

SANTÉ
ENVIRONNEMENT

DÉCEMBRE 2024

ÉTUDES ET ENQUÊTES

AGIR SUR LES ESPACES VERTS,
LES MOBILITÉS ACTIVES,
LA CHALEUR, LA POLLUTION DE L'AIR ET
LE BRUIT: QUELS BÉNÉFICES
POUR LA SANTÉ ?

Synthèse des résultats
dans la Métropole Rouen Normandie

RÉGION
NORMANDIE

Résumé

Agir sur les espaces verts, les mobilités actives, la chaleur, la pollution de l'air et le bruit : quels bénéfices pour la santé ? - Synthèse des résultats dans la Métropole Rouen Normandie

Notre santé dépend de nombreux facteurs dont certains sont propres à chaque individu (comportement, facteurs génétiques) et d'autres plus largement partagés par une même population. Ainsi, la réduction à des facteurs de risques environnementaux tels que la pollution de l'air, le bruit, ou la chaleur et le développement de facteurs de protection et de promotion de la santé tels que l'activité physique ou la nature en ville sont de nature à protéger et améliorer la santé de la population. Ces actions contribuent également à s'adapter aux changements climatiques, à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à protéger la biodiversité, dans une vision systémique de la santé.

L'Évaluation quantitative des impacts sur la santé (ÉQIS) est une méthode formalisée pour illustrer l'influence sur la santé d'un déterminant de santé. L'ÉQIS s'appuie sur l'état de l'art des connaissances scientifiques, et sur des données et des scénarios locaux d'évolution des déterminants étudiés. Dans le cadre d'une étude pilote, Santé publique France a réalisé des ÉQIS portant sur l'amélioration de déterminants favorables à la santé (espaces verts urbains, mobilités actives) ou sur la réduction de déterminants défavorables (pollution de l'air, bruit, chaleur), dans trois métropoles françaises. Ce rapport met l'accent sur les principaux résultats obtenus pour la Métropole Rouen Normandie (MRN).

L'étude a concerné près de 490 000 d'habitants. Pendant la période d'étude (2015-2017), plus de 4 300 décès ont été observés en moyenne chaque année dans la métropole.

Les résultats de ces ÉQIS soulignent qu'agir sur les espaces verts, les mobilités, la pollution de l'air ou le bruit permettrait d'éviter à chaque fois plusieurs centaines de décès par an (au regard des situations « actuelles »). Ceci représente des bénéfices majeurs pour la santé, qui seraient observés sur l'ensemble du territoire, et pour certains seraient plus importants dans les zones plus défavorisées socialement.

À titre d'illustration,

- si tous les Iris¹ avaient le même niveau de végétation que les Iris les plus végétalisés de même densité, près de 300 décès seraient évités chaque année, soit 6,8 % de la mortalité de la métropole.
- si chaque habitant de 30 ans et plus de la MRN faisait en moyenne 10 minutes de marche en plus par jour de semaine, on estime que près de 150 décès pourraient être évités chaque année, soit 3,4 % de la mortalité. Une durée de 10 minutes de vélo en plus par jour de semaine représenterait 250 décès évités chaque année, soit 5,7 % de la mortalité.
- si les niveaux de particules fines (PM_{2,5}) respectaient partout la valeur recommandée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en 2021 (5 µg/m³ en moyenne annuelle), 310 décès, soit 7,1 % de la mortalité, seraient évités. Cela permettrait également d'éviter chaque année 44 nouveaux accidents vasculaires cérébraux (AVC) (soit 6,2 % des AVC) et 2 nouveaux cancers du poumon (soit 4,4 % des cancers du poumon). Si les niveaux de dioxyde d'azote respectaient partout la valeur recommandée par l'OMS (10 µg/m³ en moyenne annuelle), 65 décès, soit 1,5 % de la mortalité, seraient évités. Ceci permettrait également d'éviter plus de 180 nouveaux cas d'asthme chez les enfants de 0 à 17 ans, soit 7,6 % des nouveaux cas d'asthme.
- si toutes les communes respectaient les recommandations de l'OMS pour le bruit routier la nuit (45 dB L_{night}), cela permettrait à 1 300 habitants de la MRN d'avoir moins de fortes perturbations du sommeil.
- en moyenne chaque année, la chaleur pendant les jours très chauds (température moyenne ≥18,3 °C) a été responsable de près de 50 décès prématurés à la MRN.

En transformant une information environnementale ou comportementale en impact sur la santé, les ÉQIS sont un outil intéressant d'aide à la décision pour contribuer à une prise en compte plus systématique de la santé dans les politiques publiques d'aménagement urbain. Les limites méthodologiques qui demeurent et les incertitudes associées ne remettent pas en cause l'importance des bénéfices attendus en transformant les environnements pour les rendre plus favorables à la santé.

MOTS-CLÉS : POLLUTION DE L'AIR, BRUIT, CHALEUR, MOBILITÉS ACTIVES, ESPACES VERTS URBAINS, ÉVALUATION QUANTITATIVE DES IMPACTS SUR LA SANTÉ, MRN

¹ îlots regroupés pour l'information statistique

Abstract

Health benefits of action on green spaces, active mobilities, heat, air pollution and noise - Summary of results for the Métropole Rouen Normandie

Our health depends on many factors, some of which are specific to each individual (behavior, genetic factors) and others which are more widely shared by the same population. Reducing environmental risk factors such as air pollution, noise and heat, and developing protective and health-promoting factors such as physical activity and nature in the city, can protect and improve the health of the population. These actions also contribute to adapting to climate change, reducing greenhouse gas emissions and protecting biodiversity, in a systemic vision of health.

Quantitative Health Impact Assessment (QHIA) is a formalized method for illustrating the influence of a health determinant on health. QHIA is based on the state of the art of scientific knowledge, and on local data and scenarios for the evolution of the determinants studied.

As part of a pilot study, Santé publique France carried out QHIA to improve health-promoting determinants (urban green spaces, active mobility) or reduce unfavorable determinants (air pollution, noise, heat) in three French cities. This report focuses on the main results obtained for the Métropole Rouen Normandie (MRN).

The study covered almost 490,000 inhabitants. During the study period, more than 4,300 deaths were observed on average each year in the metropolis.

The results of these QHIA show that action on green spaces, mobility, air pollution and noise could prevent several hundred deaths a year (compared with "current" situations). This represents major health benefits, which would be observed throughout the territory, and in some cases would be greater in the most socially disadvantaged areas.

For example, if

- if all Iris had the same level of vegetation as the greenest Iris of a similar density, nearly 300 deaths would be avoided each year, or 6.8% of the metropolitan area's mortality.
- if every resident aged 30 and over in the MRN walked an average of 10 minutes more per weekday, it is estimated that almost 150 deaths could be avoided each year, or 3.4% of mortality. 10 minutes more of cycling per weekday would represent 250 deaths avoided each year, or 5.7% of mortality.
- if levels of fine particulate matter (PM_{2.5}) everywhere respected the value recommended by the World Health Organization (WHO) in 2021 (5 µg/m³ annual average), 310 deaths, or 7.1% of mortality, would be avoided. This would also prevent 44 new strokes (or 6.2% of strokes) and 2 new lung cancers (or 4.4% of lung cancers) each year. If nitrogen dioxide levels everywhere complied with the value recommended by the World Health Organization (WHO) (10 µg/m³ annual average), 65 deaths, or 1.5% of mortality, would be avoided. This would also prevent more than 180 new cases of asthma in children aged 0 to 17, or 7.6% of all new asthma cases.
- if all municipalities complied with WHO recommendations for road noise at night (45 dB Lnight), 1,300 MRN residents would experience fewer severe sleep disturbances.
- on average every year, heat on very hot days (average temperature ≥19,3 °C) was responsible for almost 50 premature deaths in the MRN.

By transforming environmental or behavioral information into a health impact, SQIAs are an interesting decision-support tool to contribute to a more systematic consideration of health in public urban planning policies. The methodological limitations that remain and the associated uncertainties do not call into question the importance of the benefits expected from transforming environments to make them more health-friendly.

KEYWORDS : AIR POLLUTION, NOISE, HEAT, ACTIVE MOBILITY, URBAN GREEN SPACES, QUANTITATIVE HEALTH IMPACT ASSESSMENT, MRN

Citation suggérée : Pascal M, Blanchard M, Corso M, Stempfelet M, Medina S, Wagner V, *et al.* Agir sur les espaces verts, les mobilités actives, la chaleur, la pollution de l'air et le bruit : quels bénéfices pour la santé ? – Synthèse des résultats dans la Métropole Rouen Normandie. Saint-Maurice : Santé publique France, 2024. 40 p. Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr

ISSN : 2609-2174 - ISBN-NET : 979-10-289-0927-7 - RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE - DÉPÔT LÉGAL : DÉCEMBRE 2024

Ont participé à cette étude

Santé publique France

Mathilde Pascal, Robin Lagarrigue, Magali Corso, Morgane Stempfelet, Sylvia Medina, Vèrene Wagner, Perrine De Crouy Chanel, Myriam Blanchard, Amandine Cochet, Valérie Pontiès, Béranger Thomas, Maxime Grosbois, Séverine Deguen

Métropole Rouen Normandie

Léo Kazmierczak, Patrick Michel

Atmo Normandie

Jérôme Cortinovis

Ont participé à la rédaction de ce rapport

Mathilde Pascal, Myriam Blanchard, Robin Lagarrigue, Magali Corso, Morgane Stempfelet, Sylvia Medina, Vèrene Wagner, Perrine De Crouy Chanel, Amandine Cochet, Valérie Pontiès

Remerciements

Julien Daniel, Camille Eeckeman, Brice Dewarlez

Abréviations

Aasqa	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
Ademe	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AVC	Accidents vasculaires cérébraux
Capeb	Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment
Cerema	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
EMD	Enquête ménage déplacement
ÉQIS	Évaluation quantitative des impacts sur la santé
FDep	<i>French social deprivation index</i>
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
Ineris	Institut national de l'environnement industriel et des risques
Iris	Îlots regroupés pour l'information statistique
L_{den}	<i>Level day-evening-night</i>
L_{night}	<i>Level night</i>
MET	<i>Metabolic equivalent of task</i>
MRN	Métropole Rouen Normandie
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NO₂	Dioxyde d'azote
O₃	Ozone
OMS	Organisation mondiale de la santé
PCAET	Plan climat air énergie territorial
PDM	Plan de mobilité
PM_{2,5}	Particules fines de diamètres inférieures à 2,5 µm
PM₁₀	Particules fines de diamètres inférieures à 10 µm
PMSI	Programme de médicalisation des systèmes d'information
PPBE	Plan de prévention du bruit dans l'environnement
RER	Relation exposition risque
RR	Risque relatif
SCOT-AEC	Schéma de cohérence territoriale valant Plan Climat Air Énergie Territorial
SNDS	Système national des données de santé
SurSaUD®	Système de surveillance sanitaire des urgences et des décès
VAE	Vélo à assistance électrique
VIE	Valeur Intégrale Évaluée
ZFE-m	Zone à faibles émissions mobilités

Table des matières

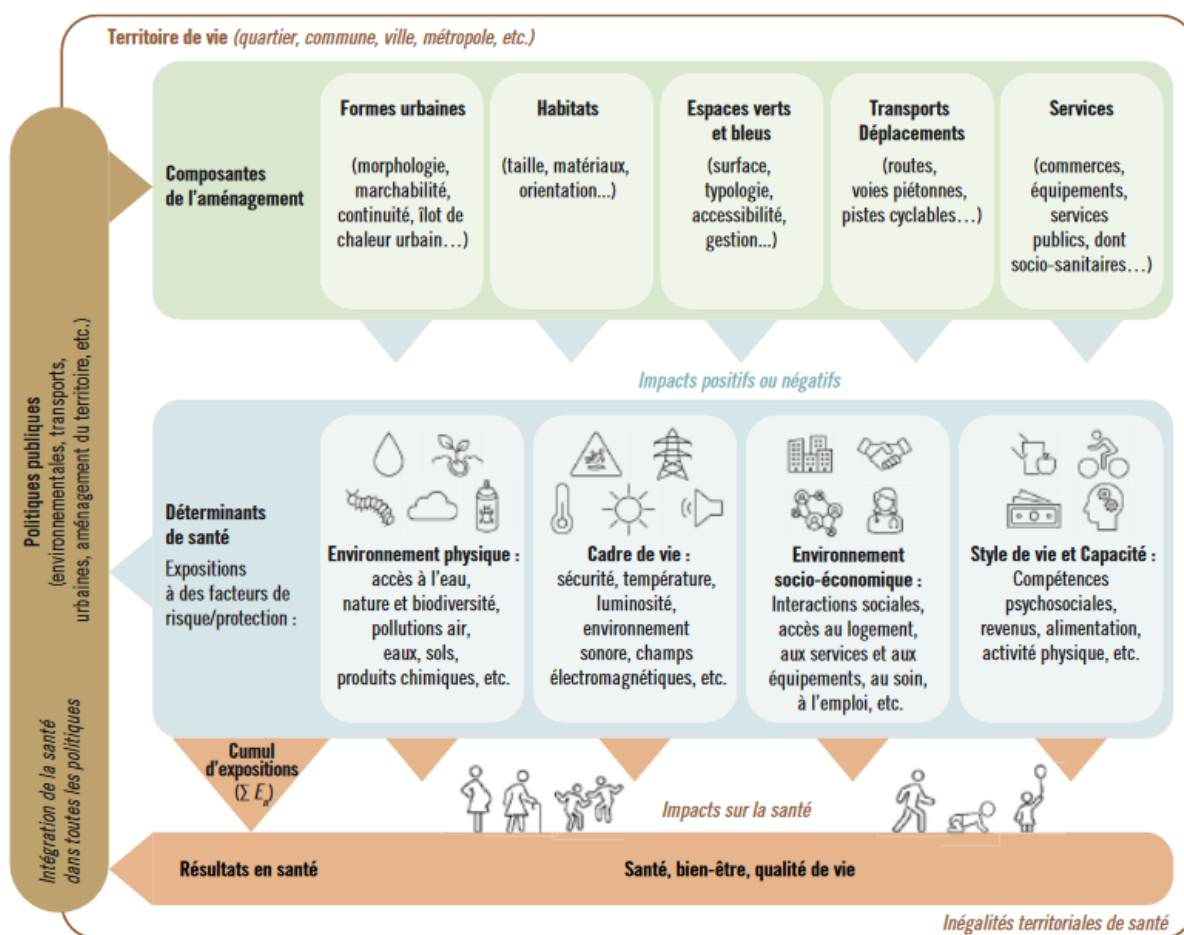
Résumé.....	2
Abstract.....	3
Ont participé à cette étude	4
Ont participé à la rédaction de ce rapport.....	4
Remerciements	4
Abréviations	5
1. Introduction.....	7
2. Méthode.....	9
3. Description de la Métropole	11
4. Actions sur des déterminants favorables à la santé : espaces verts urbains et mobilités actives.....	13
4.1 Bénéfices d'une augmentation des espaces verts urbains.....	13
4.2 Bénéfices liés à la présence d'espaces verts urbains spécifiques.....	15
4.3 Bénéfices liés à une augmentation de la marche et du vélo	16
4.4 Bénéfices liés aux objectifs mobilités du Plan climat air énergie territorial 2030 et au plan de mobilité 2035.....	18
5. Action de réduction de facteurs de risques : pollution de l'air et bruit.....	20
5.1 Bénéfices du respect de la valeur recommandée par l'OMS pour les particules fines.....	20
Effets à long terme.....	20
Effets à court terme.....	21
5.2 Bénéfices du respect de la valeur recommandée par l'OMS pour le NO ₂	23
Effets à long terme.....	23
Effets à court terme.....	24
5.3 Bénéfices d'une réduction des pics d'ozone	25
Effets à court terme.....	25
5.4 Bénéfices pour la santé d'une réduction du bruit routier et ferroviaire.....	26
6. Impacts de la chaleur sur la santé	30
7. Discussion.....	31
7.1 Intérêts et limites de la démarche d'évaluation quantitative des impacts sur la santé	31
7.2 Aller vers des environnements favorables à la santé	32
Annexe. Les actions de la MRN en faveur de l'environnement et la santé	34
Ressources bibliographiques	36

1. INTRODUCTION

La prise en compte des liens entre la santé et l'environnement est un élément incontournable des politiques publiques face aux crises environnementales en cours (1). Les conditions de vie et les expositions environnementales influencent l'état de santé de la population, via un ensemble de facteurs également appelés **déterminants de la santé** (Figure 1). Ces déterminants peuvent être des facteurs de risque, associés à une dégradation de la santé (par exemple, la pollution de l'air ambiant, le bruit ou la chaleur), ou des facteurs protecteurs (par exemple, l'activité physique, ou la présence de nature en ville).

