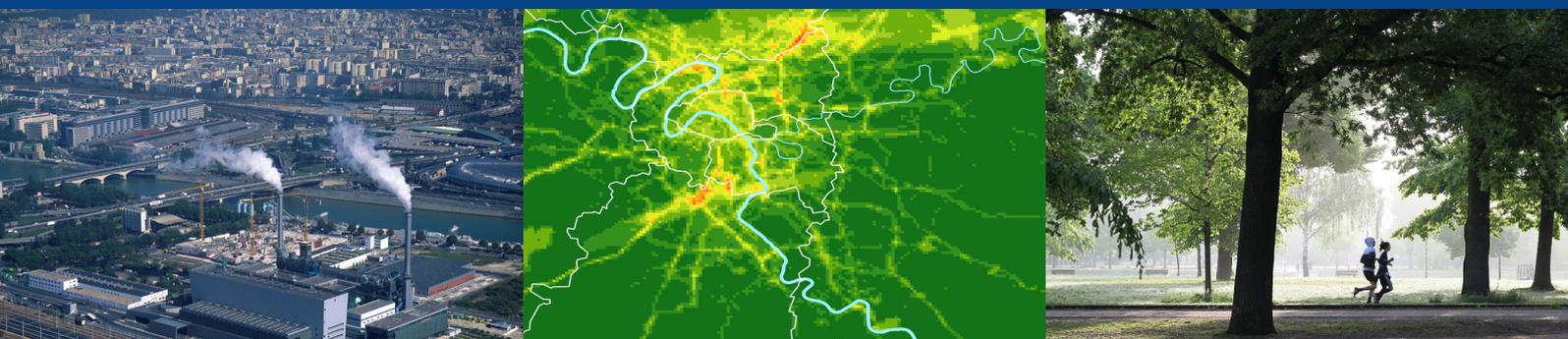


Janvier 2022

CUMULS D'EXPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES EN ÎLE-DE-FRANCE, UN ENJEU DE SANTÉ PUBLIQUE

Méthode d'identification des secteurs les plus impactés



RAPPORT & ENQUÊTE

Soutenu par



CUMULS D'EXPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES EN ÎLE-DE-FRANCE, UN ENJEU DE SANTE PUBLIQUE

Méthode d'identification des secteurs les plus impactés

Janvier 2022

Auteurs

Sabine HOST (ORS Île-de-France)

Nicolas LARUELLE (L'Institut Paris Region)

Cécile MAUCLAIR (L'Institut Paris Region)

Julien CAUDEVILLE (Ineris)

Etude collaborative

L'Institut Paris Region, Ineris

Couverture : crédits photos Ph Guignard. Région Île-de-France. L'Institut Paris Region. La Documentation Française / carte ORS Île-de-France/ wal_172619 de Pixabay

Remerciements

Ce projet a bénéficié du soutien de l'ARS et de la DRIEAT Île-de-France.

Nous remercions Nicolas Herbreteau (ARS Île-de-France) et Irène Alfonsi (Drieat Île-de-France), membres du comité de pilotage, pour leur disponibilité et leur suivi appuyé.

Nous remercions également tous nos partenaires pour leur collaboration étroite tout au long du projet et leurs précieux conseils pour le choix des indicateurs. En particulier nous remercions Pierre Jamard, Antoine Perez Munoz et Carlos Ribeiro (Bruitparif), Véronique Gheri et Anne Kauffmann (Airparif) et Rémi Fouquet (Drieat).

Nous remercions Airparif, Bruitparif, la Drieat ainsi que l'ARS pour la mise à disposition de leurs données et les traitements particuliers qui ont dû être effectués pour les besoins du projet.

Relecteurs

Nicolas Herbreteau (ARS Île-de-France)

Irène Alfonsi (Drieat)

Nathalie Velly (Ineris)

Suggestion de citation

Sabine Host, Nicolas Laruelle, Cécile Mauclair et Julien Caudeville. Cumuls d'expositions environnementales en Île-de-France, un enjeu de santé publique : méthode d'identification des secteurs les plus impactés. 2022. Paris : Observatoire régional de santé Île-de-France

Il peut être reproduit ou diffusé librement pour un usage personnel et non destiné à des fins commerciales ou pour des courtes citations.

Pour tout autre usage, il convient de demander l'autorisation auprès de l'ORS.

RÉSUMÉ

Contexte et objectifs

Un premier travail d'identification des points noirs environnementaux a été conduit dans le cadre du PRSE2 et a permis de développer une méthodologie simplifiée visant à mettre en évidence les situations critiques de multi-exposition environnementale. Ce travail a été prolongé dans le cadre du PRSE3 afin d'améliorer les indicateurs mobilisés, de prendre en compte le cadre de vie de manière plus large et de rendre plus opérationnels ces diagnostics pour les parties-prenantes.

Méthodes

Un score composite, s'échelonnant entre 0 et 100, a été élaboré à partir de six composantes environnementales individuelles : cinq composantes liées à la dégradation de la qualité des milieux (qualité de l'air, bruit des transports, pollution des sols d'origine industrielle, installations industrielles, eau de consommation) et une composante liée au cadre de vie basée sur la carence en espaces verts, les caractéristiques urbaines propices à l'îlot de chaleur urbain et celles favorables à la marche quotidienne. Les données ont été mobilisées auprès des partenaires, transformées et agrégées à la maille de 500 mètres de côté afin d'obtenir un indicateur continu et normalisé sur cette maille commune. Une moyenne pondérée de ces indicateurs individuels a permis d'obtenir un score d'environnement, ensuite combiné à des scores de sensibilité et de difficulté à faire face des populations. Cette démarche s'inscrit dans une démarche d'évaluation des risques cumulatifs d'un ensemble de facteurs de stress environnementaux. Selon cette définition, un score plus élevé correspond à une probabilité d'impact sanitaire plus élevée.

Résultats

In fine, ces scores composites ont donné lieu à différentes représentations cartographiques qui permettent de comparer les territoires et d'identifier les zones où le cumul d'expositions et nuisances ainsi que la charge de pollution sont les plus élevés. Ainsi ressortent la zone urbaine dense avec les couloirs de survol aérien et sont mis en exergue les secteurs à proximité des plateformes aéroportuaires de Roissy, Le Bourget et Orly, ainsi que les axes importants de trafic routier et plus particulièrement le périphérique parisien, le secteur de Wissous, Chilly-Mazarin et Champlan situé au sud-ouest de l'aéroport d'Orly, celui de la boucle de Seine autour de Gennevilliers ainsi que celui de Mantes-la-Jolie plus en aval. Ces cartes font aussi ressortir les territoires où l'enjeu sanitaire lié aux expositions environnementales est d'autant plus fort que les populations impactées sont vulnérables et visent à interpellation les acteurs locaux.

Conclusion

Ce diagnostic, présenté dans un premier temps sous forme de cartes régionales, pourra constituer une première base pour une analyse locale du contexte et des enjeux de santé environnement et ainsi être intégrée aux réflexions et décisions sur l'aménagement (documents d'urbanisme, projets d'aménagement...) et aux diagnostics préalables à l'élaboration des plans régionaux et locaux en santé publique (Plan Régional Santé Environnement, Contrats Locaux de Santé, Projet Régional de santé...). Afin de renforcer son appropriation par les différents acteurs, une carte interactive, véritable outil d'analyse, va être développée dans un second temps afin de préciser les caractéristiques des expositions environnementales aux différentes échelles de territoires. Connaître les facteurs de risques présents et leur importance relative permettra in fine d'identifier les leviers d'action adaptés.

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION	11
1.1. Caractériser les inégalités territoriales, environnementales et sociales de santé	11
1.2. Une première géographie des zones de multi-exposition environnementale en Île-de-France.....	13
1.3. Consolider les connaissances sur les zones de multi-exposition environnementale.....	15
1.3.1. Des besoins d'approfondissement.....	15
1.3.2. Organisation de la démarche.....	15
1.3.3. Du diagnostic à l'action.....	16
2 LES APPROCHES SPATIALES POUR CARACTÉRISER LES ZONES DE CUMUL D'EXPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES	19
2.1. Composantes individuelles sélectionnées	20
2.1.1. Composantes environnementales	20
2.1.2. Composantes de la vulnérabilité sanitaire	23
2.2. Choix de la résolution spatiale d'analyse	23
2.3. Modalités de transformation des indicateurs individuels	24
2.3.1. Transformation des indicateurs individuels de la composante environnementale	24
2.3.2. Transformation des indicateurs individuels de la composante vulnérabilité de la population	25
2.4. Calcul des scores par catégorie : regroupement et pondération des indicateurs individuels	25
2.4.1. Score d'environnement.....	25
2.4.2. Scores de sensibilité et de difficulté à faire face	26
2.5. Calcul des scores d'interpellation combinant les composantes environnementales et de la vulnérabilité sanitaire	27
3 LES COMPOSANTES ENVIRONNEMENTALES RETENUES	29
3.1. Composantes « pollutions et nuisances environnementales » : enjeux sanitaires, bases de données et indicateurs retenus ...	29
3.1.1. Composante qualité de l'air	29
3.1.2. Composante « bruit des transports ».....	32
3.1.3. Pollution des sols d'origine industrielle	36
3.1.4. Installations industrielles.....	40
3.1.5. Eau destinée à la consommation humaine (EDCH)	42
3.2. Composantes du cadre de vie : enjeux sanitaires, bases de données et indicateurs retenus.....	45
3.2.1. Carences en espaces verts	45
3.2.2. Effet d'amplification de l'aléa « vague de chaleur »	48
3.2.3. Territoire favorable à la marche quotidienne	51
4 LES COMPOSANTES DE LA VULNÉRABILITÉ DE LA POPULATION RETENUES.....	55
4.1. Sensibilité de la population.....	55
4.2. Difficulté à faire face	57
5 IDENTIFICATION DES SECTEURS À ENJEUX	59
5.1. Qualité de l'environnement	59
5.1.1. Identification des secteurs à enjeux environnementaux	59

5.1.2. Mailles les plus impactées.....	61
5.1.3. Contribution des différentes composantes	62
5.2. Prise en compte de la population	63
5.2.1. Répartition de la population résidente.....	63
5.2.2. Mailles habitées les plus impactées	67
5.2.3. Contribution des différentes composantes dans les mailles habitées 70	
5.3. Qualité de l'environnement combinée à la vulnérabilité de la population.....	71
5.3.1. Prise en compte de la sensibilité.....	71
5.3.2. Prise en compte de la vulnérabilité (sensibilité et difficulté à faire face) 74	
6 VERS UNE ANALYSE DES INTERRELATIONS DES INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX, SOCIO-ÉCONOMIQUES ET DE SANTÉ	77
7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	81
ANNEXES	83
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	111
BIBLIOGRAPHIE.....	113

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cumul de nuisances et pollutions en région Île-de-France selon la méthodologie développée dans le cadre du PRSE2 francilien.....	14
Figure 2 : Dimensions et sous-dimensions utilisés pour construire un indicateur composite d'interpellation	17
Figure 3 : Démarche générale de construction des indicateurs composites de risque...	20
Figure 4 : Schéma conceptuel de l'exposition	21
Figure 5 : Composantes de la dimension environnementale.....	22
Figure 6: Dimensions et scores mobilisés pour le score d'interpellation.....	27
Figure 7 : Schéma de la construction de l'indicateur SIS/BASOL.....	39
Figure 8 : Schéma de la construction de l'indicateur "sites industriels"	42
Figure 9 : Un modèle de causalité de l'impact des espaces verts urbains sur la santé et le bien être [47].....	46
Figure 10 : Représentation cartographique du score d'environnement	60
Figure 11 : Représentation cartographique des mailles les plus impactées (score d'environnement ≥ 33).....	61
Figure 12 : Pourcentage moyen de contribution des différentes composantes au score environnement en fonction du score.....	62
Figure 13 : Nombre d'habitants (Insee, RP 2016) à la maille (seuil de Jenks)	63
Figure 14 : Effectif de population exposée selon le score à la maille	64
Figure 15 : Représentation cartographique du score d'environnement et densité de population résidente	65
Figure 16 : Proportion de mailles et part de population exposée selon le score d'environnement.....	66
Figure 17 : Percentiles de la distribution du score environnement au sein des mailles et selon l'importance de la population exposée.....	67
Figure 18 : Représentation cartographique des mailles habitées les plus impactées (score d'environnement ≥ 38).....	68
Figure 19 : Répartition géographique de la population la plus exposée (score d'environnement $\geq 46,9$).....	69
Figure 20 : Pourcentage moyen de contribution des différentes composantes au score environnement dans les mailles habitées en fonction du score.....	70
Figure 21 : Contributions moyennes des composantes individuelles aux scores d'environnement les plus élevés.....	70
Figure 22 : Représentation cartographique du score d'environnement combiné au score de sensibilité de la population.....	72
Figure 23 : Identification des mailles habitées les plus impactées (seuil de 5 %) selon les deux scores d'environnement avec et sans prise en compte de la sensibilité.....	73
Figure 24 : Représentation cartographique du score d'environnement combiné au score de sensibilité et de difficulté à faire face de la population.....	75
Figure 25 : Identification des mailles habitées les plus impactées (seuil de 5 %) selon les deux scores d'environnement avec et sans prise en compte de la sensibilité et de la difficulté à faire face.....	76
Figure 26 : Indice de défaveur sociale (Fdep) en quintiles à la maille	79
Figure 27 : Distribution du score d'environnement au sein des mailles habitées selon le niveau de défaveur sociale.....	79
Figure 28 : Proportion d'habitants des différentes catégories sociales en fonction de différents seuils de score d'environnement.....	80
Figure 29 : Quantités d'achat de produits phytopharmaceutiques (score S3P) rapportés à la surface (carte de gauche) et à la surface agricole (carte de droite) du code postal.	84
Figure 30 : Quantités d'achat de produits phytopharmaceutiques (score S3P) rapportées à la surface agricole de la petite région agricole (carte de gauche) et score correspondant exprimé à la maille de référence (carte de droite)	85
Figure 31 : Indicateur de la composante « qualité de l'air » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	87

Figure 32 : Distribution de l'indicateur de la composante « qualité de l'air » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	87
Figure 33 : Indicateur de la composante « bruit des transports » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	88
Figure 34 : Distribution de l'indicateur de la composante « bruit des transports » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes en Dalys potentiels).....	88
Figure 35 : Indicateur de la composante « pollution des sols d'origine industrielle » (Basol et SIS) agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	89
Figure 36 : Indicateur de la composante « sites Basias » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	90
Figure 37 : Composante sites et sols pollués d'origine industrielle.....	91
Figure 38 : Indicateur de la composante « installations industrielles » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	92
Figure 39 : Distribution de l'indicateur de la composante « installations industrielles » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	93
Figure 40 : Indicateur de carence en accessibilité aux espaces verts ouverts au public à la maille de référence (valeurs brutes).....	94
Figure 41 : Indicateur du pourcentage de MOS ouvert à la maille de référence (valeurs brutes).....	95
Figure 42 : Indicateur de la composante « carence en espaces verts » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	96
Figure 43 : Indicateur de la composante « effet d'amplification de l'aléa vague de chaleur » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	97
Figure 44 : Distribution de l'indicateur de la composante « effet d'amplification de l'aléa vague de chaleur » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	98
Figure 45 : Indicateur de la composante « territoire favorable à la marche » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	98
Figure 46 : Indicateur de la composante « cadre de vie » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	99
Figure 47 : Distribution de l'indicateur de la composante « cadre de vie » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes).....	100
Figure 48 : Indicateur de la part des moins de 5 ans à la maille de référence (percentiles).....	100
Figure 49 : Indicateur de la part des 65 ans et plus à la maille de référence (percentiles).....	101
Figure 50 : Prévalence des pathologies chroniques établie à partir de la cartographie des pathologies de l'Assurance maladie (taux pour 1 000 habitants).....	101
Figure 51 : Distribution de la prévalence des pathologies chroniques à la maille (uniquement mailles habitées).....	102
Figure 52 : Indicateur de l'indicateur de prévalence de pathologies chroniques à la maille de référence (percentiles).....	102
Figure 53 : Score de sensibilité à la maille de référence (percentiles).....	103
Figure 54 : Indice de défaveur sociale (Fdep) à la maille de référence (en continu)....	104
Figure 55 : Score de difficulté à faire face (percentiles pondérés par la population)....	104
Figure 56 : Identification des secteurs où se regroupe la population la plus exposée (seuil de 5 %) selon les deux scores d'environnement avec et sans prise en compte de la sensibilité.....	108
Figure 57 : Identification des secteurs où se regroupe la population la plus exposée (seuil de 5 %) selon les deux scores d'environnement avec et sans prise en compte de la sensibilité et de la difficulté à faire face.....	109

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Dimensions et pondérations des composantes individuelles.....	26
Tableau 3 : Scores d'interpellation et intermédiaires	28
Tableau 4 : Construction de l'indicateur pour la composante « qualité de l'air »	32
Tableau 5 : Construction de l'indicateur pour la composante « bruit des transports »....	36
Tableau 6 : Construction de l'indicateur pour la composante « pollution des sols d'origine industrielle »	40
Tableau 7 : Construction de l'indicateur pour la composante « installations industrielles »	42
Tableau 8 : Construction de l'indicateur pour la composante « eau de consommation »45	
Tableau 9 : Construction de l'indicateur pour la composante « carence en espaces verts »	48
Tableau 10 : Nombre d'îlots par nature d'effet ICU en Île-de-France	50
Tableau 11 : Construction de l'indicateur pour la composante « aléas ICU ».....	51
Tableau 12 : Construction de l'indicateur pour la composante « Territoire favorable à la marche quotidienne»	53
Tableau 13 : Catégories de pathologies issues de la cartographie des pathologies de l'Assurance maladie retenues pour la construction de l'indicateur de sensibilité	56
Tableau 14 : Construction de l'indicateur pour la composante "sensibilité de la population"	56
Tableau 15 : Construction de l'indicateur pour la composante « capacité à faire face » 57	
Tableau 16 : Distribution du score d'environnement au sein des mailles (n = 48 825)...	59
Tableau 17 : Contribution moyenne de chacune des six composante au score d'environnement et nombre de mailles impactées.....	62
Tableau 18 : Distribution du score d'environnement au sein de l'ensemble des mailles (n= 48 825) et mailles habitées (n = 21 651)	66
Tableau 19 : Description des mailles habitées les plus impactées et correspondant à la population la plus exposée et scores associés.....	67
Tableau 20 : Description des mailles habitées (n=21 651) les plus impactées et correspondant à la population la plus exposée et scores d'environnement~sensibilité associés	71
Tableau 21 : Description des mailles habitées les plus impactées et correspondant à la population la plus exposée et scores d'environnement~vulnérabilité associés	74

LISTE DES ENCADRES

Encadré 1 : Exemples d'approches méthodologiques	12
Encadré 2 : Les cinq indicateurs de nuisances et pollutions mobilisés dans le cadre de l'action 6 du PRSE2 Île-de-France	13
Encadré 3 : Transformation par ratio surfacique.....	24
Encadré 4 : Analyser les interrelations des indicateurs environnementaux, socio-économiques et de santé	78

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Essai de construction d'un indicateur utilisation de produits phytopharmaceutiques à des fins agricoles.....	84
Annexe 2 : Proposition de regroupement et de pondération des indicateurs individuels ou agrégés dans le cadre des travaux du GT IQUALE [13].....	86
Annexe 3 : Description des composantes individuelles	87
Annexe 4 : Représentation cartographique des six composantes individuelles (scores normalisés) mobilisées pour le score environnement.....	105
Annexe 5 : Percentiles du score environnement selon trois distributions (toutes mailles, mailles habitées, population exposée).....	106
Annexe 6 : Identification des populations les plus impactées avec et sans prise en compte de la sensibilité et de la vulnérabilité	108

1 | INTRODUCTION

1.1. Caractériser les inégalités territoriales, environnementales et sociales de santé

L'Organisation mondiale de la santé (bureau Europe) indique, dans deux rapports d'évaluation publiés respectivement en 2012 et 2019 [1,2], que les groupes socio-économiquement défavorisés sont souvent à la fois plus exposés à des nuisances et pollutions environnementales et plus vulnérables aux effets sanitaires qui en résultent. L'étude du lien entre la santé et l'environnement implique la prise en compte des facteurs sociaux et d'exposition, le but étant d'interpréter leur cumul et leur interaction sur un territoire pour identifier et hiérarchiser les actions de prévention.

L'analyse des inégalités environnementales consiste le plus souvent à identifier puis caractériser les zones de surexposition. Elle nécessite à la fois d'accéder à des données relatives aux nuisances et pollutions à une échelle fine du territoire ou de les reconstruire et d'élaborer des méthodologies entièrement nouvelles dans le cas de cumuls d'exposition de nature variée, chimique, physique ou encore biologique [3].

Dans le domaine de la santé environnementale, la démarche répond principalement aux besoins d'acquisition de connaissance (analyse des relations) ou d'orientation des politiques publiques de prévention (identification des zones de surexposition pour la réduction de l'exposition des populations). L'orientation des politiques publiques de réduction des inégalités environnementales de santé nécessite le développement d'indicateurs intégrant les différentes dimensions relatives au contexte de décision. Ces indicateurs constituent une représentation simplifiée d'un ou plusieurs phénomènes à partir du croisement des différentes dimensions considérées qui consiste à recouper des informations contenues dans différentes bases de données [4].

Dans la littérature, la caractérisation du cumul d'inégalités - environnementale, socio-économique et sanitaire - repose sur le **concept d'impact cumulatif**. Sur la base de ce concept les informations scientifiques pertinentes sont organisées et analysées afin de caractériser et quantifier, autant que possible et dans un contexte d'incertitude forte, les effets combinés sur la santé humaine d'un ensemble de facteurs de stress environnementaux. La recherche d'une mesure de l'impact cumulatif nécessite la combinaison des sources, des émissions, de la contamination environnementale, de l'exposition dans une zone géographique et d'une relation dose-réponse dans la mesure où les données sont disponibles. Ainsi, la définition de l'impact cumulatif recouvre différents niveaux de conceptualisation d'indicateurs et de combinaisons des différentes dimensions [5]. De ce fait, il n'existe pas d'approche méthodologique unique établie pour l'analyse des inégalités territoriales, environnementales et sociales de santé (ITESS). Différentes approches ont cependant été développées (voir Encadré 1).

Un prérequis indispensable est la disponibilité et la représentativité de données sur la couverture géographique investiguée.

Encadré 1 : Exemples d'approches méthodologiques

L'**Environmental Justice Strategic Enforcement Assessment Tool** (EJSEAT) est un outil développé par l'Office of Enforcement and Compliance Assurance (OECA) des États-Unis pour identifier les zones de surexposition. Pour identifier les zones potentiellement préoccupantes, trois catégories de données provenant de 18 bases de données ont été utilisées dans une équation simple : 1) les indicateurs environnementaux (le nombre de dépassements des normes de rejet concernant les émissions chimiques atmosphériques) ; 2) les indicateurs socio-démographiques (par le pourcentage de défaveur sociale) ; 3) les indicateurs de santé (par exemple, le pourcentage de faible poids de naissance).

La moyenne de ces indicateurs fournit un score spatialisé construit au niveau des secteurs de recensement. Une méthode de surveillance des impacts cumulatifs, appelée « Cumulative Impact Screening Tool », utilise les données accessibles au public pour plusieurs comtés du sud de la Californie. Cet outil de surveillance combine les indicateurs de risque de pollution de l'air à la vulnérabilité sociale de santé dans un score d'impact cumulatif.

En Californie, l'outil **CalEnviroScreen**, développé par l'Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA), qui est un département de l'agence californienne de protection de l'environnement (Cal EPA), estime un indicateur de « charge de pollution ».

Cet outil combine des données environnementales (sept indicateurs de la contamination des milieux et cinq indicateurs de proximité à des sources), de santé et sociodémographiques provenant de sources de données nationales et fédérales. La méthode consiste à construire un score composite en transformant et agrégeant les différentes variables construites pour décrire différentes dimensions environnementales à travers des indicateurs individuels ou agrégés. Ce score global est spatialisé pour chaque îlot de recensement [6].

En France, les **travaux de thèse de Mahdi Saib** (collaboration Ineris, Inserm et ORS Picardie) ont permis d'explorer les techniques de croisement d'indicateurs spatialisés pour caractériser le cumul et les interrelations des ITESS sur la région Picardie. Un aspect spécifique de ces travaux est la construction d'un outil permettant l'intégration des phénomènes spatiaux à différents niveaux (local, régional et locorégional) pour l'analyse des interrelations des dimensions environnementales, socio-économiques et sanitaires [7,8].

Plus récemment, dans le cadre de la préparation du quatrième Plan national santé environnement, à la demande du ministère en charge de l'Environnement, l'Ineris a piloté une démarche visant à développer un « **Indicateur de QUALité des Environnements** » pour la population (**IQUALE**). Cet indicateur a pour vocation à être : 1) agrégé au niveau national pour évaluer l'évolution temporelle de la contamination des milieux ; 2) déclinable au niveau territorial ; 3) agrégé au niveau populationnel pour estimer la distribution des expositions notamment selon la défaveur sociale (inégalités socio-environnementales).

Treize indicateurs environnementaux ont ainsi été proposés pour décrire les deux grandes dimensions de l'indicateur composite : les indicateurs d'exposition et les indicateurs d'« effets environnementaux » décrivant la dégradation de l'environnement/écosystème et les menaces pour l'environnement/population, immédiates ou différées, la limitation de l'accès aux ressources, les sources de stress potentiel lié à des situations de pollution ou de nuisances. La démarche s'inspire de l'outil CalEnviroScreen décrit ci-dessus. Un important travail d'adaptation des critères et pondérations proposés dans la méthode californienne aux données françaises a été réalisé pour hiérarchiser les données des variables qualitatives (activité des installations classées, types de contamination...) [9].

1.2. Une première géographie des zones de multi-exposition environnementale en Île-de-France

Le Plan régional santé environnement 2 (PRSE 2) de la région Île-de-France (2011-2015) a consacré l'un de ses principaux axes structurants à la réduction des inégalités environnementales. Identifier les situations de surexposition et de multi-exposition à des problèmes environnementaux constitue une première étape indispensable pour pouvoir agir sur les inégalités environnementales. Ainsi, parmi les différentes actions que comportait ce plan, l'action n° 6 concernait précisément l'identification de « points noirs environnementaux » entendus comme des zones géographiques surexposées, cumulant plusieurs problèmes environnementaux.

Dans le cadre de cette action, sous le pilotage de l'ORS Île-de-France, de la Driee Île-de-France¹ et de la région Île-de-France, une méthodologie simplifiée a été développée pour révéler ces situations territoriales critiques de multi-exposition [10]. Ainsi, cinq indicateurs de nuisances et pollutions (voir Encadré 2) ont été retenus pour établir cette première géographie des points noirs environnementaux à l'échelle régionale.

Encadré 2 : Les cinq indicateurs de nuisances et pollutions mobilisés dans le cadre de l'action 6 du PRSE2 Île-de-France

- **Pollution de l'air** (source : Airparif) : indicateur synthétique de dépassement des valeurs réglementaires pour cinq polluants (particules fines PM₁₀ ; particules fines PM_{2,5} ; ozone/O₃ ; dioxyde d'azote/NO₂ ; benzène/C₆H₆), sur au moins une année, pour la période 2010-2012.
- **Bruit** (source : Bruitparif) : indicateur synthétique de dépassement des valeurs limites en Lden (Day-evening-night equivalent level) prises en application de la Directive européenne 2002/49/CE, sur la période 2006-2012, pour les quatre sources de bruit (routes, voies ferrées, aéronefs et installations classées pour la protection de l'environnement/ICPE).
- **Pollution des sols** (source : Driee Île-de-France) : sites ou anciens sites ICPE (Installation classée pour la protection de l'environnement) pour lesquels la Driee avait connaissance d'une pollution des sols au 1^{er} février 2012.
- **Pollution de l'eau distribuée** (source : ARS Île-de-France) : indicateur synthétique de non-conformité physico-chimique de l'eau distribuée au robinet du consommateur au cours de l'année 2012, pour au moins l'un des quatre critères : nitrates, fluorures, pesticides, bactéries.
- **Pollutions chroniques diffuses liées à l'activité industrielle** (source : Driee Île-de-France) : présence d'installations (zones tampons de 500 m de rayon) concernées par la Directive IED (Industrial Emissions Directive) relative aux émissions industrielles.

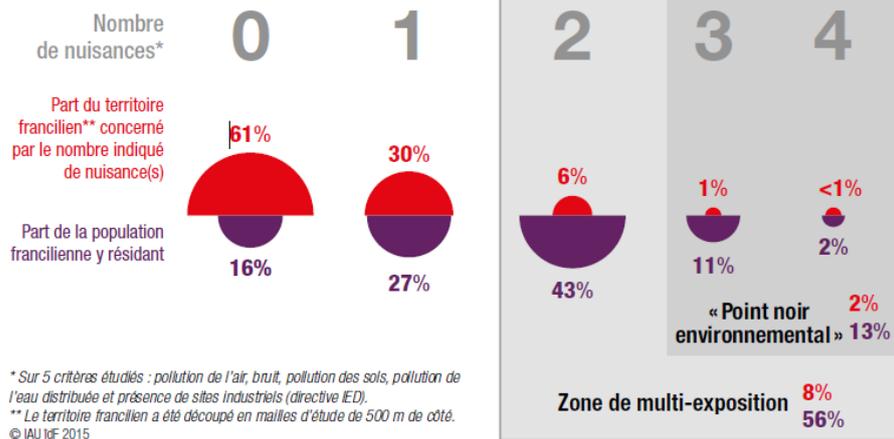
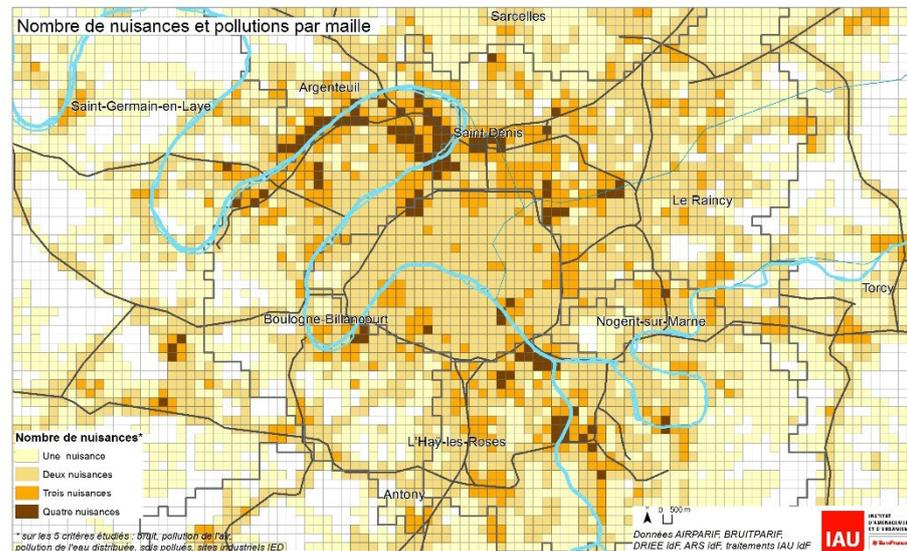
Ces indicateurs reflètent les « problèmes » environnementaux dont les effets sur la santé sont bien renseignés et dont le traitement géographique peut trouver un sens. Ainsi, la géographie des « points noirs environnementaux » basée sur le nombre² de nuisances et

¹ Aujourd'hui, la Driee est devenue la Drieat, direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports d'Île-de-France, après sa fusion avec la Driea le 1^{er} avril 2021.

² En outre, aucune pondération n'a été introduite pour hiérarchiser les différents problèmes environnementaux ; la multi-exposition intra-thématique n'a pas été considérée pour le bruit, la pollution de l'air ou encore la pollution de l'eau ; l'ensemble des problèmes environnementaux a été intégré sans aucun seuil minimum de présence à la maille.

pollutions présentes dans une maille de 500 mètres de côté a permis de discriminer 864 secteurs en cumulant au moins trois, soit 2 % des mailles (voir Figure 1).

Figure 1 : Cumul de nuisances et pollutions en région Île-de-France selon la méthodologie développée dans le cadre du PRSE2 francilien



1.3. Consolider les connaissances sur les zones de multi-exposition environnementale

1.3.1. Des besoins d'approfondissement

L'action 3.1 du PRSE3 intitulée « Consolider les connaissances sur les zones de multi-exposition environnementale » se situe dans la continuité du PRSE2 avec l'ambition de répondre à certaines insuffisances.

