraître ; Schucht et al., 2023), nous émettons plus de réserves. Ces bénéfices n'ont pas été calculés avec l'objectif d'être appliquées à des villes et devraient être utilisées à cette fin seulement en dernier recours. La qualité de l'air (et donc de l'exposition de la population) d'une ville donnée ne dépend pas seulement des émissions locales, mais également des émissions nationales et internationales, car certains polluants peuvent être transportés sur des longues distances. En utilisant ces valeurs de référence, l'effet des émissions nationales et internationales sur les impacts sanitaires ne serait pas pris en compte. En revanche, ces valeurs tiennent compte des impacts des émissions émises en France sur tout le domaine européen. Afin de réduire les incertitudes inhérentes à l'utilisation des coûts de référence pour l'estimation des bénéfices d'une ZFE, il faudrait les différencier non seulement par secteur émetteur mais également selon des critères spatiaux.

## 9 Références

ADEME, 2023. (ADEME, 2023) Comment réussir le déploiement d'une Zone à Faibles Émissions - mobilité (ZFE-m) ?

AEE (2024), EEA Briefing: The costs to health and the environment from industrial air pollution in Europe – 2024 update, written by Juan Calero, [The costs to health and the environment from industrial air pollution in Europe – 2024 update — European Environment Agency \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/publications/the-costs-to-health-and-the-environment-from-industrial-air-pollution-in-europe-2024-update).

AEE (à paraître), Estimating the external costs of industrial air pollution: Trends 2012-2021, Technical note on the methodology and additional results, written by Juan Calero with ETC/HE as contributor.

AAE, 2010. Good practice guide on noise exposure and potential health effects, EEA Technical report No 11/2010, <https://www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-noise>.

ATMO, 2023. Evaluation des gains en concentrations de polluants atmosphériques des mesures de la Loi d'Orientation des Mobilités : rapport non définitif, AIRPARIF – Atmo Sud – Atmo AuRA – Atmo Grand Est – Atmo Occitanie.

Barban P., et al, 2022. Assessing the Health Benefits of Physical Activity Due to Active Commuting in a French Energy Transition Scenario. International Journal of Public Health

Boiteux M., et al 2001. Transports : choix des investissements et coût des nuisances

Bouscasse H., et al, 2019. Perceived comfort and values of travel time savings in the Rhone Alpes Region.

BRUITPARIF – Centre d'évaluation technique de l'environnement sonore en Ile-de-France, 2019. Impacts sanitaires du bruit des transports dans la zone dense de la région Ile-de-France, 137 pages

Cesaroni G., et al. (2011) Health benefits of traffic-related air pollution reduction in different socioeconomic groups: the effect of low-emission zoning in Rome, Occup Environ Med, (<https://doi.org/10.1136/oem.2010.063750>)

CGDD. (2016). Évaluation de la politique de développement de l'usage du vélo.

CGDD. (2015). Les comptes des transports en 2013 Tome 2 Dossiers d'analyse économique des politiques publiques des transports.

MTE, 2022. Évaluation de politiques publiques en matière de qualité de l'air : rapport final, CITEPA, AIRPARIF, ATMOAURA & ATMOSUD, 474 pages

Defra. (2014). Environmental Noise: Valuing impacts on: sleep disturbance, annoyance, hypertension, productivity and quiet.

European Commission, 2019. Handbook on the external costs of transport version 2019-1.1

France Stratégie, 2021. L'évaluation socio-économique des effets de santé des projets d'investissement public : rapport final, 328 pages

Götschi T., et al, 2020. Integrated impact assessment of active travel: expanding the scope of the health economic assessment tool (HEAT) for walking and cycling. *Environmental Research and Public Health*

INDDIGO – VERTIGOLAB, 2020. Impact économique et potentiel de développement des usages du vélo en France. Bureau de la communication – DGE

Ineris, 2009. Inter-modal - Vers une meilleure maîtrise de l'exposition individuelle par inhalation des populations à la pollution atmosphérique lors de leurs déplacements urbains, rapport INERIS N° DRC-09-104243-11651A, <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/drc-09-104243-11651a-intermodal-final.pdf>

Klimont, Z. et al. (2022), Support to the development of the third Clean Air Outlook, Final report, International Institute for Applied Systems Analysis - IIASA, (<https://circabc.europa.eu/ui/group/cd69a4b9-1a68-4d6c-9c48-77c0399f225d/library/bb998537-f96a-4ec5-b5ad-dd4e7fd144ed>).

Kahlmeier S., et al. 2017. Health economic assessment tool (HEAT) for walking and for cycling: methods and user guide on physical activity, air pollution, injuries and carbon impact assessments. World Health Organization. Regional Office for Europe.

Khomenko et al. (2023), Spatial and sector-specific contributions of emissions to ambient air pollution and mortality in European cities: a health impact assessment, *Lancet Public Health* 2023; 8: e546–58.

Morelli X., et al. (2019), Which decreases in air pollution should be targeted to bring health and economic benefits and improve environmental justice, *Environment International*, (<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.077>)

OMS (2013), Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project, Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide, Copenhagen, WHO Regional Office for Europe (<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-risks-of-air-pollution-in-europe-hrapie-project-recommendations-for-concentrationresponse-functions-for-costbenefit-analysis-of-particulate-matter,-ozone-and-nitrogen-dioxide>).

ORS, 2018. Bénéfices sanitaires attendus d'une zone à faibles émissions, évaluation quantitative d'impact sanitaire prospective pour l'agglomération parisienne.

Real, E. & Malherbe, L. (2016), Exposition dynamique de la population à la pollution atmosphérique, Revue des méthodes et comparaison avec l'estimation statique de l'exposition Note technique, LCSQA

Rojas-Rueda D., et al. 2012. Replacing car trips by increasing bike and public transport in the greater Barcelona metropolitan area: A health impact assessment study

Schucht, S. & Chapon, V. (2023), Coûts de référence pour 5 polluants atmosphériques (PM, NOx, SO2, NH3, COVNM), Rapport Ineris - 211446 - 211446 - 2760531 - v1.0.

Schucht et al. (2023), Costs of air pollution from European industrial facilities, Further refinement and update of calculations, ETC/HE Working Paper 2023.