L'**urbanisme favorable à la santé** (UFS) encourage des choix d'aménagement permettant de réduire les facteurs de risque et d'augmenter les facteurs protecteurs (2). Ces choix d'aménagements favorables à la santé peuvent également contribuer à l'adaptation au changement climatique, à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et à la protection de la biodiversité (3).

Figure 1. Les liens entre aménagements du territoire et des déterminants de la santé de la population (4)



Source : adapté de productions internes de l'EHESP – groupe UrbASET et Réseau français des Villes-Santés (RFVS), 2022.

Forte de ce constat, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) incite à mettre en œuvre une **vision intersectorielle de la santé**, à la croisée de plusieurs thématiques : politiques sociales, aménagements urbains, place de la nature, mobilités, etc. (5). Cette vision doit s'appuyer sur une compréhension et des constats partagés entre acteurs. La méthode de l'**Évaluation quantitative des impacts sur la santé** (ÉQIS) a été développée dans cet objectif.

Elle permet d'illustrer l'influence de l'évolution d'un déterminant spécifique sur la santé, dès lors que son effet est **causal**. Autrement dit, si l'on sait que l'exposition à un déterminant explique en partie l'état de santé de la population, on peut calculer ce que cet état de santé serait si l'exposition changeait. L'ÉQIS s'appuie sur l'état de l'art des **connaissances scientifiques** pour expliquer l'effet du déterminant sur la santé, et sur des **données et des scénarios locaux** pour quantifier l'impact d'une évolution du déterminant (6).

L'ÉQIS a été largement appliquée à la question de **la pollution de l'air extérieur** (6-10). Comme on sait que l'exposition aux particules fines de diamètre inférieur à 2,5 µm (PM_{2,5}) explique en partie le niveau de mortalité dans une population, on peut calculer le niveau de mortalité qui serait observé, toutes choses égales par ailleurs, si les concentrations de particules fines diminuaient. Par exemple, en France continentale, si les concentrations de PM_{2,5} ne dépassaient jamais 5 µg/m³, 40 000 décès seraient évités chaque année (11). En région Normandie, ce chiffre a été estimé à un peu plus de 2 000 décès annuels, soit 6,5 % de la mortalité régionale totale sur la période 2016-2019². Une étude menée en 2016 sur la période 2007-2008 a permis d'estimer à environ 2 600 le nombre de décès annuels qui seraient évités en Normandie si la pollution aux PM_{2,5} était abaissée à 5 µg/m³ (12).

Plus récemment, une ÉQIS portant sur la période 2015-2016 a montré que, si les concentrations de particules fines avaient été de 5 µg/m³ en moyenne annuelle en 2015-2016, environ 400 décès auraient été évités en moyenne par an sur le territoire selon les niveaux de pollution observés (soit environ 9 % de la mortalité totale des personnes âgées de 30 ans et plus). Ce fardeau représente aussi une perte d'espérance de vie d'environ un an (13).

Le développement des connaissances permet désormais d'étendre cette méthode à d'autres déterminants environnementaux de la santé. Il peut s'agir d'ÉQIS portant sur l'amélioration de déterminants favorables à la santé (**espaces verts urbains, mobilités actives**) ou sur la réduction de déterminants défavorables (**pollution de l'air, bruit, chaleur**).

Santé publique France a mené une ÉQIS pilote sur ces déterminants dans trois métropoles françaises, la Métropole Européenne de Lille, la Métropole Rouen Normandie, et Montpellier Méditerranée Métropole. L'objectif était de tester l'application d'une méthode robuste et reproductible.

Ce rapport présente les principaux résultats pour la **Métropole Rouen Normandie** (MRN).

L'annexe 1 illustre les actions en cours mises en place par la MRN sur les déterminants pris en compte dans cette ÉQIS. Elle décrit des interventions pour la plupart postérieures ou concomitantes à la période d'étude retenue et les résultats proposés ici n'ont pas vocation à évaluer les actions entreprises.

² Données disponibles sous <https://geodes.santepubliquefrance.fr/>

2. MÉTHODE

Les étapes classiques d'une ÉQIS (Figure 2) ont été adaptées aux spécificités de chaque déterminant. Les choix ont été régulièrement discutés entre Santé publique France, les experts techniques de la MRN, et Atmo Normandie, l'Association agréée de la surveillance de la qualité de l'air (Aasqa) en région Normandie. Une grande partie des données environnementales ont été fournies par la MRN, et Atmo Normandie.

Dans les chapitres qui suivent, la méthode et les informations clefs des ÉQIS réalisées pour chaque déterminant sont résumées dans des encadrés. Seuls les résultats pour les scénarios les plus ambitieux et présentant les incertitudes estimées les plus faibles sont présentés ici.

Pour des informations plus détaillées, le lecteur devra se référer au rapport méthodologique complet « Agir sur les espaces verts, les mobilités actives, la chaleur, la pollution de l'air et le bruit : quels bénéfices pour la santé ? Évaluation quantitative des impacts sur la santé, étude pilote sur trois métropoles, Rapport méthodologique ». Outre le détail de la méthode, ce rapport détaillé propose plusieurs analyses de sensibilité, et des scénarios et des résultats supplémentaires pour chaque déterminant. Par ailleurs, le rapport propose une discussion consolidée sur les hypothèses et les incertitudes liées à la mise en place de ces ÉQIS.

Encadré : Principes généraux d'une ÉQIS, types de scénarios et présentation des résultats

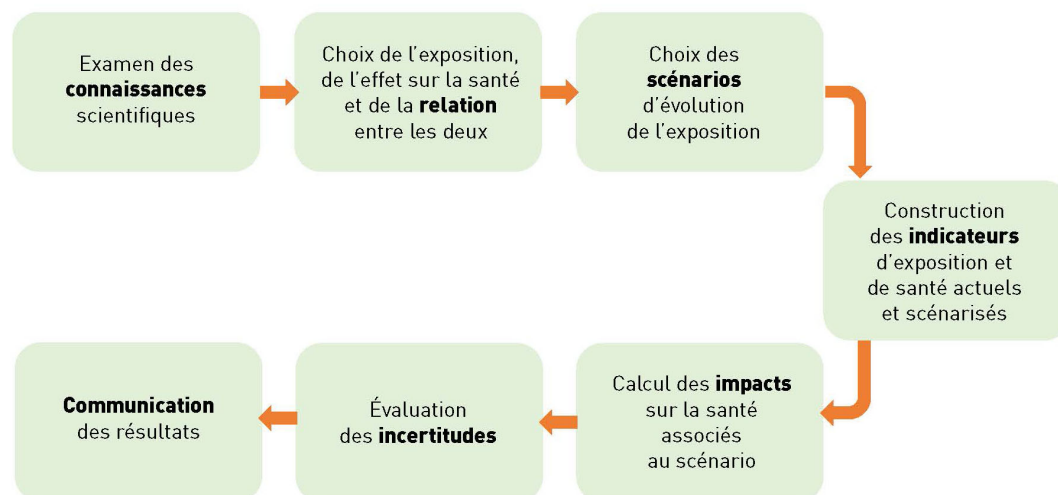
L'ÉQIS s'appuie sur des étapes itératives décrites dans la **Figure 2**.

Les connaissances scientifiques internationales (études épidémiologiques) fournissent une équation mathématique - aussi appelée relation exposition-risque (RER) - qui lie une exposition et un effet sur la santé. Cette RER est utilisée pour estimer les gains pour la santé d'une évolution favorable de l'exposition. Les données utilisées proviennent de sources locales. Les définitions des indicateurs d'exposition et de santé doivent être les plus proches possibles des définitions utilisées par l'étude dont est extraite la RER.

Les scénarios d'évolution de l'exposition sont construits afin de répondre au mieux aux attentes locales, tout en respectant les contraintes imposées par la RER.

Tous les résultats sont accompagnés d'une estimation quantitative ou qualitative de l'incertitude.

Figure 2. Les principales étapes d'une ÉQIS



Deux types de scénarios ont été considérés dans les ÉQIS proposés ici :

1) quels seraient les bénéfices pour la santé si l'exposition respectait partout dans la métropole une valeur cible définie indépendamment du contexte de la métropole, correspondant en général à une recommandation de l'OMS, ou à une valeur réglementaire ?

2) quels seraient les bénéfices pour la santé si l'exposition respectait partout dans la métropole une valeur cible définie relativement au contexte de la métropole ? Par exemple, cette valeur cible peut être la valeur observée dans les communes où l'exposition est la plus favorable pour la santé.

Les résultats sont présentés en nombre de cas évités totaux, nombre de cas évités pour 100 000 habitants, part de cas évités parmi les cas observés, et gain en espérance de vie à 30 ans. Ils sont agrégés par densité selon la grille communale de l'Insee, et par niveau de défaveur sociale. Le FDep³ a été choisi pour mesurer cette défaveur.

Pour chaque déterminant, ces résultats dépendent donc de la répartition spatiale de l'exposition environnementale, de la répartition de la population et des indicateurs de santé, et des scénarios (fixes ou variables spatialement).

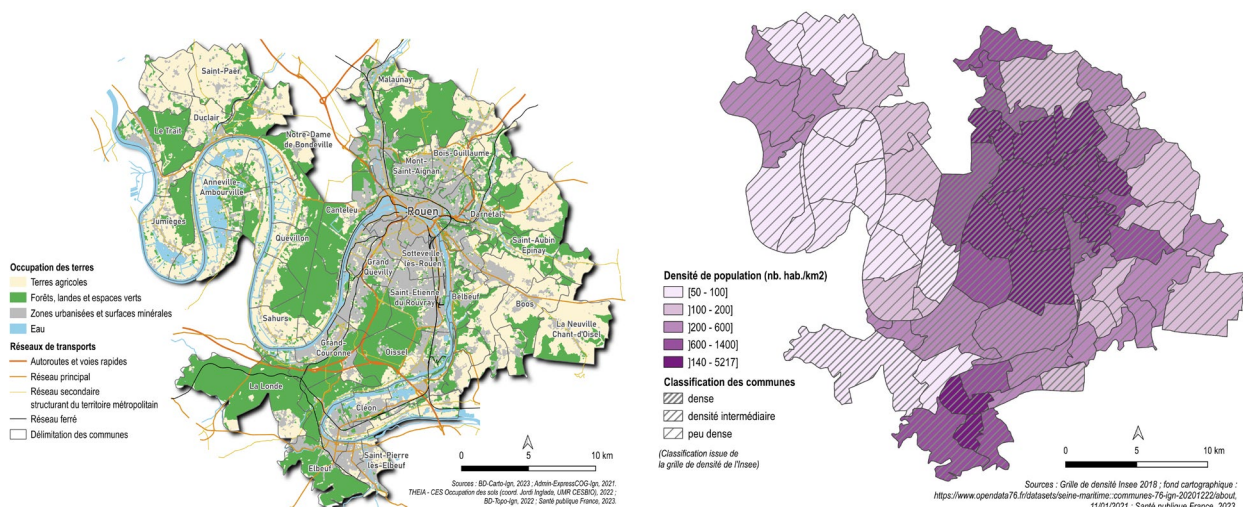
³ Le FDep est un indice composite qui approche la défaveur sociale à partir d'un cumul de désavantages matériels et sociaux. Il a été conçu spécifiquement pour être utilisé pour des études sur la santé des Français. Plus le FDep est élevé, plus la défaveur sociale est importante.

3. DESCRIPTION DE LA MÉTROPOLE

L'étude a porté sur les 71 communes composant le territoire de la Métropole Rouen Normandie (MRN).

La métropole couvre un territoire très urbanisé autour de la commune de Rouen (Figure 3). Selon la grille communale de densité de l'Insee, parmi les 71 communes étudiées, 16 communes denses et 22 communes de densité intermédiaire, constituent l'espace urbain. 33 communes peu denses constituent l'espace rural. La métropole comporte également de nombreux espaces naturels.

Figure 3. Contexte géographique de la MRN (gauche) et Densité de population des communes selon la classification de l'Insee (droite)



Sur la période 2015-2017, en moyenne, **489 758 habitants** vivaient dans les communes de la MRN, parmi lesquels 297 505 étaient âgés de 30 ans et plus. La majorité de la population (66 %) résidait dans les communes denses, 24 % dans les communes de densité intermédiaire, et 10 % dans les communes peu denses⁴.

Un total de 30 147 personnes habitaient dans des communes très favorisées (i.e. appartenant au 1^{er} quintile de la distribution du FDep⁵ communal), et 106 793 personnes habitaient des communes très défavorisées (appartenant au 5^e quintile du FDep).

Sur la période 2015-2017, en moyenne chaque année 4 354 décès toutes causes ont été observés chez les 30 ans et plus, soit un taux de décès de 1 464 pour 100 000 habitants (Tableau 1).

Sur la période 2017-2019, en moyenne chaque année 4 958 hospitalisations pour causes respiratoires et 9 883 hospitalisations pour causes cardiovasculaires ont été observées à la MRN, ainsi que 858 nouveaux cancers du poumon chez les 35 ans et plus, 708 accidents vasculaires cérébraux (AVC) chez les 35 ans et plus, et 4 029 nouveaux cas d'asthme chez les enfants.