Dans le cadre de l'action 6 du PRSE2, l'identification des secteurs de « multi-exposition » aux pollutions et nuisances susceptibles d'avoir un impact sur la santé rendait imparfaitement compte de l'intensité de l'exposition effective des habitants (la « surexposition »), notamment les plus fragiles en raison de leur âge ou de leur condition sociale et économique :

- un secteur (en l'occurrence une maille de 500 m de côté) entièrement exposé à des niveaux de bruit et de pollution de l'air dépassant largement les seuils réglementaires mais ne subissant pas d'autre pollution ou nuisance n'était pas considéré comme un point noir environnemental ;
- à l'inverse, un secteur qui n'était que très partiellement exposé à des niveaux de bruit, de pollution de l'air et de pollution de l'eau distribuée ne dépassant que légèrement les seuils réglementaires était considéré comme un point noir environnemental

Ainsi, l'identification des secteurs de multi-exposition ne permettait pas de caractériser suffisamment le besoin d'agir pour les pouvoirs publics. Le besoin d'agir résulte en effet du croisement entre l'existence de pollutions et nuisances, la sensibilité des habitants et leur difficulté à faire face. Il doit lui-même être croisé avec l'opportunité à agir pour les pouvoirs publics. L'identification de la multi-exposition aux pollutions et nuisances constitue en elle-même un enjeu afin d'améliorer l'efficacité des politiques en alertant sur la multiplicité des problèmes à traiter.

Il s'agit donc de combiner ici les deux approches, en termes de « multi-exposition » et de « surexposition » et de construire un outil cartographique qui constitue une **carte d'interpellation** et précise les problématiques afin de **guider l'action publique** en matière de gestion (prévention, résorption...) des problèmes environnementaux. Ainsi, la carte d'interpellation doit permettre d'identifier les mailles à enjeux.

Le croisement entre l'existence de pollutions et nuisances, la sensibilité des habitants et leur difficulté à faire face permettra d'identifier les mailles à enjeux.

1.3.2. Organisation de la démarche

Ce travail vise à établir une carte d'interpellation à l'aide d'un indicateur composite construit à partir de données socio-environnementales. À cet effet, les différents acteurs de la surveillance environnementale ont été sollicités et des données sur les sources potentielles de contamination des milieux ou d'exposition ainsi que sur la qualité de l'environnement (milieux, facteurs de risque physiques, qualité de vie) ont été récoltées et ensuite agrégées sur une même unité géographique.

Ce travail piloté par l'ORS Île-de-France a été mené par une équipe technique restreinte associant une chargée d'études de l'ORS, un chargé d'études et une géomaticienne du département environnement urbain et rural (Deur) de L'Institut Paris Region et enfin, un ingénieur de l'unité Impact sanitaire et expositions de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris). Cette équipe a été chargée, d'une part, d'élaborer et appliquer la méthodologie et, d'autre part, d'interpréter et valoriser les résultats. Elle s'est appuyée sur l'expertise d'autres partenaires, en particulier les observatoires régionaux (Bruiparif, Airparif...).

Un comité de pilotage composé de l'équipe technique, de l'ARS Île-de-France et de la Driat Île-de-France (ex-Driee) était chargé de valider les orientations et les choix méthodologiques.

1.3.3. Du diagnostic à l'action

Identifier les territoires à enjeux sanitaires

D'un point de vue de santé publique, une maille à enjeu est une maille où l'impact sanitaire des expositions environnementales est susceptible d'être important. Cet impact résulte de l'intensité des expositions mais il dépend aussi de la taille de la population exposée. Au sein d'une maille, une exposition forte appliquée à une population réduite pourra avoir un impact similaire à un niveau d'exposition modéré appliqué à une plus large population. Cet impact sera d'autant plus important que la population exposée sera susceptible (défavorable sociale, jeunes, personnes âgées). Cet impact peut être quantifié pour certains facteurs de risque - ceux pour lesquels on dispose de relations exposition-risque ou de valeurs toxicologiques de référence chroniques et pour lesquels l'exposition de la population est bien caractérisée (cas de la pollution de l'air et du bruit). Pour d'autres facteurs de risque, les indicateurs dont on dispose fournissent une évaluation plus qualitative qui permet éventuellement d'approcher une gradation dans les intensités de problèmes mais rend plus difficile la quantification de l'impact, qui reste toutefois déterminé par les mêmes critères (caractéristiques et taille de la population).

Qu'en est-il de l'impact sanitaire relatif à des situations de multi-exposition ? Les impacts de ces différentes expositions se cumulent-ils, en quelles mesures ? L'action simultanée de ces expositions amplifie-t-elle leurs effets individuels (effets synergiques) ? Si ces questions ne sont à ce jour pas complètement résolues, d'un point de vue de la gestion (prévention, résorption...) des problèmes environnementaux, dans le contexte de cette action 3.1, une maille à enjeux est bien une maille où se cumulent plusieurs problématiques environnementales. Parce que les questions environnementales sont rarement traitées par des approches transversales et parce que les réponses à apporter ne sont pas toujours convergentes. C'est pourquoi cette cartographie doit permettre d'orienter l'action.

Les mailles à enjeux seront identifiées au travers d'un indicateur composite qui permettra de hiérarchiser les mailles. Comme évoqué précédemment, cette démarche s'inscrit dans le cadre de l'évaluation des risques de l'impact cumulatif avec la prise en compte combinée d'un ensemble de facteurs de stress environnementaux. La construction d'un indicateur composite permet ici d'exprimer les différentes dimensions de risques dissemblables dans une mesure commune. Selon cette définition, un score de l'indicateur composite plus élevé correspond à une probabilité d'impact plus élevée.

Par ailleurs, cette approche se situe dans un cadre d'analyse conceptuel subjectif faisant appel à des systèmes de pondération empiriques dont les orientations, basées sur des critères qualitatifs, ont été définis en comité de pilotage.

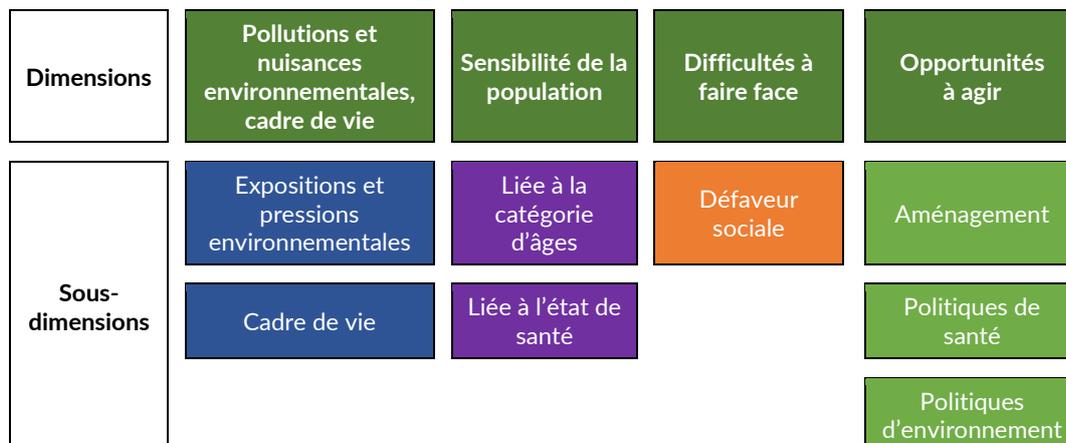
Les indicateurs utilisés pour construire l'indicateur composite sont structurés en catégories ou dimensions constituant des facteurs de hiérarchisation distincts. Le schéma ci-après illustre les **quatre dimensions d'indicateurs** proposées :

- Dimension 1 : Pollutions et nuisances environnementales, cadre de vie
- Dimension 2 : Sensibilité de la population
- Dimension 3 : Difficulté à faire face
- Dimension 4 : Opportunités à agir (contexte local favorable à l'action)

L'impact sanitaire résulte de l'intensité des expositions et de la taille des populations exposées.

Cette démarche s'inscrit dans le cadre de l'évaluation des risques de l'impact cumulatif. Un score plus élevé de l'indicateur composite correspond à une probabilité d'impact plus élevée.

Figure 2 : Dimensions et sous-dimensions utilisés pour construire un indicateur composite d'interpellation



Les dimensions 2 et 3 sont des composantes de la vulnérabilité sanitaire et constituent des facteurs de hiérarchisation supplémentaires permettant d'identifier les territoires où les enjeux sanitaires liés aux expositions environnementales sont renforcés du fait des caractéristiques de la population. La vulnérabilité sanitaire peut être définie comme la faculté des sous-populations ou populations de répondre et de récupérer à la suite d'une agression, de manière inappropriée ou inférieure à la normale. La vulnérabilité prend en compte à la fois l'effet d'une substance sur l'individu et la probabilité d'être exposé à cette dernière. Ainsi, la vulnérabilité dépend de la sensibilité (ou susceptibilité) des individus, de l'exposition à une substance et de la difficulté à faire face.

Des opportunités pour agir

L'indicateur d'opportunité à agir constitue un facteur de hiérarchisation complémentaire. Il a vocation à préciser si le contexte local est particulièrement favorable à l'action pour les raisons suivantes :

- Localement, la collectivité a pris des engagements explicites en faveur de la santé et/ou de l'environnement. Cela représente une opportunité d'interpellation des pouvoirs publics pour renforcer les synergies entre politiques de santé et politiques d'environnement.
- Des projets d'aménagement sont attendus et nécessitent une prise en compte spécifique des enjeux de santé environnementale. Ils peuvent être orientés en conséquence.

Cet indicateur est bien un facteur de hiérarchisation complémentaire. L'absence d'opportunité d'action ne signifie pas qu'il n'y a pas nécessité à agir dans le cas où la maille ressortirait comme maille à enjeu. Cet indicateur n'a pas été développé dans le cadre de ce travail initial mais le sera ultérieurement. Il ne sera pas plus détaillé dans ce rapport.

2 | LES APPROCHES SPATIALES POUR CARACTÉRISER LES ZONES DE CUMUL D'EXPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES

LES POINTS ESSENTIELS

- > Les méthodes utilisées consistent à intégrer et traiter les bases de données environnementales géoréférencées existantes pour construire des indicateurs combinant différentes dimensions du risque à la maille de référence définie, ici la maille de 500 m de côté ;
- > Cinq composantes liées à la dégradation de la qualité des milieux (qualité de l'air, bruit des transports, pollution des sols d'origine industrielle, installations industrielles, eau destinée à la consommation humaine) et une composante liée au cadre de vie basée sur la carence en espaces verts ainsi que les caractéristiques urbaines propices à l'îlot de chaleur urbain et celles favorables à la marche quotidienne) ont été mobilisées ;
- > Cette démarche s'inscrit dans le cadre de l'évaluation des risques de l'impact cumulatif d'un ensemble de facteurs de stress environnementaux. Selon cette définition, un score de l'indicateur composite plus élevé correspond à une probabilité d'impact plus élevée ;

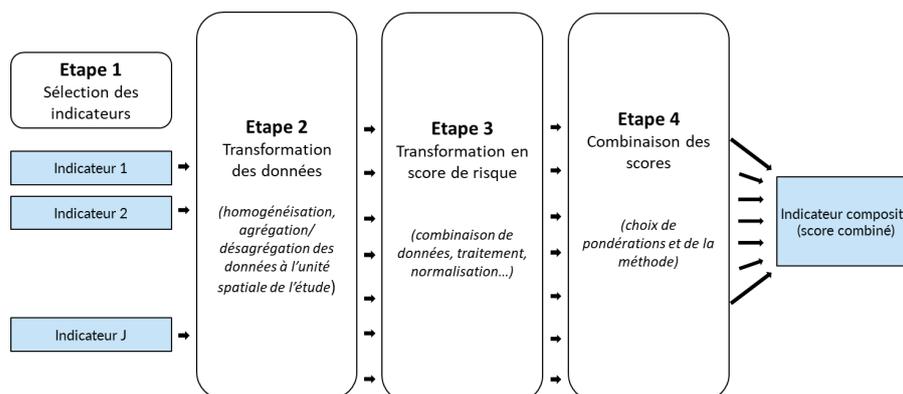
Les approches de type « spatial » consistent à privilégier l'étude de la manifestation des phénomènes dans l'espace. Ainsi, la description de la qualité des compartiments environnementaux peut être réalisée par l'utilisation de systèmes d'information géographiques (SIG) à travers la spatialisation des paramètres d'intérêt. Dans le champ santé environnement, ces variables sont généralement des mesures de concentration de contaminants dans les milieux eau, air et sol. La caractérisation de ces compartiments permet d'estimer l'exposition des populations, soit à partir de l'estimation directe des niveaux de contamination du milieu, soit par l'évaluation des transferts de polluants dans les médias d'exposition [11].

En France et en région, des bases de données en santé et environnement ont été développées. La production de ce type de données et les avancées technologiques de l'informatique permettent leur réutilisation dans des cadres conceptuels et avec des objectifs différents de ceux qui ont prévalu à leur mise en place pour caractériser des sources de pollution, la qualité des milieux environnementaux et la contamination des milieux d'exposition. L'utilisation de ce type de données, constituant des photographies de la contamination de l'environnement à un temps donné et en un espace donné, permet d'approcher l'exposition des populations. Les données disponibles ne fournissent pas directement d'information sur l'exposition des populations qui implique des transferts d'agent à partir d'une source vers des individus à travers un milieu environnemental. Ainsi, dans ce type d'approche, les données caractérisant les sources et les concentrations

environnementales sont utilisées pour construire des indicateurs d'exposition aux agents physiques, chimiques et biologiques sur les territoires considérés [3].

Afin d'identifier les zones de surexposition et multi-exposition, les méthodes utilisées consistent à intégrer et traiter les bases de données environnementales géoréférencées existantes pour construire des indicateurs combinant différentes dimensions du risque. L'ensemble des étapes amenant à la construction de tels indicateurs est présenté sur la Figure 3.

Figure 3 : Démarche générale de construction des indicateurs composites de risque



Source : Ineris

La démarche développée ci-après reprend les concepts de la méthodologie développée au niveau national de construction d'un indicateur de qualité des environnements pour la population (IQUALE) [9] qui elle-même s'inspire de l'outil CalEnviroScreen tels que décrits dans l'encadré 1 (p. 12). L'indicateur IQUALE figure parmi les indicateurs retenus par le Haut Conseil de santé publique (HCSP) en réponse à la saisine visant à proposer des indicateurs globaux pour le quatrième Plan national santé environnement (PNSE 4) [12].

Les critères retenus et pondérations proposés ont été adaptés afin de tenir compte des données disponibles, des spécificités locales et des objectifs spécifiques.

2.1. Composantes individuelles sélectionnées

2.1.1. Composantes environnementales

Un inventaire préliminaire des bases de données environnementales existantes au niveau régional et national a été préalablement réalisé pour fournir une lisibilité sur le type de sources d'informations spatialisées disponibles et intégrables dans un SIG [13]. Ces inventaires s'attachent à sélectionner les bases de données permettant la construction des indicateurs sur la base de différents critères :

- type, toxicité et existence d'un niveau critique des polluants renseignés ;
- mode de collecte et disponibilité de ces données ;
- représentativité géographique et temporelle des données.

L'analyse de ces inventaires préliminaires permet d'évaluer l'adéquation des bases de données avec les objectifs du projet et le contexte régional. Ainsi, la sélection des facteurs de risque à étudier et le type de données à considérer correspond à ce qui a été jugé comme le meilleur compromis entre disponibilité, représentativité des données et enjeux sanitaires.

Les bases de données environnementales spatialisées sont transformées en variables d'exposition. Trois niveaux d'approche correspondant au niveau du schéma conceptuel d'exposition peuvent être envisagés, au vu des données disponibles :

- la caractérisation de la contamination des milieux ;

- la quantification de l'exposition à travers la démarche d'évaluation des risques ;
- la détection de zones à risque par la construction d'indicateurs de contexte. Cette troisième approche, construite à partir de données de source ou de proximité à des sites potentiellement pollués, peut être mobilisée pour pallier le manque de données afin de caractériser des zones de risque potentiel. Ces indicateurs plus pragmatiques permettent d'intégrer une information plus qualitative.

Différents types de métrique d'exposition ont été construits afin d'intégrer aux variables environnementales des informations relatives aux interactions des populations avec les milieux d'exposition, au transport et au transfert des agents de contamination ou aux relations dose-effet permettant une hiérarchisation des expositions au niveau territorial. Des modes de calcul utilisent individuellement ou conjointement des méthodes de comptage (densité de source, nombre de dépassement), de groupement (par famille de substance, facteur de risque ou compartiment environnemental), de classification (méthode de Jenks, quintile) ou des valeurs résumant les distributions statistiques (moyenne, médiane, percentile...), des ratios ou des pondérations par rapport à des valeurs seuils (VTR - valeur toxicologique de référence -, valeurs de gestion, avis d'expert...).

Dans de nombreux travaux, des indicateurs d'exposition ont été estimés par l'utilisation de données de géolocalisation des sources (pollution des sols d'origine industrielle, installations industrielles...). La présence, l'absence ou le nombre de sites pollués ou de sources polluantes constituent les indicateurs les plus simplifiés et doivent être interprétés comme une approximation de la densité des sources. Un simple comptage du nombre de sites peut dissimuler de grandes variations des expositions réelles et potentielles. Pour les rejets atmosphériques, les risques sanitaires peuvent être mieux appréhendés en utilisant les quantités émises par les sites polluants.

Dans la continuité des travaux menés dans le cadre du PRSE2 Île-de-France, la dimension liée à la dégradation de la qualité des milieux sera abordée au travers des cinq composantes suivantes :

- qualité de l'air,
- bruit des transports,
- pollution des sols d'origine industrielle,
- installations industrielles,
- eau destinée à la consommation humaine.

La possibilité d'intégrer une sixième composante relative à l'usage agricole de produits phytosanitaires a été étudiée, notamment en vue de mieux représenter les spécificités en matière de risque environnementaux en zone rurale. À cet effet, un indicateur de quantités d'achats de produits phytosanitaires pondérées par un coefficient relatif à la toxicité des substances, disponible au code postal de l'acheteur, a pu être mobilisé. Cependant, les tests d'agrégation à la maille de référence ont révélé des incohérences qui ont conduit à la décision de ne pas retenir *in fine* cet indicateur. Ces réflexions sont détaillées en Annexe 1.

L'exposition est définie comme « le contact entre un agent chimique, physique ou biologique et une cible ». L'évaluation de l'exposition requiert d'estimer l'intensité, la fréquence et la durée de l'exposition ainsi que les caractéristiques et comportements des individus exposés. Ainsi, le schéma conceptuel de l'exposition se définit comme un continuum entre la source d'émission et l'individu chez qui se manifestent *in fine* les effets sanitaires.

Figure 4 : Schéma conceptuel de l'exposition



Source : Ineris [11]

Une distinction peut être faite entre les indicateurs de sources (plus éloignés de l'exposition sur le schéma conceptuel d'exposition) et les indicateurs de qualité des milieux (environnementaux et d'exposition). Les milieux environnementaux désignent l'air, les eaux (souterraines et superficielles), les sols... alors que les milieux d'exposition désignent les milieux avec lesquels l'homme est en contact, soit l'air ambiant, l'air intérieur, l'eau de consommation, la couche de sol superficielle, les aliments... Toutefois, dans les études épidémiologiques portant sur les liens entre expositions environnementales et santé, les expositions sont souvent évaluées de manière indirecte pour des raisons de faisabilité. Même si les indicateurs définis, souvent reflets de la qualité du milieu, estiment de manière imparfaite l'exposition réelle des populations, les contrastes d'exposition qu'ils révèlent mettent en évidence des excès de risque liés aux surexpositions ainsi estimées. Ainsi, en cohérence avec les travaux épidémiologiques des indicateurs de qualité des milieux peuvent être retenus comme indicateur d'exposition.

La dégradation des milieux est ainsi caractérisée par les deux types d'indicateurs suivants :

- Un premier groupe d'indicateurs individuels **caractérisant la contamination des milieux** et qui inclut la pollution atmosphérique, le bruit, la qualité de l'eau de consommation, permet de construire un indicateur d'« expositions » ;
- Un deuxième groupe faisant référence à des **sources de contamination** incluant les sites et sols pollués d'origine industrielle et les installations industrielles. Ce deuxième groupe est constitué à partir d'une information plus qualitative permettant de détecter des zones à risque et permet de construire un indicateur d'« effets environnementaux ».

Par ailleurs, les déterminants environnementaux ne se rapportent pas uniquement à la contamination des milieux. Ainsi d'autres déterminants relevant plus largement du cadre de vie sont susceptibles d'impacter aussi la santé. Lors du comité de pilotage du 10 octobre 2019, il a été retenu un indicateur de cadre de vie comme facteur de hiérarchisation complémentaire qui, de plus, constitue des leviers d'action supplémentaires pour les aménageurs. L'« exposition » au cadre de vie ne rentre pas dans ce schéma conceptuel et est abordée via certaines caractéristiques urbaines. Ainsi, la sous-dimension liée au cadre de vie sera abordée au travers des trois enjeux suivants :

- carence en espaces verts,
- caractéristiques urbaines propices à l'îlot de chaleur urbain,
- caractéristiques urbaines favorables à la marche quotidienne.

Dans le cadre de nos travaux, la dimension environnementale intègre donc les deux sous-dimensions liées d'une part, à la dégradation de la qualité des milieux et d'autre part, au cadre de vie et mobilisant huit indicateurs, ou composantes, individuels (voir Figure 5).

Figure 5 : Composantes de la dimension environnementale



In fine, dans le cadre de ce travail, la dimension environnementale n'englobe que le cadre de vie extérieur ainsi que des sources extérieures de pollution et nuisance. Les conditions de logement, qui constituent un déterminant important de la santé, n'ont pas été prises en compte ici.

Les fondements épidémiologiques ainsi que les données relatives aux huit composantes individuelles mobilisées pour construire les indicateurs composites sont détaillés dans les chapitres 2.4 (p. 25) et 3.2 (p.45). Avant cela sont précisés les regroupements et pondération des composantes individuelles, le choix de la résolution spatiale ainsi que les modalités de transformation des données.

2.1.2. Composantes de la vulnérabilité sanitaire

Ces indicateurs ont pour objectif de moduler l'appréhension du risque sanitaire lié aux expositions aux facteurs environnementaux en tenant compte des caractéristiques de la population exposée. À cet effet deux catégories d'indicateurs ont été définies (voir Figure 2 § 1.3.3), d'une part celle reflétant la sensibilité individuelle des individus (ou susceptibilité) et d'autre part la difficulté à faire face. Le chapitre 4 p. 55 détaille les composantes individuelles mobilisées et leurs caractéristiques.

2.2. Choix de la résolution spatiale d'analyse

Pour pouvoir agréger l'ensemble des données géographiques il est indispensable de les ramener à une échelle de travail unique et homogène. Dans le cadre des précédents travaux [10], l'emprise géographique de chaque critère avait été croisée avec une grille carrée de 500 mètres de côté couvrant intégralement l'Île-de-France. Ce carroyage correspond à celui retenue par le Schéma directeur de la région Île-de-France [14] au niveau régional comme « unité d'aménagement » pour les secteurs de densification préférentielle, d'urbanisation préférentielle ou conditionnelle. En effet, il renvoie à des espaces de vie plus larges que la localisation résidentielle. Cette échelle représente intuitivement un bon indicateur de ce qui fait la proximité, c'est-à-dire une situation dans un rayon potentiellement accessible à pied. Par ailleurs, dans le contexte de nos travaux, elle permet d'avoir une lecture assez fine et homogène des phénomènes représentés. À titre indicatif, une commune francilienne est concernée, en moyenne, par 37 mailles de 500 m de côté. L'Île-de-France compte environ 49 200 mailles au total.

Le choix de la maille de travail a été questionné à nouveau dans le cadre du prolongement de ces travaux. Une analyse de sensibilité effectuée à partir des données mobilisées dans le cadre du PRSE2 a montré qu'une division par quatre de la taille de ces mailles (soit une maille ramenée à 250 m de côté) conduisait à une baisse significative, dans les mêmes proportions, de la surface et de la population concernées par un secteur de cumul de nuisances et pollution.

Cet « effet de maille », aussi appelé « biais écologique », alerte sur l'importance du choix de l'échelle d'analyse lorsqu'il s'agit du « cadre de vie » des habitants. Cette question a déjà été éclairée par certains travaux de recherche, comme ceux de Jean Cavailhès [15] qui a utilisé la méthode des « prix hédonistes » pour estimer le prix des différents attributs des logements, et notamment comparer la valeur relative accordée par les ménages à des aménités proches (comme la présence d'un jardin privatif) ou lointaines (la proximité d'une forêt).

En considérant cette notion d'espace de vie et celle d'unité d'aménagement, il a été décidé de conserver la maille de 500 mètres de côté comme échelle de travail. Par ailleurs, les modalités de transformation des indicateurs individuels pour une expression à la maille telles que décrites ci-après, rendent les résultats du travail moins sensibles à la taille de la maille, notamment en raison d'une meilleure prise en compte de l'intensité relative des problèmes (voir ci-après). *A contrario*, dans le cadre des travaux précédents, le parti pris d'une approche binaire a accentué ce phénomène avec la mise en évidence de secteurs exposés à trois pollutions ou nuisances de faibles amplitudes (juste au-dessus des seuils réglementaires, et/ou de faible emprise) et l'occultation de certains secteurs entièrement

exposés à des niveaux de bruit et de pollution de l'air dépassant largement les seuils réglementaires mais ne subissant pas d'autre pollution ou nuisance.

2.3. Modalités de transformation des indicateurs individuels

2.3.1. Transformation des indicateurs individuels de la composante environnementale

La constitution d'indicateurs repose sur le recours à des bases de données variées, qui ont été le plus souvent constituées avec des contraintes propres. Aussi, l'utilisation de données ne répondant pas initialement exactement aux objectifs de l'étude implique l'adaptation de leur traitement en termes de spatialisation et de leur transformation en indicateur. Les stratégies de traitement pour spatialiser les données ou construire des variables d'intérêt sont diverses et reposent sur un large panel de méthodes et de techniques, des plus simples au plus sophistiquées.

Les indicateurs individuels sont exprimés en valeurs continues sur une même maille de référence selon différentes méthodes.

Dans le cadre de ce travail, diverses stratégies ont été employées en fonction des données sources et du type d'indicateur (caractérisation de l'état du milieu ou bien source) et sont détaillées dans le chapitre 3| ci-après. Les méthodes retenues répondaient à l'impératif d'une expression en valeurs continues de chaque indicateur afin de conserver toute l'information contrairement à l'approche retenue dans le PRSE2 basée sur une binarisation des variables, ce qui représente une évolution importante de la méthode. Le traitement final pour retranscrire à la maille les données source s'est basé sur une estimation de la moyenne des valeurs rencontrées dans la maille par ratio surfacique (voir encadré ci-dessous).

Encadré 3 : Transformation par ratio surfacique

La méthode la plus simple et la plus pratique permettant de passer d'un support surfacique (ou polygone, comme les données de modélisation : dispersion atmosphérique, bruit) à un autre correspond à l'agrégation par ratio surfacique. La surface des entités géographiques considérées est intégrée comme facteur de pondération pour l'agrégation des données d'un niveau géographique à un autre

selon l'équation :

$$I_M = \frac{\sum_m I_m \times S_{mM}}{S_M}$$

I_M : Indicateur sur la résolution commune d'analyse M,

I_m : Indicateur sur la résolution initiale m,

S_{mM} : Surface sur la zone intersectée des entités géographiques des résolutions m et M,

S_M : Surface de l'entité géographique sur la résolution commune d'analyse M.

La standardisation et la mise en rang sous forme de percentiles sont deux approches différentes de ce type de transformation produisant des effets différents sur la distribution initiale. Une approche ou l'autre peut être privilégiée selon le type d'indicateur et l'objectif recherché (voir ci-après).

Dans le cadre des réflexions du groupe de travail national pour la construction de l'indicateur de qualité des environnements (IQUALE) pour la population [9], des analyses de sensibilité ont été conduites pour retenir la méthode de standardisation min-max qui présente notamment l'avantage de conserver la forme de la distribution initiale de l'indicateur individuel. Ce traitement permet d'exprimer les différentes variables dans un intervalle commun compris entre 0 et 1.

$$\text{Indice dimensionnel} = \frac{\text{valeur réel} - \text{valeur minimale}}{\text{valeur maximale} - \text{valeur minimale}}$$

Dans le cadre de ce travail régional, nous avons retenu, par cohérence, le même choix qu'au niveau national.

Enfin, selon la forme de sa distribution statistique, un indicateur individuel ne jouera pas de la même manière dans l'indicateur composite : si la distribution est « normale » il jouera plutôt sur la tendance globale, en revanche, si la distribution est plus dispersée il jouera sur les valeurs extrêmes. Ainsi, il a été nécessaire de contrôler artificiellement la forme de la distribution de la composante « eau de consommation » afin de minorer son poids accentué par sa distribution.

Le chapitre 3 (page 29) et § 3.2 (page 45) détaillent les composantes individuelles mobilisées et les étapes de construction de leur score.

2.3.2. Transformation des indicateurs individuels de la composante vulnérabilité de la population

Pour ces indicateurs, indicateur de sensibilité et indicateur de difficulté à faire face, la mise en rang des variables sous forme de percentiles a été retenue et ne concerne de fait que les mailles habitées (soit 44 % des mailles). Cette approche a été utilisée dans d'autres démarches similaires, en particulier par l'Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) qui a développé un l'outil CalEnviroScreen¹ conçu pour évaluer la charge de pollution en Californie. Le chapitre 4, § 4.1 détaille les composantes individuelles mobilisées.

Avant d'aborder le détail de la construction des indicateurs individuels, le paragraphe suivant précise les modalités de regroupement et pondération de ces composantes individuelles pour la construction d'un score composite.

2.4. Calcul des scores par catégorie : regroupement et pondération des indicateurs individuels

2.4.1. Score d'environnement

Les approches de caractérisation des zones de cumul d'exposition considèrent des facteurs de risque et des effets sanitaires multiples. Les différents facteurs de risque chimiques, physiques, biologiques ou psychosociaux peuvent générer une diversité d'effets sur la santé. De même, un agent physique, chimique ou biologique peut provoquer un ensemble d'effets biologiques. Enfin, un effet sanitaire peut être multifactoriel. Évaluer les risques pour ce type d'approche est considérablement plus compliqué méthodologiquement que pour l'évaluation de l'exposition agrégée à un seul type de facteur de risque ou pour l'évaluation des expositions associées à un effet spécifique. À défaut de méthode éprouvée pour quantifier le risque sanitaire lié à ce cumul d'expositions, la démarche de construction d'un score de risque proposée ici, répond au besoin de simplification de l'information multivariée à travers sa réduction en une valeur unique sur chacune des entités géographiques étudiées.

Après avoir standardisé (selon la méthode min-max) l'ensemble des indicateurs individuels sur un intervalle commun, des pondérateurs sont définis afin de différencier les indicateurs « essentiels » des indicateurs de moindre poids en matière de risque sanitaire. Si les bases scientifiques ne permettent pas de définir une méthodologie évidente, la connaissance des enjeux relatifs, la robustesse des travaux épidémiologiques, la capacité

¹ Cet outil combine des données environnementales, de santé et sociodémographiques provenant de sources étatiques et fédérales. Un score global est calculé, basé sur une série d'indicateurs classés en deux grands groupes : les indicateurs environnementaux et les indicateurs caractéristiques des populations (populations vulnérables et facteurs socioéconomiques). Disponible en ligne : <https://oehha.ca.gov/calenviroscreen>

des indicateurs à rendre compte des expositions... constituent autant d'arguments permettant de hiérarchiser les différentes composantes.

Intégrant les réflexions du groupe de travail national pour la construction de l'indicateur de qualité des environnements pour la population (IQUALE) [9], des pondérations plus élevées des indicateurs individuels sont proposées en tenant compte de la qualité des indicateurs (couverture spatiale, qualités des données, adéquation de la métrique de construction de l'indicateur individuel par rapport à une proportionnalité de l'impact...). Les indicateurs individuels ou agrégés ont été catégorisés selon deux dimensions « expositions » et « effets environnementaux ». Une pondération plus élevée a été attribuée aux indicateurs d'exposition, plus en aval du continuum source-environnement-exposition-effet par rapport aux indicateurs d'effets environnementaux (voir Figure 4 p. 21). Ainsi, les indicateurs individuels ou agrégés classés dans le groupe « exposition » ont un poids de 3 et les indicateurs individuels ou agrégés classés dans le groupe « effets environnementaux » ont un poids de 1 (voir Tableau 1).