Les caractéristiques des déterminants environnementaux étudiés dans cette ÉQIS sont détaillées dans les chapitres suivants.

⁴ Cette classification est réalisée par l'Insee en fonction du nombre d'habitants et de leur répartition spatiale dans la commune (<https://www.insee.fr/fr/information/6439600>).

⁵ Le FDep est un indice composite qui approche la défaveur sociale à partir d'un cumul de désavantages matériels et sociaux. Il a été conçu spécifiquement pour être utilisé pour des études sur la santé des Français. Plus le FDep est élevé, plus la défaveur sociale est importante.

Tableau 1. Répartition de la population de la MRN et de la mortalité des 30 ans et plus par densité de communes (moyennes 2015-2017, données issues de l'Insee et du Système national des données de santé)

	Population tous âges	Population des 30 ans et plus	Taux de décès pour 100 000 habitants de 30 ans et plus
Communes denses	326 793	193 964	1 517
Communes intermédiaires	115 440	72 115	1 462
Communes peu denses	47 524	31 426	1 142
Zone entière	489 758	297 505	1 464

Encadré : Les échelles géographiques et temporelles impliquées dans l'ÉQIS

L'ÉQIS porte sur le territoire de la MRN. Ce territoire est composé de 71 communes qui regroupent un total de 236 Iris⁶, ou « îlots regroupés pour l'information statistique ».

Les données sanitaires sont disponibles à des échelles variables selon la donnée considérée : de l'échelle du département (cancer du poumon), du code postal (hospitalisations, incidence de l'AVC et incidence des cardiopathies ischémiques) ou de la commune (mortalité, incidence de l'asthme chez l'enfant). Des hypothèses permettent d'estimer les données à la commune à partir des données au code postal ou au département, ou les données à l'Iris à partir des données à la commune.

Les échelles des données environnementales sont très variables. Il peut s'agir de données localisées sur des stations de mesures (température, pollution de l'air), ou de données modélisées sur des grilles géographiques fines (pollution de l'air, bruit). Les données de mobilités sont quant à elles disponibles pour des regroupements de communes.

La mise en cohérence de l'ensemble de ces échelles est un point fondamental de l'ÉQIS. Les méthodes appliquées pour cela sont détaillées dans le rapport méthodologique complet. Pour chaque déterminant, l'échelle d'analyse est choisie en fonction de l'échelle à laquelle les données sont disponibles, ainsi que de l'échelle recommandée par la littérature scientifique pour l'utilisation de la relation exposition-risque.

Selon le déterminant environnemental, des données journalières ou des données annuelles sont utilisées. Ces données couvrent la période 2015-2017 pour la mortalité, et 2017-2019⁷ pour les hospitalisations.

⁶ Les Iris ou « îlots regroupés pour l'information statistique » sont l'échelon infracommunal le plus fin permettant les ventilations statistiques courantes. C'est une partition des communes en « quartiers » dont la population est de l'ordre de 2 000 habitants.

⁷ Les données de mortalité par causes sur la période plus récente ne sont pas encore disponibles.

4. ACTIONS SUR DES DÉTERMINANTS FAVORABLES À LA SANTÉ : ESPACES VERTS URBAINS ET MOBILITÉS ACTIVES

4.1 Bénéfices d'une augmentation des espaces verts urbains

Les espaces verts sont définis par l'OMS comme « *tout terrain urbain sur lequel se trouve toute sorte de végétation, qu'elle soit sur des terrains privés ou publics, quelles que soient sa taille ou ses fonctions, et peut inclure des zones « bleues » (comme des étangs, des lacs ou des ruisseaux) et des rues longées d'arbres* » (15).

Les espaces verts ont de nombreux effets positifs documentés sur la santé (15-26). **Vivre à proximité d'un espace vert est associé à une réduction du risque de mortalité** (27). L'OMS recommande donc qu'en milieu urbain, chaque personne vive à moins de 300 m d'un espace vert de plus de 0,5 ha (28).

La végétation est mesurée par l'« **indice de végétation par différence normalisée** » ou **NDVI**, qui varie de 0 à 1. Plus l'indice est proche de 1, plus le couvert végétal est dense, et plus l'activité chlorophyllienne est importante. Pour la MRN, on observe ainsi un NDVI moyen de 0,53. L'Iris le moins végétalisé de la métropole a un NDVI de 0,20, et l'Iris le plus végétalisé a un NDVI de 0,85. Cet indice ne donne cependant aucune information sur le type de végétation, le type d'espaces verts, ou l'usage et l'accessibilité de ces espaces. La [Figure 4 a](#)) cartographie le NDVI estival dans les Iris de la métropole. En moyenne, les Iris denses ont un NDVI plus faible que les Iris de densité intermédiaire et les Iris peu denses ([Tableau 2](#)).

Enfin, les Iris plus favorisés socialement (appartenant au 1^{er} quintile du FDep) ont en moyenne un NDVI plus élevé (NDVI moyen 0,55) que les Iris plus défavorisés (appartenant au 5^e quintile du FDep) (NDVI moyen 0,49).

Comme il n'est pas envisageable d'atteindre le même niveau de végétalisation dans des zones très denses et dans des zones peu denses, le scénario de l'ÉQIS dépend de la densité des d'Iris. Il consiste à atteindre pour chaque Iris d'une zone (dense, intermédiaire, peu dense) le niveau observé dans les Iris les plus végétalisés de même type. Les valeurs cibles retenues correspondent à la valeur de NDVI des 10 % des Iris les plus végétalisés. Par exemple, en zone dense, 10 % des Iris ont un NDVI supérieur ou égal à 0,65. L'ÉQIS estime les bénéfices pour la mortalité si les 90 % autres Iris atteignaient également cette valeur. Dans les Iris intermédiaires, la cible du scénario est fixée à 0,79, et dans les Iris peu denses à 0,74. La [Figure 4 b](#)) cartographie le NDVI cible pour chaque Iris de la métropole selon sa classe de densité.

Si l'ensemble des Iris atteignaient au moins le niveau de NDVI observé dans les 10 % d'Iris les plus verts de même densité, alors 295 [223 : 436] décès seraient évités chaque année à la MRN, soit près de 6,8 % de la mortalité annuelle en moyenne. Les bénéfices les plus importants seraient observés dans les Iris intermédiaires, où 8,6 % de la mortalité annuelle pourrait être évitée chaque année. Dans les Iris denses, la fraction de mortalité évitable serait de 6,7 %, et dans les Iris peu denses de 3,1 % ([Tableau 2](#)).

Les bénéfices sur la santé seraient majoritairement observés dans les Iris les plus défavorisés, avec 68 [52 : 10] décès évités dans les Iris appartenant aux 4^e quintiles de FDep, soit en moyenne 8,2 % de mortalité évitée. Dans les Iris les plus favorisés (appartenant au premier quintile de FDep), 50 [38 : 74] décès seraient évités, soit en moyenne 5,0 % de mortalité évitée ([Tableau 3](#)).

Figure 4. NDVI estival moyen 2015-2017 dans la MRN (gauche) et NDVI dans le scénario d'atteinte des valeurs observées dans les 10 % d'Iris les plus verts (droite)



Figure 5. Part de la mortalité évitée à la MRN si tous les Iris atteignaient la valeur de NDVI observée dans les 10 % d'Iris les plus verts de même densité

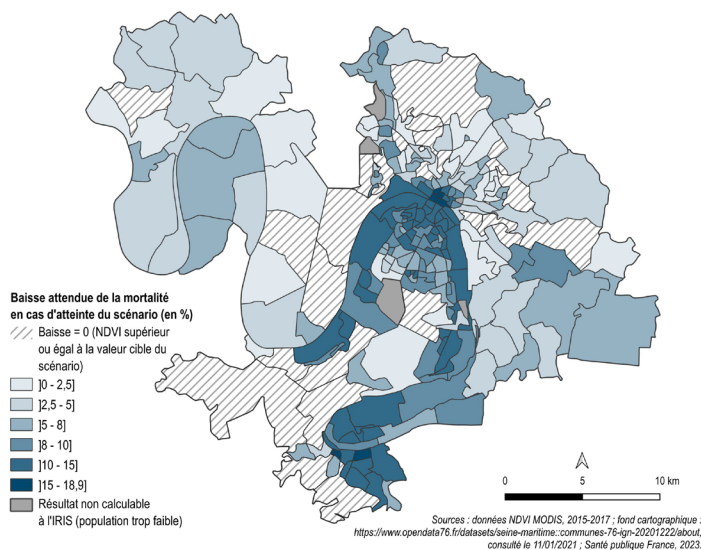


Tableau 2. Décès évités si tous les Iris atteignaient la valeur de NDVI observée dans les 10 % d'Iris les plus verts de même densité – présentés par catégorie de densité de population, MRN

	Valeur moyenne de NDVI actuelle	Valeur cible de NDVI	Décès évités [IC 95 %]	Fraction de mortalité évitée (%) [IC 95 %]	Nombre de décès évités pour 100 000 habitants de 30 ans et plus [IC 95 %]	Gain moyen d'espérance de vie à 30 ans (mois) (min - max) ⁸
Iris denses	0,48	0,65	197 [149:292]	6,7 [4,9:9,9]	103 [78:152]	16 (0:45)
Iris intermédiaires	0,57	0,79	84 [64:124]	8,6 [6,5:12,7]	119 [87:170]	19 (0:52)
Iris peu denses	0,67	0,74	13 [10:20]	3,1 [2,3:4,6]	41 [31:63]	5 (0:12)
Total			295 [223:436]	6,8 [5,0:10,0]	100 [76:139]	15 (0:52)

⁸ Valeur minimale et maximale sur l'ensemble des communes de l'estimation centrale de l'espérance de vie

Tableau 3. Décès évités à la MRN si tous les Iris atteignaient la valeur de NDVI observée dans les 10 % d'Iris les plus verts de même densité présentés par classes de défaveur sociale

Quintile de défaveur sociale	Décès évités [IC 95 %]	Fraction de mortalité évitée (%)	Nombre de décès évités pour 100 000 habitants de 30 ans et plus [IC 95 %]	Gain moyen d'espérance de vie à 30 ans (mois) (min - max) ⁹
1 ^{er} quintile (Iris les moins défavorisés)	50 [38:74]	5,0 [3,8:7,3]	79 [60:117]	12 (0-45)
2 ^e quintile	48 [36:72]	5,5 [4,1:8,3]	82 [61:123]	10 (0-32)
3 ^e quintile	68 [51:100]	7,2 [5,4:10,6]	106 [80:156]	16 (0-39)
4 ^e quintile	68 [52:101]	8,3 [6,3:12,3]	120 [92:178]	18 (0-38)
5 ^e quintile (Iris les plus défavorisés)	61 [46:90]	7,3 [5,5:10,7]	111 [84:164]	19 (0-52)
Zone entière	295 [223:436]	6,8 [5,0:10,0]	100 [76:139]	15 (0-52)

4.2 Bénéfices liés à la présence d'espaces verts urbains spécifiques

Un focus a également été fait sur les bénéfices associés à la présence de différents parcs de la métropole. La présence de ces parcs se traduit en moyenne par un décès évité chaque année parmi la population résidant à proximité de ces parcs (Tableau 4).

Tableau 4. Décès évités par des EVU spécifiques

Espace vert	Type d'espace	Population de 30 ans et plus résidant à proximité	NDVI estimé sans le parc	NDVI estimé grâce au parc	Nombre de décès évités	% de la mortalité annuelle évitée
Bois de la Garenne	Espace boisé	2 459	0,48	0,6	2 [1:3]	4,8
Bois de Landry	Espace boisé	1 223	0,48	0,6	1 [1:1]	4,8
Bois des Anémones	Espace boisé	1 210	0,48	0,6	1 [1:1]	4,8
Jardin des plantes	Jardin botanique, pelouses	4 283	0,48	0,54	1 [1:1]	2,4
Parc des Bruyères	Espaces récents avec jeunes arbres et aires de jeux	1 657	0,48	0,6	1 [1:1]	5,2
Parc des Chartreux	Espace boisé	1 202	0,48	0,54	0,4 [0:1]	2,4

⁹ Valeur minimale et maximale sur l'ensemble des communes de l'estimation centrale de l'espérance de vie.

Encadré - Principaux éléments de l'ÉQIS espaces verts urbains et mortalité

Examen des
connaissances
scientifiques

La littérature scientifique conduit à se concentrer sur l'influence du NDVI sur la mortalité totale des 30 ans et plus.

Choix de l'exposition,
de l'effet sur la santé
et de la **relation**
entre les deux

La RER retenue est une relation log-linéaire, avec un risque relatif de 0,96 [0,94 : 0,97] pour une augmentation de 0,1 NDVI dans un rayon de 500 m autour du domicile (27).

Construction
des **indicateurs**
d'exposition et
de santé actuels
et scénarisés

Comme la RER prend en compte un rayon de 500 m autour du domicile, l'échelle fine de l'Iris est choisie pour l'ÉQIS. Les données environnementales utilisées sont le NDVI moyen à l'Iris mesuré par images satellites entre les mois juin-juillet-août de 2015 à 2017 (source Inserm (29)). Les données sanitaires sont le taux de mortalité annuel à la commune (Système national des données de santé), et la population annuelle à l'Iris (source Insee). La combinaison des deux informations permet d'estimer un nombre de décès à l'Iris.

Choix des
scénarios
d'évolution
de l'exposition

Le scénario retenu consiste à atteindre dans tous les Iris au moins la valeur de NDVI observée dans les 10 % d'Iris les plus verts de même classe d'urbanisation dans la MRN. On estime les bénéfices pour la mortalité d'atteindre au moins 0,56 NDVI dans les Iris denses, au moins 0,62 dans les Iris intermédiaires, et au moins 0,63 dans les Iris peu denses.

4.3 Bénéfices liés à une augmentation de la marche et du vélo

L'activité physique est un facteur déterminant d'une bonne santé. L'OMS recommande de pratiquer au moins 150 minutes d'activité physique modérée par semaine (30) pour réduire les risques de mortalité, de développer des maladies chroniques, et maintenir un bon état de bien-être physique et mental. Pourtant, en France, une majorité des adultes ont une activité physique insuffisante. Le manque de temps est identifié comme un des principaux freins à cette activité.

Les mobilités actives sont définies comme l'ensemble des transports non motorisés n'utilisant que l'énergie humaine (31). Elles permettent d'inclure une activité physique régulière dans la vie quotidienne. **La marche et le vélo font partie des mobilités actives les plus faciles à pratiquer et sont associés à une diminution du risque de mortalité** (32).

En moyenne, **si chaque habitant âgé de 30 ans et plus de la MRN marchait 10 minutes de plus par jour, 147 [35 : 250] décès seraient évités chaque année, soit 3,4 [0,8 : 5,7] % de la mortalité.** Faire 10 minutes de vélo en plus par jour permettrait d'éviter 250 [59 : 425] décès par an soit 5,7 [1,4 : 9,8] % de la mortalité.

Les cibles retenues pour les scénarios ci-dessous pour la marche et le vélo sont très ambitieuses. Elles correspondent cependant à des valeurs observées dans certaines villes européennes, et ne sont donc pas inatteignables. Elles impliquent toutefois des transformations importantes du territoire et des comportements, qui doivent être planifiées et s'appuyer sur différents leviers.

Selon la dernière enquête ménage déplacement (EMD) disponible et réalisée sur la MRN en 2016, en moyenne 68 % des déplacements de moins de 1 km des personnes âgées de 30 ans et plus étaient réalisés en marchant. Si cette part atteignait 90 %, 118 [28 : 201] décès seraient évités chaque année, soit 2,7 [0,7 : 4,7] % de la mortalité. Les bénéfices seraient plus importants dans les bassins¹⁰ de l'EMD dans laquelle la part modale de la marche est plus faible (Figure 6 et Tableau 5).

En moyenne, 13 % des déplacements de 1 à 3 km des personnes âgées de 30 ans et plus étaient réalisés à pied à la MRN. Si cette part atteignait 50 %, 688 [163 : 1 172] décès seraient évités chaque année, soit 15,8 [3,7 : 26,9] % de la mortalité (Tableau 5).

En 2016, en moyenne, 1 % des déplacements de 3 à 5 km des personnes âgées de 30 ans étaient réalisés à vélo. Si cette part atteignait 35 %, 795 [188 : 1 353] décès seraient évités chaque année, soit 18,3 [4,3 : 31,1] % de la mortalité. Les bénéfices seraient très importants dans l'ensemble des bassins de population de la MRN, et notamment dans les bassins pour lesquels le nombre de déplacements sur cette distance est plus élevé, et pour lesquels la part modale de vélo est très faible (Figure 7 et Tableau 5).

Figure 6. Part des déplacements de moins de 1 km réalisés en marchant selon l'EMD 2016 (gauche), et Fraction de décès évités si cette part atteignait 90 % (droite)

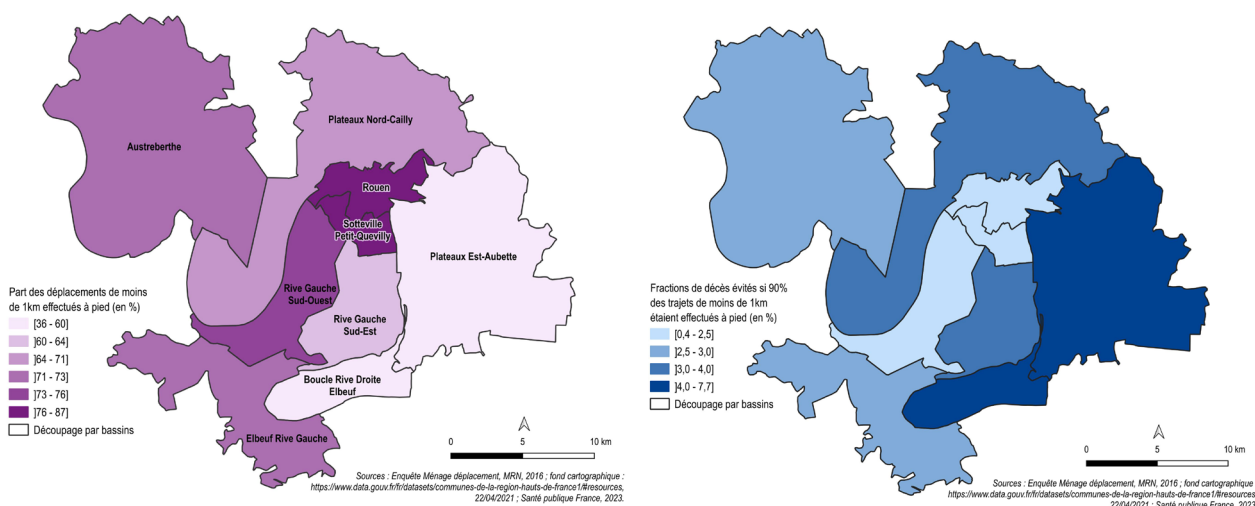
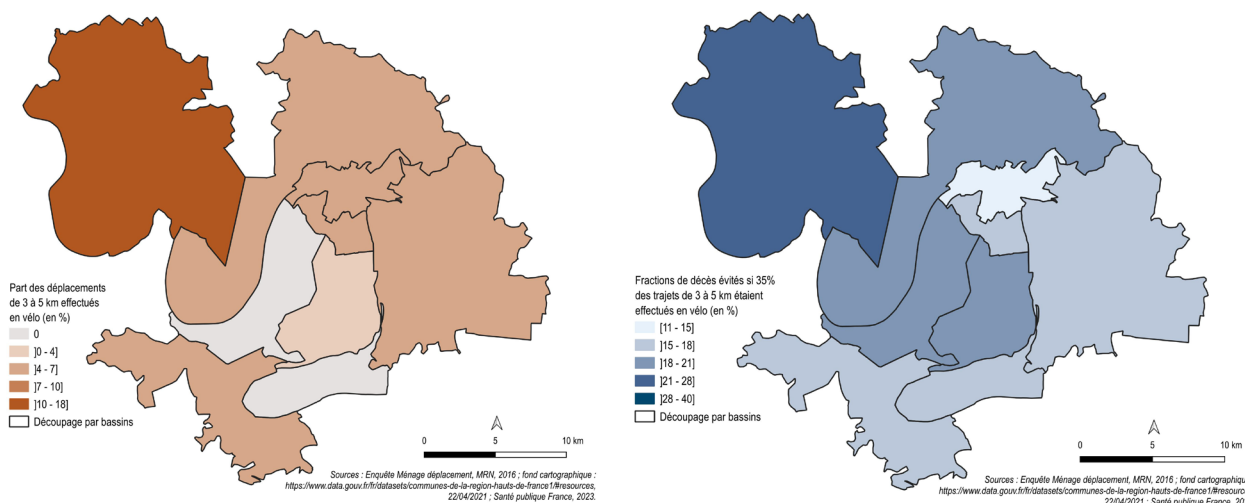


Figure 7. Part des déplacements de 3 à 5 km réalisés à vélo selon l'EMD 2016 (gauche), et fraction de décès évités si cette part atteignait 35 % (droite)



¹⁰ Regroupement de communes utilisé par l'EMD.

4.4 Bénéfices liés aux objectifs mobilités du Plan climat air énergie territorial 2030

Toujours selon l'EMD 2016, pour les personnes âgées de 30 ans et plus, en moyenne, 68 % des trajets toutes distances confondues étaient réalisés en voiture dans la MRN. Les parts modales estimées par l'EMD 2016 sont de 23 % pour la marche, 1 % pour le vélo, et 6 % pour les transports en commun (TC). Les parts modales retenues pour le scénario proviennent du plan climat air énergie territorial (PCAET). Ces parts modales ciblent l'ensemble de la population, elles sont appliquées uniquement aux personnes âgées de 30 ans et plus dans cette ÉQIS.

Les bénéfices pour la santé seraient importants si le PCAET permettait de transformer les trajets en voiture en mobilités actives¹¹. Si 32 % des déplacements étaient réalisés à pied, 101 [24 : 173] décès seraient évités chaque année. Si 5 % des déplacements étaient réalisés à vélo, 67 [16 : 114] décès seraient évités chaque année. Enfin, si 14 % des trajets étaient réalisés en transports en commun, 86 [20 : 147] décès seraient évités chaque année (Tableau 6).

Tableau 5. Bénéfices liés à l'atteinte de parts modales marche et vélo pour des trajets de moins de 5 km

Mode	Distance des trajets	Part modale actuelle des 30 ans et plus (%)	Part modale du scénario (%)	Décès évités [IC 95 %]	Fraction de mortalité évitée (%) [IC 95 %]	Nombre de décès évités pour 100 000 habitants de 30 ans et plus [IC 95 %]	Gain moyen d'espérance de vie à 30 ans (mois) (min - max) ¹²
Marche	<1 km	68	90	118 [28:201]	2,7 [0,7:4,7]	39 [9:66]	5 (2-11)
Marche	1-3 km	13	50	688 [163:1 172]	15,8 [3,7:26,9]	225 [53:383]	28 (1-54)
Vélo	3-5 km	1	35	795 [188:1 353]	18,3 [4,3:31,1]	260 [61:442]	33 (21-50)

Tableau 6. Bénéfices liés à l'atteinte de parts modales marche, vélo et transports en commun du Plan climat air énergie territorial 2030 de la MRN

Mode	Part modale actuelle des 30 ans et plus (%)	Part modale du scénario (%) (PCAET 2030)	Décès évités [IC 95 %]	Fraction de mortalité évitée (%) [IC 95 %]	Nombre de décès évités pour 100 000 habitants de 30 ans et plus [IC 95 %]	Gain moyen d'espérance de vie à 30 ans (mois) (min-max) ¹³
Marche	23	32	101 [24:173]	2,3 [0,6:4,0]	33 [8:57]	2 (0-5)
Vélo	1	5	67 [16:114]	1,5 [0,4:2,6]	22 [5:37]	2 (1-4)
TC	6	14	86 [20:147]	2,0 [0,5:2,4]	28 [7:48]	2 (1-3)

¹¹ C'est-à-dire si l'augmentation de la part modale des mobilités actives vient uniquement d'un report de la voiture vers une mobilité active, et pas d'un report d'une mobilité active vers une autre.

¹² Valeur minimale et maximale sur l'ensemble des communes de l'estimation centrale de l'espérance de vie.

¹³ Valeur minimale et maximale sur l'ensemble des communes de l'estimation centrale de l'espérance de vie.

Encadré - Principaux éléments de l'ÉQIS mobilités actives et mortalité

Examen des **connaissances** scientifiques

La littérature scientifique conduit à se concentrer sur l'influence de la marche et du vélo sur la mortalité totale des 30 ans et plus. La marche peut être envisagée seule ou avec les transports en commun. On fait alors l'hypothèse qu'un trajet en transport en commun implique en moyenne 10 minutes de marche. Le vélo peut être un vélo conventionnel ou un vélo à assistance électrique (VAE).

Choix de l'exposition, de l'effet sur la santé et de la **relation** entre les deux

La RER retenue pour la marche est une relation linéaire, avec un risque relatif de 0,89 [IC 95 % 0,83 ; 0,96] pour 11,25 MET-h¹⁴/semaine (33). Cette relation est plafonnée à 7 h 40 min de marche cumulées sur 5 jours car on considère qu'une personne qui marche déjà cette durée-là n'aura pas de bénéfice additionnel à marcher davantage.

La RER retenue pour le vélo est une relation linéaire, avec un risque relatif 0,90 [0,87 ; 0,94] pour 11,25 MET-h/semaine (33). Cette relation est plafonnée à 7 h 07 min de vélo cumulées sur 5 jours.

On fait ici l'hypothèse qu'une heure de marche domicile travail représente 4 MET, et qu'une heure de vélo conventionnel domicile-travail représente 6,8 MET (34). À titre de comparaison, une heure en position assise représente 1 MET, et une heure de vélo en montée en montagne représente 14 MET.

Construction des **indicateurs** d'exposition et de santé actuels et scénarisés

Les données des déplacements sont issues de l'Enquête Ménage Déplacement (EMD) de 2016. Ces données sont disponibles pour des regroupements de communes appelés bassins. Les données de mortalité à la commune ont été utilisées (données 2015-2017 du SNDS).

Choix des **scénarios** d'évolution de l'exposition

Plusieurs scénarios sont étudiés, en ciblant uniquement les habitants de 30 ans et plus :

- chaque habitant marche 10 minutes de plus par jour de semaine, ou fait 10 minutes de plus de vélo conventionnel par jour de semaine ;
- 90 % des trajets de moins de 1 km ou 50 % des trajets de 1 à 3 km sont réalisés à pied ;
- 35 % des trajets de 3 à 5 km sont réalisés à vélo ;
- des objectifs locaux de parts modales.

À noter que ces parts modales sont généralement exprimées pour toute la population, mais qu'on ne les applique ici qu'aux adultes de 30 ans et plus.

¹⁴ Le MET-h est une mesure de l'activité métabolique générée par une activité physique spécifique en une heure.

5. ACTION DE RÉDUCTION DE FACTEURS DE RISQUES : POLLUTION DE L'AIR ET BRUIT

La pollution de l'air extérieur est composée d'un grand nombre de polluants particulaires et gazeux, nocifs pour la santé humaine et l'intégrité des écosystèmes. Les polluants les plus classiquement étudiés du point de vue de la santé sont les particules fines (PM₁₀, PM_{2,5}), le dioxyde d'azote (NO₂), et l'ozone (O₃).

L'exposition quotidienne à la pollution de l'air, y compris à des niveaux faibles, a de nombreux effets négatifs sur la santé. Par exemple, la pollution de l'air augmente la mortalité (35-38), et contribue au développement de maladies chroniques respiratoires et cardiovasculaires (39), du diabète (40-42), de cancers (43, 44), ou encore de certaines maladies neurodégénératives (45, 46). Elle affecte également la santé reproductive, périnatale, et le développement de l'enfant (47, 48).

Les effets négatifs peuvent être observés quelques jours après l'exposition lorsque la pollution de l'air aggrave les symptômes d'une maladie déjà présente (effets à court terme). Ils peuvent aussi être observés après plusieurs mois ou années d'exposition, lorsque la pollution de l'air est la cause du développement d'une maladie (effets à long terme). Une maladie causée par la pollution (effets à long terme) peut aussi être aggravée par la pollution (effets à court terme).

Compte tenu de la gravité des impacts, l'OMS recommande des valeurs guides à ne pas dépasser pour protéger la santé (49). Ces valeurs sont de 5 µg/m³ en moyenne annuelle pour les PM_{2,5}, de 10 µg/m³ en moyenne annuelle pour le NO₂, et de 100 µg/m³ en moyenne sur 8 heures pour l'O₃.

5.1 Bénéfices du respect de la valeur recommandée par l'OMS pour les particules fines

Effets à long terme

Sur la période 2017-2019, les expositions annuelles moyennes de PM_{2,5} à la commune¹⁵ sont en moyenne de 9,8 µg/m³ sur la MRN. Elles sont assez homogènes sur l'ensemble du territoire et varient de 9,1 à 11,1 µg/m³ au maximum. **Toutes les communes de la MRN ont des expositions annuelles de PM_{2,5} supérieures à la valeur recommandée par l'OMS de 5 µg/m³ (Figure 8).**

Si la valeur recommandée par l'OMS pour la moyenne annuelle de PM_{2,5} était atteinte dans l'ensemble des communes de la MRN incluses dans l'étude, 310 [111 : 484] décès seraient évités chaque année, soit 7,1 % de la mortalité annuelle. Ceci représenterait en moyenne 11 mois d'espérance de vie gagnés en raison d'une baisse de l'exposition aux PM_{2,5}. Les bénéfices seraient répartis de manière homogène sur l'ensemble de la MRN (Figure 8)(Tableau 7).