Tableau 1 : Dimensions et pondérations des composantes individuelles

Indicateurs individuels	Dimensions	Pondérateur
Qualité de l'air ^a (S _{air})	Exposition	3
Bruit des transports (S _{bruit})	Exposition	3
Proximité aux pollutions du sol (S _{sol})	Effets environnementaux	1
Proximité aux installations industrielles (S _{indus})	Effets environnementaux	1
Eau potable (S _{eau})	Exposition	3
Cadre de vie (S _{cadre})	Effets environnementaux	1

^a par décision du comité de pilotage, cet indicateur individuel est considéré comme représentatif du milieu d'exposition et non du milieu environnemental contrairement à ce qui a été retenu dans le cadre du GT national (voir Annexe 2). En effet, dans les études épidémiologiques mettant en évidence les liens entre pollution atmosphérique et santé, les expositions sont estimées à partir des concentrations ambiantes des polluants de l'air.

L'équation suivante permet d'obtenir le score d'environnement par une moyenne arithmétique des valeurs des indicateurs individuels ainsi pondérés :

$$S_{\text{environnement}} = \frac{3 \times S_{\text{air}} + 3 \times S_{\text{bruit}} + 1 \times S_{\text{sol}} + 1 \times S_{\text{indus}} + 3 \times S_{\text{eau}} + 1 \times S_{\text{cadre}}}{12}$$

Ce score est ensuite ramené entre 0 et 100 par la méthode de standardisation précisée précédemment.

2.4.2. Scores de sensibilité et de difficulté à faire face

Le score de sensibilité $S_{\text{sensibilité}}$ est calculé comme la moyenne des valeurs des indicateurs individuels.

$$S_{\text{sensibilité}} = \frac{S_{\leq 5 \text{ans}} + S_{\geq 65 \text{ans}} + S_{\text{pathologies chroniques}}}{3}$$

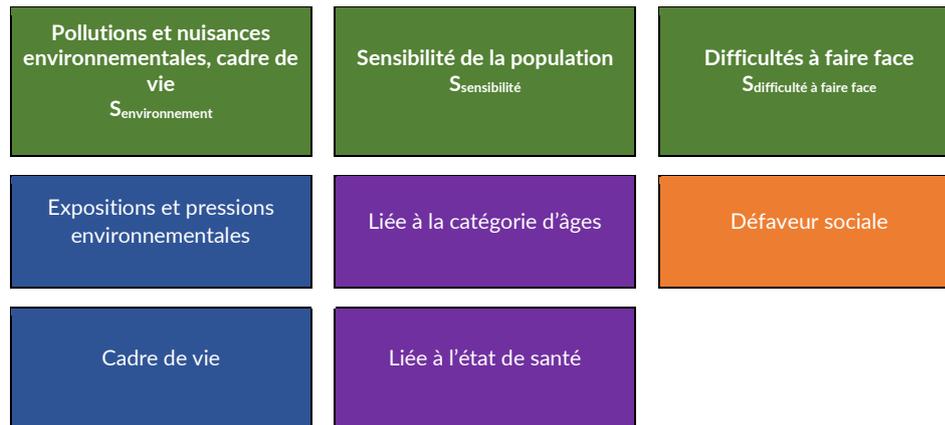
Le score de difficulté à faire face $S_{\text{difficulté à faire face}}$ n'est basé que sur un seul indicateur.

2.5. Calcul des scores d'interpellation combinant les composantes environnementales et de la vulnérabilité sanitaire

Les scores décrits précédemment, correspondant aux trois catégories de variables suivantes : environnement, sensibilité et difficulté à faire face, sont ensuite combinés pour calculer des indicateurs composites à visée d'interpellation de l'action publique en matière de gestion des problèmes environnementaux.

La figure ci-après résume les scores obtenus pour les différentes dimensions (Figure 6)

Figure 6: Dimensions et scores mobilisés pour le score d'interpellation



Alors qu'aux étapes précédentes la construction des scores (par indicateur, par sous-groupe puis par catégorie) a principalement utilisé les approches par moyenne, cette dernière étape privilégie la multiplication, à la manière habituelle du calcul des risques, toujours considérés comme produits d'un aléa et d'un enjeu :

- si l'aléa est nul (pas de fleuve à proximité d'habitations) alors le risque est nul (pas de risque d'inondation par débordement) ;
- si l'enjeu est nul (pas d'habitations au bord d'un fleuve) alors le risque est nul ;
- si l'aléa est maximal et l'enjeu est maximal, alors le risque est maximal.

La réflexion sur les éléments qui pouvaient annuler ou au contraire maximiser le score d'interpellation nous a amenés à traiter de deux façons différentes les quatre scores sus-mentionnés :

- un score d'environnement nul (absence de pollutions ou nuisances ou de problèmes de cadre de vie) annule le score d'interpellation. $S_{environnement}$ est donc introduit directement comme facteurs au sens mathématique, du produit que constitue le score d'interpellation ;
- en revanche, un score de sensibilité nul, qui signifie que la part de la population sensible dans la population totale est la plus faible observée en Île-de-France, ne doit pas détourner l'action publique d'une maille qui, par ailleurs, pourrait avoir un score d'environnement et un score de population très élevé. Ainsi, les scores $S_{sensibilité}$ $S_{difficulté à faire face}$ sont introduits sous la forme $(1+S_{sensibilité})$, ou le 1 garantit que ce « facteur » n'annulera pas le « produit » que constitue le score d'interpellation.

Finalement, le score d'interpellation est obtenu par l'équation suivante :

$$S_{interpellation} = S_{environnement} \times (1 + S_{sensibilité}) \times (1 + S_{difficulté à faire face})$$

Pour ce calcul, $S_{environnement}$, $S_{sensibilité}$ et $S_{difficulté à faire face}$ sont exprimés dans une échelle de 0 à 1. Le Score d'interpellation est ensuite réexprimé sur une échelle de 1 à 100 par la méthode de normalisation utilisée précédemment.

Ce score composite d'interpellation peut être facilement décomposé en « scores d'interpellation intermédiaires » ayant chacun un sens en matière d'action publique. Ainsi, le produit $S_{environnement} \times (1 + S_{sensibilité})$ permet de hiérarchiser les territoires selon l'importance du risque individuel. Si l'on intègre la difficulté à faire face, le score résultant du produit $S_{environnement} \times (1 + S_{sensibilité}) \times (1 + S_{difficulté\ à\ faire\ face})$ intègre la notion de vulnérabilité, qui constitue un facteur supplémentaire de hiérarchisation de l'action publique. Enfin, la prise en compte de la présence de population permet d'appréhender l'importance de l'enjeu sanitaire.

Tableau 2 : Scores d'interpellation et intermédiaires

Scores	Facteurs
$S_{environnement}$	$\frac{3 \times S_{air} + 3 \times S_{bruit} + 1 \times S_{sol} + 1 \times S_{indus} + 3 \times S_{eau} + 1 \times S_{cadre}}{12}$
$S_{environnement-sensibilité}$	$S_{environnement} \times (1 + S_{sensibilité})$
$S_{environnement-vulnérabilité}$	$S_{environnement} \times (1 + S_{sensibilité}) \times (1 + S_{difficulté\ à\ faire\ face})$

3 | LES COMPOSANTES ENVIRONNEMENTALES RETENUES

3.1. Composantes « pollutions et nuisances environnementales » : enjeux sanitaires, bases de données et indicateurs retenus

Comme évoqué au § 2.1 (p. 20), les indicateurs individuels relatifs à la dimension liée à la dégradation de la qualité des milieux font référence aux cinq composantes suivantes :

- qualité de l'air,
- bruit des transports,
- pollution des sols d'origine industrielle,
- installations industrielles,
- eaux destinées à la consommation humaine.

Ces cinq indicateurs individuels sont détaillés ci-après.

3.1.1. Composante qualité de l'air

Risques sanitaires

De nombreuses études épidémiologiques ont établi l'existence d'effets sanitaires de la pollution atmosphérique sur la mortalité ou la morbidité. Ces effets sanitaires sont observés pour des niveaux d'exposition couramment rencontrés dans l'agglomération parisienne. Deux types d'effets ont pu être mis en évidence : des effets à court terme, qui surviennent quelques jours ou quelques semaines après l'exposition et des effets à long terme qui font suite à une exposition chronique sur plusieurs mois ou plusieurs années. Pour ces deux types d'effet, il n'existe pas de seuil en deçà duquel aucun impact sanitaire ne serait observé. Autrement dit, les effets de la pollution atmosphérique sur la santé sont observés dès les concentrations les plus faibles.

À court terme, l'exposition à la pollution atmosphérique est susceptible de provoquer des effets bénins (toux, hypersécrétion nasale, expectoration, essoufflement, irritation nasale des yeux et de la gorge...) ou plus graves. En effet, elle contribue à exacerber les symptômes de pathologies telles que maladies cardiovasculaires ou respiratoires et ainsi provoque la consommation de médicaments ou le recours aux soins (médecine de ville, recours aux urgences, hospitalisations...), voire précipite le décès. En Île-de-France, le programme Erpurs (Evaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé) étudie depuis 1990, les relations à court terme existant entre les niveaux de pollution atmosphérique couramment rencontrés à Paris et sa proche couronne et la santé. Les résultats de ce programme confirment l'existence de liens significatifs entre la pollution atmosphérique et différents effets sanitaires, avec un accroissement de 1 % du nombre de décès et de 4 % des nombres d'hospitalisations ou de recours aux urgences, pour une augmentation des niveaux de polluant d'un jour à l'autre de quelques microgrammes [16]. Des seuils d'intervention ont été fixés réglementairement or Santé publique France a montré que, à Paris et proche couronne, la part des hospitalisations pour causes cardiaques et respiratoires causées par l'exposition à court terme aux PM₁₀ enregistrées lors des dépassements du seuil d'alerte de 80 µg/m³ entre 2011 et 2016, correspondant à 11 jours, ne représentait que 3 % de l'impact total. Autrement dit, 97 % de l'impact sanitaire en matière d'hospitalisation intervient hors jours d'alerte. Même en deçà du seuil d'information (fixé à 50 µg/m³), ces hospitalisations représentent encore 80 % de l'impact total [17].

Ces impacts à court terme, en comparaison des impacts sanitaires à long terme de la pollution atmosphérique, sont très minoritaires. En effet, l'exposition chronique à la pollution de l'air contribue au développement de pathologies telles que maladies

cardiovasculaires, respiratoires ou encore neurologiques. Plus l'exposition est importante, plus le risque augmente. Par exemple, pour chaque augmentation de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ du niveau de l'exposition au $\text{PM}_{2,5}$, le risque de développer une pathologie cardiovasculaire augmente de 13 %, c'est ce que montre les résultats du suivi d'une cohorte de plus de 100 000 personnes pendant une dizaine d'années dans cinq pays européens [18]. L'exposition chronique à la pollution de l'air augmente également le risque de cancers, c'est pourquoi en 2013 la pollution atmosphérique a été classée « cancérogène certain » par le Centre international de recherche sur le cancer. L'exposition chronique à la pollution de l'air aggrave aussi les symptômes des maladies chez des personnes souffrant de pathologies chroniques. Elle pourrait avoir un rôle dans le risque de survenue de pathologies neurodégénératives (Alzheimer, Parkinson...). L'exposition chronique à la pollution de l'air favorise également des troubles de la reproduction et du développement de l'enfant.

L'ensemble de ces effets contribuent à l'augmentation du risque de mortalité et donc à une baisse de l'espérance de vie. Une étude française pilotée par Santé publique France, basée sur le suivi de la cohorte Gazel de plus de 20 000 adultes, a montré une augmentation du risque de décès de 15 % pour chaque élévation du niveau d'exposition au $\text{PM}_{2,5}$ de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [19].

Santé publique France a publié en juin 2016, les résultats d'une évaluation quantitative des impacts sanitaires (EQIS) qui rendent compte de l'impact de la pollution de l'air en calculant le « poids » que représente cette pollution¹ dans la mortalité en France et en régions [20]. Cette évaluation permet également de quantifier les bénéfices sanitaires attendus d'une amélioration de la qualité de l'air. Sous un scénario sans pollution anthropique, si la qualité de l'air en France continentale était identique à celle de ces communes les moins polluées ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), plus de 10 200 décès seraient évités chaque année en Île-de-France, 48 000 décès en France. Ceci représenterait une baisse de 16 % de la mortalité. Les personnes de 30 ans gagneraient entre 16 et 27 mois d'espérance de vie selon le département.

Les conséquences de la pollution de l'air touchent en premier lieu les populations les plus sensibles mais aussi les populations les plus exposées, notamment celles résidant à proximité des axes à fort trafic routier, qui subissent des risques plus importants. La pollution issue du trafic routier pose en effet des problèmes sanitaires spécifiques [21].

Populations sensibles

Chacun est concerné par l'exposition à la pollution atmosphérique, toutefois certaines personnes sont plus vulnérables ou plus sensibles que d'autres à une altération de la qualité de l'air : il s'agit des enfants, des femmes enceintes au regard de l'exposition *in utero* du fœtus, des personnes âgées ou encore des personnes déjà fragilisées par une pathologie préexistante (maladies respiratoires chroniques, asthme en particulier, et maladies cardio-vasculaires ...).

Un récent rapport de l'OMS souligne l'enjeu majeur de santé publique que représente l'exposition des enfants à la pollution atmosphérique pendant la période prénatale et les premières années qui les prédisposent à développer des maladies pulmonaires ou cardiovasculaires à l'âge adulte [22]. De plus, les enfants encourrent un plus grand risque que les adultes, du fait d'une combinaison de facteurs comportementaux, environnementaux et physiologiques. Les enfants sont particulièrement vulnérables pendant le développement fœtal et au cours de leurs premières années de vie, alors que leurs poumons, leurs organes et leur cerveau sont encore en pleine maturation. Ils sont par ailleurs enclins à passer davantage de temps en extérieur, pour jouer et faire des activités physiques. Une étude épidémiologique récente, menée de 1993 à 2012 sur trois cohortes de 4 602 enfants de 5 à 18 ans, dans huit villes du sud de la Californie, compare

¹ sur la base des niveaux de pollution modélisés en 2007-2008 (Gazel-Air) soit une concentration régionale moyenne en $\text{PM}_{2,5}$ de $13,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$

la prévalence des symptômes de toux chronique ou d'irritation chronique des bronches, en fonction des concentrations de polluants atmosphériques chez des enfants asthmatiques et non asthmatiques [23]. Elle montre qu'une réduction faible des niveaux d'émission (de l'ordre de 3 à 5 ppb (parties par milliard) pour le NO₂ et l'O₃ et de 6 à 7 µg/m³ pour les particules) entraîne une diminution de la prévalence des symptômes respectivement de 10 et 19 %. Cette diminution de la prévalence des symptômes est de l'ordre de 2 % chez les non-asthmatiques.

Les personnes âgées constituent également un groupe sensible. Le vieillissement est associé à des changements physiologiques qui modifient le devenir des contaminants dans l'organisme. Les barrières naturelles de l'organisme, comme la peau ou l'appareil digestif sont moins efficaces, le foie et le rein assurent moins leur rôle d'élimination des substances toxiques, etc. L'affaiblissement du système immunitaire entraîne une vulnérabilité plus grande aux agents biologiques et aux agents cancérigènes. Les problèmes d'insuffisance cardiaque ou respiratoire, fréquents chez les personnes âgées, les rendent plus sensibles aux polluants de l'air. Enfin, les carences alimentaires ou les problèmes d'hydratation, courants chez les sujets âgés, augmentent leur vulnérabilité aux toxiques environnementaux.

Données disponibles

Airparif estime les concentrations de divers polluants réglementés en tout point du territoire. Ainsi sur l'ensemble de la région, les concentrations annuelles en PM_{2,5} ; PM₁₀ ; NO₂ ; O₃ sont disponibles pour une maille 50 mètres de côté. Ces données sont par ailleurs disponibles pour un maillage plus fin pour la zone dense : 25 m en petite couronne et 12,5 m à Paris.

Par ailleurs, un indice multi-polluant a été développé dans le cadre de l'élaboration de cartes stratégiques air :

- Prise en compte de trois polluants majeurs : NO₂ (moyenne annuelle), PM₁₀ (nombre de jours de dépassements du 50 µg/m³), PM_{2,5} (moyenne annuelle)
- Années prises en compte :
 - o 5 dernières années : PM₁₀ et PM_{2,5} (5 années pour prendre en compte la variabilité de la météorologie annuelle)
 - o La dernière année : NO₂ (seule la dernière année est considérée car la baisse est tendancielle et les moyennes annuelles sont peu tributaires de la météorologie)
- Valeurs limites (VL) utilisées pour le calcul :
 - o NO₂ : 40 µg/m³ (VL)
 - o PM₁₀_NbJ_Dep50 : 35 jours à ne pas dépasser dans l'année (VL)
 - o PM_{2,5} : 20 µg/m³ (valeur cible (VC), la VL de 25 µg/m³ n'étant plus jamais dépassée)
- Calcul :
 - o Médiane des 5 années pour PM₁₀ et PM_{2,5}
 - o Conversion de la valeur de la VL en pourcentage de VL, soit, pour chaque polluant, la valeur de l'indicateur est divisée par la VL (le cas échéant la VC). Cette étape de normalisation est nécessaire avant l'agrégation des différents indicateurs.
 - o En chaque point, la valeur retenue est la valeur la plus élevée des 3 ratios calculés qui est retenue pour constituer la carte d'indicateur multi-polluant.

Problématique francilienne et pertinence de l'indicateur

La région Île-de-France est marquée par de forts contrastes de niveaux de pollution. On observe des niveaux moyens plus faibles lorsque l'on s'éloigne du cœur d'agglomération. Les niveaux sont par ailleurs particulièrement élevés à proximité des sources, notamment à proximité des axes à fort trafic routier.

Malgré une baisse tendancielle des niveaux de pollution à la fois pour les particules fines et pour le NO₂ observée depuis le début des années 2000, l'exposition à ces polluants reste problématique en Île-de-France, en particulier au sein de la zone dense. Les niveaux

de pollution suivent un gradient centre périphérie. Le trafic routier constitue une source particulièrement préoccupante du fait de la nature des polluants émis et de l'intensité des émissions. De ce fait, les concentrations de NO₂ le long des principaux axes routiers dépassent la valeur limite alors que l'urbanisation à proximité des voies à grande circulation est souvent dense. Ainsi, en 2019, les axes les plus chargés avaient toujours des niveaux moyens près de deux fois supérieurs à la valeur limite annuelle (fixée à 40 µg/m³). Environ 500 000 Franciliens étaient potentiellement exposés au dépassement de la valeur limite annuelle en NO₂. À Paris, c'était un habitant sur dix. Les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé sont largement dépassées en Île-de-France. Pour les particules fines PM_{2,5}, cela concerne tous les Franciliens et l'ensemble de l'Île-de-France avec des dépassements parfois très sévères, jusqu'à dix fois la recommandation.

Données retenues et construction de l'indicateur

Il a été décidé de construire cet indicateur à partir de l'**indice multi-polluant** qui a été développé pour l'élaboration des cartes stratégiques air [24]. Ces cartes constituent un outil de diagnostic qui permet de hiérarchiser les zones du territoire sous l'angle de la qualité de l'air. En ce sens, l'indice multi-polluant, estimé en valeur continue pour l'ensemble du territoire à une résolution fine, est apparu comme un indicateur pertinent pour représenter la composante « qualité de l'air ».

Le score est agrégé sur la maille de référence en effectuant la moyenne par ratio surfacique (voir carte et descriptif en Annexe 3) puis normalisé entre 0 et 1. Le tableau ci-après précise les données utilisées et le traitement appliqué. La représentation cartographique de l'indicateur est donnée en Annexe 3.

Tableau 3 : Construction de l'indicateur pour la composante « qualité de l'air »

Indicateurs	Données mobilisées	Traitement
Indice multi-polluant (NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5}) (indice normalisé sans unité)	L'indice multi-polluant établi pour l'année 2019 mobilise les données suivantes :	Transformation à la maille : moyenne par ratio surfacique
	- médiane des moyennes annuelles PM _{2,5} de 2015 à 2019	
	- médiane des dépassements de la VL journalière en PM ₁₀ (2015 à 2019)	
	- moyenne annuelle en NO ₂ pour l'année 2019	
	Résolution spatiale : grille 50x50 mètres	
	Source : Airpairf, 2019	

3.1.2. Composante « bruit des transports »

Risques sanitaires

De nombreuses études ont montré que les expositions ambiantes au bruit étaient associées à des effets extra-auditifs non spécifiques (les niveaux ambiants étant généralement trop faibles (<85 dB) pour affecter le système auditif) : augmentation du diabète, de l'hypertension artérielle et des accidents vasculaires cérébraux ainsi que de l'incidence et de la mortalité d'origine coronarienne [25]. Un grand nombre d'études a montré une association entre exposition au bruit des transports et la gêne [26]. Des travaux récents montrent aussi les conséquences des trafics routier et aérien sur l'augmentation de l'incidence du diabète, des accidents vasculaires cérébraux, et même sur la mortalité de toutes causes [27]. Le bruit est par ailleurs responsable de nombreux effets psychosociaux, avec en premier lieu une dégradation de la qualité de vie, mais aussi une modification des attitudes et du comportement social (agressivité et troubles du comportement, diminution de la sensibilité et de l'intérêt à l'égard d'autrui) [28].

Un des principaux effets extra-auditifs du bruit, pour des niveaux de l'ordre de 50 dB (rue résidentielle), concerne les perturbations du sommeil [26] : fragmentation du sommeil,

éveils et diminution du sommeil lent profond qui est le plus réparateur. Ces perturbations engendrent une fatigue notable, et renforcent des effets directement attribuables au bruit comme la diminution de la vigilance, de l'efficacité au travail ou de l'apprentissage durant l'enfance [29]. Ces effets aigus peuvent, par leur répétition, avoir des répercussions chroniques sur le système nerveux autonome. En effet, les expositions au bruit génèrent un stress qui entraîne des réponses diverses de l'organisme, avec des répercussions sur le système cardio-vasculaire (hypertension artérielle, artériosclérose, maladies ischémiques telles que l'infarctus du myocarde) et les systèmes endocrinien et métabolique (élévation des sécrétions de catécholamines, de cortisol).

Les mécanismes d'action sont complexes. D'une part, une stimulation acoustique constitue une agression de l'organisme et engendre une réponse non spécifique, qui dépend des caractéristiques physiques du bruit (intensité, fréquence, durée). D'autre part, le bruit est une notion subjective et la réaction à une stimulation sonore est influencée par des représentations individuelles (utilité des sources, bruit choisi ou subi, contrôle des sources). Toutefois, si la perception subjective du bruit a tendance à diminuer avec l'habituation liée à sa répétition dans le temps, les réactions autonomes montrent peu d'habituation avec le temps et le stress physiologique perdure de manière répétitive.

Malgré les incertitudes relatives aux mécanismes biologiques, les associations mises à jour par les nombreuses études épidémiologiques sont cohérentes et des méta-analyses ont permis d'établir des courbes exposition-réponse [30].

Les études portant sur l'effet de l'exposition au bruit ferroviaire sont plus rares que celles portant sur les effets du bruit routier. Les études récentes portant plus spécifiquement sur les effets sanitaires de l'exposition aux bruits ferroviaires confirment les effets du bruit ferroviaire sur la gêne et les troubles du sommeil. Elles montrent également l'influence de la longueur du passage du train et également des vibrations (pour les populations les plus proches). Le bruit aérien, quant à lui présente les particularités suivantes : brefs pics, intenses et intermittents contrairement aux autres bruits des transports qui sont plus continus ; source isolée en altitude avec un rayonnement direct, cela implique qu'à décibels équivalent, la gêne liée au bruit des avions est plus importante ce que reflètent les courbes dose-réponse.

Populations sensibles

Les groupes de population (enfants, personnes âgées, malades chroniques) classiquement identifiés comme sensibles sont généralement sous-représentés dans les études épidémiologiques portant sur les effets du bruit de l'environnement. En conséquence, la sensibilité particulière de ces groupes a été peu investiguée. L'effet du bruit sur les élèves est le mieux documenté. Les études montrent que les enfants sont moins gênés par le bruit que les adultes mais les risques liés aux effets cognitifs sont plus élevés. Les enfants apparaissent moins sujets aux réveils nocturnes mais plus vulnérables aux effets physiologiques. Les personnes âgées n'apparaissent pas plus sensibles à la gêne ou aux troubles du sommeil mais sont possiblement plus vulnérables aux effets cardiovasculaires [31]. Aucune étude sur les risques liés au bruit et le niveau socio-économique or il est peut-être envisagé un cumul avec des expositions professionnelles entraînant une absence de récupération.

Données disponibles

Le son est défini par trois caractéristiques : intensité en dB (échelle logarithmique), fréquence en Hz, variation dans le temps (continu, discontinu, intempestif). La sensibilité de l'oreille dépend du niveau sonore mais aussi de la fréquence du son, avec une sensibilité plus grande aux fréquences moyennes, c'est pourquoi il a été créé une unité physiologique de mesure du niveau sonore tenant compte de cette sensibilité particulière : le décibel A ou dB(A). La notion de bruit intègre aussi celle de la perception (sensation désagréable, gêne...), perception qui peut varier en fonction de l'heure de la journée, avec une gêne plus marquée la nuit.

Les indicateurs de bruit sont des indicateurs énergétiques (moyenne de bruit) et événementiel (pics de bruit). Au niveau européen, il a été défini un indicateur global harmonisé, le Lden¹. Sont appliqués des termes correctifs majorants prenant en compte le critère de sensibilité accrue en fonction de la période. Le Lden traduit une dose globale au détriment de la prise en compte des événements sonores.

Les indicateurs Lden et Lnight (ce dernier correspond au niveau sonore moyen sur la période nocturne de 22h à 6h) sont les plus largement utilisés pour l'évaluation de l'exposition dans les études des effets sur la santé.

Ces indicateurs sont modélisés à l'échelle de l'agglomération et pour les grandes infrastructures de transport dans le cadre de l'élaboration des cartes stratégiques de bruit qui sont réglementaires. Les cartes de bruit rendent compte uniquement de l'exposition des populations aux bruits générés par les sources suivantes :

- les infrastructures de transport routier, incluant les réseaux autoroutier, national, départemental, communautaire et communal,
- les infrastructures de transport ferroviaire,
- les infrastructures de transport aérien, à l'exception des trafics militaires,
- les activités bruyantes des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation (ICPE-A).

Les autres sources de bruit, à caractère plus ou moins fluctuant (par exemple les bruits de voisinage ou les émergences sonores de type klaxons, sirènes, passages de véhicules deux-roues motorisés très bruyants, chantiers...), ne sont pas représentées.

Les cartes de bruit représentent les valeurs de ces indicateurs évalués pour une journée moyenne annuelle sous la forme d'aplats de couleur par tranche de 5 en 5 dB(A). La carte stratégique la plus récente correspond à l'échéance 2017 et a été publiée fin 2018.

Par ailleurs, il a été développé un indice de bruit cumulé basé sur une sommation énergétique des trois sources principales de bruit de l'environnement (transport routier, ferroviaire et aérien) pondérée par la gêne propre à chaque source (méthodologie appliquée par Bruitparif selon les résultats de l'étude Miedema reconnue par l'OMS).

L'estimation de l'exposition au bruit se fait à partir de ces cartes en considérant le niveau modélisé en façade des bâtiments – les cartes ne représentent le bruit que pour les espaces non bâtis, ainsi aucune valeur n'est affectée aux emprises des bâtiments – . Le niveau de bruit affecté à la population correspond au bruit en façade le plus élevé du bâtiment².

Enfin, Bruitparif a réalisé des estimations de l'impact de l'exposition au bruit exprimé en années de vie en bonne santé perdue (DALYs) à partir de l'estimation du nombre de personnes hautement gênées et fortement perturbées dans leur sommeil. L'impact est calculé en appliquant les courbes doses réponses et coefficients d'incapacité recommandés par l'OMS [26]. Cet impact, représenté à la maille de 250 m de côté, a permis d'identifier les secteurs à fort enjeu sanitaire (nombre absolu ou pourcentage de cas important) [32].

Par ailleurs, afin d'avoir une représentation exhaustive du risque potentiel lié à l'exposition au bruit et de s'affranchir de la présence actuelle ou non de population, Bruitparif a extrapolé les relations dose-réponse en courbes de potentiel de risque sanitaire individuel. Ainsi, pour permettre le calcul de l'impact sanitaire potentiel en tout point du territoire, le

¹ L'indicateur Lden (Level day-evening-night) est calculé sur la base des niveaux équivalents sur trois périodes : jour, soirée et nuit, auxquels sont appliqués des termes correctifs majorants, prenant en compte un critère de sensibilité accrue en fonction de la période. Ainsi, on ajoute 5 dB(A) en soirée et 10 dB(A) la nuit.

² Cette méthode d'affectation du bruit est susceptible de majorer l'exposition. Des évolutions sont à prévoir pour l'établissement la prochaine échéance des cartes stratégiques de bruit.

niveau d'exposition au bruit estimé pour chaque maille (grille de 5 m de côté) est rapporté à un individu moyen dont l'exposition au bruit resterait stable tout au long de sa vie [32].

Problématique francilienne et pertinence de l'indicateur

Au sein de la zone dense francilienne, la population est fortement exposée au bruit des transports sur l'ensemble de la journée puisque près de 90 % des habitants, soit plus de 9 millions de personnes, sont exposés à des niveaux supérieurs aux valeurs recommandées par l'OMS pour éviter les conséquences sanitaires du bruit [32].

Cette tendance se retrouve à travers le nombre de personnes qui subissent des niveaux de bruit dépassant les valeurs limites réglementaires prises par la France en application de la Directive bruit : près de 1,5 million d'habitants, soit 14,8 % de la population, seraient ainsi exposés à des niveaux supérieurs à au moins une valeur limite pour l'indicateur Lden. Le trafic routier en est le principal responsable puisque 10,8 % des habitants sont exposés à des niveaux de bruit routier excessifs. L'exposition au-delà des valeurs limites est moindre pour le bruit du trafic aérien et pour le bruit ferroviaire (respectivement 3,7 % et 0,5 %), mais ces deux types de nuisances ont des impacts sanitaires proportionnellement plus élevés du fait de leur caractère événementiel (succession de pics de bruit).

La nuit, les niveaux sonores générés par les transports diminuent. Toutefois, près de 87% de la population vit encore dans un logement exposé à un niveau de bruit extérieur dépassant l'un des objectifs nocturnes de qualité fixés par l'OMS et 510 900 habitants (soit 5,1% de la population) sont même concernés par des niveaux nocturnes qui dépassent l'une des valeurs limites réglementaires fixées pour les bruits routier ou ferré ou la valeur de 50 dB(A) considérée comme critique pour le bruit aérien.

La Métropole du Grand Paris concentre l'essentiel des enjeux d'exposition au bruit des transports, toutes sources confondues, en dénombant 71 % et 74 % des personnes qui sont en situation de dépassement des valeurs limites selon les indicateurs Lden et Ln respectivement.

Afin d'interpréter ces chiffres, rappelons que les indicateurs de bruit rendent compte des situations moyennes. Le niveau d'exposition approché par le niveau de bruit en façade correspond à une exposition potentielle, que ne tient pas compte de la qualité d'isolation phonique. Par ailleurs ne sont pas pris en compte les bruits de voisinage qui apparaissent comme un objet de plainte prégnant notamment dans l'habitat ancien et dans les logements collectifs.

Données retenues et construction de l'indicateur

Il a été décidé de construire cet indicateur à partir des cartes de potentiel de risque sanitaire individuel (en DALYs) établies par Bruitparif à partir de la carte stratégique de bruit (CSB 2017) et des courbes dose réponse préconisées par l'OMS [32]. Cet indicateur, parmi les indicateurs de bruit disponibles, est apparu comme celui répondant le mieux à nos objectifs : cet indicateur exprimé en valeur continue peut-être moyenné pour obtenir une valeur à la maille, ce qui n'est pas le cas des indicateurs de niveaux de bruit en Lden. De plus, il agrège l'effet cumulé des trois sources de bruit considérées dans la carte stratégique. Par ailleurs, cet indicateur simule un impact potentiel en considérant une présence théorique uniforme de population, et, contrairement aux indicateurs d'impact sanitaire, ne considère pas de fait les densités de population, ce qui lui confère une cohérence avec les autres composantes prises en considération.

En ce qui concerne le traitement pour le passage à la maille, la valeur de l'indicateur a été estimée par la moyenne par ratio surfacique des valeurs de potentiel de risque sanitaire individuel de la maille en considérant uniquement les surfaces non bâties. Ce traitement particulier à cet indicateur permet de compenser le fait que les cartes stratégiques de bruit ne représentent le bruit que pour les espaces non bâtis, et qu'aucune valeur n'est affectée aux emprises des bâtiments. Ainsi, estimer une valeur moyenne sans distinguer surfaces bâties et non bâties reviendrait à sous-estimer les niveaux de bruit auxquels peuvent être

soumis les habitants dans les mailles situées en zone fortement urbanisée. Ce score est ensuite normalisé entre 0 et 1.

À noter que cet indicateur ne couvre pas la totalité du territoire de l'Île-de-France. Toutefois, son étendue géographique correspondant à l'agglomération (contours de 2017) et aux grandes infrastructures de transport, couvre la grande majorité des territoires qui sont plus particulièrement soumis aux bruits des transports. En dehors du territoire couvert, la valeur de l'indicateur a été mise à 0. Cette nuisance peut donc être ponctuellement sous-estimée.

Le tableau ci-après précise les données utilisées et le traitement appliqué. La représentation cartographique de l'indicateur est donnée en Annexe 3.

Tableau 4 : Construction de l'indicateur pour la composante « bruit des transports »

Indicateurs	Données mobilisées	Traitement
Potentiel de risque sanitaire lié au bruit des transports (nombre moyen d'années de vie en bonne santé perdu)	Potentiel de risque sanitaire lié au bruit des transports estimé à partir des:	Transformation à la maille : moyenne par ratio surfacique des surfaces non bâties
	<ul style="list-style-type: none"> - niveaux de bruit des transports (route, fer, air) en Lden - relations dose-réponse propres à chaque source permettant d'estimer le % de personnes qui seraient hautement gênées et hautement perturbées dans leur sommeil - coefficients d'incapacités associés 	
	Résolution spatiale : raster 5x5 mètres	
	Source : Bruitparif, CSB 2017 (carte stratégique de bruit)	

3.1.3. Pollution des sols d'origine industrielle

Risques sanitaires

Le tableau de bord des sites et sols pollués (SSP) du ministère en charge de l'Environnement indique que les substances toxiques les plus fréquemment rencontrées dans les SSP français sont, dans l'ordre : les hydrocarbures (occurrence : 33,3 %), le plomb (15,5 %), les HAP (14,2 %), les solvants halogénés (12,9 %), le chrome (12,7 %), le cuivre (12,8 %), l'arsenic (11,6 %), le nickel (8,9 %), le zinc (8,66 %), le cadmium (5,7 %), les cyanures (5,3 %), les PCB-PCT (5,2 %), le mercure (4,4 %), les solvants non halogénés (3,6 %), les BTEX (2,29 %) et les pesticides (1,2 %). Il s'agit donc principalement de métaux lourds et de produits organiques qui produisent tous, même à faible dose, des effets néfastes pour la santé humaine et dont une grande partie sont classés cancérigènes certains, probables ou possibles.

Le sol est un milieu de l'environnement en lien étroit avec les autres milieux (eau, air), qui constituent des voies d'exposition multiples : l'ingestion de terre (en particulier les jeunes enfants) ; l'ingestion de produits végétaux alimentaires cultivés sur des terres polluées ; ingestion d'eau (transfert vers la nappe) ; inhalation de poussières émises par les sols pollués ; inhalation de gaz issus de la volatilisation du polluant.

Les populations les plus exposées aux effets de la pollution des sols sont celles présentes sur les sites ou sols pollués ou à proximité mais il n'existe pas de seuil de distance établi.

La situation est très variable d'un site à l'autre. Les risques sanitaires avérés pour les populations sont le plus souvent liés à la remontée sous forme de gaz des polluants qui peuvent avoir migré sous les habitations. Dans la très grande majorité des cas, l'exposition directe reste de faible ampleur si les mesures de restriction d'usages sont respectées.

Il arrive que soient décrits des événements sanitaires indésirables dans une population qui réside sur ou aux abords d'un site pollué. Cependant, le passage des polluants du sol dans l'organisme humain n'étant pas parfaitement connu, il est souvent difficile d'estimer l'exposition des populations aux polluants présents dans ces sols et donc de déterminer si la pollution du site est responsable des effets indésirables constatés. De plus, pour de nombreuses substances et pour les mélanges qu'elles peuvent constituer, les conséquences sur la santé humaine ne sont pas toujours déterminées.

Cette problématique revêt en tout cas une dimension psychosociale avérée. Les populations qui vivent sur ces sites ou à proximité immédiate manifestent des inquiétudes et des plaintes pour leur santé. Elles portent sur des maladies telles que les cancers mais également sur des symptômes variés, des troubles de santé ressentis, des perceptions désagréables, une gêne et une altération de la qualité de vie. Les riverains redoutent les effets sanitaires, à plus ou moins long terme, des polluants présents dans les sols du site. Il s'agit de premières manifestations d'effets sur la santé avant même l'expression des facteurs toxiques.

Données disponibles

Trois bases de données complémentaires, s'inscrivant dans la politique nationale de gestion des sites et sols pollués ont été identifiées : BASOL, BASIAS et SIS.

Ces données sont mises à disposition sur le portail Georisques <https://www.georisques.gouv.fr/>

BASOL¹ : Base de données sur les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif

La base de données BASOL, a été créée au début des années 1990 par le ministère chargé de l'Environnement afin de connaître les sites pollués (ou potentiellement pollués), de les traiter le cas échéant, en lien notamment avec l'usage prévu, d'informer le public et les acteurs locaux, d'assurer la traçabilité des pollutions et des risques y compris après traitement.

Différentes situations peuvent être à l'origine de la suspicion de pollution d'un site et de son inscription dans BASOL. Il peut s'agir d'une découverte fortuite, à l'occasion de travaux sur un terrain ayant accueilli anciennement des activités industrielles. Un site peut également être mis en évidence à la suite d'une action de l'administration dans le cadre de ses missions de contrôle et de suivi des sites industriels. Les pollutions accidentelles peuvent également donner lieu à la création d'un site dans BASOL.

Les sites BASOL sont généralement associés à des diagnostics de sols réalisés dans le cadre d'une cessation d'activité d'une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), à des recherches historiques documentaires, à des travaux, à des transactions ou changements d'usage du site ou projet d'aménagement, et, à la demande de l'administration, à des analyses de la qualité des eaux (captages d'alimentation en eau potable, puits, eaux superficielles) et enfin aux actions engagées lors de pollutions accidentelles. L'action des pouvoirs publics est alors déclenchée, pour caractériser la pollution du site et en maîtriser les risques.

¹ La base de données BASOL n'existe plus en tant que telle depuis le 1^{er} octobre 2021 et n'est plus alimentée depuis le 1^{er} octobre 2020. Ses données ont été incorporées au site <https://www.georisques.gouv.fr/>

Ces données constituent l'état des connaissances sur les sites recensés dans une démarche de transparence mais ne peuvent pas être considérées comme exhaustives. Par ailleurs, BASOL ne couvre pas tous les types de pollution.

BASIAS : Inventaire historique de sites industriels et activités de service

La France mène d'une façon systématique, depuis la fin des années 1970, des inventaires des sites pollués ou susceptibles de l'être (le premier inventaire a eu lieu en 1978). Les principaux objectifs de ces inventaires sont : de recenser, de façon large et systématique, tous les sites industriels abandonnés ou non, susceptibles d'engendrer une pollution de l'environnement ; de conserver la mémoire de ces sites ; de fournir des informations utiles aux acteurs de l'urbanisme, du foncier et de la protection de l'environnement.

Cette base de données offre certaines limites : des erreurs de localisation peuvent exister et la précision sur la localisation des sites est variable, en fonction des dossiers d'archives ; il existe un certain nombre de sites identifiés mais non localisés (sans coordonnées géographiques) qui n'apparaissent pas dans la cartographie ; les données peuvent ne pas être exhaustives, ni à jour. Enfin, l'existence d'un site BASIAS ne préjuge pas forcément d'une présence de pollution à son endroit.

SIS : Secteurs d'information sur les sols

Les secteurs d'information sur les sols (SIS) comprennent les terrains où la connaissance de la pollution des sols justifie, notamment en cas de changement d'usage, la réalisation d'études de sols et la mise en place de mesures de gestion de la pollution pour préserver la sécurité, la santé ou la salubrité publique et l'environnement. Ils sont mis à disposition du public après consultation des mairies et information des propriétaires. Il s'agit de sites avec une pollution avérée mais dont les usages sont compatibles avec la pollution. En l'état des usages constatés, les sites répertoriés dans les SIS ne présentent pas de risques sanitaires potentiels. Les SIS ont pour vocation de participer à l'optimisation de la politique de renouvellement urbain en orientant les choix urbanistiques. Les collectivités peuvent ainsi favoriser, dès le stade de la planification, une meilleure information des porteurs de projets quant aux risques de pollution des sols dans le but d'anticiper leur gestion et ainsi, de réduire les surcoûts liés à d'éventuelles découvertes lors du démarrage des travaux d'aménagement. L'élaboration des SIS par l'État est en cours sur l'ensemble du territoire. Leur publication sur Georisques se fait par département après consultation auprès des collectivités.

Problématique francilienne et pertinence de l'indicateur

La plupart des grandes agglomérations d'aujourd'hui ont été le terrain historique du développement industriel qui a largement contribué à façonner la ville moderne et ses périphéries. L'Île-de-France, région industrielle, fortement peuplée et urbanisée, ne fait pas exception. Avec la tertiarisation de l'activité économique et sous la pression de l'étalement urbain, l'exploitation de nombreux établissements industriels a été interrompue. Ces derniers ont pu être à l'origine d'une pollution des sols et des nappes, du fait de mauvaises conditions d'exploitation et une remise en état trop sommaire de ces sites. Pendant longtemps, les prescriptions en matière de protection de l'environnement encadraient peu ces activités.

Ainsi, en Île-de-France, 918 terrains pollués par des sources industrielles sont ainsi recensés au sein des bases de données BASOL et SIS en 2020 et 32 696 sites dans la base de données BASIAS en 2012.

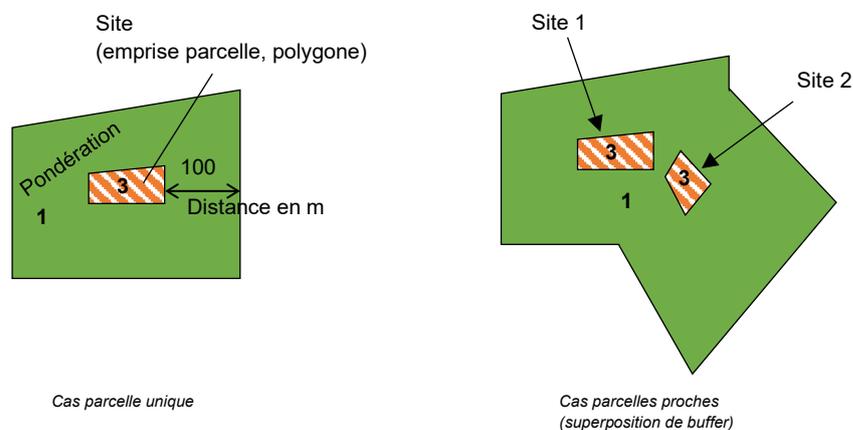
Ces pollutions des sols sont susceptibles de provoquer une nuisance ou un risque pour les personnes ou l'environnement sur ces sites ou à proximité. La prise en compte de ces terrains pollués par des sites industriels constitue un enjeu de santé publique. Il est à noter que ces terrains dégradés peuvent être des ressources foncières importantes pour redynamiser des zones en friche et limiter l'étalement urbain. La réhabilitation de ces sites est ainsi un enjeu majeur de la région et doit être réalisée en s'assurant de leur compatibilité avec les usages futurs.

Données retenues et construction de l'indicateur

Cet indicateur mobilise d'une part les données des bases SIS et BASOL et d'autre part les données BASIAS. Deux sous-indicateurs ont ainsi été construits :

- 1) Un indicateur SIS/BASOL ($S_{SIS/BASOL}$) : score spatialisé sur une zone de 100 mètres autour des sites recensés dans ces deux bases de données. En l'absence de seuil de distance établi, cette distance de 100 mètres a été jugée comme suffisante comme zone d'impact, la diffusion des pollutions étant rarement observée au-delà. Une pondération de 3 pour la zone correspondant à l'emprise du site et de 1 pour la zone de 100 m autour du site est appliquée. Dans le cas où deux zones de buffer se superposent du fait de la proximité de deux sites, il est considéré un buffer unique (voir Figure 7). Cette approche a été privilégiée car certains sites étendus peuvent regrouper plusieurs parcelles rapprochées, avec pour conséquence de produire des scores exagérément élevés du fait de l'addition des pondérations en cas de buffers superposés. Le score est ensuite agrégé sur la maille de référence en effectuant la moyenne par ratio surfacique puis normalisé entre 0 et 1.

Figure 7 : Schéma de la construction de l'indicateur SIS/BASOL



- 2) Un indicateur BASIAS (S_{BASIAS}) : densité de sites référencés dans la maille, ensuite normalisée entre 0 et 1.

Ces deux sous-scores ont ensuite été agrégés en un seul score (S_{sol}) avec une pondération de 2 pour l'indicateur SIS/BASOL et de 1 pour l'indicateur BASIAS, puis normalisé entre 0 et 1.

$$S_{sol} = 2 \times S_{SIS/BASOL} + S_{BASIAS}$$

Cet indicateur ne prend pas en compte l'état des sites et ne préjuge pas des risques sanitaires. Il est le reflet des pressions sur l'environnement liées à l'historique industriel.

Par ailleurs, cet indicateur ne prend pas en compte les pollutions des sols en dehors de celles liées à des activités industrielles. À titre d'illustration, les épandages des eaux usées brutes ou partiellement traitées comme cela a été le cas à partir de 1890 et jusqu'au début des années 2000 pour certains secteurs¹ peuvent être à l'origine d'une pollution diffuse des sols en surface, notamment en métaux lourds. Les pollutions d'origine industrielle représentent toutefois la majorité des pollutions des sols.

¹ Les plaines d'Achères, de Carrières-sous-Poissy et Triel-sur Seine (Yvelines) et celle de Méry-sur-Oise et Pierrelaye (Val-d'Oise) sont notamment concernées et ont fait l'objet d'études sanitaires [33,34]. Source : <https://www.iledefrance.ars.sante.fr/synthese-de-letude-sanitaire-epandage-yvelines-et-val-doise>

Le tableau ci-après précise les données utilisées et le traitement appliqué. La représentation cartographique de l'indicateur final et des indicateurs intermédiaires est donnée en Annexe 3.

Tableau 5 : Construction de l'indicateur pour la composante « pollution des sols d'origine industrielle »

Indicateur	Données mobilisées	Traitement
Pollution des sols d'origine industrielle	Sites recensés dans les deux bases de données suivantes : Secteurs d'information sur les sols (SIS) et Basol	Buffer de 100 m autour du site Pondération / scoring : polygone du site=3 ; buffer de 100 m autour du polygone=1
	Résolution spatiale : sans objet (couche de polygones) Source : Drieat, 2020	Transformation à la maille : moyenne par ratio surfacique
	Sites recensés dans la base de données Basias	
	Résolution spatiale : sans objets (couche de points) Source : Driee, 2012	Densité de sites Basias à la maille

3.1.4. Installations industrielles

Risques sanitaires

Il existe une grande variété d'établissements industriels en termes d'activités et de substances toxiques ou dangereuses stockées ou manipulées. Ces établissements, hors considération des risques accidentels (explosion, incendies), peuvent être à l'origine d'émissions permanentes variées, en nature et intensité, selon les activités. Il peut s'agir de polluants physicochimiques (particules), chimiques (substances toxiques), ou biologiques (toxines, microbiennes, germes pathogènes). Cela implique des effets sanitaires potentiels très diversifiés dans leur nature (organes cibles, systémiques ou cancérigènes) et leur gravité (réversibles, bénins, létaux). Ces sites industriels peuvent également être à l'origine d'expositions au bruit.

Les questions de perception sont également très prégnantes en matière de nuisances olfactives, mais aussi en considérant l'aspect visuel. Ainsi, des effets indirects des expositions perçues peuvent survenir. En effet, la représentation du risque peut être source d'altération de la qualité de vie [35].

Données disponibles

Les installations industrielles relèvent de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). La nomenclature des installations classées détermine le régime de classement des installations classées. Elle s'organise en quatre grandes familles de rubriques qui caractérisent soit l'activité de l'installation classée, soit les substances qu'elle stocke, utilise ou produit.

Le régime de classement est défini rubrique par rubrique dans la nomenclature des installations classées en fonction de la gravité des dangers ou des inconvénients que peut présenter l'exploitation d'une installation. Parmi les installations soumises à autorisation dans la nomenclature des ICPE, celles qui engendrent les émissions les plus importantes sont soumises à la Directive européenne IED 2010/75/UE relative aux émissions industrielles. Cette directive définit au niveau européen une approche intégrée de la prévention et de la réduction des pollutions émises par les installations industrielles et agricoles entrant dans son champ d'application.

Les installations IED sont sources de risques dits « chroniques » à la différence des installations Seveso qui sont source de risques dits « accidentels ». Toutes les

installations Seveso ne relèvent donc pas forcément de la directive IED, les installations à risques accidentels n'étant pas toutes sources de pollution chronique et vice versa.

Les activités visées par la Directive IED relèvent des rubriques commençant par 3xxx de la nomenclature des installations classées. En Île-de-France, il s'agit notamment des installations suivantes :

- installations de combustion P > 50 MW
- installations d'incinération de déchets non dangereux d'une capacité > 3t/h, ou de déchets dangereux d'une capacité de plus > 10 t/j
- décharges >10 t de déchets / jour ou d'une capacité totale > 25 000 tonnes, à l'exclusion des décharges de déchets inertes
- traitements de surface avec un volume de bain > 30m³
- fabrication de produits chimiques organiques
- fabrication de produits pharmaceutiques
- installations de production agro-alimentaire d'une capacité de production > 75T/jour avec des matières premières animales ou 300T/jour avec des matières premières végétales
- élevages intensifs de volailles ou de porcs

L'ensemble de ces installations soumises à autorisation ou à enregistrement (en construction, en fonctionnement ou en cessation d'activité) est référencé dans une base de données mise à disposition sur le site Georisques.

Problématique francilienne et pertinence de l'indicateur

Les installations industrielles peuvent être à l'origine d'émissions de polluants spécifiques non mesurés dans le cadre de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air mise en place par l'observatoire de la qualité de l'air en Île-de-France. Ainsi, un indicateur lié à cette source de pollution peut apporter une information complémentaire à celle de l'indicateur d'exposition à la pollution de l'air. *A contrario*, la composante « air » est susceptible d'être surreprésentée par la prise en compte simultanée des IED émettrices de polluants atmosphériques et des concentrations atmosphériques.

Par ailleurs, certaines installations relèvent de la Directive IED plus pour leurs émissions importantes dans l'eau. L'impact potentiel sur les populations est dans ces cas moins direct.

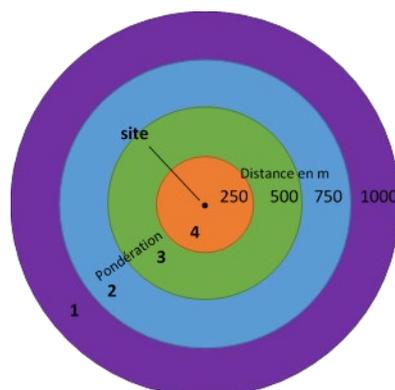
En Île-de-France sont référencées 258 installations classées relevant de la Directive IED en 2021.

Données retenues et construction de l'indicateur

Pour la construction de l'indicateur, seules les installations soumises à la Directive européenne IED à l'origine des émissions les plus importantes ont été considérées.

Le score est spatialisé sur une zone de 1 km autour des sites avec l'application d'une pondération en fonction de la distance par rapport au site. Ainsi un score de 4 est affecté au périmètre de 250 mètres autour du site, de 3 entre 250 et 500 mètres, de 2 entre 500 et 750 mètres et enfin de 1 entre 750 et 1000 m.

Figure 8 : Schéma de la construction de l'indicateur "sites industriels"



Le score est agrégé sur la maille de référence en effectuant la moyenne par ratio surfacique des scores affectés à chaque périmètre, puis normalisé entre 0 et 1.

Le tableau ci-après précise les données utilisées et le traitement appliqué. La représentation cartographique de l'indicateur est donnée en Annexe 3.

Tableau 6 : Construction de l'indicateur pour la composante « installations industrielles »

Indicateurs	Données mobilisées	Traitement
Sites industriels	Installations classées répondant à la Directive IED Résolution spatiale : sans objet (couche de points) Source : DRIEAT (extraction de la base de données de l'inspection des installations classées -S3IC- le 20/10/2020)	Buffers, cercles concentriques de 250-500-750-1000 mètres autour du site Scores : 0-250 m = 4 ; 250-500 m = 3 ; 500-750 m = 2 ; 450-1000 m = 1 Transformation à la maille : moyenne par ratio surfacique

3.1.5. Eau destinée à la consommation humaine (EDCH)

Risques sanitaires

Selon le milieu d'où elles proviennent, les eaux destinées à la consommation humaine peuvent contenir des éléments minéraux d'origine naturelle (fluor, magnésium, calcium...) dont certains peuvent présenter une toxicité avérée pour l'Homme, à l'instar de l'arsenic. Les ressources en eau peuvent être par ailleurs l'objet de contaminations résultant des activités humaines urbaines, industrielles, agricoles ou de contaminations accidentelles.

Ces contaminations peuvent présenter des risques pour la santé (infectieux ou toxiques selon la nature microbienne ou chimique des contaminants). Les différents dangers pouvant être associés à l'eau sont susceptibles de déboucher sur des effets sanitaires très divers qui peuvent être bénins (par exemple, diarrhée) ou parfois graves (par exemple syndrome hémolytique et urémique associé à *Escherichia coli* O157 ou cancer). Certains sont aigus (par exemple, diarrhée) tandis que d'autres sont différés (par exemple, hépatite infectieuse ou cancer).

La grande majorité des problèmes sanitaires en lien direct avec l'eau sont dus à une contamination microbienne (bactérienne, virale, provoquée par un protozoaire ou un autre agent biologique) et provoquer des infections plus ou moins graves, dont certaines sont des préoccupations émergentes dans certains pays développés (*Giardia* et *Cryptosporidium*). La présence d'agents microbiologiques pathogènes dans l'eau du

robinet est liée à une insuffisance de la protection de la ressource, à un défaut du traitement de l'eau ou à des retours d'eau dans le réseau d'eau potable.

Des effets sur la santé humaine de grande ampleur à la suite d'une exposition via l'eau de boisson du fait de la présence en quantités excessives de contaminants chimiques ou biologiques surviennent rarement. Peu de produits chimiques sont concernés, il s'agit notamment des fluorures, de l'arsenic et des nitrates, mais ces contaminations chimiques peuvent conduire à des problèmes sanitaires graves. Par exemple, d'importantes ingestions de fluorures peuvent avoir à long terme des effets graves sur les tissus squelettiques.

Les nitrates et les pesticides, liés principalement aux activités agricoles, font l'objet de préoccupations sanitaires particulières étant donné la relative fréquence des non-conformités. Les effets sanitaires des nitrates sont liés à leur réduction en nitrites dans l'organisme qui provoquent deux principaux types d'effets. D'une part, ils se combinent avec l'hémoglobine pour former de la méthémoglobine, ce qui affecte le transport d'oxygène par le sang avec apparition de cyanose. Les enfants de moins de 6 mois et plus particulièrement de moins de 3 mois sont plus susceptibles à la méthémoglobinémie car dépourvus de l'enzyme qui convertit la méthémoglobine en hémoglobine.

Les effets sanitaires des pesticides à court et à long terme sont variés mais peuvent être regroupés en trois grandes catégories selon les organes cibles : effets sur le système nerveux central (exposition à court ou long terme) ; effets sur la reproduction (exposition long terme) ; effets cancérigènes (exposition long terme).

Les autres paramètres chimiques faisant l'objet d'une surveillance pour la qualité des eaux de boisson sont très variés de même que leurs effets sur la santé : de nombreux métaux lourds, HAP, composés organiques chlorés, composés organiques sont classés cancérigènes certains ou probables.

Populations sensibles

Certains dangers affectent spécialement des tranches d'âge et des groupes déterminés (par exemple, la fluorose osseuse chez l'adulte résulte souvent d'une exposition de longue durée à des concentrations élevées de fluorures pendant l'enfance ; l'infection par le virus de l'hépatite E chez la femme enceinte augmente les risques de mortalité et de morbidité maternelles et fœtales).

Données disponibles

L'acheminement de l'eau potable depuis le site de production jusqu'au robinet se fait par un réseau de distribution. Ce réseau est structuré en unités de distribution (UDI). La notion d'unité de distribution (UDI) a été introduite pour désigner le réseau ou la partie du réseau physique de distribution qui délivre une eau de qualité réputée homogène (même origine). Tous les abonnés raccordés au réseau public d'eau potable sont ainsi associés à une UDI.

La sécurité sanitaire des eaux distribuées à la population fait appel à une succession de dispositifs de vigilance qui permettent, par des procédures strictes et rigoureuses, de s'assurer du respect des exigences de la qualité de l'eau et du bon fonctionnement des installations de production et de la distribution de l'eau. La maîtrise des risques repose en particulier sur la surveillance permanente que les responsables de la production et de la distribution sont tenus d'exercer (article R.1321-23 du Code de la santé publique) et sur le contrôle sanitaire régulier de la qualité des eaux par les agences régionales de santé (ARS) au titre des dispositions de l'article R.1321-15 du Code de la santé publique. Le contrôle de qualité de l'eau porte sur plus de 50 paramètres regroupés en quatre grandes catégories :

- paramètres microbiologiques : E. coli, entérocoques, bactéries coliformes, bactéries sulfitoréductrices et germes aérobies revivifiables.
- paramètres chimiques : acrylamide, antimoine, arsenic, baryum, benzène, benzo(a)pyrène, bore, bromates, cadmium, chlorure de vinyle, chrome, cuivre,

cyanures totaux, 1,2-dichloroéthane, épichlorhydrine, fluorures, HAP, mercure, nickel, nitrates, nitrites, pesticides individuels, aldrine, dieldrine, heptachlore, heptachloépoxyde, total pesticides, plomb, sélénium, tétrachloroéthylène et trichloroéthylène, total trihalométhanes, aluminium total, ammonium, carbone organique total, oxydabilité au permanganate, chlore libre et total, chlorites, chlorures, sodium, sulfates

- paramètres physiques : turbidité, conductivité, pH, couleur, odeur, saveur, température
- paramètres indicateurs de radioactivité : activité alpha globale, activité bêta globale résiduelle, dose totale indicative, tritium.

Les résultats de ces analyses alimentent la base de données Sise'EAUX (Source : Direction générale de la santé).

La Direction générale de la santé a récemment proposé aux ARS l'utilisation d'un indicateur agrégé pour qualifier le bilan annuel sur la qualité des EDCH à partir des données du contrôle sanitaire. Ce projet a fait l'objet d'un avis favorable assorti de recommandations du Haut Conseil de santé publique (HCSP) [36]. L'indicateur prend en compte les 31 paramètres (ou familles de paramètres) recherchés dans le cadre du contrôle sanitaire de l'eau distribuée et faisant l'objet d'une limite de qualité réglementaire. Chaque paramètre contrôlé est classé individuellement - 4 classes de A (bonne qualité) à D (mauvaise qualité). L'indice global de qualité correspond à la note la plus défavorable des 31 paramètres. Il s'agit d'un indicateur d'information globale de la qualité de l'eau : il précise le niveau de qualité globale et les éventuelles situations de recommandation ou de restriction d'usage.

Classe de qualité / couleur	Message type associé
A (bleu)	Eau de bonne qualité
B (vert)	Eau sans risque pour la santé, ayant fait l'objet de non-conformités limitées
C (jaune)	Eau de qualité insuffisante, ayant pu faire l'objet de limitations de consommation
D (orange)	Eau de mauvaise qualité, ayant pu faire l'objet d'interdictions de consommation

Les résultats du contrôle des paramètres de qualité liés aux canalisations (cuivre, nickel, plomb...) ne sont pas pris en compte car ils ne sont pas représentatifs de la qualité de l'eau distribuée sur la zone concernée.

Problématique francilienne et pertinence de l'indicateur

L'eau potable est jugée de très bonne qualité, toutefois des secteurs localisés, au sein notamment de la grande couronne, présentent des cas de non-conformité essentiellement de nature physico-chimique (pesticides, nitrates, fluor).

En 2019, sur 24 258 prélèvements, ont été constatés 10 cas de non-conformités de type bactériologique (soit 99,9 % de conformité) et sur 23 955 prélèvements, ont été constatés 282 cas de non-conformités de type physico-chimique (soit 98,8 % de conformité).

Données retenues et construction de l'indicateur

L'indicateur a été construit à partir de l'indice global de qualité de l'eau en associant un score à chaque classe de qualité A=0 , B=1 , C=2 et D=3.

Le score est agrégé sur la maille de référence en effectuant la moyenne par ratio surfacique de ces scores. Une même UDI couvre généralement plusieurs communes et donc englobe complètement plusieurs mailles. Ainsi, les mailles contenues dans les UDI de classe D se voient affecter le score maximum de 3. Alors que la grande majorité des

mailles ne sont pas impactées par ce paramètre, la distribution de ce paramètre est marquée par une grande dispersion (voir Annexe 3), avec pour conséquence la nécessité de contrôler artificiellement les extremums afin d'en diminuer le poids dans le score final comme évoqué au § 2.3 page 24. À cet effet, le score a été normalisé entre 0 à 0,5.

Le tableau ci-après précise les données utilisées et le traitement appliqué. La représentation cartographique de l'indicateur est donnée en Annexe 3.

Tableau 7 : Construction de l'indicateur pour la composante « eau de consommation »

Indicateurs	Données mobilisées	Traitement
Qualité de l'eau destinée à la consommation humaine	Indice global de qualité de l'eau (4 classes) Résolution spatiale : UDI (unité de distribution) Source : ARS, 2019	Pondération / scoring : A=0 ; B=1 ; C=2 ; D=3 Transformation à la maille : moyenne par ratio surfacique

3.2. Composantes du cadre de vie : enjeux sanitaires, bases de données et indicateurs retenus

Comme évoqué au § 2.1 (p.20), les indicateurs individuels de cadre de vie retenus pour l'indicateur composite sont relatifs à la carence en espaces verts ($S_{\text{carence en espaces verts}}$), aux caractéristiques urbaines favorisant l'îlot de chaleur urbain ($S_{\text{aléa vague de chaleur}}$) et enfin aux caractéristiques urbaines favorables à la marche quotidienne ($S_{\text{favorable à la marche}}$). Ce dernier groupe d'indicateurs individuels permet de construire un indicateur de cadre de vie S_{cadre} selon la combinaison suivante :

$$S_{\text{cadre}} = 1 \times S_{\text{carence en espaces verts}} + 1 \times S_{\text{aléa vague de chaleur}} - 0,5 \times S_{\text{favorable à la marche}}$$

Comme pour les composantes « pollutions et nuisances environnementales », plus ce score est élevé, moins le cadre de vie est favorable. À noter que le score « $S_{\text{favorable à la marche}}$ » est considéré ici comme un facteur de compensation. Il vient ainsi atténuer le score de dégradation du cadre de vie. Afin de ne pas donner un poids trop important à ce facteur, une pondération de 0,5 lui a été affectée.

Les trois indicateurs individuels de cadre de vie sont détaillés ci-après.