Cela permettrait également d'éviter chaque année 44 [15 : 73] nouveaux accidents vasculaires cérébraux (soit 6,2 % des AVC) et 2 [1 : 4] nouveaux cancers du poumon (soit 4,4 % des cancers du poumon).

Des bénéfices d'ordres de grandeur similaires pour la mortalité seraient observés quel que soit le niveau de défaveur sociale de la commune (Tableau 8).

¹⁵ L'exposition est calculée à partir des concentrations modélisées à fine échelle par Atmo Normandie, et d'une pondération sur la population. Cette dernière donne un poids plus important aux concentrations modélisées dans les zones les plus peuplées.

Figure 8. Expositions annuelles moyennes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) par commune pour les $\text{PM}_{2,5}$ (gauche) et Part de la mortalité évitée si toutes les communes atteignaient la valeur guide de l'OMS ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les $\text{PM}_{2,5}$ (droite)

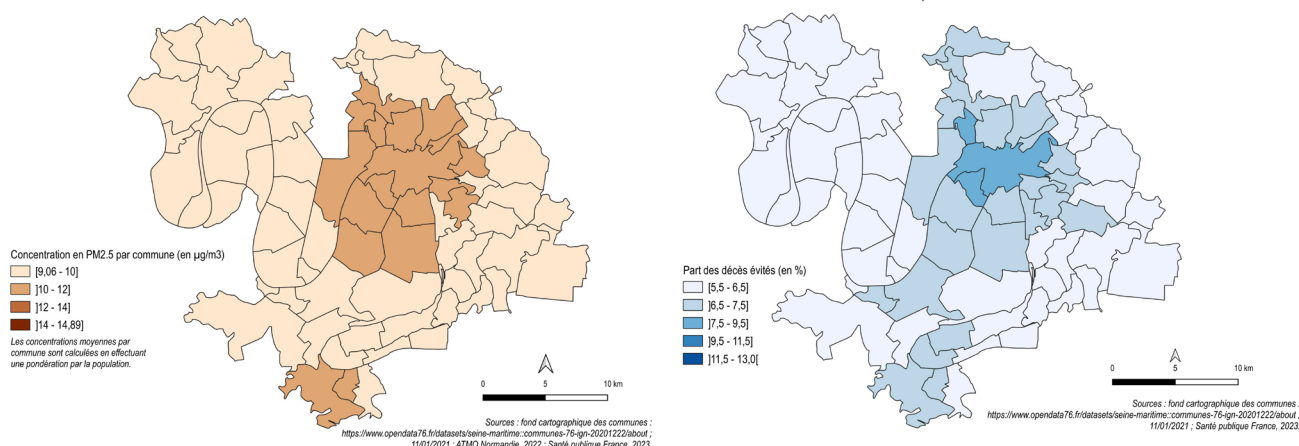


Tableau 7. Décès évités si toutes les communes atteignaient la valeur recommandée par l'OMS ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les particules fines – résultats présentés par grille communale de densité

	Exposition moyenne annuelle actuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Décès évités [IC 95 %]	Fraction de mortalité évitée (%) [IC 95 %]	Nombre de décès évités pour 100 000 habitants de 30 ans et plus [IC 95 %]	Gain moyen d'espérance de vie à 30 ans (mois) (min - max) ¹⁶
Communes denses	10,3	218 [78 : 340]	7,4 [2,7 : 11,6]	112 [40 : 175]	12 (9-14)
Communes intermédiaires	9,8	70 [25 : 110]	6,6 [2,4 : 10,4]	97 [35 : 153]	11 (6-19)
Communes peu denses	9,4	22 [8 : 34]	6,1 [2,2 : 9,5]	70 [25 : 108]	10 (6-35)
Zone entière	9,8	310 [111 : 484]	7,1 [2,5 : 11,1]	104 [37 : 163]	11 (6-35)

Tableau 8. Décès évités si toutes les communes atteignaient la valeur recommandée par l'OMS ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les particules fines – résultats présentés par défaveur sociale

Quintile de défaveur sociale	Exposition moyenne annuelle actuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Décès évités [IC 95 %]	Fraction de mortalité évitée (%) [IC 95 %]	Nombre de décès évités pour 100 000 habitants de 30 ans et plus [IC 95 %]	Gain moyen d'espérance de vie à 30 ans (mois) (min - max) ¹⁷
1^{er} quintile (communes les moins défavorisées)	9,7	40 [14:62]	6,8 [2,4:10,6]	96 [33:148]	10 (6-18)
2^e quintile	9,6	19 [7:29]	6,8 [2,5:10,3]	87 [32:133]	10 (6-18)
3^e quintile	9,6	78 [28:121]	7,6 [2,7:11,8]	104 [37:161]	10 (6-19)
4^e quintile	9,7	58 [21:90]	7,1 [2,6:11,0]	112 [40:173]	12 (7-35)
5^e quintile (communes les plus défavorisées)	10,1	116 [41:181]	7,1 [2,5:11,0]	109 [38:169]	11 (8-14)
Zone entière	9,8	311 [111:484] ¹⁸	7,1 [2,5:11,1]	104 [37:163]	11 (6-35)

Effets à court terme

Sur la période 2015-2017, les concentrations journalières de $\text{PM}_{2,5}$ mesurées par la seule station urbaine disponible dans la zone (Palais de Justice) sont en moyenne de $10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à la MRN, et au maximum de $83,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si aucune des concentrations journalières de $\text{PM}_{2,5}$ ne dépassaient

¹⁶ Valeur minimale et maximale sur l'ensemble des communes de l'estimation centrale de l'espérance de vie.

¹⁷ Valeur minimale et maximale sur l'ensemble des communes de l'estimation centrale de l'espérance de vie.

¹⁸ La différence avec le tableau précédent (311 vs 310) vient des arrondis.

5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 56 [11 : 103] hospitalisations pour causes cardiovasculaires seraient évitées chaque année, soit 0,6 % [0,1 : 1,0] des hospitalisations pour causes cardiovasculaires totales.

Encadré - Principaux éléments des ÉQIS sur les particules fines

Examen des connaissances scientifiques

La littérature scientifique conduit à se concentrer sur l'influence de l'exposition annuelle aux particules fines ($\text{PM}_{2,5}$) sur la mortalité toutes causes des 30 ans et plus, et sur l'incidence des accidents vasculaires cérébraux (AVC), et sur l'exposition journalière aux $\text{PM}_{2,5}$ sur les hospitalisations pour causes cardiovasculaires.

Choix de l'exposition, de l'effet sur la santé et de la relation entre les deux

La RER retenue pour $\text{PM}_{2,5}$ et mortalité totale est une relation log-linéaire, avec un risque relatif¹⁹ (RR) de 1,15 [1,05-1,25] pour 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (50).

La RER retenue pour $\text{PM}_{2,5}$ et incidence des AVC est une relation log-linéaire, avec un RR de 1,13 [1,04-1,23] pour 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (51).

La RER retenue pour $\text{PM}_{2,5}$ et incidence des cancers du poumon est une relation log-linéaire, avec un RR de 1,09 [1,04-1,14] pour 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (52).

La RER retenue pour $\text{PM}_{2,5}$ et hospitalisations cardiovasculaires est une relation log-linéaire, avec un RR de 1,0091 [1,0017-1,0166] pour 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (53)²⁰.

Construction des indicateurs d'exposition et de santé actuels et scénariés

Les concentrations annuelles moyennes des polluants sont modélisées par Atmo Normandie entre 2017 et 2019. Le nombre annuel de décès par âge par commune est extrait du SNDS pour la période 2015-2017²¹. L'incidence des AVC sur la période 2017-2019 est estimée à la commune à partir programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI). L'incidence des cancers du poumon chez les 35 ans et plus sur la période 2017-2019 est estimée à partir des données du registre des cancers.

En cohérence avec les études épidémiologiques fournissant les RER, les analyses sont réalisées pour chaque commune de la métropole.

Choix des scénarios d'évolution de l'exposition

Le scénario considère que toutes les communes respectaient les valeurs recommandées par l'OMS en moyenne annuelle (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2,5}$) (49). Cette valeur est également appliquée aux valeurs journalières.

¹⁹ La mortalité diminue de 15 % lorsque la moyenne annuelle des $\text{PM}_{2,5}$ diminue à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

²⁰ Le nombre d'hospitalisations pour causes cardiovasculaires augmente de 0,91 % quand la concentration de $\text{PM}_{2,5}$ augmente de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

²¹ Les données de mortalité plus récentes n'étaient pas disponibles au moment de la réalisation de l'étude.

5.2 Bénéfices du respect de la valeur recommandée par l'OMS pour le NO₂

Effets à long terme

Les expositions annuelles moyennes de NO₂ à la commune²² sont en moyenne de 13,1 µg/m³ sur la MRN (au minimum de 6,0 µg/m³ et au maximum de 22,3 µg/m³) (Figure 9). Si l'ensemble des communes respectait la valeur guide annuelle de l'OMS pour le NO₂, 65 [23 : 103] décès seraient évités chaque année, soit 1,5 [0,5 : 2,3] % de la mortalité annuelle (Figure 9). En effectif, les impacts les plus importants sont observés dans les communes les plus défavorisées, car elles sont également les plus peuplées (Tableau 10). Cela permettrait également d'éviter 181 [75 : 241] nouveaux cas d'asthme chez l'enfant de 1 à 17 ans, soit 7,6 [3,1 : 10,1] % des nouveaux cas d'asthme chaque année.

Figure 9. Expositions annuelles moyennes (µg/m³) pour le NO₂ (gauche) et Part de la mortalité évitée si toutes les communes atteignaient la valeur guide de l'OMS (10 µg/m³) pour les NO₂ (droite)

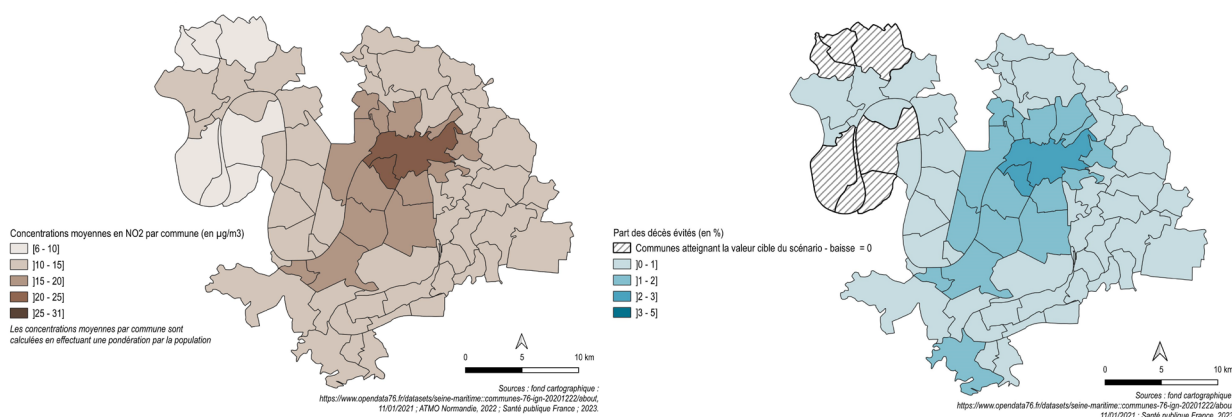


Tableau 9. Décès évités si toutes les communes atteignaient la valeur recommandée par l'OMS (10 µg/m³) pour le NO₂ – résultats présentés par grille communale de densité

	Exposition moyenne annuelle actuelle	Décès évités [IC 95 %]	Fraction de mortalité évitée (%) [IC 95 %]	Nombre de décès évités pour 100 000 habitants de 30 ans et plus [IC 95 %]	Gain moyen d'espérance de vie à 30 ans (min - max) ²³
Communes denses	16,9	55 [20: 88]	1,9 [0,7:3,0]	28 [10:45]	2 (1-4)
Communes intermédiaires	13,0	9 [3:14]	0,9 [0,3:1,3]	12 [4:19]	1 (0-2)
Communes peu denses	11,2	1 [0:1]	0,3 [0,0:0,3]	3 [0:3]	1 (0-8)
Zone entière	13,1	65 [23: 103]	1,5 [0,5:2,3]	22 [8:35]	1 (0-8)

²² Il s'agit de concentrations moyennes calculées à partir des concentrations modélisées à fine échelle par Atmo Normandie, et d'une pondération sur la population.

²³ Valeur minimale et maximale sur l'ensemble des communes de l'estimation centrale de l'espérance de vie.

Tableau 10. Décès évités si toutes les communes atteignaient la valeur recommandée par l'OMS (10 µg/m³) pour le NO₂ – résultats présentés par défaveur sociale

Quintile de défaveur sociale	Exposition moyenne annuelle actuelle (µg/m ³)	Décès évités [IC 95 %]	Fraction de mortalité évitée (%) [IC 95 %]	Nombre de décès évités pour 100 000 habitants de 30 ans et plus [IC 95 %]	Gain moyen d'espérance de vie à 30 ans (min - max) ²⁴
1 ^{er} quintile (communes les moins défavorisées)	12,4	6 [2:9]	1,0 [0,3:1,5]	14 [5:22]	1 (0-2)
2 ^e quintile	12,1	2 [1:4]	0,7 [0,4:1,4]	9 [5:18]	1 (0-2)
3 ^e quintile	12,6	23 [8:37]	2,2 [0,8:3,6]	31 [11:49]	1 (0-4)
4 ^e quintile	13,1	10 [4:16]	1,2 [0,5:1,9]	19 [8:31]	1 (0-8)
5 ^e quintile (communes les plus défavorisées)	15,0	28 [8:37]	1,7 [0,5:2,3]	26 [7:35]	2 (0-4)
Zone entière	13,1	69 ²⁵ [23: 103]	1,5 [0,5:2,3]	22 [8:35]	1 (0-8)

Effets à court terme

Sur la période 2015-2017, les concentrations journalières NO₂ sont en moyenne de 20,3 µg/m³ à MRN, et au maximum de 68,3 µg/m³. Si les concentrations journalières de NO₂ ne dépassaient jamais 10 µg/m³, 93 [60 : 126] hospitalisations pour causes respiratoires seraient évitées chaque année, soit 1,9 % [1,2 : 2,6] des hospitalisations pour causes respiratoires totales.

²⁴ Valeur minimale et maximale sur l'ensemble des communes de l'estimation centrale de l'espérance de vie.

²⁵ La différence avec le tableau précédent vient des arrondis.