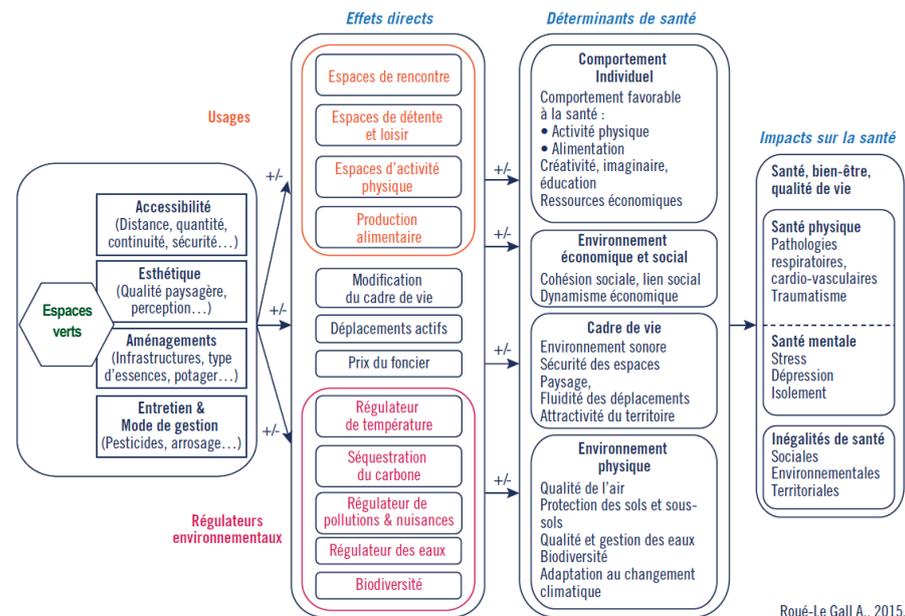
3.2.1. Carences en espaces verts

Enjeux sanitaires

De nombreux travaux de recherche montrent des associations positives entre l'accès à différents types d'espaces verts et l'état de santé, mesuré à travers différents indicateurs tels que l'état de santé globale, la santé mentale, l'obésité, le poids à la naissance, le développement comportemental de l'enfant et la mortalité [37–41]. Une méta-analyse relève qu'une « exposition » plus importante aux espaces verts est particulièrement associée à une diminution de la fréquence cardiaque, du risque de diabète de type II et de la mortalité toutes causes [40,42]. Une revue des études d'intervention permet de plaider en faveur des bénéfices physiques, psychologiques, sociaux, économiques et environnementaux des espaces verts [43]. Ces bénéfices sont souvent indirects et résultent de la combinaison de plusieurs déterminants d'ordre environnemental, social et comportemental impactant positivement ou négativement l'état de santé des populations. Si des liens entre espaces verts et santé sont établis, les mécanismes d'action doivent encore être explicités d'autant plus que ces espaces sont considérés comme des environnements homogènes [44] alors que les différents types d'espaces verts ne répondent pas tous aux besoins variés des individus et ne procurent pas tous les mêmes

effets environnementaux. L'analyse de différents cadres conceptuels illustrant la façon dont les espaces verts peuvent contribuer à la santé [38,42,45,46] permet de dégager une série de mécanismes environnementaux, biologiques, psychologiques et sociaux des effets de l'exposition à différents types d'espaces verts sur des déterminants variés de santé. Ainsi, les principaux effets sont notamment liés à la pratique d'activité physique, à la réduction du stress, à la cohésion sociale, à la qualité de l'air, au bruit, à la température, à la biodiversité et au risque inondation (voir figure ci-après).

Figure 9 : Un modèle de causalité de l'impact des espaces verts urbains sur la santé et le bien être [47]



Données disponibles

La désignation du terme « espace vert » varie et ne recouvre pas les mêmes types d'espaces selon les domaines d'expertise laissant apparaître un large éventail de définitions [48].

En ville, plusieurs termes peuvent être utilisés pour désigner les espaces verts : nature en ville, parc, jardin public, square, espace vert public, espace vert urbain, densification verte, etc. D'autres espaces pourraient être considérés : jardins privés, berges, plages, bas-côtés des routes, infrastructure de loisir (type golf), toitures végétalisées, agriculture urbaine, espaces ouverts résidentiels mais aussi linéaires d'arbre, espaces aquatiques.

En février 1973, une circulaire ministérielle relative aux espaces verts (Circulaire du 8 février 1973) en propose une définition très extensive en désignant les espaces qui comprennent « parcs, jardins, squares, les plantations d'alignement et les arbres d'ornement intramuros, de même que les bois, les forêts, les espaces naturels et ruraux périurbains sont considérés comme des espaces verts ». Ce terme désigne donc des espaces publics urbains destinés à des usages de circulation et de récréation, ayant été conçus pour des raisons à la fois hygiéniques et esthétiques. Dans la littérature scientifique, les différents types d'espaces verts peuvent être distingués selon leurs caractéristiques spécifiques : surface, accessibilité, esthétique, types d'essences, mode de gestion, etc. À l'heure actuelle, il n'existe pas de définition en regard des bienfaits pour la santé et le bien-être [37].

Les espaces verts n'ont pas tous les mêmes qualités. Or, les caractéristiques précises de ces espaces qui influencent positivement la santé restent mal définies et font encore l'objet de travaux de recherche. À des fins d'études épidémiologiques, il est nécessaire de

conceptualiser l'« exposition » aux espaces verts. Ainsi nombre de caractéristiques peuvent être considérées pour bâtir cet indicateur : disponibilité, accessibilité (proximité à pieds notamment), ouvert au public, point d'accès à considérer, fréquentation et d'autres tels que le type, la taille, la qualité (sécurité, esthétique, aménités, entretien...), la fonction et les services [37].

Des indicateurs de disponibilité en espaces verts peuvent être construits à partir d'indices de végétalisation normalisé tel que le Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) obtenu par imagerie satellite à un maillage fin (30 x 30 m). Concrètement, il permet d'estimer la proportion de verdure dans un secteur donné, s'il a l'avantage d'intégrer tout type de végétation, il ne mesure ni l'accessibilité, ni la qualité de l'espace vert. Dans d'autres cas, ces indicateurs sont construits à partir du référencement des espaces verts intégrant notamment leur localisation, leur ouverture au public et les points d'entrée. Ainsi, ces indicateurs peuvent intégrer la notion d'accessibilité, notamment la proximité à l'espace vert. Elle peut s'estimer en considérant les distances ou les temps de parcours aux points d'accès, ou bien à la bordure. En revanche, il n'y pas de consensus sur le seuil de proximité et la manière de d'établir la distance. Certains pays peuvent avoir défini des seuils de carence. Par exemple en Grande-Bretagne les caractéristiques suivantes ont été retenues : espaces verts d'au moins 2 ha à moins de 300 m à vol d'oiseau (~5 min à pieds) ou espaces verts d'au moins 20 ha à moins de 2 km ou espaces verts d'au moins 500 ha à moins de 10 km et parc naturel d'au moins 1 ha pour 1 000 habitants [37]. D'autres combinaisons de surface et de distance et indicateur de « pression » (nombre d'habitants rapporté à la surface) peuvent être proposées.

À noter que l'accès aux aménités vertes se pose notamment en milieu urbain plus souvent carencé et soumis à de nombreuses pressions environnementales. Les espaces agricoles ne sont pas forcément ouverts au public, mais ils constituent un contexte favorable à la promenade et à la détente, notamment grâce aux échappées visuelles qu'ils offrent et aux chemins ruraux ou de randonnée qui les traversent. L'influence de la qualité de ces espaces ruraux sur la santé n'est pas documentée dans la littérature.

Dans le cadre du plan vert de la Région Île-de-France¹, des indicateurs de carence ont été développés tenant compte notamment du ratio d'espaces verts ou boisés ouverts au public et de l'accessibilité à ces espaces. Ces indicateurs intégraient aussi des facteurs « atténuants » enclins à diminuer la sensation de manque d'espaces verts. Ainsi, dans le cadre de cet exercice, la présence végétale forte (arbres d'alignement, jardins privés, petits espaces végétalisés) de même que la proximité aux espaces agricoles, boisés, semi-naturels ou en eau étaient considérées comme des facteurs « atténuants ».

Problématique francilienne et pertinence de l'indicateur

L'Île-de-France présente des caractéristiques très contrastées en matière d'espaces verts. Les forêts, les espaces naturels et les espaces verts urbains constituent un tiers de la surface du territoire régional mais leur répartition est très inégale, avec pour corollaire la persistance de secteurs carencés, réduisant la qualité du cadre de vie de leurs habitants. En effet, si certains territoires sont bien dotés en jardins, parcs ou forêts accessibles quotidiennement ou en fin de semaine, d'autres manquent de ces espaces et se trouvent en situation de carence, certains Franciliens disposant dans ces secteurs de moins de 10 m² d'espaces verts ouverts au public par habitant². C'est le cas de 85 % des arrondissements de Paris, 53 % des communes de petite couronne et 42 % des communes de grande couronne, insuffisamment pourvus en espaces verts de proximité.

¹ Conseil régional Île-de-France. Plan vert de l'Île-de-France : la nature pour tous et partout. Mars 2017 [en ligne] https://www.iledefrance.fr/espace-media/applis_js/rapports_cp-cr/2017-03-09/rapportsPDF/CR2017-50.pdf

² Correspond à l'objectif la quantité d'espaces verts fixé par la circulaire ministérielle du 8 février 1973, qui définit les principes, les objectifs et les moyens réglementaires et fonciers d'une politique d'espaces verts. Cet objectif est de 10 m²/habitant en zone centrale et de 25 m²/habitant en zone périurbaine.

Données retenues et construction de l'indicateur

Cet indicateur a été construit en s'inspirant des indicateurs développés dans le cadre du plan vert de la Région Île-de-France. Dans un premier temps, il a été estimé la distance piétonne moyenne de chaque point de la maille à l'espace vert ou boisé ouvert au public d'au moins 10 000 m² le plus proche, dans la limite de 3 500 mètres. Chaque distance est établie au point d'accès. Dans un deuxième temps, cette distance a été bornée entre 300 et 1200 mètres. Concernant la borne inférieure, il est considéré qu'il n'y a pas de différence de proximité entre 0 et 300 mètres ; concernant la borne supérieure, il est considéré qu'un espace vert situé à plus de 1 200 mètres, n'est plus dans le rayon de proximité d'un habitant. Cet indicateur est ensuite normalisé entre 0 et 1.

Dans un second temps, un facteur de pondération est appliqué afin de prendre en compte les spécificités de la zone rurale. En effet, ce premier indicateur n'est pas adapté à ce type de territoire. Du fait que les espaces agricoles ne rentrent généralement pas dans la catégorie des espaces ouverts au public il révèle des situations de carence en espaces verts dans ces zones alors qu'ils peuvent rendre des services équivalents. La présence de ces espaces a été considérée comme un facteur « atténuant ». Afin d'en rendre compte, un facteur de pondération a été calculé à partir de la nomenclature du Mode d'occupation du sol (MOS)¹. Ainsi, pour chaque maille a été estimé le pourcentage de MOS ouvert². L'indicateur final correspond ainsi à la distance moyenne piétonne à un espace vert ouvert au public multipliée par 1 moins % MOS ouvert.

Le tableau ci-après précise les données utilisées et le traitement appliqué. La représentation cartographique de l'indicateur final et des indicateurs intermédiaires est donnée en Annexe 3.

Tableau 8 : Construction de l'indicateur pour la composante « carence en espaces verts »

Indicateurs	Données mobilisées	Traitement
Carence en espaces verts atténuée	Distance piétonne au point d'entrée à un espace vert ou boisé ouvert au public \geq 10 000 m ² le plus proche dans un périmètre de 3 500 mètres Résolution spatiale : raster Source : Institut Paris Region, 2017 Mode d'occupation des sols (MOS 2017) en 11 postes (postes considérés : forêts, milieux semi-naturels, espaces agricoles, eau, espaces ouverts artificialisés) Résolution spatiale : parcelles Source : L'Institut Paris Region, 2017	Distance piétonne moyenne de chaque point de la maille à l'espace vert ou boisé ouvert au public d'au moins 10 000 m ² le plus proche, bornée entre 300 et 1 200 mètres et normalisée entre 0 et 1 puis pondérée par (1 - %MOS ouvert)

3.2.2. Effet d'amplification de l'aléa « vague de chaleur »

Enjeux sanitaires

En période de forte chaleur, le corps met en place des mécanismes de thermorégulation pour maintenir sa température interne autour de 36,8°C, mais au-delà d'un certain seuil, variable selon les individus, l'organisme s'épuise, entraînant une dégradation rapide de

¹ Il s'agit d'un inventaire numérique de l'occupation du sol de l'Île-de-France réalisé par L'Institut Paris Region et actualisé régulièrement. Réalisé à partir de photos aériennes qui couvrent l'ensemble du territoire régional, le MOS distingue les espaces agricoles, naturels, forestiers et urbains (habitat, infrastructures, équipements, activités économiques, etc.) selon une classification allant jusqu'à 81 postes de légende <https://www.institutparisregion.fr/mode-doccupation-du-sol-mos.html>

² code11 < 6 (1: Forêts ; 2: Milieux semi-naturels ; 3: Espaces agricoles ; 4: Eau ; 5: Espaces ouverts artificialisés)

l'état de santé. Ainsi, chaque année, on observe pendant les épisodes de chaleur une augmentation des recours aux soins et du nombre de décès. Pour les très fortes températures, on observe à l'échelle de la population une augmentation rapide de la mortalité mais la chaleur n'a pas besoin d'être extrême ni durable pour constituer un risque pour la santé. Même en dehors des épisodes caniculaires les effets de la chaleur se manifestent, atteignant les populations les plus vulnérables. Cette vulnérabilité résulte de la combinaison de facteurs sanitaires, socio-économiques et environnementaux : l'âge (les plus âgés et les plus jeunes sont les plus fragiles), la prise de médicaments... vont moduler l'efficacité de la thermorégulation ; les conditions de travail, l'accès à l'information, les capacités cognitives... vont agir sur la capacité à mettre en place des mesures de protections ; et enfin, l'environnement, l'activité physique... vont jouer sur l'exposition.

Les vagues de chaleur constituent un problème majeur de santé publique notamment avec le réchauffement climatique, déjà présent et qui s'aggravera dans les années à venir. De plus, ces épisodes de forte chaleur sont souvent associés à des niveaux importants d'ozone, dont les effets se conjuguent avec ceux de la température.

Dans une même région, les variations locales peuvent être considérables. La surmortalité liée aux vagues de chaleur est accrue dans les grandes agglomérations et on peut observer des phénomènes locaux liés à l'urbanisme tels que les îlots de chaleur (ICU). Cela désigne un microclimat généré par la concentration d'activités humaines, et se traduisant par une élévation de la température en zone urbaine par rapport aux zones rurales voisines. Ils s'expliquent par le remplacement en milieu urbain des sols nus et de la végétation par des surfaces imperméables qui s'échauffent plus facilement, par les structures urbaines qui entravent les échanges de chaleur entre le sol et l'air, et par l'émission de chaleur par les activités humaines. Les ICU entraînent donc une exposition de la population urbaine à des températures plus élevées, avec des écarts de température qui peuvent être considérables d'un quartier à l'autre. Il a été montré que les facteurs environnementaux tels que la densité du bâti environnant, la faible couverture végétale ainsi que les caractéristiques propres au logement augmentaient le risque sanitaire : risque de décès multiplié par quatre pour une chambre située sous les toits, à l'inverse un risque divisé par cinq pour les résidents de logements récents > 1975 ou anciens ayant bénéficié de travaux d'isolation [49]. Une étude menée en Île-de-France a comparé la réponse de la mortalité à la température dans les différentes communes selon leurs caractéristiques urbaines, considérées propices à la formation d'îlots de chaleur, et tenant compte des facteurs socio-économiques. Ce travail montre que le risque de mortalité liée à la chaleur est plus faible dans les communes avec le plus de végétation, le plus d'arbres, des sols moins artificialisés. À Paris et dans la petite couronne, le risque de mourir à cause d'une chaleur exceptionnelle est 18 % plus élevée dans les communes les moins arborées que dans les plus arborées [50].

Ainsi, si la prévention des risques sanitaires dus aux canicules passe par l'adoption de comportements individuels adéquats elle passe aussi par des actions sur l'environnement pour réduire la chaleur en ville : végétalisation du bâti, choix de matériaux de construction adaptés, réduction de l'artificialisation des sols en favorisant leur porosité et en redonnant une place à l'eau, action sur la morphologie et compacité des habitats dans les projets immobiliers, etc.

Populations sensibles

L'âge constitue le principal facteur de risque. La surmortalité pendant la canicule de 2003 en Île-de-France a concerné à 83 % des 75 ans ou plus (à 96 % des personnes âgées de 55 ans ou plus (à noter tout de même 200 décès en excès pour les moins de 55 ans). Des différences homme-femme sont également observées : à partir de 60 ans les femmes présentent une plus forte occurrence de troubles de la thermorégulation, notamment troubles de la sudation. Elles sont également plus nombreuses à vivre seules avec de faibles revenus. La préexistence de pathologies constitue un facteur de risque important. Il s'agit notamment des troubles mentaux avec des atteintes physiologiques, ou du fait de prise de médicaments, de la fonction thermorégulatrice), des situations de handicap (risques multipliés par 4 à 10 en fonction du degré d'autonomie), des maladies chroniques

sévères et des polyopathologies... L'isolement social, les comportements inappropriés (des populations ou du personnel soignant, par exemple il a été montré que se vêtir moins que d'habitude divisait par quatre le risque de mortalité par trois le fait d'utiliser des moyens de rafraîchissement), la défaveur sociale (corrélée à des moins bonnes conditions de logement, un état de santé plus précaire, le surpeuplement du logement) constituent d'autres facteurs de risque [49].

Données disponibles

L'Institut Paris Région a réalisé, pour l'année 2012, un travail d'identification des îlots morphologiques urbains (IMU) selon leur potentiel d'ICU, à partir d'une classification internationale des caractéristiques urbaines des îlots, les local climate zone (LCZ) [51]. La démarche, résumée ici, est largement détaillée dans les rapports de l'IAU [51,52], et les données sont accessibles en ligne (https://cartoviz.iau-idf.fr/?id_appli=imu).

L'IMU est un référentiel géographique à très fine échelle (« pâté de maisons »), documentant plusieurs caractéristiques morphologiques des zones bâties et naturelles de la région [51]. L'Institut Paris Région a défini la LCZ pour chacun des 259 844 IMU de la région. Chaque commune est composée de plusieurs dizaines d'IMU (de 22 à 996 selon la commune). La classification LCZ a été développée pour proposer un référentiel pour l'analyse des ICU et du climat urbain, et harmoniser la recherche internationale sur ces sujets [53]. Le principe est de documenter, à une échelle fine, plusieurs paramètres pouvant modifier le climat localement, puis, de classer les combinaisons possibles en dix types de LCZ « bâtis » et sept types de LCZ « naturels ». À chacun de ces types est associée une gamme d'admittance (qui exprime une facilité de transfert énergétique), d'albédo (qui exprime le pouvoir réfléchissant), et de production de chaleur anthropique, qui va favoriser ou non la survenue d'un ICU. Des campagnes de mesures menées dans différentes villes du monde ont montré que, les nuits claires et une faible vitesse de vent, on observait bien un gradient de température croissant allant des LCZ « naturels », vers les LCZ « bâtis ouverts » et « bâti compacts » [53].

À partir de la classification des IMU en LCZ, L'Institut Paris Région a noté le potentiel d'ICU nocturne et diurne de chaque IMU pour l'année 2012, en faisant des hypothèses sur le rôle des propriétés thermiques des différents paramètres documentés dans les LCZ. Il a été vérifié que cette approche par IMU/LCZ cartographiait correctement les gradients de température nocturne pendant la vague de chaleur d'août 2003 [52]. Ces travaux de L'Institut Paris Région sur la chaleur urbaine permettent de qualifier les effets de chaleur urbaine en fonction des caractéristiques d'urbanisme au niveau local de l'îlot (« pâté de maisons »). Cette interprétation a été faite sur l'état d'occupation du sol 2012. Cet effet d'ICU est qualifié selon deux scores correspondant d'une part à l'effet d'ICU le jour (de -7 à +18) et d'autre part à l'effet d'ICU la nuit (de -4 à +24). Les scores négatifs ou nuls correspondent à un effet rafraîchissant, plus le score est élevé, plus l'effet d'amplification de l'aléa « vague de chaleur » est fort. Le tableau ci-après présente ces scores en quatre classes.

Tableau 9 : Nombre d'îlots par nature d'effet ICU en Île-de-France

Nombre d'îlots		Effet d'ICU le jour			Effet d'ICU la nuit		
Type d'effet	Regroupement	Notes	Nb d'IMU	%	Notes	Nb d'IMU	%
Effet de fraîcheur	Classe 1	de -7 à 0	82 756	34,9%	de -4 à 0	138 257	58,3%
Faible effet d'ICU	Classe 2	de 1 à 6	125 631	53,0%	de 1 à 6	73 109	30,8%
Effet d'ICU moyen	Classe 3	de 7 à 12	27 042	11,4%	de 7 à 12	15 697	6,6%
Effet d'ICU fort	Classe 4	de 13 à 18	1 732	0,7%	de 13 à 24	10 098	4,3%
Total			237 161	100%		237 161	100%

Problématique francilienne et pertinence de l'indicateur

L'Île-de-France présente à la fois un environnement très minéralisé avec de hauts immeubles, des habitats collectifs récents ou des centres anciens avec un peu de végétation, des espaces verts de tailles variées, des habitats collectifs et individuels...

La région a été particulièrement touchée par l'épisode de 2003 qui a causé en 15 jours, près 5 000 décès en excès ce qui représente plus du doublement du nombre de décès attendus (+ 134 % en Île-de-France vs + 60 % en France).

Données retenues et construction de l'indicateur

L'indicateur d'amplification de l'aléa « vague de chaleur » a été construit à partir du score d'effet d'ICU nocturne. Les scores correspondant à la classe 1 « effet de fraîcheur » (notes de -7 à 0) ont tous été ramenés à 0 afin de ne considérer que l'absence d'effet d'ICU.

Le score est ensuite agrégé sur la maille de référence en effectuant la moyenne par ratio surfacique des scores de chaque IMU, puis normalisé entre 0 et 1.

Le tableau ci-après précise les données utilisées et le traitement appliqué. La représentation cartographique de l'indicateur est donnée en Annexe 3.

Tableau 10 : Construction de l'indicateur pour la composante « aléas ICU »

Indicateurs	Données mobilisées	Traitement
Amplification de l'aléa « vague de chaleur »	Score d'aléa ICU nocturne (de -4 à +23)	Moyenne par ratio surfacique
	Résolution spatiale : îlots morphologique urbain	
	Source : L'institut Paris Region, 2017	

3.2.3. Territoire favorable à la marche quotidienne

Enjeux sanitaires

Les effets favorables de l'activité physique en matière de prévention de pathologies chroniques (maladies cardiovasculaires, diabète de type 2, cancers, etc.) sont aujourd'hui démontrés par de nombreuses études. Les bénéfices à court, moyen et long termes, résultent d'adaptations systémiques, hormonales, métaboliques, dont les effets préventifs concernent l'ensemble des composantes de la santé (physique, mentale, vie sociale) [54]. Faible, modérée, intense, l'activité physique revêt des formes diverses, et s'exerce dans les contextes du travail, des transports, des activités domestiques ou de loisirs. Inversement, la sédentarité, d'autant plus si elle est couplée à une mauvaise alimentation, est considérée comme un facteur de risque majeur des principales maladies chroniques (maladies cardio-vasculaires, obésité, diabète, hypertension, certains cancers...).

Le lien entre niveau d'activité physique et l'environnement urbain a fait l'objet de nombreux travaux dont la plupart pointent des éléments spécifiques de l'environnement bâti. Ces études montrent que ces caractéristiques de l'environnement bâti influencent le niveau d'activité physique de la population et notamment la marche, qui occupe une place de choix parmi les sources d'activité physique recommandées par les institutions [55]. Il est ainsi question de « marchabilité » des territoires qui est une traduction littérale de l'expression anglophone « walkability » et peut être définie comme la capacité d'un territoire à susciter la pratique de la marche. Par ailleurs, de nombreux travaux ont examiné les liens entre « marchabilité » et divers indicateurs de santé tels que diabète de type 2, hypertension, maladies cardiovasculaires... Ils ont mis en évidence des effets positifs d'un environnement favorable à la marche [56–61].

Populations sensibles

Bien que pratiquée par tout le monde, la marche évolue avec l'âge. Très majoritaire chez l'enfant, qui réalise plus de 60 % de ses déplacements à pied entre 5 et 14 ans, la pratique de la marche diminue ensuite entre 15 et 64 ans puis augmente à partir de 65 ans, suivant la courbe inverse de l'usage de l'automobile. En revanche, les enfants et les seniors sont

essentiellement de petits marcheurs, cumulant moins d'un kilomètre à pied par jour, alors que les marcheurs d'âge médian, bien que plus rares, sont plus souvent de grands marcheurs, dépassant pour un quart d'entre eux les 2 km à pied par jour. Les besoins de ces catégories de population tant en matière d'équipements et de services qu'en matière de qualité des aménagements piétons sont très différents. La marche chez les jeunes est très liée à l'accessibilité des équipements scolaires et à la capacité des parents à accompagner leurs enfants à leurs activités en voiture. La marche chez les seniors est en revanche fortement impactée par la centralité et l'accessibilité aux commerces de proximités et aux équipements de santé, ainsi qu'à la qualité des aménagements piétons [62].

Données disponibles

Le concept de « marchabilité » est un objet complexe qui peut être abordé sous de multiples angles. Il n'existe pas de définition standardisée. Elle se mesure en prenant en compte des éléments qui favorisent la marche : les caractéristiques qui rendent un milieu propice à la marche (en particulier celles relatives au confort et à la sécurité des piétons), l'accès des personnes à des destinations variées dans un délai raisonnable et la qualité des itinéraires piétons (intérêt visuel par exemple). Les attributs environnementaux se rapportant à la « marchabilité » sont les suivants : densité résidentielle, densité d'intersections des rues, nombre de destinations locales, existence de trottoirs, accessibilité des transports en commun... À noter que la proximité et multiplicité des destinations constituent non seulement une incitation à la marche, mais aussi potentiellement la caractéristique d'un environnement agréable qui favorise également la marche récréative. D'autres critères peuvent être pris en compte : la sécurité routière, l'esthétique, la qualité des trottoirs, la présence de barrières physiques... Plusieurs indicateurs disponibles pour l'Île-de-France ont été identifiés.

L'outil Walk Score est un outil commercial, accessible en ligne¹ conçu par une société de développement de logiciels pour accompagner les recherches immobilières. Il quantifie la « marchabilité » du lieu de résidence choisi, avec un indice de proximité entre ce lieu et un panel de services et d'activités [63]. Pour chaque adresse, cet outil analyse des centaines d'itinéraires vers des aménités à proximité. Un système de scores basés sur la proximité à chaque grande catégorie d'aménités (sans pondération), le score est maximum pour les aménités situées à moins de 5 minutes de marche et décroît jusqu'à la valeur nulle pour les destinations à plus de 30 minutes de marche. Le score intègre également dans une certaine mesure la qualité des cheminements piétonniers en intégrant des données sur la densité de population, la densité des intersections et la longueur des pâtés de maison. Plusieurs travaux épidémiologiques ont mobilisé le Walk Score comme indicateur de « marchabilité » et ont mis en évidence des liens entre des scores élevés et une activité physique plus intense et/ou un meilleur état de santé [56,57,64–66].

Une récente étude a été menée la Direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement d'Île-de-France (Driea) en partenariat avec l'Agence régionale de santé d'Île-de-France (ARS), pour quantifier le lien entre l'aménagement du territoire, la pratique de la marche transport (ou marchabilité) et la santé [67]. À cet effet, un indicateur de marchabilité a été modélisé en prenant en compte plusieurs paramètres spatiaux (longueur des trottoirs (connectivité du réseau viaire), surface de végétation, distance au centre de Paris, diversité des équipements, vitesse limitée à 30 km/h) et en s'appuyant sur les observations tirées de l'enquête ménage déplacement d'Île-de-France, l'Enquête globale transport (EGT) de 2010. Cet indicateur a été obtenu à une maille de 400 mètres de côté. Si cet indicateur peut constituer un outil d'aide à la décision et alimenter le plaidoyer à destination des acteurs de l'aménagement du territoire, l'étude conclut toutefois qu'il n'est pas adapté pour la comparaison de territoires aux caractéristiques très différentes.

¹ Walk Score [en ligne] <https://www.walkscore.com/>

L'Institut Paris Region a par ailleurs développé son propre indicateur [68]. Il s'agit d'un score d'accessibilité à pied calculé au carreau Insee (200 m x 200 m) : pour chaque carreau, le score est obtenu en pondérant tous les équipements, services, commerces, gares et stations accessibles à pied à moins de 3 km par le temps nécessaire pour les atteindre. Un carreau a un score d'autant plus important que le nombre de destinations possibles à pied dans sa proximité immédiate est grand. La finesse de la trame viaire¹ est prise également en compte par le nombre d'intersections présentes au sein du carreau. L'indice obtenu a ensuite été normé entre 0 et 20 suivant une échelle lognormale.

Problématique francilienne et pertinence de l'indicateur

Grâce à un maillage de polarités structuré et un réseau de transport en commun efficace, l'Île-de-France est l'une des régions les plus marchées au monde, même en lui excluant Paris, ville atypique de par son exceptionnelle densité [62], néanmoins 30,5 % des personnes âgées de 18 à 75 ans présentent un niveau d'activité physique limité, considéré par l'OMS comme entraînant des conséquences néfastes sur la santé.

La marche à pied est pratiquée en moyenne partout en Île-de-France, toutefois, il existe une assez grande hétérogénéité de comportements entre des secteurs de même morphologie. À l'intérieur même de Paris, ou au sein de la petite couronne, on observe des mobilités piétonnes moyennes allant du simple au double. Naturellement, la densité du tissu urbain impacte fortement la marchabilité du territoire. Mais de nombreux autres facteurs influent également. Certains secteurs, bien équipés et bien aménagés, permettent une forte pratique de la marche à tout âge, mais d'autres territoires marquent un net déséquilibre entre la pratique des jeunes et celle des seniors. Il se dégage ainsi des territoires très favorables à la marche des jeunes, mais très peu à celle des personnes âgées [62].

Données retenues et construction de l'indicateur

Pour des raisons de disponibilité de l'indicateur, il a été retenu le score d'accessibilité à pied développé par L'Institut Paris Région. Ce score est agrégé sur la maille de référence en effectuant la moyenne par ratio surfacique des scores estimés au carreau Insee, puis normalisé entre 0 et 1. La particularité de cet indicateur est qu'il constitue une composante positive. Ainsi, plus le score est élevé, plus le territoire est favorable à la marche quotidienne. Il est ainsi considéré comme un facteur de compensation dans le score de dégradation du cadre de vie qu'il viendra atténuer d'autant plus qu'il est élevé.

Le tableau ci-après précise les données utilisées et le traitement appliqué. La représentation cartographique de l'indicateur est donnée en Annexe 3.

Tableau 11 : Construction de l'indicateur pour la composante « Territoire favorable à la marche quotidienne »

Indicateurs	Données mobilisées	Traitement
« Territoire favorable à la marche quotidienne »	Score d'accessibilité à pied	
	Résolution spatiale : carroyage Insee (maille de 200 mètres de côté)	Moyenne par ratio surfacique
	Source : L'Institut Paris Region, 2018	

¹ La densité d'intersection reflète la connectivité entre les itinéraires piétons. Le manque de connectivité est considéré comme un frein à la marche.

4 | LES COMPOSANTES DE LA VULNÉRABILITÉ DE LA POPULATION RETENUES

Comme défini précédemment, la vulnérabilité dépend de la sensibilité des individus, de l'exposition à une substance et de la difficulté à faire face. Ainsi, afin de moduler le risque sanitaire lié aux expositions aux facteurs environnementaux, les caractéristiques de la population exposée sont prises en compte au travers de deux indicateurs composites, un premier indicateur reflétant la sensibilité individuelle et un second reflétant la difficulté à faire face. Ces deux indicateurs ne porteront que sur les mailles peuplées.

4.1. Sensibilité de la population

Enjeux sanitaires

En épidémiologie ou en toxicologie, la sensibilité (ou susceptibilité) est définie comme la probabilité pour un individu de produire une réponse bien plus importante que la moyenne s'il est exposé à une substance. Cette dernière peut être innée ou acquise.