Encadré - Principaux éléments des ÉQIS sur le NO₂

Examen des **connaissances** scientifiques

La littérature scientifique conduit à se concentrer sur l'influence de l'exposition annuelle au NO₂ sur la mortalité annuelle, la survenue de l'asthme chez l'enfant, et sur l'influence de l'exposition journalière au NO₂ sur les hospitalisations pour causes respiratoires.

Choix de l'exposition, de l'effet sur la santé et de la **relation** entre les deux

La RER retenue pour NO₂ et mortalité totale est une relation log-linéaire, avec un RR de 1,023 [1,008-1,037] pour 10 µg/m³ (54).

La RER retenue pour NO₂ et incidence de l'asthme chez l'enfant est une relation log-linéaire, avec un RR de 1,13 [1,05-1,18] pour 10 µg/m³ (55).

La RER retenue pour NO₂ et hospitalisations respiratoires est une relation log-linéaire, avec un RR de 1,018 [1,0115-1,0245] pour 10 µg/m³ (53).

Construction des **indicateurs** d'exposition et de santé actuels et scénarisés

Les concentrations annuelles moyennes des polluants sont modélisées par Atmo Normandie entre 2017 et 2019. Le nombre annuel de décès par âge par commune est extrait du SNDS pour la période 2015-2017²⁶. L'incidence communale de l'asthme sur la période 2017-2019 est estimée à partir des données de délivrances de médicaments enregistrées dans le SNDS pour l'ensemble des assurés des caisses d'assurance maladie.

Choix des **scénarios** d'évolution de l'exposition

Le scénario considère que toutes les communes respectaient les valeurs recommandées par l'OMS en moyenne annuelle (10 µg/m³ pour les NO₂) (49). Cette valeur est également appliquée aux valeurs journalières.

5.3 Bénéfices d'une réduction des pics d'ozone

Effets à court terme

Sur la période 2017-2019, les maximum-horaires sur 8 heures des concentrations d'ozone étaient en moyenne de 68,5 µg/m³, et au maximum de 166,7 µg/m³ aux stations du palais de justice, du centre hospitalier spécialisé du Rouvray et du Mesnil-Esnard.

Si les concentrations journalières d'O₃ ne dépassaient jamais 60 µg/m³, 52 [21 : 83] hospitalisations pour causes respiratoires seraient évitées chaque année, soit 1,1 % [0,4 : 1,7] des hospitalisations respiratoires totales.

²⁶ Les données de mortalité plus récentes n'étaient pas encore disponibles au moment de la réalisation de l'étude.

Encadré - Principaux éléments de l'ÉQIS sur l'ozone

Examen des **connaissances** scientifiques

La littérature scientifique conduit à se concentrer sur l'influence de l'exposition journalière à l'ozone (O₃) sur les hospitalisations pour causes respiratoires.

Choix de l'exposition, de l'effet sur la santé et de la **relation** entre les deux

La RER retenue pour O₃ et hospitalisations respiratoires, est une relation log-linéaire, avec un RR de 1,0075 [1,003-1,012] pour 10 µg/m³ (56).

Construction des **indicateurs** d'exposition et de santé actuels et scénarisés

Les concentrations journalières mesurées entre 2017 et 2019²⁷ par les stations d'Atmo Normandie sont utilisées²⁸. Le nombre annuel moyen d'hospitalisations par cause et par code postal entre 2017 et 2019 est extrait du SNDS.

En cohérence avec les études épidémiologiques fournissant les RER, les analyses sont réalisées en agrégeant les données de l'ensemble des communes de la métropole.

Choix des **scénarios** d'évolution de l'exposition

Dans le scénario, les concentrations d'ozone dépassant 60 µg/m³ sont abaissées à 60 µg/m³.

5.4 Bénéfices pour la santé d'une réduction du bruit routier et ferroviaire

Le bruit dans l'environnement est défini par la Commission européenne comme un « *son extérieur non désiré ou nuisible résultant d'activités humaines* » (57).

L'exposition au bruit peut causer des effets auditifs comme la perte de l'audition ou des acouphènes mais également des effets non auditifs. Le bruit agit comme un facteur de stress et peut constituer une gêne, et réduire la qualité du sommeil. **Une exposition quotidienne à un niveau de bruit trop élevé augmente le risque de mortalité et altère la santé notamment cardiovasculaire** (234).

Les travaux épidémiologiques menés sur le sujet s'intéressent principalement au bruit mesuré la nuit, avec une mesure du niveau de bruit moyen exprimé en dB(A) entre 22 heures et 6 heures (L_{night}). Ces travaux reprennent également un indicateur de mesure de bruit sur 24 heures²⁹ (L_{den}). L'OMS recommande de ne pas dépasser 53 dB L_{den} et 45 dB L_{night} pour le bruit routier, et 54 dB L_{den} et 44 dB L_{night} pour le bruit ferroviaire (58).

Moins de la moitié de la population de la MRN (46,8 %) est exposée à plus de 55 dB L_{den} pour le bruit routier, et 11,9 % de la population est exposée à plus de 50 dB L_{night} pour le bruit ferroviaire

²⁷ Les données 2017-2019 ont été utilisées pour être cohérentes avec la période sur laquelle les données de pollution atmosphérique ont été modélisées. La même période a également été retenue pour les données de santé, hors mortalité pour lesquelles les données n'étaient pas disponibles après 2017.

²⁸ Stations urbaines pour les PM_{2,5} et le NO₂, stations urbaines et périurbaines pour l'ozone.

²⁹ Niveau de bruit moyen sur 24 heures, en donnant une importance plus grande au bruit la nuit, avec une majoration de 5 dB entre 18 heures et 22 heures et de 10 dB entre 22 heures et 6 heures.

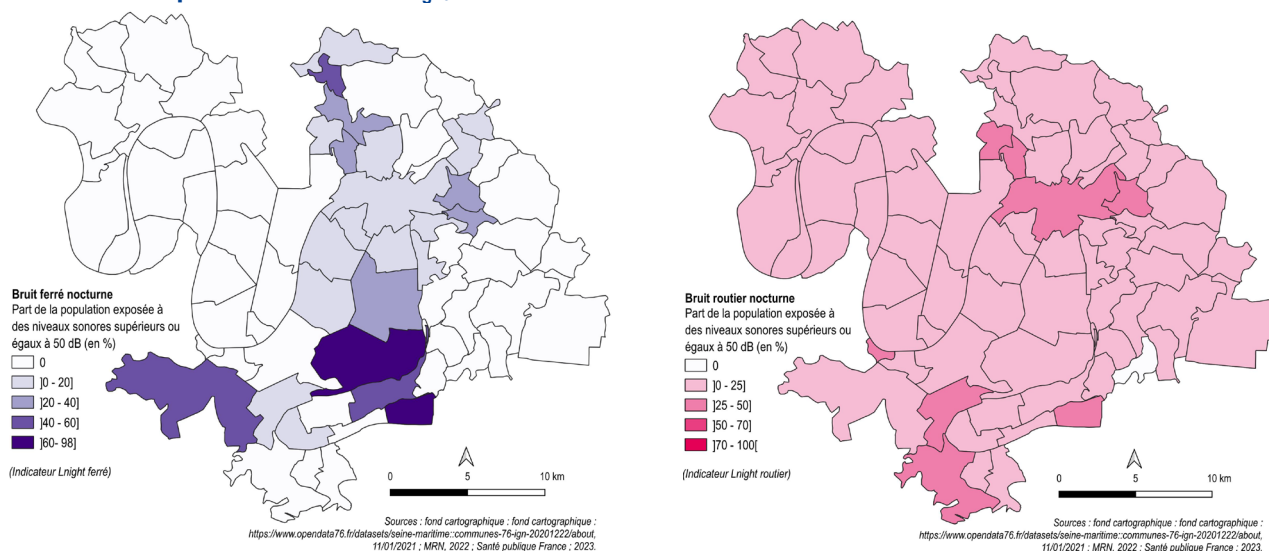
(limites minimales des catégories d'exposition remontée dans le cadre de la directive européenne 49/2002/CE³⁰) (Figure 10).

Si les niveaux de bruit routier sur 24 heures respectaient la valeur recommandée par l'OMS sur tout le territoire de la MRN (53 dB L_{den}), 22 [11 : 40] nouvelles hospitalisations pour cardiopathies ischémiques seraient évitées chaque année, ce qui représente 2,2 % des nouvelles hospitalisations pour cardiopathies ischémiques de la MRN. De plus, 2 [0 : 5] décès pour cardiopathies ischémiques seraient évités chaque année.

Respecter les recommandations de l'OMS pour le bruit routier la nuit (45 dB L_{night}), permettrait à 1 293 habitants de la MRN d'avoir moins de fortes perturbations du sommeil (Figure 11)(Tableau 11)(Tableau 12).

Respecter les recommandations de l'OMS pour le bruit ferroviaire (44 dB L_{night}) permettrait à 2 813 habitants de la MRN d'avoir moins de fortes perturbations du sommeil (Figure 11)(Tableau 11)(Tableau 12).

Figure 10. Part de la population exposée à des niveaux de bruit ferroviaire (gauche) ou routier (droite) nocturnes supérieurs à 50 dB L_{night}



³⁰ Seuls les niveaux supérieurs à ces valeurs sont modélisés dans les cartographies bruit. Ces valeurs étant supérieures aux valeurs recommandées par l'OMS, il n'est donc pas possible de quantifier la part de la population exposée à des valeurs supérieures aux recommandations de l'OMS. Des hypothèses détaillées dans le rapport méthodologique complet permettent d'estimer l'exposition de la population entre les valeurs recommandées par l'OMS et les valeurs minimales de la cartographie du bruit.

Figure 11. Part de la population évitant des fortes perturbations du sommeil si les valeurs guides de l'OMS étaient respectées pour le bruit ferré (gauche) et le bruit routier (droite) nocturne

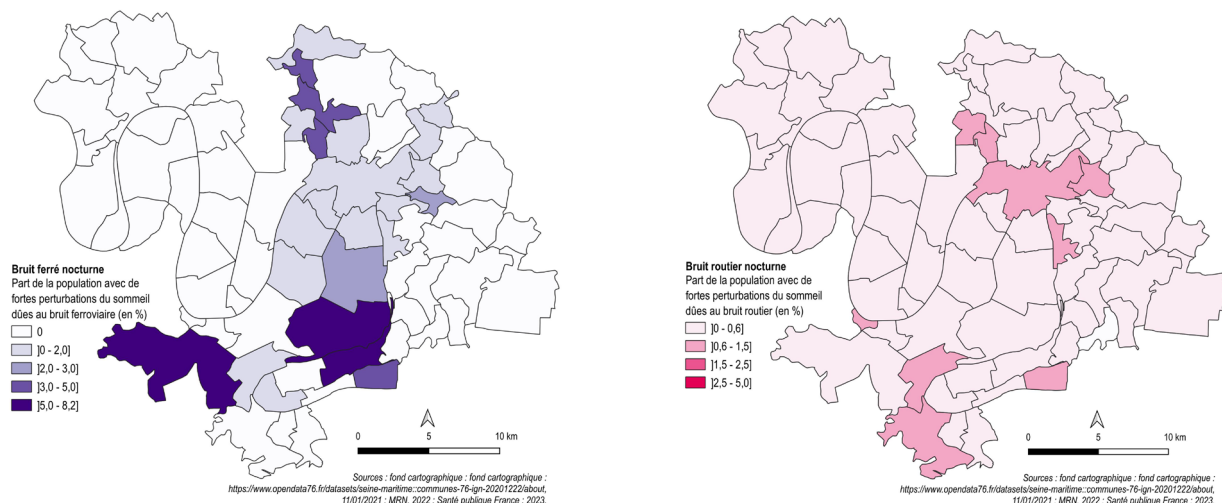


Tableau 11. Nombre de personnes avec de fortes perturbations du sommeil évitées si toutes les communes atteignaient les valeurs recommandées par l'OMS pour le bruit routier et ferroviaire – par grille communale de densité

	Bruit routier		Bruit ferroviaire	
	Nombre de personnes avec des fortes perturbations du sommeil évitées	Part de la population concernée	Nombre de personnes avec des fortes perturbations du sommeil évitées	Part de la population concernée
Communes denses	986	0,5	1 929	1,2
Communes intermédiaires	231	0,3	876	2,8
Communes peu denses	76	0,2	7	1,2
Zone entière	1 293	0,4	2 813	1,5

Tableau 12. Nombre de personnes qui auraient de moins fortes perturbations du sommeil si toutes les communes atteignaient les valeurs recommandées par l'OMS pour le bruit routier et ferroviaire – par défaveur sociale

Quintile de défaveur sociale	Bruit routier		Bruit ferroviaire	
	Nombre de personnes avec des fortes perturbations du sommeil évitées	Part de la population concernée	Nombre de personnes avec des fortes perturbations du sommeil évitées	Part de la population concernée
1 ^{er} quintile (communes les moins défavorisées)	73	0,2	10	0,1
2 ^e quintile	49	0,2	138	2,1
3 ^e quintile	544	0,7	684	1,0
4 ^e quintile	180	0,3	725	1,7
5 ^e quintile (communes les plus défavorisées)	447	0,4	1 255	1,8
Zone entière	1 293	0,4	2 813	1,5

Encadré - Principaux éléments de l'ÉQIS bruit et santé

Examen des **connaissances** scientifiques

La littérature scientifique conduit à se concentrer sur l'influence du bruit routier et ferroviaire sur l'incidence et la mortalité par cardiopathies ischémiques, et sur les perturbations du sommeil et la gêne.

Choix de l'exposition, de l'effet sur la santé et de la **relation** entre les deux

La RER retenue pour bruit routier et incidence des cardiopathies ischémiques est une relation log-linéaire avec un RR de 1,08 [1,04 ; 1,15] (au-delà de 53 dB) pour 10 dB de L_{den} (59). Pour le bruit routier et la mortalité par cardiopathies ischémiques, la RER est une relation log-linéaire avec un RR de 1,05 [0,97 ; 1,13] (au-delà de 53 dB) pour 10 dB de L_{den} (59).

Pour la gêne et la perturbation du sommeil, les équations détaillées dans (60) et (61) sont utilisées.

Construction des **indicateurs** d'exposition et de santé actuels et scénarisés

Les données d'exposition aux bruits routier et ferroviaire sont issues des cartes stratégiques du bruit (2022-2023). L'incidence des cardiopathies ischémiques estimée à partir des hospitalisations (2017-2019) et la mortalité par cardiopathies ischémiques (2015-2017) sont issues du SNDS.

Choix des **scénarios** d'évolution de l'exposition

Les scénarios considèrent que toutes les communes, respectent les valeurs recommandées par l'OMS, de 53 dB pour le L_{den} et de 45 dB pour bruit routier et 44 dB pour le bruit ferroviaire pour le L_{night} (58).

6. IMPACTS DE LA CHALEUR SUR LA SANTÉ

Les températures élevées sont l'un des risques climatiques les plus préoccupants en Europe, compte tenu de leurs effets sur la santé humaine et sur les écosystèmes (62).