La sensibilité innée peut être due à une prédisposition génétique et on parlera de susceptibilité d'origine génétique ou à un développement incomplet des fonctions physiologiques normales (d'une personne adulte). Par exemple, un jeune enfant peut être sensible à une substance donnée dans la mesure où ses processus de désintoxication ne se sont pas encore totalement développés. Une telle susceptibilité est transitoire et disparaît avec l'âge et la croissance.

La sensibilité acquise, quant à elle, peut être due à une maladie (par exemple, insuffisance hépatique) ou à l'âge, ainsi les personnes âgées sont généralement plus sensibles aux agressions de l'environnement.

Les enjeux relatifs aux facteurs environnementaux retenus pour cette analyse ont été décrits précédemment (voir § 3) et lorsque des données étaient disponibles les populations sensibles ont été précisées. L'âge est un des critères qui revient presque systématiquement, le deuxième paramètre est la préexistence de maladies chroniques.

Données retenues et construction de l'indicateur

Les indicateurs relatifs à la catégorie d'âges sont construits à partir des données du recensement de l'Insee et considèrent d'une part, la proportion des enfants de 0 à 5 ans et d'autre part, celle des 65 ans et plus au sein des territoires. Cette donnée est disponible à l'échelle de l'Iris et a été agrégée à la maille de référence en lui attribuant la valeur de l'Iris, ou Iris majoritaire (en surface)¹, correspondant.

L'Assurance maladie, la Caisse nationale d'assurance maladie (CNAM) propose une « cartographie »² des bénéficiaires du régime général (RG) ou d'une section locale mutualiste (SLM) en fonction de certaines prises en charge pour des pathologies, événements de santé ou traitements fréquents, graves ou coûteux, repérables dans le système national des données de santé (SNDS)³. Outre l'analyse de la répartition et la dynamique des dépenses, elle a pour objectif de décrire les effectifs et fréquences des

¹ Dans la mesure où une maille se situe à cheval sur plusieurs Iris, la valeur de l'Iris majoritaire en surface lui est affecté.

² CNAM. Direction de la stratégie, des études et des statistiques. [en ligne] Méthodologie médicale de la cartographie des pathologies et des dépenses, version G7 (années 2012 à 2018) Accessible : https://assurance-maladie.ameli.fr/sites/default/files/2020_methode-reperage-pathologies_cartographie.pdf_ (consulté le 17 janvier 2021)

³ SNDS [en ligne] Accessible : <https://www.snds.gouv.fr/SNDS>

patients bénéficiant de ces prises en charge au sein de la population générale¹. Ainsi ont été définis des algorithmes de repérage des prises en charge pour des pathologies, événements de santé ou traitements à partir des données médico-administratives du SNDS, comprenant les données du PMSI pour 56 « pathologies » ou groupes de pathologies regroupé dans 13 grandes catégories de « pathologies ».

Tableau 12 : Catégories de pathologies issues de la cartographie des pathologies de l'Assurance maladie retenues pour la construction de l'indicateur de sensibilité

Catégories de « pathologies »	Catégories retenues pour l'indicateur
Maladies cardio-neurovasculaires	oui
Traitements du risque vasculaire	non
Diabète	oui
Cancers	oui
Pathologies psychiatriques	oui
Traitements psychotropes	non
Maladies neurologiques et dégénératives	oui
Maladies respiratoires chroniques	oui
Maladies inflammatoires, maladies rares et virus de l'immunodéficience humaine (VIH) ou sida	oui
Insuffisance rénale chronique terminale (IRCT)	oui
Maladies du foie ou du pancréas	oui
Autres affections de longue durée (dont 31 et 32)	oui
Maternité	non

À partir du nombre de cas estimés pour ces grandes catégories, à l'exclusion des trois catégories « Traitements du risque vasculaire », « Traitements psychotropes » et « Maternité », a été construit un indicateur communal de prévalence de pathologie chronique.

Le tableau ci-après précise les données utilisées et le traitement appliqué. La représentation cartographique de l'indicateur est donnée en Annexe 3 .

Tableau 13 : Construction de l'indicateur pour la composante "sensibilité de la population"

Indicateurs	Données mobilisées	Traitement
Part des 0-5 ans et part des 65 ans et plus	Effectifs de population Résolution spatiale : Iris Source : Insee, RP 2016	Transformation à la maille : correspondance Iris majoritaire en surface
Taux de pathologies chroniques	Cartographie des pathologies Résolution spatiale : commune Source : Assurance maladie, SNDS, 2019	Transformation à la maille : correspondance code Insee majoritaire en surface

¹ La cartographie des pathologies inclut tous les bénéficiaires de l'Assurance maladie, tous régimes confondus. Pour l'estimation du dénominateur, il a été considéré les consommateurs des trois dernières années.

4.2. Difficulté à faire face

Enjeux sanitaires

Les « dispositions sociales » conditionnent la capacité de réponse des individus, groupes ou communautés tant à l'imprévu (crise) qu'aux difficultés quotidiennes (ordinaire) et *in fine* leur fragilité. Elles conditionnent en effet les modes de régulation à l'échelle individuelle comme collective pour régler le problème : des décisions, des ressources, des dispositifs sociotechniques ou institutionnels, des mesures d'action dont la mise en œuvre ou l'usage qui n'ont de sens que replacés dans les autres formes de régulation inhérentes à la vie quotidienne ordinaire de la communauté. Le contexte politique des décisions ou les normes sociales du lieu où elles prennent corps sont des aspects particulièrement importants.

La répartition des groupes sociaux dans l'espace est très variable quelle que soit l'échelle d'analyse retenue. En fonction des coûts fonciers variés ou des niveaux d'attractivité territoriale s'exprimant différemment d'un groupe social à l'autre, de mécanismes d'évitement ou de discrimination, de véritables ségrégations socio-spatiales se mettent en place et participent à la division sociale de l'espace prenant des formes particulières au sein de chaque ensemble urbain ou régional. La création d'indicateurs socio-économiques, tels que les indicateurs de défaveur sociale, permet de synthétiser ces organisations socio-spatiales à différentes échelles. Ils sont constitués pour intégrer la forme matérielle (niveaux de revenus, possession de biens...) et la forme sociale (participation à la vie sociale, liens au sein d'une famille, position au sein d'une communauté, ...) des populations vivant sur des territoires. Il existe de nombreux indices composites construits à partir de ces dimensions matérielles et sociales et agrégés à un certain niveau géographique. Si, de tels indicateurs sont généralement mobilisés pour explorer les inégalités territoriales, environnementales et sociales de santé à travers le croisement des indicateurs de défaveur sociale et d'exposition, ils peuvent être aussi mobilisés comme indicateurs de la difficulté à faire face.

Données retenues et construction de l'indicateur

Dans le cadre de ce travail il a été retenu l'indice de défaveur sociale appelé Fdep développé par une équipe de l'Inserm [69,70] et régulièrement mobilisé dans les études épidémiologiques et les travaux d'analyse spatiales de la défaveur sociale. Cette donnée est disponible à l'échelle de l'Iris et a été agrégée à la maille de référence en lui attribuant la valeur de l'Iris, ou Iris majoritaire (en surface), correspondant.

Le tableau ci-après précise les données utilisées et le traitement appliqué.

Tableau 14 : Construction de l'indicateur pour la composante « capacité à faire face »

Indicateurs	Données mobilisées	Traitement
Indicateur de défaveur sociale	Fdep (indicateur composite) Résolution spatiale : Iris Source : Insee RP 2015 exploitation Université Nanterre -LADYSS	Transformation à la maille : correspondance Iris majoritaire en surface

5 | IDENTIFICATION DES SECTEURS À ENJEUX

LES POINTS ESSENTIELS

- > Ces scores composites permettent de hiérarchiser les secteurs les uns par rapport aux autres. Leur représentation géographique fait ressortir les mailles où les expositions environnementales sont particulièrement prégnantes ainsi que les mailles où l'enjeu sanitaire lié aux expositions environnementales est d'autant plus fort que les populations impactées sont vulnérables ;
- > La distribution du score d'environnement au sein des mailles et selon la population exposée ainsi que les contributions des différentes composantes au score final (le poids de chaque composante individuelle) permettent de mieux appréhender la signification de ce score.

5.1. Qualité de l'environnement

5.1.1. Identification des secteurs à enjeux environnementaux

La figure ci-après présente le score d'environnement sous forme cartographique (Figure 10 p. 60). Le score est ici discrétisé en dix classes d'intervalle égal.

Cette carte fait ressortir les secteurs à proximité des plateformes aéroportuaires de Roissy et Orly, ainsi que les axes importants de trafic routier, et plus particulièrement le périphérique parisien, le secteur de Wissous, Chilly-Mazarin et Champlan situé au sud-ouest de l'aéroport d'Orly, celui de la boucle de Seine autour de Gennevilliers ainsi que celui de Mantes-la-Jolie plus en aval.

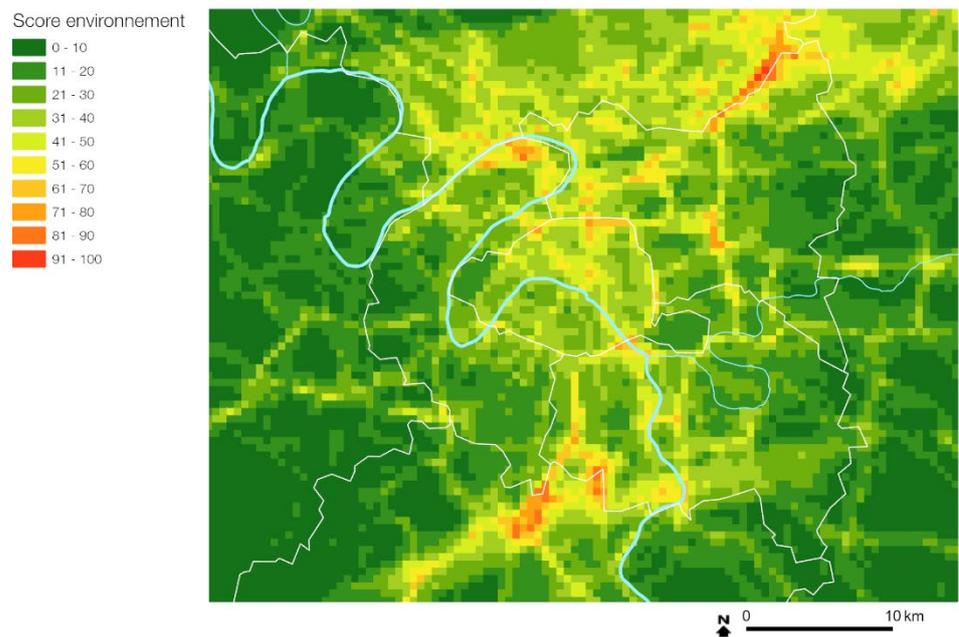
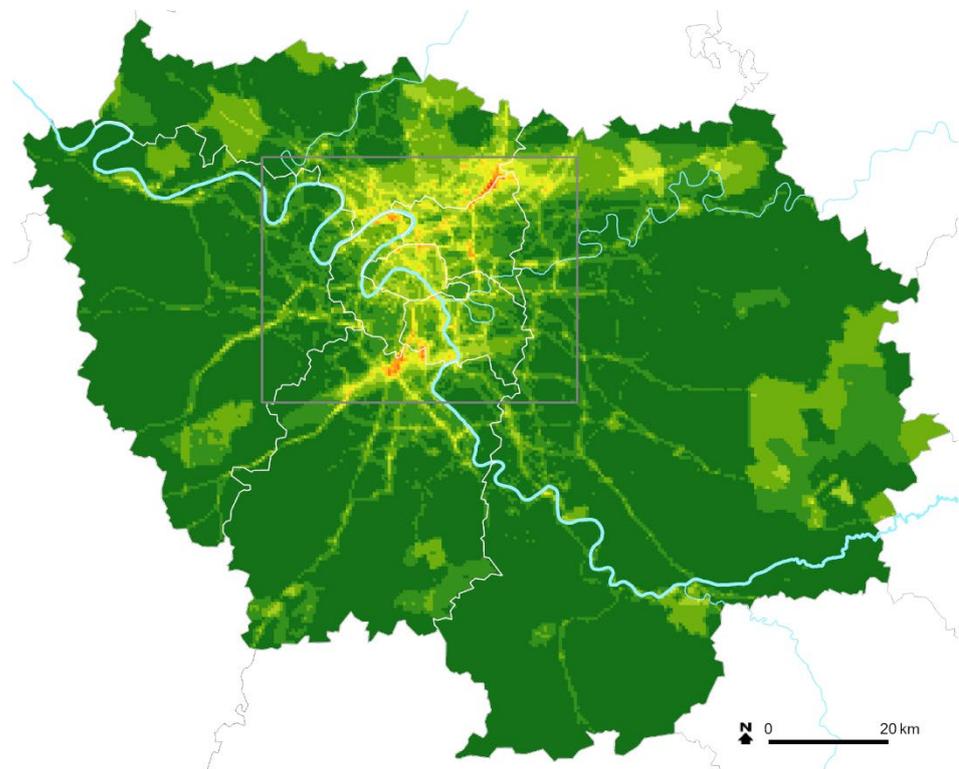
D'une manière générale, cette carte fait ressortir la zone dense ainsi que les couloirs de survol aérien. En grande couronne, des scores dégradés apparaissent sous forme de « tâches » correspondant au zonage des unités de distribution d'eau de consommation dénotant une moins bonne qualité de l'eau distribuée dans ces secteurs.

Afin de mieux appréhender la signification de ce score et sa distribution, ses caractéristiques sont détaillées ci-après. En premier lieu, est analysée la distribution du score au sein des mailles et selon la population exposée et en second lieu sont analysées les contributions des différentes composantes au score final (le poids de chaque composante individuelle).

Tableau 15 : Distribution du score d'environnement au sein des mailles (n = 48 825)

	Min	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Max	Moy
Score d'environnement	0	2,6	5,0	14,7	24,7	33,0	48,8	100	10,1

Figure 10 : Représentation cartographique du score d'environnement



© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021
Source : Airparif, Bruitparif, Drieat, ARS, L'Institut, Insee
Exploitation L'Institut, ORS Île-de-France

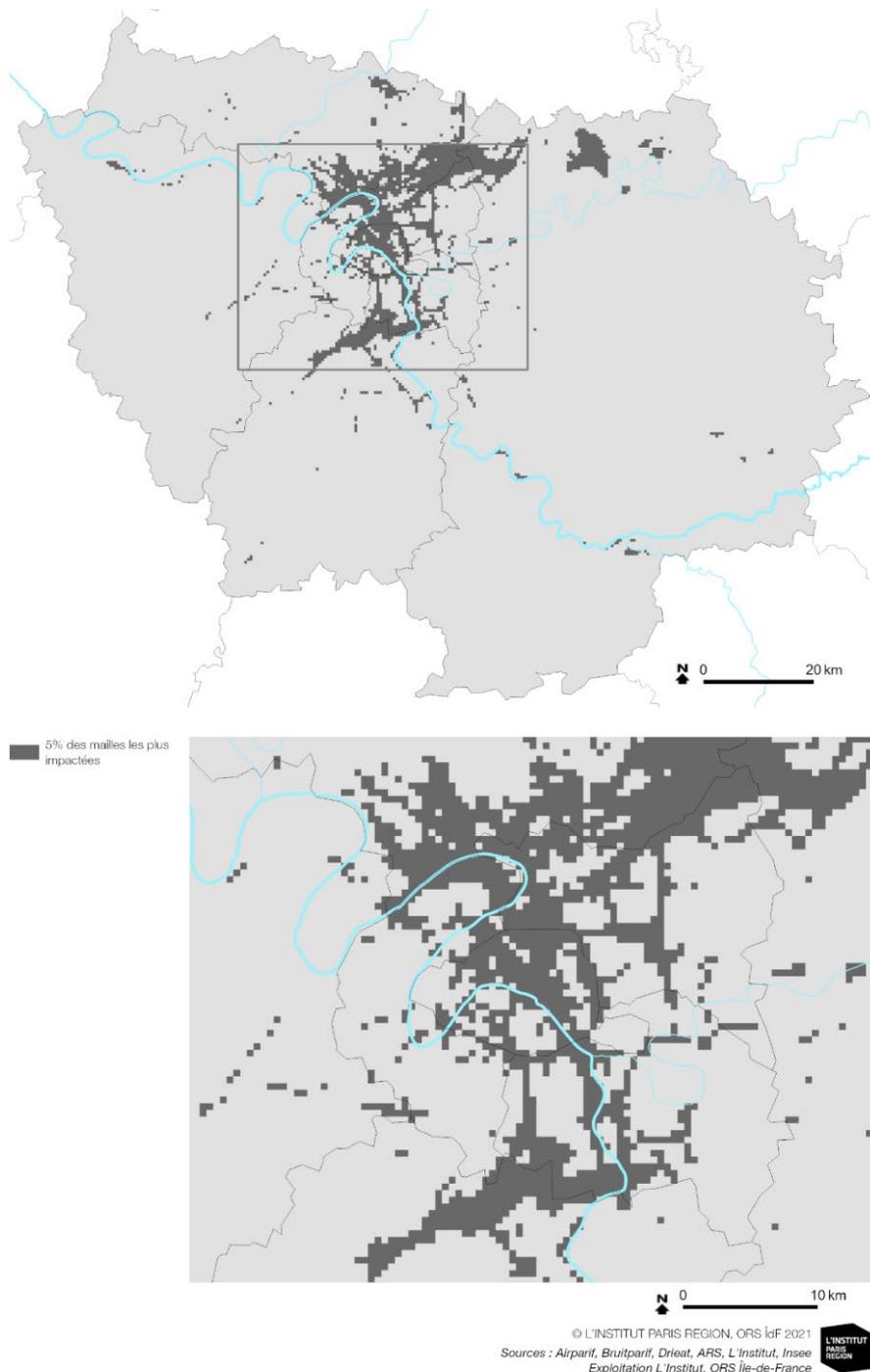
5.1.2. Mailles les plus impactées

Il est proposé ici de réaliser un focus sur les mailles les plus impactées. Cela nécessite de définir un seuil. À cet effet sont considérés les 5 % de mailles (soit 2 443 mailles) qui ont le score le plus élevé, ce qui correspond au seuil de 33.

Ce choix, arbitraire, a vocation à proposer une représentation synthétique pour une lecture facilitée de la carte précédente, illustrée ci-après (Figure 11), mais ne correspond aucunement à un seuil de risque.

Dans la même idée, afin d'affiner encore le criblage des secteurs les plus impactés, deux autres seuils, tenant compte cette fois-ci de la présence de population, seront également proposés dans la suite de ce rapport (cf. chapitre 5.3 p. 71).

Figure 11 : Représentation cartographique des mailles les plus impactées (score d'environnement ≥ 33)



5.1.3. Contribution des différentes composantes

Le tableau ci-après détaille la distribution de la contribution de chacune des six composantes au score final (Tableau 17). Ainsi, en moyenne les composantes « air » et « cadre de vie » contribuent au score final à part égale à hauteur de 37 %, le bruit à hauteur de 15 %, l'eau de 8 % et la pollution des sols d'origine industrielle et les industries à près de 1 %.

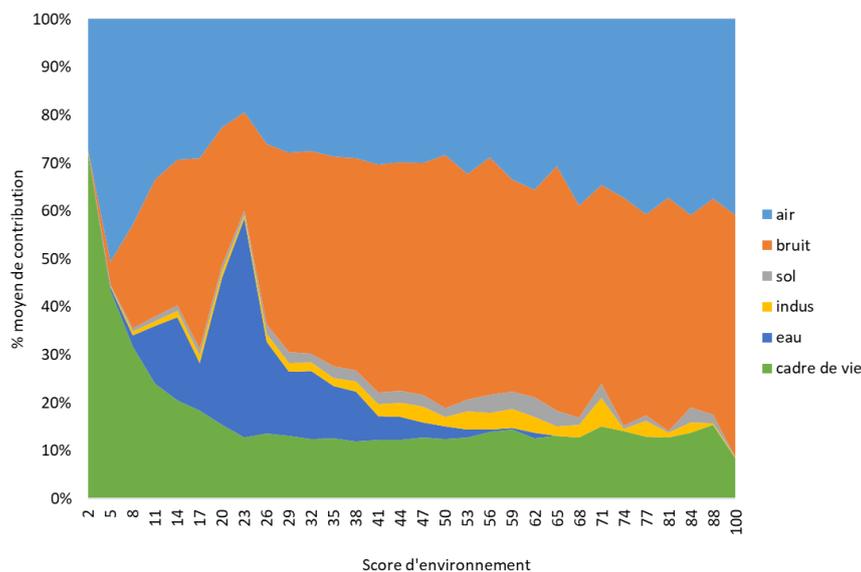
Tableau 16 : Contribution moyenne de chacune des six composante au score d'environnement et nombre de mailles impactées

Composantes	Contribution moyenne (%)	Nombre de mailles impactées
air	37,3	48 825
bruit	15,4	22 611
sol	0,7	8 324
industries	0,7	3 902
eau	8,4	6 384
cadre de vie	37,5	48 825

Grille de lecture : la composante « air » contribue en moyenne à 37,3 % du score final.

Ces proportions relatives étaient parfaitement attendues, en effet les composantes qui ont une distribution approchant une loi normale vont peser beaucoup plus sur la moyenne globale que celles qui ont une distribution marquée par de fortes valeurs beaucoup plus ponctuelles formant une longue queue de distribution, qui elles, pèseront sur les scores extrêmes. Ainsi, la contribution moyenne a été analysée pour toute la gamme de scores de 0 à 100. Le graphique ci-après permet de visualiser l'évolution des contributions respectives de 6 composantes lorsque le score augmente (Figure 12).

Figure 12 : Pourcentage moyen de contribution des différentes composantes au score environnement en fonction du score



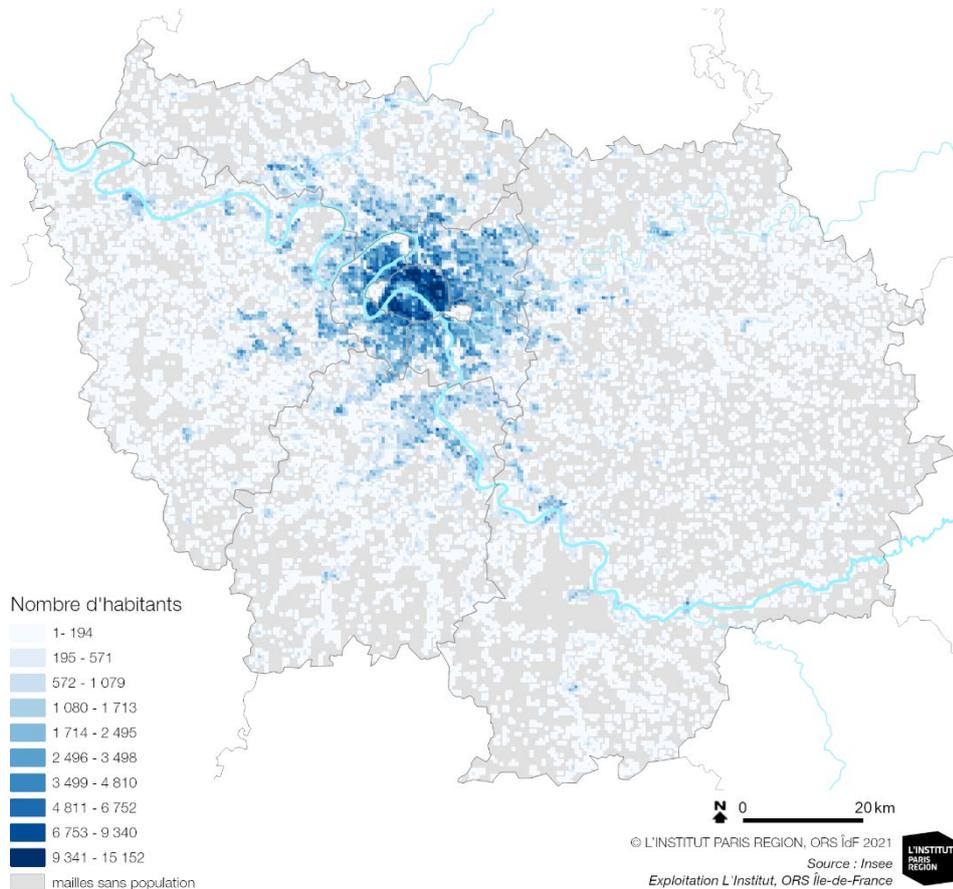
Ainsi, lorsque le score augmente, la contribution de la composante « cadre de vie » diminue fortement et se stabilise autour de 10 % alors que celle du bruit augmente jusqu'à prendre une part prépondérante, celle de l'air reste à peu près stable et celle de l'eau s'efface pour les scores très élevés (>40). La contribution des composantes « sol » et « industrie » est plus significatives pour les scores élevés. Enfin, à noter que pour les scores extrêmes (>90), si la composante « cadre de vie » tient encore une part, seules subsistent les composantes air et bruit.

5.2. Prise en compte de la population

5.2.1. Répartition de la population résidente

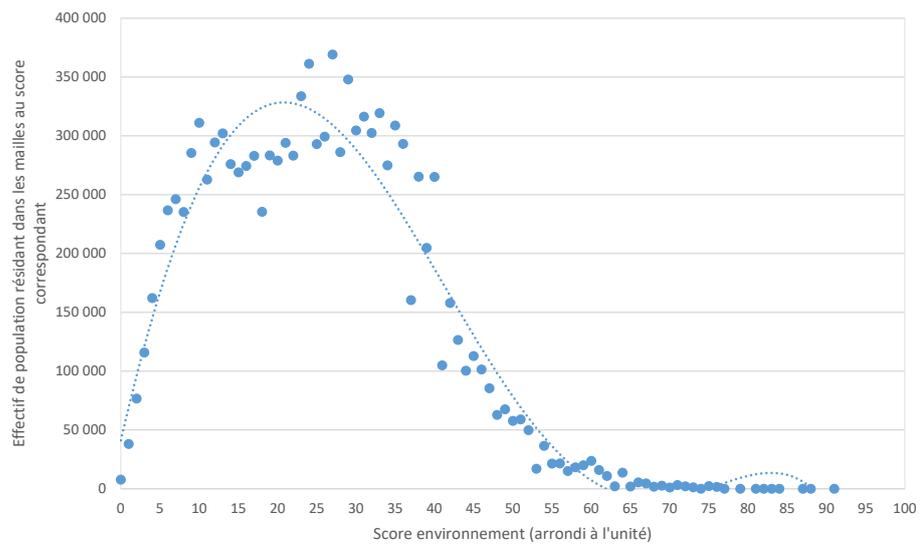
Environ 56 % des mailles ne comptent aucun habitant, 50 % des mailles habitées ont moins de 70 habitants et 10 % des mailles ont plus de 1 600 habitants, les 1 % les plus peuplées ont plus de 6 300 habitants, le maximum se situant à environ 15 150. Les mailles sont donc très hétérogènes du point de vue de l'importance de la population. La distribution de la population est représentée ci-après sous forme cartographique (voir Figure 13).

Figure 13 : Nombre d'habitants (Insee, RP 2016) à la maille (seuil de Jenks)



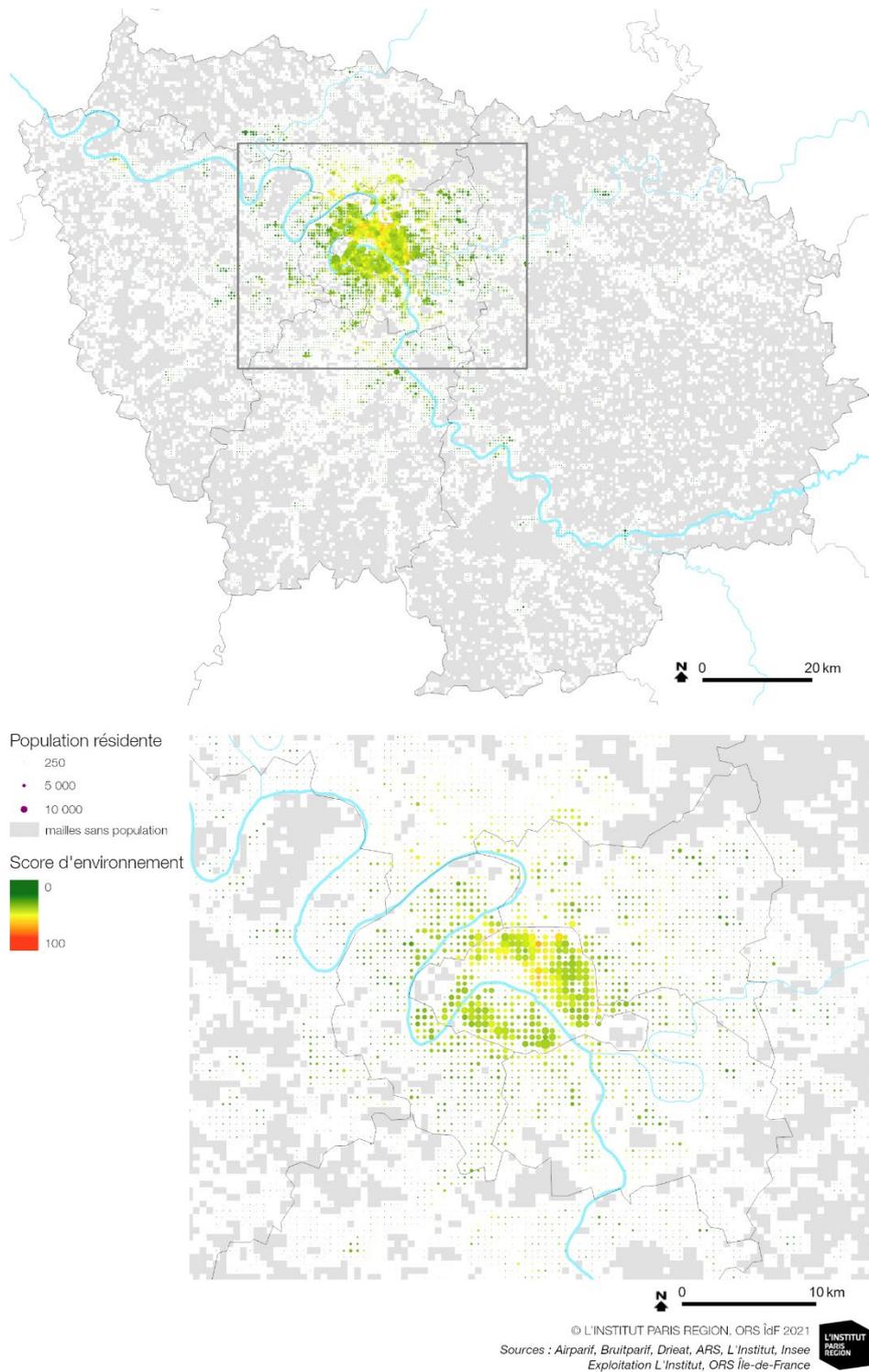
Le score d'environnement a été croisé avec la présence de population. La figure ci-après représente l'effectif de population exposée pour chaque unité du score environnement. L'exposition se distribue selon une gaussienne avec une queue de distribution, indiquant que les scores les plus élevés touchent une faible part de la population mais certaines mailles habitées affichent des scores très importants.

Figure 14 : Effectif de population exposée selon le score à la maille



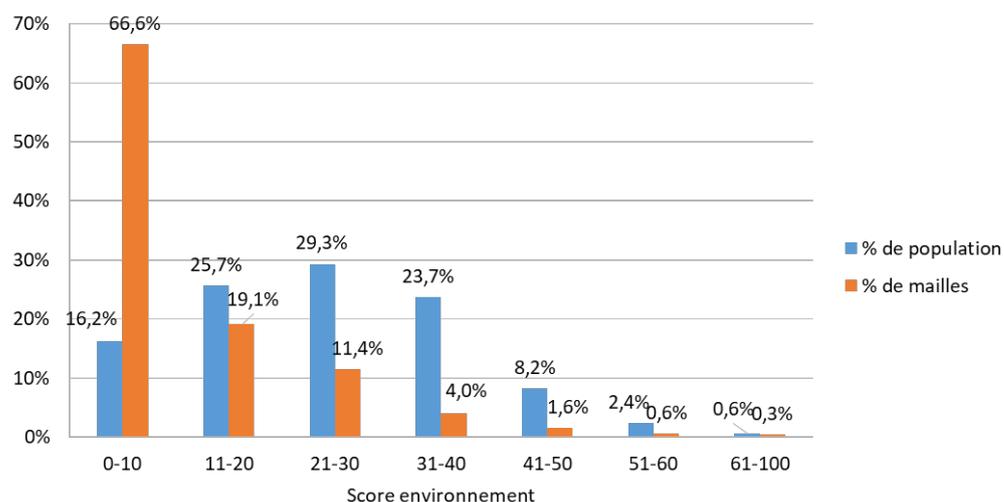
La carte ci-après permet de visualiser la carte du score d'environnement proportionnellement au peuplement, faisant ainsi ressortir les mailles les plus peuplées (Figure 15).