Une exposition à la chaleur, y compris la chaleur modérée, est associée à une augmentation du risque de mortalité (63) et de recours aux soins. La chaleur peut par exemple déclencher ou aggraver des symptômes respiratoires, rénaux, psychiatriques, ou encore avoir un effet sur l'issue de la grossesse. L'impact de la chaleur sur la santé dépend de l'intensité de la chaleur. **Plus les températures sont inhabituelles par rapport au climat local, plus les risques pour la santé sont importants.**

En France, entre 2014 et 2022, près de 33 000 décès sont attribuables à la chaleur, dont 23 000 décès de personnes âgées de 75 ans et plus. Parmi ces décès, 28 % ont été observés pendant les canicules telles que définies par le plan de gestion des vagues de chaleur (64).

La chaleur est une notion relative, qui dépend du contexte climatique local. Pour l'ÉQIS, un jour très chaud est défini comme un jour où la température moyenne journalière est supérieure à la température moyenne observée pendant les 10 % des jours les plus chauds des étés 2015 à 2017. Cela correspond à 37 jours entre 2015 et 2017 pour la MRN. Pendant ces jours, les températures moyennes étaient supérieures à 18,3 °C.

Entre 2015 et 2017, en moyenne chaque année la chaleur pendant les jours très chauds a été responsable de 47 [40 : 50] décès prématurés à la MRN, soit 1,2 % de la mortalité.

Encadré - Principaux éléments de l'ÉQIS chaleur et mortalité

Examen des connaissances scientifiques

La littérature scientifique conduit à se concentrer sur l'influence de la chaleur sur la mortalité toutes causes.

Choix de l'exposition, de l'effet sur la santé et de la relation entre les deux

La RER retenue a été construite pour cette étude à partir d'une analyse de la relation température-mortalité dans 18 villes françaises.

Construction des indicateurs d'exposition et de santé actuels et scénarisés

Les températures moyennes journalières mesurées entre 2015 et 2017 par Météo-France à la station de Rouen-Boss ont été utilisées. Les données de mortalité journalières sont extraites du SNDS.

En cohérence avec l'étude épidémiologique fournissant la RER, les analyses sont réalisées en agrégeant les données de l'ensemble des communes de l'aire urbaine de la métropole.

Choix des scénarios d'évolution de l'exposition

L'analyse estime l'impact de la chaleur sur la santé pendant les jours très chauds (température moyenne > percentile 90 de la distribution des températures 2015-2017), et pendant les canicules (identifiées par le système d'alerte canicule nationale).

7. DISCUSSION

7.1 Intérêts et limites de la démarche d'évaluation quantitative des impacts sur la santé

En mobilisant l'outil d'ÉQIS, cette étude pilote a permis de quantifier les bénéfices pour la santé d'actions sur un grand nombre de déterminants. **Les résultats soulignent que la végétalisation, la promotion des mobilités actives, l'amélioration de la qualité de l'air, la réduction de l'exposition au bruit et à la chaleur induiraient des co-bénéfices sanitaires sur la mortalité et certaines pathologies chroniques ou troubles du sommeil.** Les zones les plus défavorisées socialement n'ont pas systématiquement des expositions plus importantes. Elles ont par contre des indicateurs de santé plus défavorables et regroupent une population importante, ce qui fait que les bénéfices les plus importants en effectifs y sont souvent observés.

Ainsi, en estimant les retombées sur la santé d'une mesure environnementale ou comportementale, les ÉQIS sont un outil intéressant pour contribuer à une **vision systémique de la santé publique sur un territoire.**

L'étude a également permis d'identifier certaines sources d'incertitudes et des marges de progrès pour approfondir de futures ÉQIS. Ces éléments sont discutés plus en détail dans le rapport méthodologique. On peut souligner ici les limites majeures pour chaque déterminant :

- Les liens entre végétation et santé sont complexes et dépendent non seulement de la présence de végétation mais également du type de végétation, de la nature des espaces végétalisés, de leur accessibilité... Or, le NDVI mobilisé dans l'ÉQIS ne prend en compte que la dimension présence/absence. De plus, il est très difficile de transcrire un scénario faisant sens du point de vue opérationnel en NDVI. Par ailleurs, on manque d'études épidémiologiques fournissant des RER, en particulier en France et en Europe.
- L'ÉQIS sur les mobilités actives mobilise un grand nombre d'hypothèses et de variables pour transformer une part modale en équivalent métabolique. Les EMD fournissent un grand nombre d'informations sur la mobilité mais sont susceptibles de moins bien rendre compte des déplacements très courts. De plus, les parts modales de la marche et du vélo sont susceptibles d'être sous-estimées par les EMD qui sont déjà anciennes. Enfin, les plans locaux fixent généralement des parts modales en nombre de trajets globaux, en considérant l'ensemble de la population, résidents et non-résidents. L'ÉQIS fait l'hypothèse que ces parts modales sont aussi valides pour les trajets par personne, uniquement pour les adultes résidents. Par ailleurs, on manque d'études épidémiologiques fournissant des RER, en particulier en France et en Europe.
- La pollution de l'air extérieur est le déterminant pour lequel la méthode d'ÉQIS et les données disponibles sont les plus complètes. Le défi est alors de sélectionner des résultats qui aient du sens pour la prise de décision, adaptés aux réalités et possibilités offertes par les territoires et parmi la multitude d'informations possible.
- Concernant le bruit, les données environnementales mises à disposition sont formatées pour répondre aux exigences de la directive européenne. Cela conduit à une perte d'information (données agrégées, tronquées) et oblige à faire de nombreuses hypothèses. Par ailleurs, on manque d'études épidémiologiques fournissant des RER, en particulier en France et en Europe.
- Concernant la chaleur, les relations expositions-risques et les données environnementales actuellement disponibles ne permettent pas d'explorer les variations spatiales ou de construire des scénarios sur l'îlot de chaleur urbain.
- Enfin, il n'est pas possible de sommer les bénéfices associés à déterminants, compte tenu des relations entre ces déterminants.

Ces limites ne remettent pas en cause l'intérêt d'agir sur les déterminants identifiés. Les estimations proposées ici doivent être vues comme des **ordres de grandeurs des bénéfices atteignables**. L'expérience des ÉQIS sur la pollution de l'air montre, via les différentes analyses de sensibilité, que le renforcement des connaissances épidémiologiques et l'amélioration des données environnementales permettent d'affiner les ordres de grandeur mais ne les modifient pas fondamentalement.

Un des freins importants identifié lors de cette étude a été le manque de données et de travaux examinant les répercussions environnementales multiples d'une même intervention. Par exemple, il n'a pas été retrouvé de données permettant de simuler les conséquences d'un plan de report modal sur la pollution de l'air, le bruit, ou la libération d'espaces devenant disponibles pour la végétalisation. De telles évaluations intersectorielles seraient essentielles pour renforcer la pertinence des ÉQIS comme outil d'aide à la décision publique.

Enfin, les ÉQIS présentées ici ne prennent pas en compte l'ensemble des bénéfices possibles (par exemple, bénéfices pour la santé mentale, bénéfices socio-économiques, ou bénéfices à moyen et long termes via l'atténuation du changement climatique).

7.2 Aller vers des environnements favorables à la santé

L'ÉQIS fournit une estimation des bénéfices atteignables en agissant sur des déterminants environnementaux de la santé, mais ne donne pas d'indication sur la manière d'agir. À ce sujet, une littérature importante discute désormais des freins et leviers pour construire des environnements végétalisés favorables à la santé et au bien-être, pour promouvoir les mobilités actives ou encore réduire les îlots de chaleur urbaine.

Les espaces verts sont associés à de nombreux bénéfices sur la santé physique et mentale. Ils permettent de réduire l'exposition à la chaleur et à la pollution de l'air, encouragent l'activité physique, la cohésion sociale, et réduisent le stress (3). L'importance de leur influence bénéfique sur la chaleur ou la pollution de l'air dépend principalement de paramètres environnementaux, topographiques et climatiques. Plusieurs travaux sont désormais disponibles pour concevoir des espaces verts urbains, prenant en compte leur accessibilité, la taille, l'esthétique, le sentiment de sécurité, la perception d'une diversité animale et végétale. Les espaces verts doivent aussi être conçus et gérés pour éviter de constituer des lieux favorables à la prolifération de vecteurs (gîtes de repos et gîtes larvaires) ou de réservoirs de maladies infectieuses. Enfin, le risque de gentrification ne doit pas être ignoré. Une approche intersectorielle est incontournable pour agir sur ce déterminant. L'accompagnement de la population urbaine vers une plus grande connexion à la nature semble également central pour améliorer les bénéfices pour la santé de ces espaces.

Les mobilités actives constituent un levier intéressant pour la promotion de l'activité physique, tout en permettant de réduire la pollution de l'air, le bruit et les émissions de gaz à effet de serre, de libérer de nouveaux espaces pour la végétalisation. Pour autant, ceci nécessite des modifications importantes des pratiques et des infrastructures actuelles. En particulier, la marche est identifiée dans la littérature comme très difficile à promouvoir, compte tenu de l'importance des environnements, du milieu social, et de la perception sur les pratiques (64). Si l'accent est souvent mis sur les bénéfices liés à la marche et au vélo, l'usage des transports en commun est également associé à des bénéfices importants.

Les résultats soulignent que la pollution de l'air demeure un risque très important pour la santé, malgré la diminution des concentrations observée ces dernières années. Les leviers d'actions passent souvent par des changements de comportements allant vers une mobilité décarbonée ou de réduction de la mobilité, bien que d'autres actions soient également nécessaires sur les sources d'énergie (et notamment sur le chauffage bois, fortement émetteur de particules).

Enfin, l'étude montre que les températures élevées ont un effet sur la santé, même en dehors des périodes dites de canicules. Bien que les effets des îlots de chaleur n'aient pas pu être pris en compte dans l'ÉQIS par manque de données, les actions de développement de zones fraîches, incluant les espaces vert et bleu accessibles, sont importantes pour limiter la formation d'îlots de chaleur qui aggravent les effets sur la santé des épisodes de chaleur.

Toutes ces interactions montrent l'intérêt d'une démarche globale de modifications des pratiques et infrastructures actuelles. Cela passe par la planification, mais également par une étude et une intégration fines des besoins et des situations locales. Enfin ces actions et ces planifications doivent toutes prendre en compte les inégalités de santé pour les limiter et éviter de les aggraver.

Dans ce contexte, l'ÉQIS est un outil utile et pertinent parmi d'autres au service d'une approche intersectorielle d'urbanisme favorable à la santé. **Les politiques publiques autour de l'urbanisme, de la mobilité, de la santé, de l'adaptation et l'atténuation du changement climatique et de la protection de la biodiversité doivent converger en vue de renforcer ou d'identifier des solutions complémentaires et équitables.**

ANNEXE. LES ACTIONS DE LA MRN EN FAVEUR DE L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ

Dans le cadre de la collaboration commencée pour cette étude, cette annexe illustre les actions en cours mises en place par la MRN sur les déterminants pris en compte dans cette ÉQIS. Cette annexe décrit des interventions pour la plupart postérieures ou concomitantes à la période d'étude retenue et les résultats proposés dans cette étude n'ont pas vocation à évaluer les actions entreprises.

Les ambitions de la Métropole Rouen Normandie en termes de santé publique se traduisent par son engagement dans la transition sociale et écologique et par la signature d'un premier contrat local de santé métropolitain en 2023. Par cette initiative, et dans le cadre de sa stratégie santé approuvée en 2021, la Métropole s'engage à réduire la mortalité évitable et à favoriser un environnement de qualité en développant les mobilités actives, en réduisant les nuisances sonores, en développant un urbanisme et des aménagements favorables à la santé, et en améliorant la qualité de l'air.

Parmi les actions en lien avec les mobilités en cours, le Conseil métropolitain a arrêté, le 25 septembre 2023, le Plan de mobilité (PDM) de la Métropole Rouen Normandie. Ce document définit les principes d'organisation de la mobilité des personnes et des marchandises, tous modes confondus, à l'échelle du ressort territorial de la Métropole et en relation avec les territoires limitrophes. C'est un document de planification qui anticipe les évolutions à moyen et long termes et qui vise un équilibre entre les besoins de mobilités, la protection de l'environnement et de la santé, le renforcement de la cohésion sociale et urbaine. Il s'agit aussi d'un outil de programmation qui doit prévoir les modalités d'application et de financement de son plan d'actions. Le diagnostic a appréhendé les effets sur la santé de la mobilité, aussi bien physique, sociale que mentale. Ces effets les plus connus sont ceux liés à la pollution atmosphérique et au bruit engendrés par les véhicules, et à l'activité physique induite par les modes actifs. À ce titre, les actions autour de la santé s'appuient donc sur des facteurs allant des individus et de leurs comportements au contexte dans lequel ils évoluent.

Dans ce cadre et au bénéfice de la santé, le PDM oriente donc une partie de ses actions au développement des transports en commun (augmentation de l'offre, gratuité des transports publics le samedi), et des mobilités actives telles que la marche (accessibilité, marchabilité, Métropole des enfants, renaturation du territoire) et le vélo (massification et sécurisation des pistes cyclables via le Réseau Express Vélo, service de location de vélos électriques Lovelo). La Métropole investit en parallèle sur les mobilités décarbonées (achat de 76 bus électriques et de 14 bus hydrogènes, installations de bornes de recharges pour les véhicules électriques). Ces actions vont aussi permettre d'agir sur plusieurs facteurs environnementaux comme la pollution de l'air et le bruit.

Sur ce dernier sujet, après l'approbation début 2023 des nouvelles cartes de bruit stratégiques d'échéance 4 selon la directive européenne sur le bruit de 2002, la Métropole Rouen Normandie soumettra en septembre 2024 le nouveau plan de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE) en découlant. Ce nouveau PPBE devrait permettre de conjuguer plusieurs leviers : renforcer les mobilités et réduire les nuisances à la source (actions sur les infrastructures routières et leurs usages), éviter de créer des bâtiments sensibles à proximité d'infrastructures bruyantes, mieux prendre en compte la composante acoustique dans les futurs bâtiments et les documents d'urbanisme du territoire, abaisser autant que possible les vitesses maximales de circulation autorisées, ou encore développer des accès à des zones dont l'environnement acoustique est préservé pour le plus grand nombre via des zones « calmes » et de ressourcement dans les espaces verts urbains par exemple.