Figure 15 : Représentation cartographique du score d'environnement et densité de population résidente



La figure ci-dessous indique les pourcentages de mailles et parts de population correspondant aux différentes gammes de score d'environnement (Figure 16)

Figure 16 : Proportion de mailles et part de population exposée selon le score d'environnement



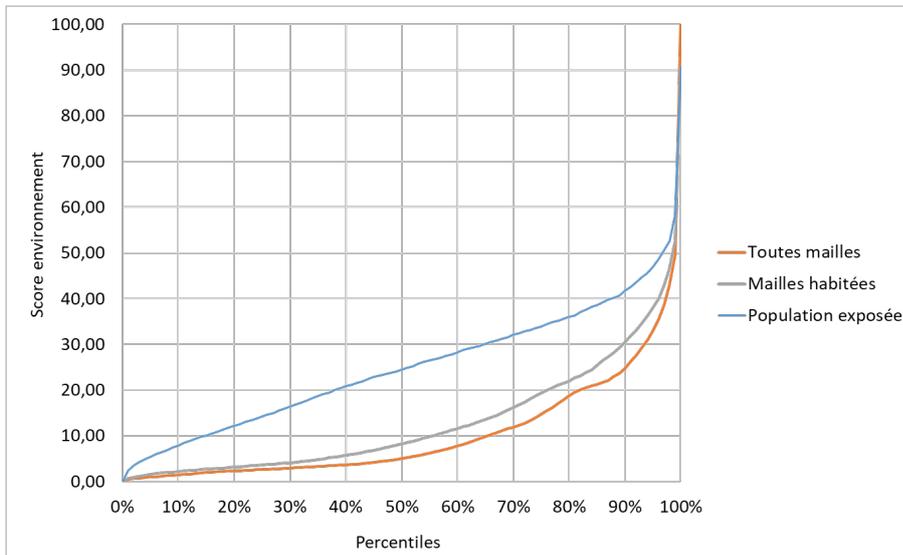
Ainsi la valeur du score n'aura pas la même signification que l'on considère sa distribution sur l'ensemble des mailles ou bien uniquement sur les mailles habitées ou encore que l'on considère sa distribution en pondérant par la présence de population. Afin de mieux appréhender ce score, trois distributions en percentiles sont proposées.

Tableau 17 : Distribution du score d'environnement au sein de l'ensemble des mailles (n= 48 825) et mailles habitées (n = 21 651)

Mailles	Pondération	Min	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Max	Moy
Toutes	-	0	2,6	5,0	14,7	24,7	33,0	48,8	100	10,1
Habitées	-	0	3,6	8,2	19,4	30,4	38,0	52,8	90,7	12,8
Habitées	densité de population	0	14,2	24,5	33,9	41,7	46,9	58,3	90,7	24,9

La figure suivante permet de visualiser ces percentiles sous forme graphique (Figure 17). Les valeurs correspondantes sont présentées en Annexe 5.

Figure 17 : Percentiles de la distribution du score environnement au sein des mailles et selon l'importance de la population exposée



L'analyse de ces distributions indique que les mailles habitées ont en moyenne des scores plus élevés comparés à l'ensemble des mailles et que la population est plus concentrée dans les mailles aux scores les plus élevés de la distribution.

5.2.2. Mailles habitées les plus impactées

Comme évoqué au chapitre 5.1.2, il est proposé de réaliser un focus sur les mailles habitées les plus impactées en nombre et en population exposée. Le tableau ci-après indique les scores correspondant pour différents seuils de score afin de situer le seuil à 5 % comme retenu précédemment.

Tableau 18 : Description des mailles habitées les plus impactées et correspondant à la population la plus exposée et scores associés

	Mailles habitées				Population			
	25 %	10 %	5 %	1 %	-	-	5 %	1 %
% les plus impactées (scores les plus élevés)	25 %	10 %	5 %	1 %	-	-	-	-
% de population la plus exposée	-	-	-	-	25 %	10 %	5 %	1 %
Score d'environnement	19,4	30,4	38,0	52,9	33,8	46,8	46,9	58,1
Nombre de mailles concernées	5 406	2 174	1 088	219	1 618	741	645	132

Ainsi, sont considérées comme mailles les plus impactées les mailles répondant aux critères suivants :

- 1) score $\geq 38,0$ soit les 5 % de mailles habitées les plus impactées ;
- 2) score $\geq 46,9$ soit les 5 % de la population la plus exposée.

Les deux cartes suivantes représentent en gris foncé uniquement les mailles dont le score dépasse respectivement le seuil de 38,0 et de 46,9.

Figure 18 : Représentation cartographique des mailles habitées les plus impactées (score d'environnement ≥ 38)

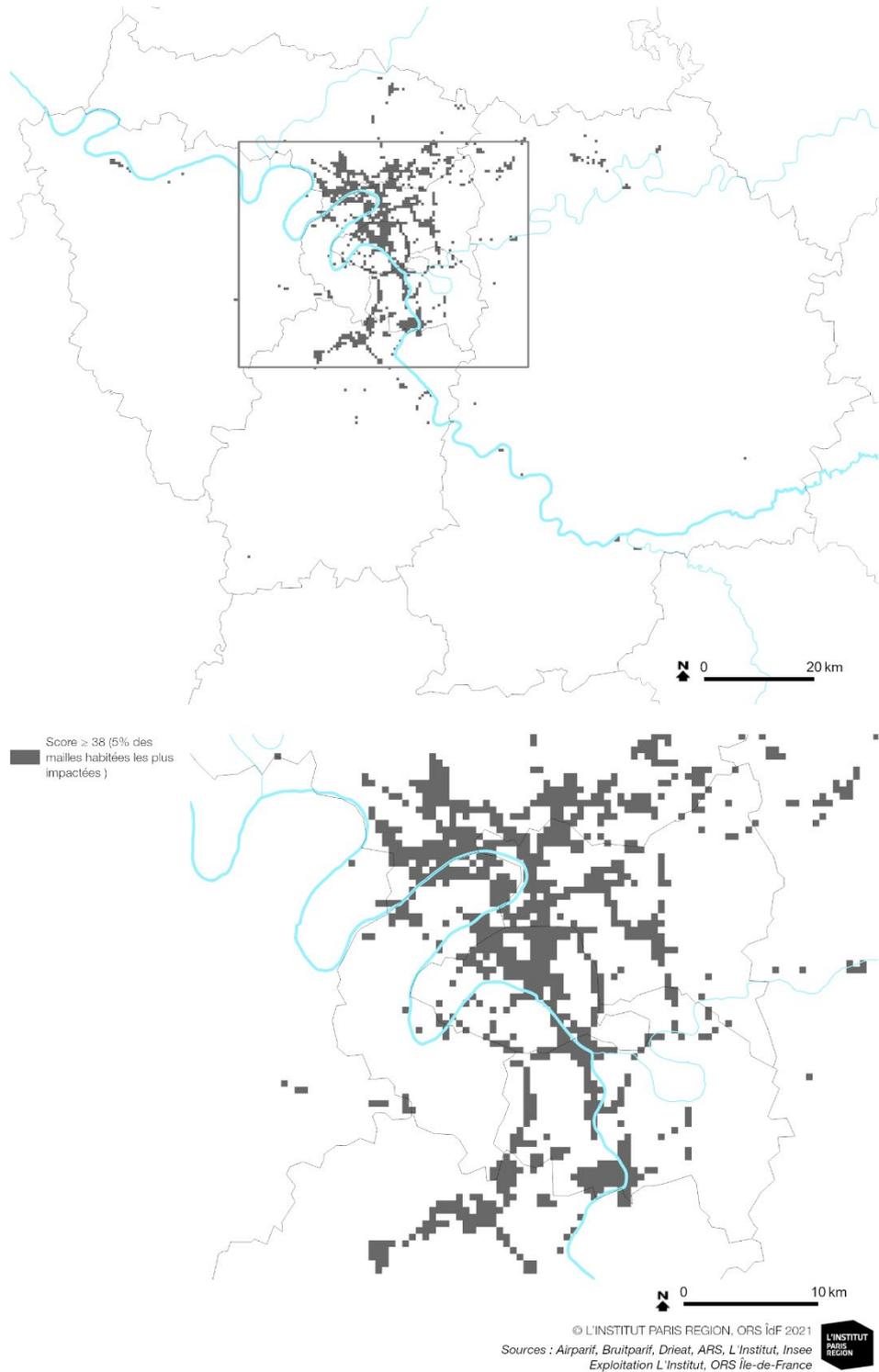
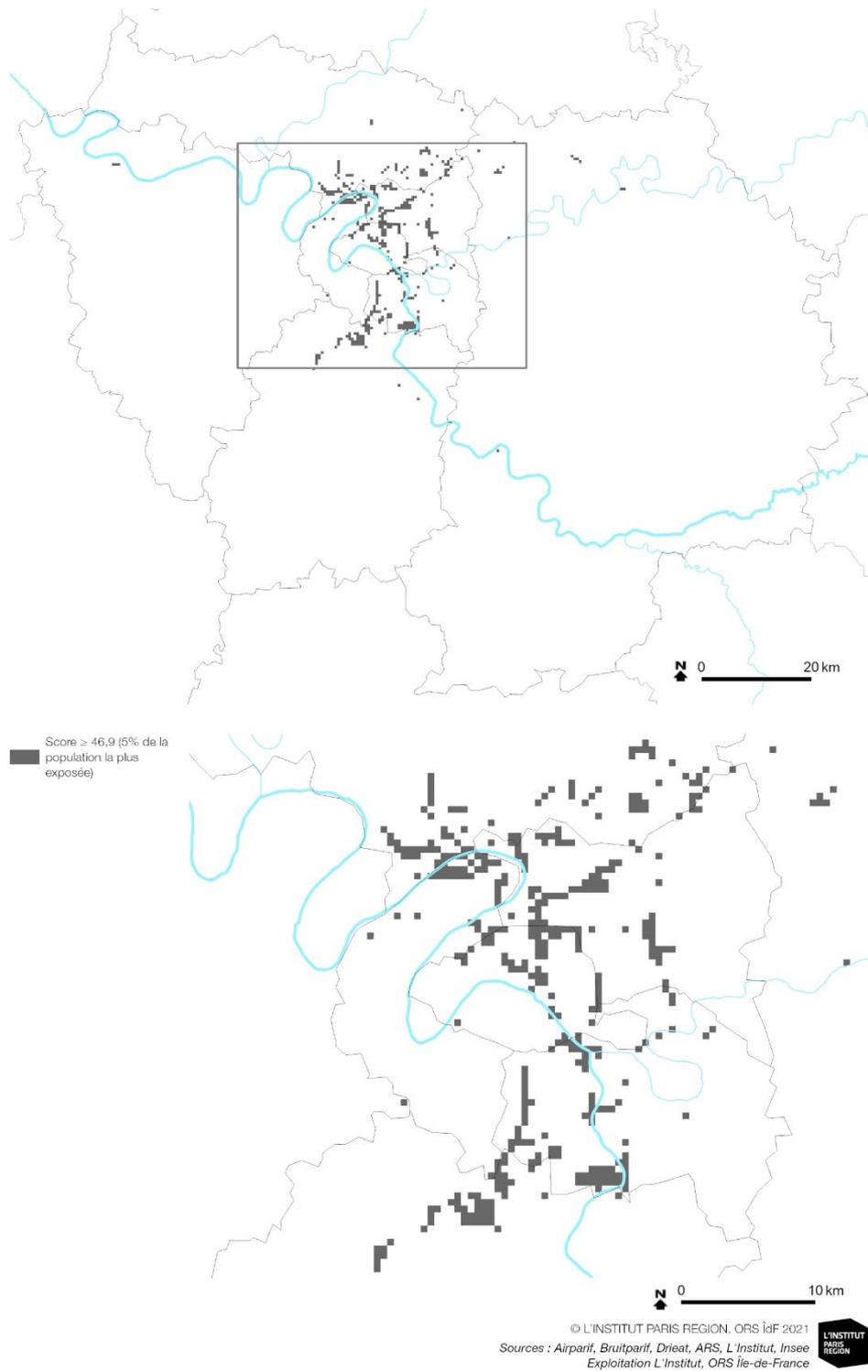


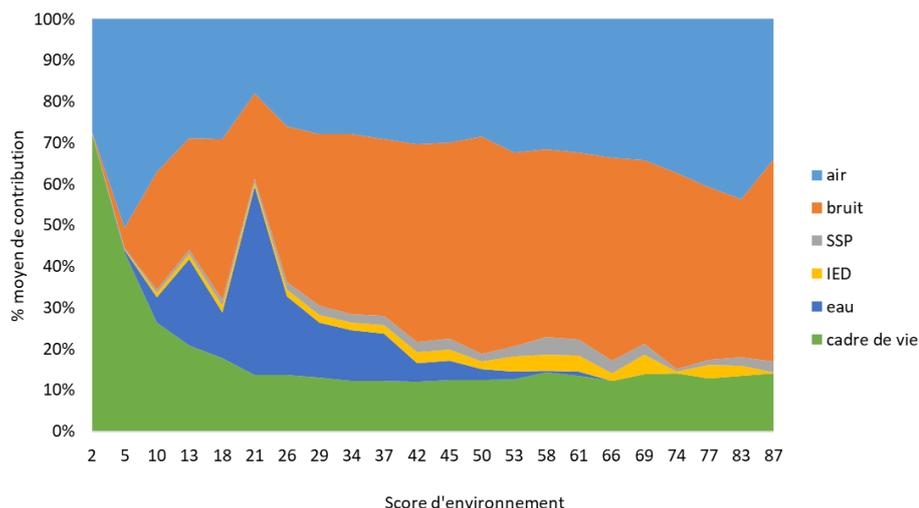
Figure 19 : Répartition géographique de la population la plus exposée (score d'environnement $\geq 46,9$)



5.2.3. Contribution des différentes composantes dans les mailles habitées

Le pourcentage moyen de contribution des différentes composantes au score d'environnement dans les mailles habitées a été estimé pour toute la gamme de score et est représenté sur le graphique ci-après (Figure 20).

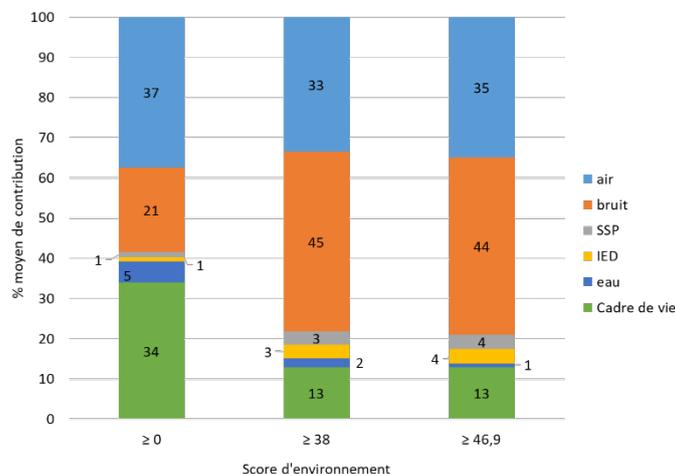
Figure 20 : Pourcentage moyen de contribution des différentes composantes au score environnement dans les mailles habitées en fonction du score



Ainsi, comme précédemment observé pour l'ensemble des mailles, lorsque le score d'environnement augmente la composante cadre de vie perd de son importance relative au profit de la composante bruit. La part de la composante eau apparaît particulièrement importante pour les scores situés entre 10 et 40 et s'atténue fortement pour les scores les plus élevés alors que la pollution des sols d'origine industrielle ainsi que les installations industrielles contribuent de façon plus importante à ces scores, y compris pour les scores extrêmes.

Le graphique ci-après indique la contribution moyenne respective des différentes composantes individuelles pour les mailles les plus impactées, correspondant aux deux seuils établis ci-dessus, et en comparaison avec l'ensemble des mailles habitées (Figure 21).

Figure 21 : Contributions moyennes des composantes individuelles aux scores d'environnement les plus élevés



Lorsqu'on se recentre sur les mailles habitées les plus impactées, la part de la composante cadre de vie se réduit fortement et conserve une part constante autour de 13 %, de même la composante eau contribue faiblement aux scores extrêmes. La composante bruit quant à elle prend beaucoup d'ampleur, cette composante pèse pour près de 45 % dans les scores les plus élevés. La composante air contribue de manière relativement constante autour d'un tiers. La pollution des sols d'origine industrielle ainsi que les installations industrielles ont également un poids beaucoup plus important pour les mailles les plus impactées comparé au poids moyen pour l'ensemble des mailles habitées.

5.3. Qualité de l'environnement combinée à la vulnérabilité de la population

Comme indiqué au paragraphe 2.5, le score d'environnement est combiné aux scores de sensibilité et de difficulté à faire face pour aboutir à divers scores d'interpellation de l'action publique en matière gestion des problèmes environnementaux tenant compte des caractéristiques de la population (voir Figure 22 et Figure 24).

5.3.1. Prise en compte de la sensibilité

Afin de tenir compte des risques accrus que subissent les populations sensibles (ou susceptibles) lorsqu'elles sont soumises à des facteurs de risque environnementaux, le score d'environnement est multiplié par le score de sensibilité selon la formule suivante :

$$S_{\text{environnement} \sim \text{sensibilité}} = S_{\text{environnement}} \times (1 + S_{\text{sensibilité}}).$$

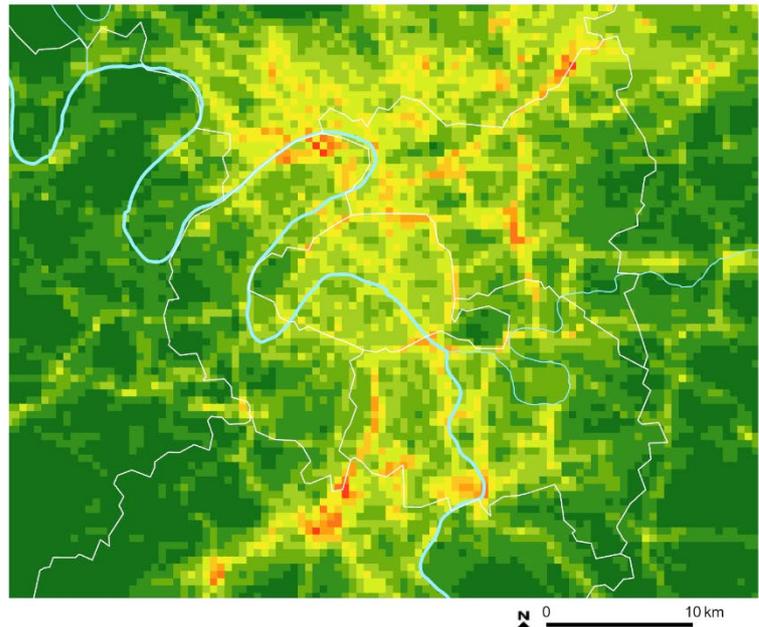
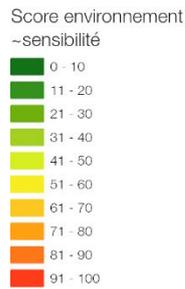
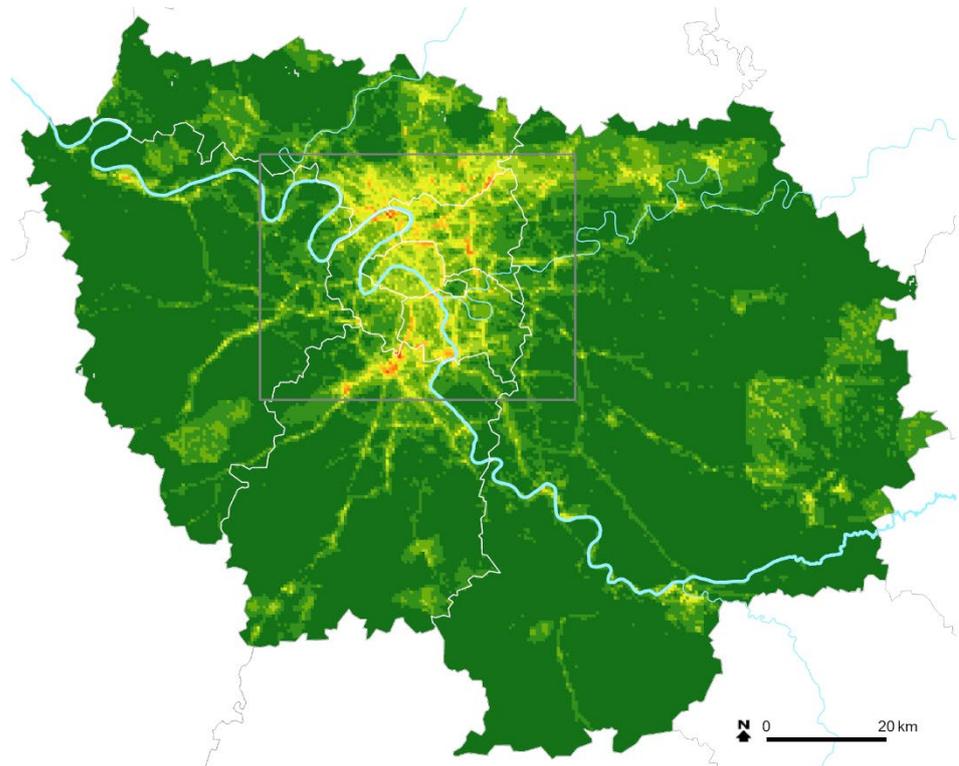
Comme précédemment, des seuils ont été établis afin d'identifier les mailles les plus impactées selon deux seuils correspondant respectivement aux 5 % des mailles habitées les plus impactées et 5 % de la population la plus exposée. Le tableau fournit un descriptif des scores correspondant de même que pour les seuils de 25, 10 et 1 %.

Tableau 19 : Description des mailles habitées (n=21 651) les plus impactées et correspondant à la population la plus exposée et scores d'environnement~sensibilité associés

	Mailles habitées				Population			
	25 %	10 %	5 %	1 %	-	-	-	-
% les plus impactées	25 %	10 %	5 %	1 %	-	-	-	-
% de population la plus exposée	-	-	-	-	25 %	10 %	5 %	1 %
Score d'environnement ~sensibilité	21,8	34,3	43,0	59,7	37,5	46,1	51,7	65,0
Nombre de mailles	5 409	2 162	1 081	217	1 706	814	477	143
Effectif de population (en millions d'habitants)	7,6	3,9	1,7	0,2	3,0	1,2	0,6	0,1

Ce score d'environnement permet d'identifier les secteurs à enjeu renforcé. La carte suivante présente la nouvelle géographie (Figure 22).

Figure 22 : Représentation cartographique du score d'environnement combiné au score de sensibilité de la population

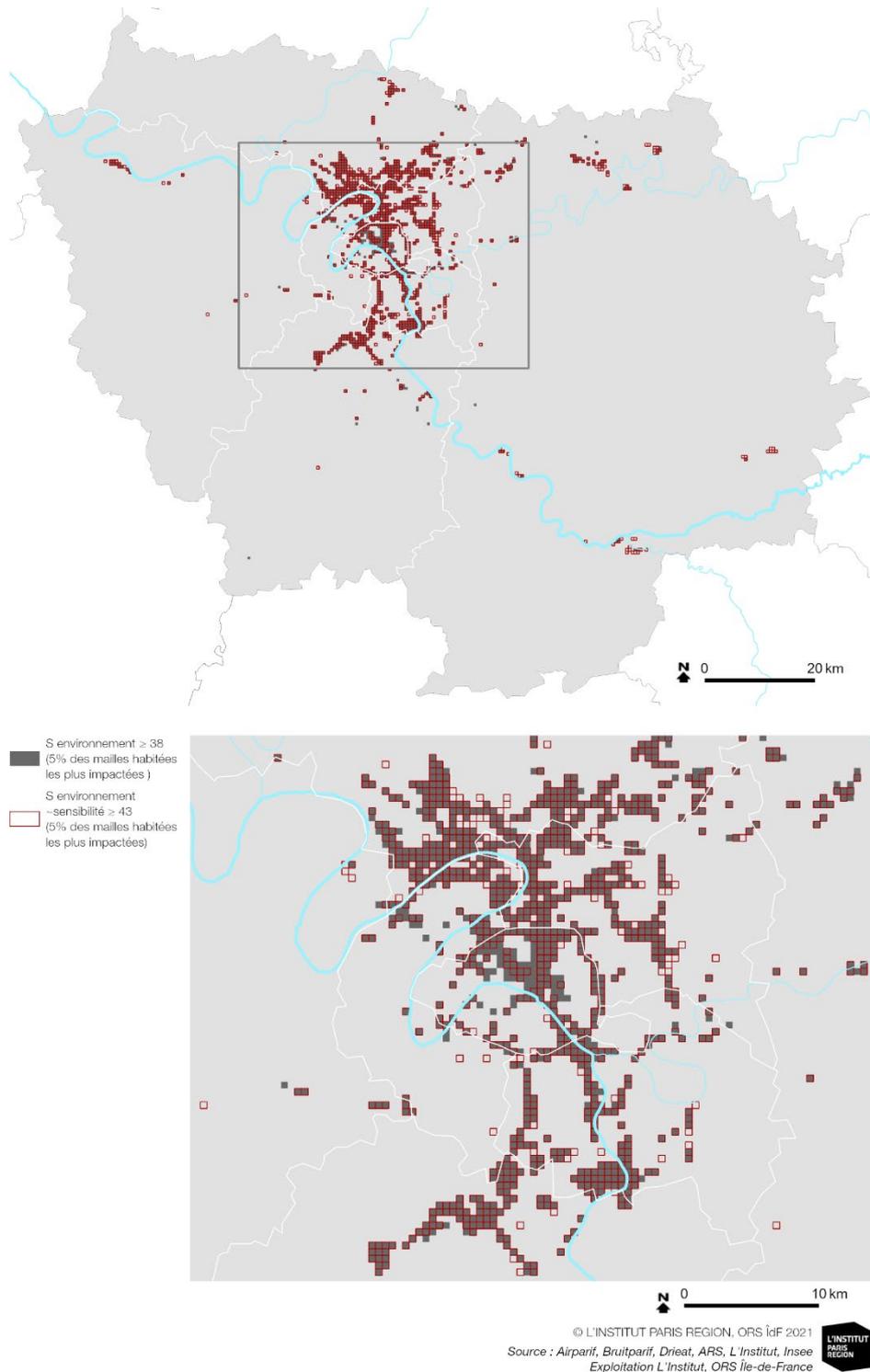


© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021
Source : Airparif, Bruitparif, Drieat, ARS, L'Institut, Insee
Exploitation L'Institut, ORS Île-de-France

Afin de mieux percevoir l'évolution de cette géographie la carte suivante croise le score d'environnement « brut » avec le score d'environnement modulé par la sensibilité en faisant apparaître les mailles les plus impactées avec l'un et l'autre score¹ (Figure 23).

¹ scores les plus élevés correspondant aux 5 % des mailles habitées les plus impactées

Figure 23 : Identification des mailles habitées les plus impactées (seuil de 5 %) selon les deux scores d'environnement avec et sans prise en compte de la sensibilité



La comparaison fait apparaître des mailles communes aux deux géographies, environ 87 % des 1 088 mailles identifiées comme les plus impactées en considérant le score environnement « brut ». Par ailleurs, de nouvelles mailles apparaissent, soit 128 mailles, en particulier en Seine-Saint-Denis et au sud du Val-d'Oise alors que d'autres mailles s'« effacent », notamment à Paris, cela représente 138 mailles.

5.3.2. Prise en compte de la vulnérabilité (sensibilité et difficulté à faire face)

Afin de tenir compte des inégalités en matière de capacité de réponse des individus, le score précédent est modulé par l'indicateur de difficulté à faire face. Ainsi, le score d'environnement est multiplié par le score de sensibilité et le score de difficulté à faire face selon la formule suivante :

$$S_{\text{environnement-vulnérabilité}} = S_{\text{environnement}} \times (1 + S_{\text{sensibilité}}) \times (1 + S_{\text{difficulté à faire face}})$$

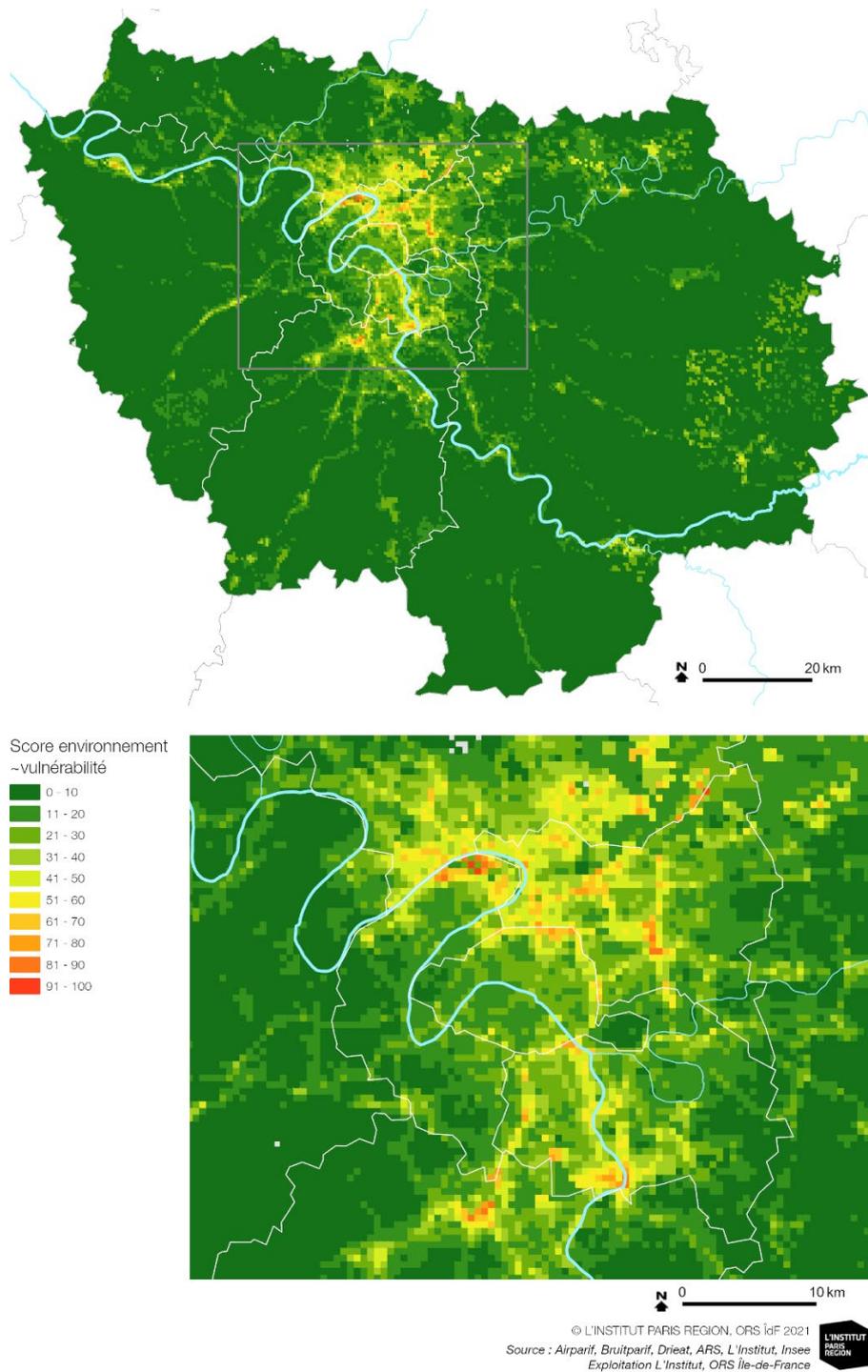
De nouveaux seuils ont été établis à partir de score afin d'identifier les mailles les plus impactées. Le tableau fournit un descriptif des scores correspondant au seuil de 5% des mailles habitées les plus impactées et 5 % de la population la plus exposée, de même que pour les seuils de 25, 10 et 1 % (Tableau 21).