Pour favoriser un urbanisme favorable à la santé, la Métropole a engagé des aménagements visant à réintroduire de la nature en ville et à limiter les effets des îlots de chaleur urbains tels que l'aménagement des quais rives gauche à Rouen, le Parc du Champ des Bruyères, le quartier Luciline, la balade du Cailly. Les îlots de chaleur urbains ont aussi été étudiés et pris en compte

dans le cadre de la conception du futur écoquartier Flaubert à Rouen (90 hectares). La Métropole développe aussi la visibilité et l'accessibilité des points d'accès gratuits à l'eau potable, implantées à proximité des espaces publics de loisir en plein air (quais à Rouen, Parc du Champ des Bruyères) et des espaces qui accueillent du public (équipements métropolitains, établissements recevant du public). Un projet de cartographie de tous les points d'accès gratuits, disponible sur le site internet de la MRN, ainsi qu'un logo « ici remplissez votre gourde » apposé sur les vitrines des commerçants volontaires, est en cours de développement. La lutte contre les îlots de chaleur urbains sera aussi renforcée dans les documents de planification du territoire, à travers notamment la révision du Schéma de cohérence territorial valant plan climat air énergie territorial (SCOT-AEC), et du Plan local d'urbanisme intercommunal.

En outre, la Métropole est compétente dans les domaines de la protection et la mise en valeur de l'environnement et de la politique du cadre de vie par la définition et la réalisation d'une politique écologique urbaine. Au regard des enjeux écologiques et sociétaux liés au réchauffement climatique, les services rendus par la nature en milieu urbain sont aujourd'hui bien identifiés en tant que leviers incontournables dans la stratégie d'adaptation au changement climatique de la collectivité. De ce fait, la Métropole a récemment approuvé une politique de la nature en ville visant à protéger les services procurés par les arbres en ville : régulation du climat global (par séquestration du carbone), régulation de la qualité de l'air (par la captation de polluants), régulation du climat local (par le rafraîchissement que procure leur feuillage), préservation de la biodiversité (en offrant abri et nourriture à la faune), protection contre les crues (par la rétention de l'eau), récréation (en contribuant au bien-être physique et mental) et production de biens alimentaires (par les fruits comestibles). Cette politique s'appuie sur cinq grands principes : la reconnaissance de la valeur de l'arbre par l'utilisation du barème de valeur de l'arbre VIE (Valeur Intégrale Évaluée), l'extension de la canopée, la déminéralisation des pieds d'arbres, la plantation de végétaux locaux et la diversité des essences. Elle permettra de consolider les actions engagées sur les espaces verts urbains.

Enfin, d'autres actions engagées par la Métropole vont aussi contribuer à améliorer la qualité de l'air. Parmi ces actions, nous pouvons citer la massification de la rénovation énergétique du logement et des bâtiments tertiaires via le service public Énergies Métropole, créé en 2021, la mise en place, en 2023 d'un Fonds Air Bois en partenariat avec l'Ademe pour le renouvellement des appareils domestiques de chauffage au bois peu performants qui contribuent fortement à la pollution aux particules fines en hiver, l'accompagnement des très petites entreprises et des habitants à travers le versement d'une aide pour la conversion de leurs véhicules interdits dans la Zone à faibles émissions mobilités (ZFE-m), ou encore le développement, à partir de 2024, d'une charte de chantiers propres avec l'appui de la fédération du BTP et la Capeb (Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment) afin de réduire la pollution et les nuisances sonores issues des chantiers, et réduire les risques sur la santé pour les riverains, les techniciens et les ouvriers.

Ressources bibliographiques

1. Rockström J, Gupta J, Qin D, Lade SJ, Abrams JF, Andersen LS, *et al.* Safe and just Earth system boundaries. *Nature*. 2023;619(7968):102-11.
2. Roué-Le Gall A, Le Gall J, Potelon J-L, Cuzin Y. Agir pour un urbanisme favorable à la santé, concepts & outils 2014. 192 p.
3. Pascal M, Roué-Le Gall A, Lemaire N, Diallo T. Transformer les villes pour préserver la santé des générations présentes ou futures. *La Santé en action*. 2022(459):5-9.
4. Roué-Le Gall A, Lemaire N, Pascal M, Diallo T. Urbanisme favorable à la santé : agir pour la santé, l'environnement et la réduction des inégalités. *La Santé en action*. 2022(459):10-5.
5. Roebbel N-L, Toroyan T. Défis de la santé urbaine : le constat et les propositions de l'OMS. *La Santé en action*. 2022(459):19-22.
6. Medina S, Ballester F, Chanel O, Declercq C, Pascal M. Quantifying the health impacts of outdoor air pollution: Useful estimations for public health action. *Journal of Epidemiology and Community Health*. 2013;67(6):480-3.
7. Pascal M, Ung A, Lefranc A, Declercq C. L'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique, un outil au service des politiques publiques : bilan des pratiques et perspectives de développement. Principales conclusions et pistes de travail issues de la première journée d'échanges Aasqa-Cire organisée par l'InVS le 4 octobre 2011. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2012.
8. Blanchard M, Host S, Medina S. Pollution atmosphérique. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (ÉQIS). ÉQIS d'une intervention. Saint-Maurice: Santé publique France; 2019.
9. Corso M, Lagarrigue R, Medina S. Pollution atmosphérique. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (ÉQIS). ÉQIS avec une exposition mesurée. Saint-Maurice: Santé publique France; 2019.
10. Pascal M, Yvon J-M, Medina S. Pollution atmosphérique. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (ÉQIS). ÉQIS avec une exposition modélisée. Saint-Maurice: Santé publique France; 2019.
11. Medina S, Adélaïde L, Wagner V, de Crouy Chanel P, Real E, Colette A, *et al.* Impact de pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019. Saint-Maurice: Santé publique France; 2021.
12. Pascal M, de Crouy Chanel P, Corso M, Medina S, Wagner V, Gorla S, *et al.* Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique. Saint-Maurice: Santé publique France; 2016.
13. Kazmierczak L. Évaluation quantitative des impacts sur la santé de la pollution de l'air aux particules fines PM_{2,5} avec une exposition mesurée dans la Métropole Rouen Normandie – Période d'étude 2015-2016 – Rapport complet. 2022.
14. Rey G, Jouglu E, Fouillet A, Hémon D. Ecological association between a deprivation index and mortality in France over the period 1997 - 2001: Variations with spatial scale, degree of urbanicity, age, gender and cause of death. *BMC Public Health*. 2009;9.
15. Europe WROf. Urban Green Spaces and Health: A Review of Evidence. 2016.

16. INSPQ. Verdir les villes pour la santé de la population. 2017.
17. INSPQ. Les espaces verts urbains et la santé. 2011.
18. Bowler DE, Buyung-Ali LM, Knight TM, Pullin AS. A systematic review of evidence for the added benefits to health of exposure to natural environments. *BMC public health*. 2010;10:456-.
19. Dzhambov AM, Dimitrova DD, Dimitrakova ED. Association between residential greenness and birth weight: Systematic review and meta-analysis. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2014;13(4):621-9.
20. Gascon M, Triguero-Mas M, Martínez D, Dadvand P, Rojas-Rueda D, Plasència A, *et al.* Residential green spaces and mortality: A systematic review. *Environment International*. 2016;86:60-7.
21. Gascon M, Triguero-Mas M, Martínez D, Dadvand P, Fornis J, Plasència A, *et al.* Mental health benefits of long-term exposure to residential green and blue spaces: a systematic review. *International journal of environmental research and public health*. 2015;12(4):4354-79.
22. Hamer M, Chida Y. Physical activity and risk of neurodegenerative disease: a systematic review of prospective evidence. *Psychol Med*. 2009;39(1):3-11.
23. Islam MZ, Johnston J, Sly PD. Green space and early childhood development: a systematic review. *Reviews on environmental health*. 2020.
24. James P, Banay RF, Hart JE, Laden F. A Review of the Health Benefits of Greenness. *Curr Epidemiol Rep*. 2015;2(2):131-42.
25. Bertrand C. Pertinence et faisabilité de réaliser en France des évaluations quantitatives des impacts sur la santé des espaces verts en milieu urbain. Paris, France: Université Paris Saclay; 2020.
26. Geneshka M, Coventry P, Cruz J, Gilbody S. Relationship between green and blue spaces with mental and physical health: A systematic review of longitudinal observational studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(17).
27. Rojas-Rueda D, Nieuwenhuijsen MJ, Gascon M, Perez-Leon D, Mudu P. Green spaces and mortality: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Lancet Planet Health*. 2019;3(11):e469-e77.
28. Tarzia V. European Common Indicators - Towards a Local Sustainability Profile. Milan, Italie: Ambiente Italia Research Institute; 2003 [
29. Hough I, Just AC, Zhou B, Dorman M, Lepeule J, Kloog I. A multi-resolution air temperature model for France from MODIS and Landsat thermal data. *Environmental Research*. 2020;183:109244.
30. OMS. Lignes directrices de l'OMS sur l'activité physique et la sédentarité : en un coup d'oeil2020.
31. Réseau français des Villes-Santé OMS. Mobilités actives au quotidien, le rôle des connectivités2013.
32. Kelly P, Kahlmeier S, Götschi T, Orsini N, Richards J, Roberts N, *et al.* Systematic review and meta-analysis of reduction in all-cause mortality from walking and cycling and shape of dose response relationship. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2014;11(1).

33. Kelly P, Kahlmeier S, Gotschi T, Orsini N, Richards J, Roberts N, *et al.* Systematic review and meta-analysis of reduction in all-cause mortality from walking and cycling and shape of dose response relationship. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2014;11:132.
34. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR, Tudor-Locke C, *et al.* 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 2011;43(8):1575-81.
35. Chen J, Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International.* 2020;143.
36. Papadogeorgou G, Kioumourtzoglou MA, Braun D, Zanobetti A. Low Levels of Air Pollution and Health: Effect Estimates, Methodological Challenges, and Future Directions. *Current environmental health reports.* 2019;6(3):105-15.
37. Orellano P, Reynoso J, Quaranta N, Bardach A, Ciapponi A. Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environment International.* 2020;142.
38. Huangfu P, Atkinson R. Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International.* 2020;144.
39. Dominski FH, Lorenzetti Branco JH, Buonanno G, Stabile L, Gameiro da Silva M, Andrade A. Effects of air pollution on health: A mapping review of systematic reviews and meta-analyses. *Environmental Research.* 2021;201.
40. Li Y, Xu L, Shan Z, Teng W, Han C. Association between air pollution and type 2 diabetes: an updated review of the literature. *Therapeutic Advances in Endocrinology and Metabolism.* 2019;10.
41. Yang BY, Fan S, Thiering E, Seissler J, Nowak D, Dong GH, *et al.* Ambient air pollution and diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research.* 2020;180.
42. Hamroun A, Camier A, Bigna JJ, Glowacki F. Impact of air pollution on renal outcomes: A systematic review and meta-analysis protocol. *BMJ Open.* 2021;11(1).
43. Turner MC, Andersen ZJ, Baccarelli A, Diver WR, Gapstur SM, Pope CA, III, *et al.* Outdoor air pollution and cancer: An overview of the current evidence and public health recommendations. *CA Cancer Journal for Clinicians.* 2020;70(6):460-79.
44. Zare Sakhvidi MJ, Lequy E, Goldberg M, Jacquemin B. Air pollution exposure and bladder, kidney and urinary tract cancer risk: A systematic review. *Environmental Pollution.* 2020;267.
45. Hahad O, Lelieveld J, Birklein F, Lieb K, Daiber A, Münzel T. Ambient air pollution increases the risk of cerebrovascular and neuropsychiatric disorders through induction of inflammation and oxidative stress. *International Journal of Molecular Sciences.* 2020;21(12):1-24.
46. Fu P, Guo X, Cheung FMH, Yung KKL. The association between PM 2.5 exposure and neurological disorders: A systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment.* 2019;655:1240-8.

47. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, *et al.* Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study. *The Lancet*. 2015;386(9991):369-75.
48. Kihal-Talantikite W, Marchetta GP, Deguen S. Infant mortality related to NO₂ and PM exposure: Systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(8).
49. World health organization. WHO global air quality guidelines - Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.; 2021.
50. Pascal M, de Crouy Chanel P, Wagner V, Corso M, Tillier C, Bentayeb M, *et al.* The mortality impacts of fine particles in France. *Science of the Total Environment*. 2016;571:416-25.
51. Scheers H, Jacobs L, Casas L, Nemery B, Nawrot TS. Long-Term Exposure to Particulate Matter Air Pollution Is a Risk Factor for Stroke: Meta-Analytical Evidence. *Stroke*. 2015;46(11):3058-66.
52. Hamra GB, Guha N, Cohen A, Laden F, Raaschou-Nielsen O, Samet JM, *et al.* Outdoor Particulate Matter Exposure and Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental health perspectives*. 2014;906.
53. World Health Organization. Health risks of air pollution in Europe - HRAPIE project - Recommendations for concentration-response functions for cost-benefits analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Copenhagen, Denmark: WHO Regional office for Europe; 2013.
54. Committee on the Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP). Associations of long-term average concentrations of nitrogen dioxide with mortality. 2018.
55. Khreis H, Kelly C, Tate J, Parslow R, Lucas K, Nieuwenhuijsen M. Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*. 2017;100:1-31.
56. Walton HA, Atkinson RW, Mills IG. Quantitative systematic review of the associations between short-term exposure to ambient ozone and mortality and hospital admissions. In: Atkinson RW, Mills IC, Walton HA, Kang S, Anderson HR, editors. *Systematic Review and Quantitative Meta-analysis of the Evidence for Associations between Chronic and Short-term Exposure to Outdoor Air Pollutants and Health* Department of Health Policy Research Programme Project: 002/0037. St Georges: , University of London; 2014. p. 141.
57. Journal officiel des Communautés européennes. Directive 2002/49/CE du parlement européen et du conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement. 2002.
58. World Health Organization. Regional Office for Europe. Environmental noise guidelines for the European Region. Copenhagen: World Health Organization. Regional Office for Europe; 2018.
59. Van Kamp I, Schreckenberg D, van Kempen E, Basner M, Brown AL, Clark C, *et al.* Study on methodology to perform an environmental noise and health assessment-a guidance document for local authorities in Europe. 2018.
60. Basner M, McGuire S. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018;15(3):519.

61. Guski R, Schreckenberg D, Schuemer R. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(12).
62. IPCC. Summary for Policymakers 6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press; 2022.
63. Son JY, Liu JC, Bell ML. Temperature-related mortality: A systematic review and investigation of effect modifiers. *Environmental Research Letters*. 2019;14(7).
64. Pascal M, Wagner V, Lagarrigue R, Casamatta D, Pouey J, Vincent N, *et al.* Estimation de la fraction de la mortalité attribuable à l'exposition de la population générale à la chaleur en France métropolitaine. Application à la période de surveillance estivale (1er juin -15 septembre) 2014-2022. Saint-Maurice: Santé publique France; 2023.
65. Cerema. Centre d'études et d'expertise sur les risques Ielmela. Connaissance des mobilités : hybridation des méthodes, diversification des sources : 7 - Comment réarticuler les différentes dimensions de la marche urbaine ? - Edna Hernández-González, Florian Guérin, Jérôme Monnet. In: Meissonnier J, Vincent S, Rabaud M, Kaufmann V, editors. *Rapports de recherche et rapports techniques*: Cerema. Bron; 2020. p. 174.