Tableau 20 : Description des mailles habitées les plus impactées et correspondant à la population la plus exposée et scores d'environnement~vulnérabilité associés

	Mailles habitées				Population			
	25 %	10 %	5 %	1 %	-	-	-	-
% les plus impactées (scores les plus élevés)	25 %	10 %	5 %	1 %	-	-	-	-
% de population la plus exposée	-	-	-	-	25 %	10 %	5 %	1 %
Score d'environnement ~vulnérabilité	16,4	27,8	36,9	55,4	28,2	40,5	47,1	60,2
Nombre de mailles concernées	5 410	2 162	1 084	217	2 096	842	464	135
Effectif de population (en millions d'habitants)	7,2	3,0	1,5	0,2	3,0	1,2	0,6	0,1

Ce score d'environnement permet d'identifier les secteurs où la vulnérabilité face aux facteurs environnement apparait la plus forte selon nos critères. La carte suivante présente la nouvelle géographie (Figure 24).

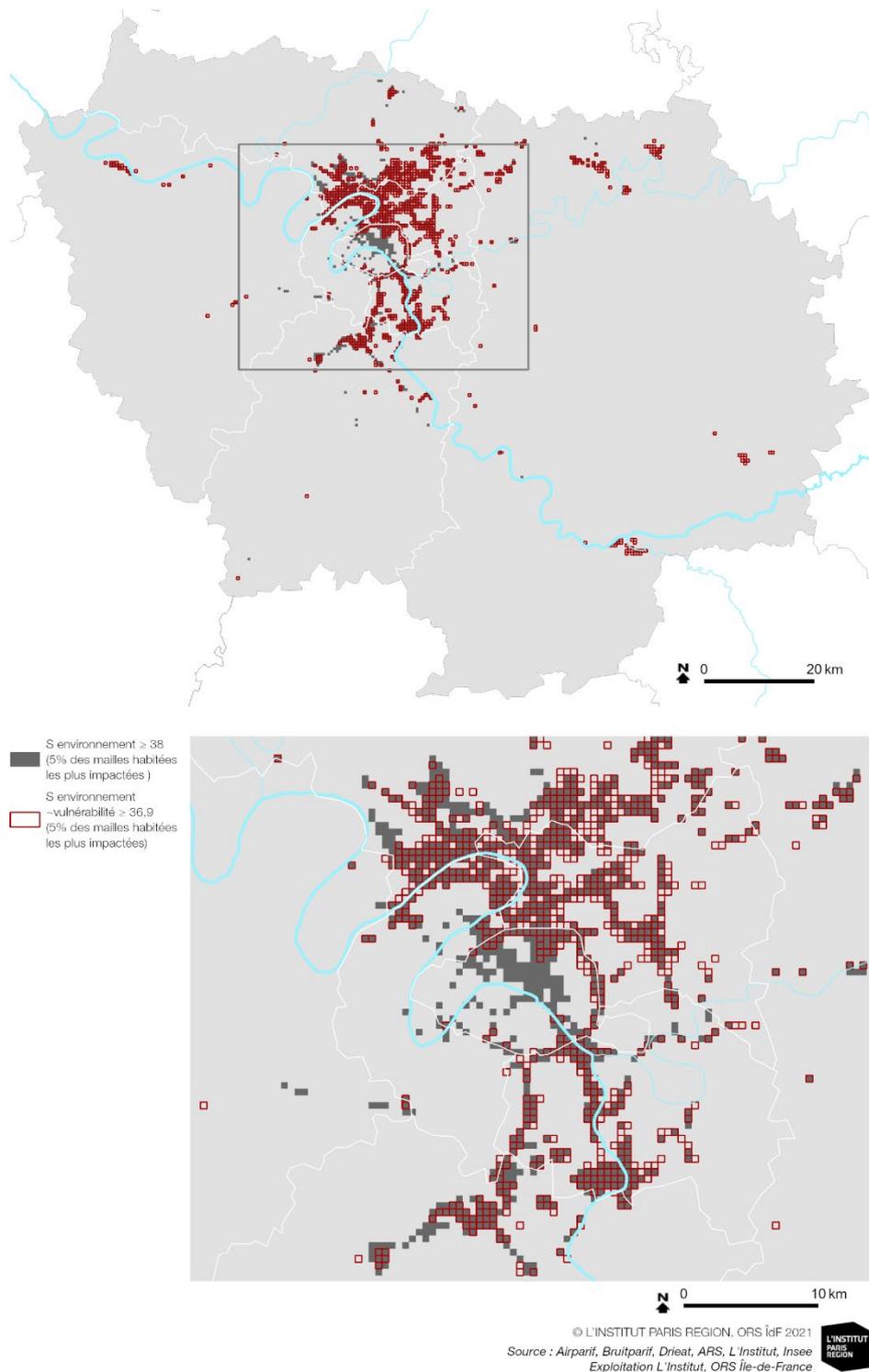
Figure 24 : Représentation cartographique du score d'environnement combiné au score de sensibilité et de difficulté à faire face de la population



Afin de mieux percevoir l'évolution de cette géographie par rapport au score d'environnement « brut », la carte suivante croise le score d'environnement avec le score d'environnement modulé par la sensibilité et la difficulté à faire face en faisant apparaître les mailles les plus impactées avec l'un et l'autre score¹ (Figure 25).

¹ scores les plus élevés correspondant aux 5 % des mailles habitées les plus impactées et aux 5 % de la population la plus exposée

Figure 25 : Identification des mailles habitées les plus impactées (seuil de 5 %) selon les deux scores d'environnement avec et sans prise en compte de la sensibilité et de la difficulté à faire face



La comparaison fait apparaître des mailles communes aux deux géographies, environ 72 % des 1 088 mailles où se regroupe la population la plus exposée (seuil de 5 %) en considérant le score environnement « brut ». Par ailleurs, de nouvelles mailles apparaissent, soit 297, notamment en Seine-Saint-Denis ainsi que quelques secteurs en grande couronne alors que d'autres mailles s'« effacent », soit 302, notamment à Paris, dans le sud du Val-d'Oise et au nord de l'Essonne.

6 | VERS UNE ANALYSE DES INTERRELATIONS DES INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX, SOCIO-ÉCONOMIQUES ET DE SANTÉ

Les rapports de l'OMS Europe [1,2] indiquent que les groupes socio-économiquement défavorisés sont souvent à la fois plus exposés à des nuisances et pollutions environnementales et plus vulnérables aux effets sanitaires qui en résultent. L'étude du lien entre la santé et l'environnement implique la prise en compte des facteurs sociaux et d'exposition, le but étant d'interpréter leur cumul et leur interaction sur un territoire pour identifier et hiérarchiser les actions de prévention.

Dans cet objectif, des techniques de croisement d'indicateurs spatialisés pour caractériser le cumul et les interrelations des inégalités territoriales, environnementales et sociales de santé (ITESS) doivent être mobilisées. Cette analyse implique la mise en place d'approches basées sur des données représentatives sur les échelles d'analyse, des techniques de traitement adaptées aux spécificités des données agrégées et une modélisation adéquate des phénomènes caractérisés. Un aspect spécifique de ces travaux nécessite une méthodologie permettant l'intégration des phénomènes spatiaux à différents niveaux (local, régional et loco-régional) pour :

- intégrer et coupler les données spatiales de différentes sources à des résolutions fines et sur une échelle régionale ;
- mettre en œuvre des méthodes d'analyse tenant compte des spécificités et des biais associés à la manipulation d'indicateurs spatialisés construits sur la base de données produites dans un cadre différent de celui de l'analyse et du cumul des ITESS.

Ainsi, différentes stratégies peuvent être employées telles que décrite dans l'encadré ci-après (Encadré 4).

Ces aspects n'ont pas été développés dans le cadre de ce travail, cela pourrait constituer un prolongement. En première approche, il est proposé ici une simple analyse descriptive du croisement du score d'environnement avec le niveau de défaveur sociale.

La distribution de ce score a ainsi été examinée en fonction du niveau de défaveur sociale. À cet effet, l'indice Fdep (utilisé pour construire l'indicateur de la composante « difficultés à faire face ») a été exprimé en quintiles (Iris pondérés par la population) et représenté à la maille sur la carte ci-après (Figure 26).

Encadré 4 : Analyser les interrelations des indicateurs environnementaux, socio-économiques et de santé

La méthode nécessite la construction des variables de caractérisation des différentes dimensions, santé, environnement et socio-économie, sur des supports géographiques communs. Il s'agit principalement de sélectionner les variables d'intérêt pour la construction d'indicateurs pertinents au vu des échelles étudiées et des critères de représentativité identifiés, d'agréger ou de désagréger les données spatiales afin d'obtenir des valeurs assignées à la même unité spatiale d'analyse.

L'élaboration d'un indicateur composite sur la base des critères et paramètres prédéfinis et la réflexion sur le besoin d'adaptation des méthodologies développées et la mise en place de clefs d'interprétation supplémentaires pour pallier les limites d'appropriation directe des résultats par les gestionnaires.

Pour ce faire, quatre méthodes de combinaison d'indicateurs peuvent être construites et comparées :

- 1) une simple addition des indicateurs centrés réduits permet d'estimer le cumul ;
- 2) une analyse en composantes principales (ACP) pour tenir compte de la corrélation entre les indicateurs ;
- 3) une analyse en composantes principales pondérées localement pour tenir compte de la corrélation entre les indicateurs et de l'autocorrélation spatiale ;
- 4) une analyse en composantes principales géographiquement pondérées pour tenir compte à la fois de la corrélation entre les indicateurs, de l'autocorrélation et de l'hétérogénéité spatiale des variables.

L'application de la dernière méthode proposée permet de prendre en compte l'interrelation des variables et de caractériser la force des corrélations des trois dimensions, deux à deux. L'utilisation de ces résultats, proposés dans un cadre de gestion doit être accompagnée de cartographies supplémentaires. Il devient donc nécessaire de choisir une représentation cartographique claire et adaptée aux objectifs du projet et ainsi de proposer des clés d'aide à l'interprétation et à la décision. Pour faciliter l'interprétation et l'opérationnalité des résultats, à la carte d'interrelation peut être associée la carte de l'indicateur construit par une simple sommation afin de permettre au gestionnaire d'identifier d'une part les zones de cumul élevé et d'autres part les zones sur lesquelles les déterminants sociaux et/ou environnementaux ont le plus d'effets potentiels.

Pour sélectionner les indicateurs à croiser, deux approches peuvent être définies :

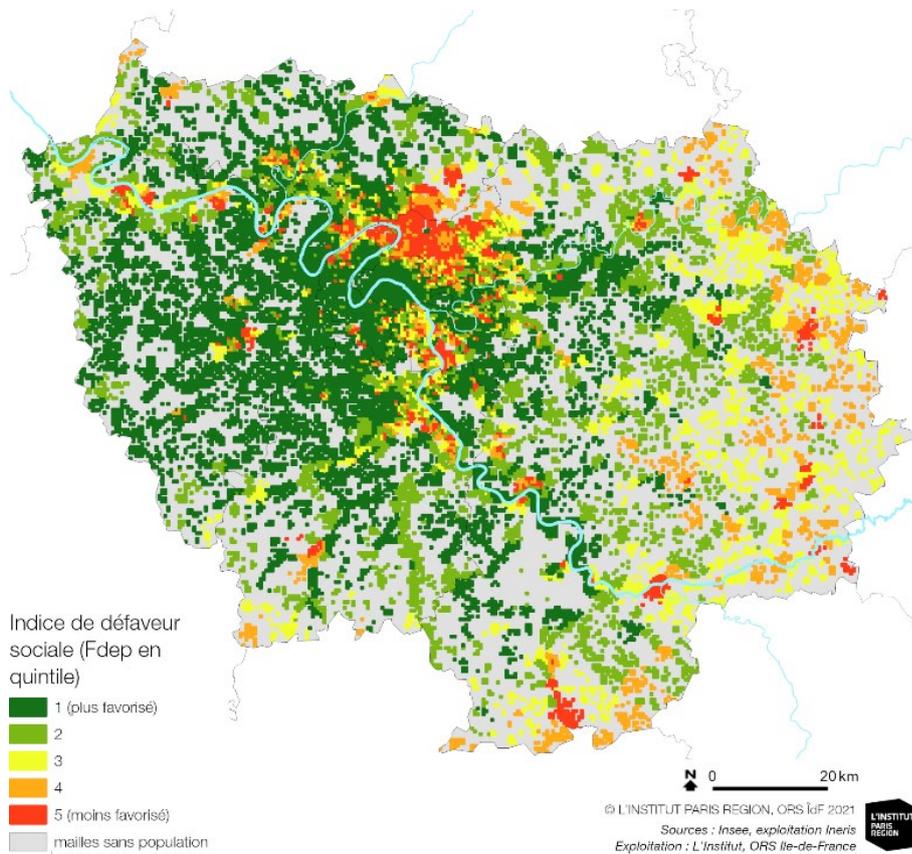
- en travaillant sur une association forte entre un polluant et une pathologie, approche par « polluant spécifique » ;
- en cumulant les expositions avec un indicateur de santé globalisant ou composite (tous cancers par exemple, maladies respiratoires, maladies cardio-vasculaires...).

Pour ces deux approches, deux conditions sont nécessaires :

- avoir identifié des zones avec des clusters de valeurs hautes pour des indicateurs environnementaux en testant l'hypothèse d'indicateurs sanitaires défavorables associés ;
- avoir choisi des associations fortes connues entre polluant et pathologie.

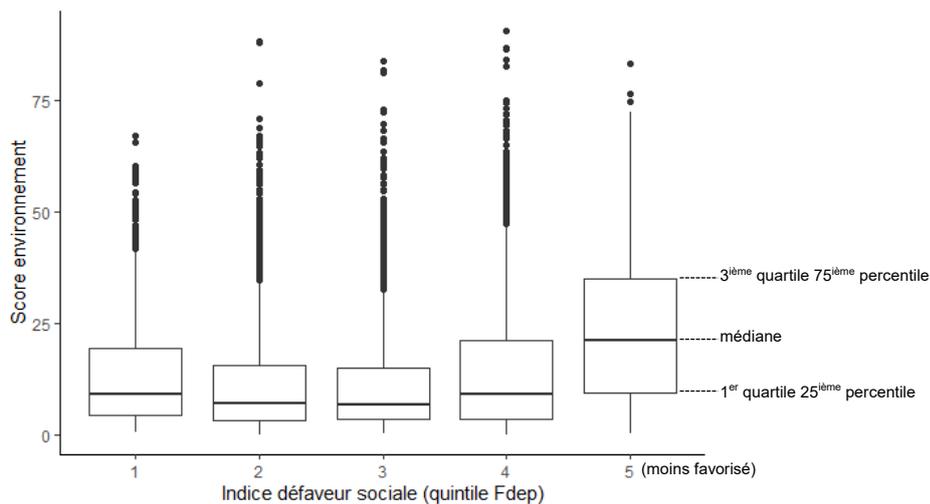
À l'issue d'un travail d'analyse des données disponibles et de l'état de l'art, doivent être sélectionnés différents couples d'indicateurs environnement-santé pour l'analyse des cumuls de défaveur et de leurs interrelations spatiales.

Figure 26 : Indice de défaveur sociale (Fdep) en quintiles à la maille



Pour chaque niveau de défaveur sociale, la distribution du score d'environnement est représentée sous forme de boîtes à moustache (Figure 27).

Figure 27 : Distribution du score d'environnement au sein des mailles habitées selon le niveau de défaveur sociale

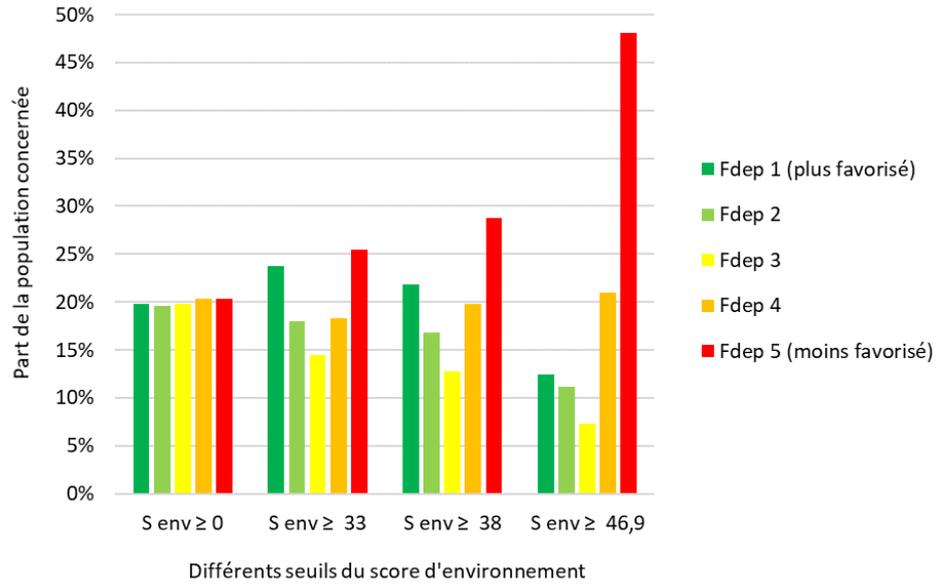


Cette représentation met en évidence que la classe la plus défavorisée (indice = 5) réside dans des mailles soumises à des scores d'environnement plus élevés. En effet, pour la classe la plus défavorisée le score médian est de 21 alors qu'il se situe entre 6 et 9 pour les autres classes.

Les proportions d'habitants dans les différentes catégories sociales ont été estimées pour ces cinq classes de défaveur sociale en fonction des trois seuils définis précédemment

correspondant aux mailles les plus impactées (Figure 28). Plus le score d'environnement est élevé, plus la proportion de population appartenant à la classe la moins favorisée augmente.

Figure 28 : Proportion d'habitants des différentes catégories sociales en fonction de différents seuils de score d'environnement



Cette rapide analyse illustre, comme retrouvé dans la littérature, que les groupes socio-économiquement défavorisés sont particulièrement exposés aux nuisances et pollutions environnementales.

7 | CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette démarche s'inscrit dans le cadre de l'action 3.1 « Consolider les connaissances sur les zones de multi-exposition environnementale » du PRSE3 Île-de-France. Ces travaux menés dans le prolongement de la réflexion initiée dans le cadre du PRSE2¹ ont pour ambition de répondre à certaines insuffisances et rendre plus opérationnels ces diagnostics pour les gestionnaires de l'environnement, aménageurs, services « urbanisme » des collectivités, acteurs privés, services de l'État...

Il n'existe pas d'approche méthodologique unique pour rendre compte des cumuls d'exposition et analyser les inégalités territoriales, environnementales et sociales de santé. Ainsi, la ville de Paris, dans le cadre du plan parisien de santé environnementale, a initié une démarche² d'identification des zones de fragilité à Paris en définissant son propre outil de repérage des zones cumulant défaveur environnementale, sociale et sanitaire [71]. La démarche suivie dans le cadre du PRSE3 reprend les concepts de la méthodologie de construction d'un indicateur de qualité des environnements pour la population (IQUALE) développé au niveau national [9], tout en assurant une certaine continuité avec les travaux menés dans le cadre du PRSE2.

Ainsi, les cinq indicateurs de nuisances et pollution mobilisés précédemment ont été conservés et complétés par un indicateur de cadre de vie intégrant trois composantes liées à l'aménagement. Afin de mieux rendre compte de l'intensité des phénomènes, les indicateurs relatifs à ces six indicateurs individuels ont été exprimés en valeurs continues sur la maille de référence, soit la maille de 500 m de côté qui était déjà celle retenue dans le cadre des précédents travaux. Cette méthode de transformation des données a permis de s'affranchir de l'approche binaire qui, bien que facile d'interprétation, entraîne une perte d'information et un biais écologique (« effet de maille ») importants. En effet, cette approche a pu conduire à mettre en évidence des secteurs qui étaient exposés à trois pollutions ou nuisances de faibles amplitudes (juste au-dessus des seuils réglementaires, et/ou de faible emprise) et à contrario à « ignorer » certains secteurs entièrement exposés à des niveaux de bruit et de pollution de l'air dépassant largement les seuils réglementaires mais ne subissant pas d'autre pollution ou nuisance.

Cette nouvelle géographie des zones de cumuls d'expositions environnementale ne peut être mise en regard de la précédente cartographie issue des travaux du PRSE2. En effet, cet outil n'a pas été conçu pour permettre de suivre l'évolution dans le temps de la qualité de l'environnement. Même en dehors des évolutions dans la méthode de transformation des données pour la construction des indicateurs individuels, un exercice de comparabilité des données source a montré des limites dues à des évolutions inhérentes de ces données brutes (définition des indicateurs, qualité et exhaustivité des bases de données, méthodes de modélisation...).

La cartographie des inégalités d'exposition d'un territoire par la spatialisation directe des données issues des mesures environnementales pose nombre de questions méthodologiques qui ont été détaillées dans ce rapport. Par ailleurs, le score de risque proposé ici n'intègre que certaines composantes de l'environnement. Par exemple, il aurait été pertinent d'intégrer des facteurs de risque plus représentatifs des enjeux en zones rurales liés aux pratiques agricoles. À cet effet, un essai de construction d'indicateur à partir des achats de pesticides a été effectué mais en l'absence de données adaptées, cet indicateur n'a pu être retenu. *In fine*, la dimension environnementale n'englobe que le cadre de vie extérieur ainsi que des sources extérieures de pollution et nuisance. Les conditions de logement, qui constituent un déterminant important de la santé, n'ont pas

¹ action n° 6 « Identifier les points noirs environnementaux afin de réduire les zones de cumul d'exposition prioritaires »

² menée par le service parisien de santé environnementale de la Ville de Paris et l'Atelier parisien d'urbanisme

été prises en compte ici. Pour autant les enjeux relatifs à la qualité de l'habitat ne doivent pas être ignorés et pourront être analysés via d'autres sources de données de manière complémentaire.

Cette démarche s'inscrit dans le cadre de l'évaluation des risques de l'impact cumulatif avec la prise en compte combinée d'un ensemble de facteurs de stress environnementaux. Selon cette définition, un score de l'indicateur composite plus élevé correspond à une probabilité d'impact plus élevée. Ainsi, les cartes produites permettent de hiérarchiser les territoires les uns par rapport aux autres et font ressortir des territoires où les expositions environnementales sont particulièrement prégnantes (cumul de différentes nuisances et/ou expositions de forte intensité). Afin de faire ressortir les mailles les plus impactées, plusieurs seuils basés sur la distribution du score ont été proposés, soit respectivement les scores correspondant aux 5 % des mailles les plus impactées (score $\geq 33,0$), 5 % des mailles habitées les plus impactées (population >0 et score $\geq 38,0$) et 5 % de la population la plus exposée (population >0 et score $\geq 46,9$).

Les cartographies réalisées tiennent également compte de certaines caractéristiques des populations et permettent ainsi de faire ressortir les territoires où l'enjeu sanitaire lié aux expositions environnementales est d'autant plus fort que les populations impactées sont vulnérables. Ces cartes constituent un véritable outil d'interpellation pour les acteurs locaux.

Au-delà du diagnostic, il s'agit de guider l'action publique en matière de gestion (prévention, résorption...) des problèmes environnementaux. Pour un même niveau de score, les réalités peuvent être très différentes, ainsi il apparaît utile de pouvoir revenir aux détails des composantes qui ont permis de calculer ces scores afin notamment de préciser les nuisances et pollutions sur lesquelles il serait nécessaire d'agir et d'alerter, le cas échéant, d'une situation de multi-exposition. Mettre en exergue la multiplicité des problèmes à traiter vise à rendre les politiques plus efficaces avec une gestion intégrée des problématiques. À cet effet, le développement d'une carte interactive viendra compléter dans les prochains mois ces représentations figées qui n'offrent qu'un résumé de l'information. Cet outil de visualisation, en plus d'offrir la possibilité d'interroger la contribution des différentes composantes environnementales, intégrera un quatrième facteur de hiérarchisation, à savoir un indicateur d'« opportunités à agir » permettant d'identifier les contextes locaux particulièrement favorables à l'action (engagements de la collectivité, projets d'aménagement...). Cet outil permettra également de référencer les nombreuses ressources (référentiels de bonnes pratiques, guides méthodologiques, retours d'expériences, centres de ressources...) en matière d'actions sectorielles ou plus transversales, relatives à l'urbanisme favorable à la santé afin de faciliter l'identification des leviers d'action.

Ainsi, ce diagnostic pourra constituer une première base pour une analyse locale du contexte et des enjeux de santé environnementale et ainsi être intégré aux réflexions et décisions sur l'aménagement (documents d'urbanisme, projets d'aménagement...) et aux diagnostics préalables à l'élaboration des plans régionaux et locaux en santé publique (Plan régional santé environnement, contrats locaux de santé, projet régional de santé..

ANNEXES

Annexe 1 : Essai de construction d'un indicateur utilisation de produits phytopharmaceutiques à des fins agricoles

Données mobilisées

La déclinaison du score « achats de produits phytopharmaceutiques » (S3P), proposée pour la construction de l'indicateur IQUALE a été réalisée à partir des données de la base de données nationale des ventes de produits phytosanitaires par les distributeurs agréés (BNV-d) agrégées au code postal.

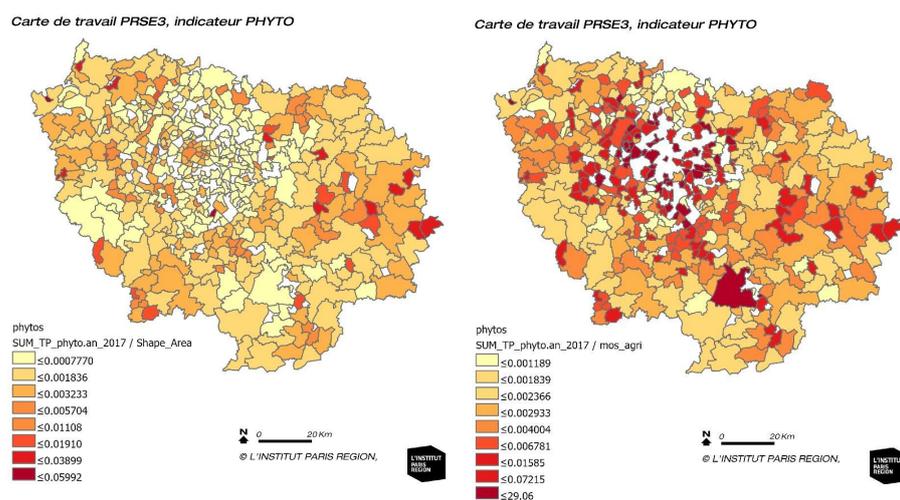
Ce score est estimé au niveau de chaque code postal pour chaque année entre 2013 et 2018. Il correspond à la somme des quantités totales de substances actives achetées (91 substances prises en considération) et pondérées par un coefficient relatif à la toxicité des substances.

Les données relatives aux quantités de substance active vendues chaque année en France (les données utilisées comprennent uniquement celles concernant l'achat des PPP à des fins agricoles) proviennent des déclarations obligatoires annuelles effectuées par les distributeurs de produits phytosanitaires recensée dans la BNV-d par code postal du point de vente. Le coefficient relatif à la toxicité des substances a été estimé par l'Ineris à partir des données toxicologiques (seules les données relatives à l'exposition chronique ont été considérées, la dimension toxicité aigüe a été exclue).

Traitements effectués

Ce score, qui correspond à des quantités d'achat, a été rapporté à une surface afin d'estimer un taux, d'une part la surface totale correspondant au code postal, d'autre part uniquement les surfaces agricole (Registre parcellaire graphique, RGP 2018) (voir figure ci-dessous). En effet, le calcul de ce taux constitue une étape intermédiaire en vue de désagréger l'indicateur à la maille de référence.

Figure 29 : Quantités d'achat de produits phytopharmaceutiques (score S3P) rapportés à la surface (carte de gauche) et à la surface agricole (carte de droite) du code postal



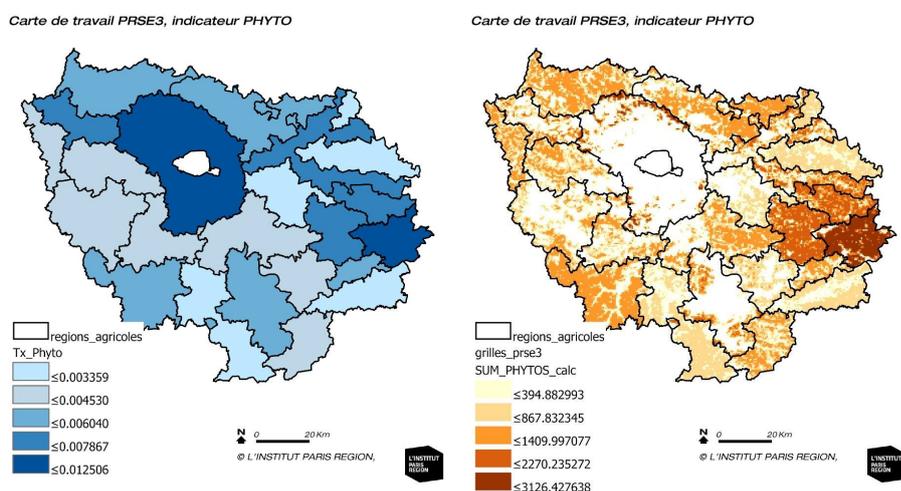
Ces premières représentations font ressortir d'une part, des codes postaux où aucune surface agricole n'est présente (où vraisemblablement aucun épandage agricole n'est susceptible d'intervenir), et d'autre part, des codes postaux où le pourcentage de surface agricole est très faible, ce qui a pour effet de produire des valeurs extrêmes du score.

Cette analyse indique que le code postal de l'acheteur ne correspond pas toujours au lieu d'épandage des PPP, en effet, la domiciliation de la raison sociale est indépendante de la localisation des parcelles agricoles (possible en dehors de l'Île-de-France et vice-versa). Nous ne disposons d'aucune information permettant de documenter ce phénomène. Ainsi cet effet « siège social » fait ressortir des codes postaux en zone dense peu agricole, ou dans certaines communes importantes de la grande couronne comme Fontainebleau, également exempte d'agriculture.

Dans le but de gommer ce phénomène, le taux a été estimé à une échelle plus large. À cet effet, le découpage en petites régions agricoles, qui est un découpage ancien correspondant à des zones géographiques homogènes du point de vue des conditions agricoles (nature géologique des sols, géographie...) (voir figure ci-dessous).

Ces taux ont ensuite été appliqués à la maille de référence en multipliant par la surface agricole correspondante (en prenant en compte un buffer de 100 mètres autour des parcelles agricoles) (voir figure ci-dessous).

Figure 30 : Quantités d'achat de produits phytopharmaceutiques (score S3P) rapportées à la surface agricole de la petite région agricole (carte de gauche) et score correspondant exprimé à la maille de référence (carte de droite)



L'analyse de cette nouvelle géographie montre que cette démarche n'a pas permis de s'affranchir complètement de l'anomalie soulevée avec un effet de maille très présent et des scores particulièrement élevés pour certaines régions peu agricoles.

Conclusions et perspectives

Au vu de cette analyse, il a été décidé de ne pas retenir cet indicateur.

Par ailleurs, l'Ineris poursuit le développement de cet indicateur, notamment par la déclinaison de la méthode utilisant la base de données spatialisée des quantités d'achat transposées à la parcelle agricole de l'INRAE estimée à partir de la connaissance de l'appartenance des parcelles agricoles et des types de cultures.

Annexe 2 : Proposition de regroupement et de pondération des indicateurs individuels ou agrégés dans le cadre des travaux du GT IQUALE [9]

Tableau 1 : Proposition de regroupement et de pondération par indicateur individuel ou agrégé (description des indicateurs en section 3)

Indicateurs individuels ou agrégés	Dimensions	Pondérateur initial	Niveau du compartiment du continuum	Correction pondérateur	Pondération final
Eau potable	Exposition	2	Milieu d'exposition	+1	3
PM2,5	Exposition	2	Milieu environnemental	0	2
Ozone	Exposition	2	Milieu environnemental	0	2
Eau de surface dégradée	Effets environnementaux	1			1
Potentiel radon	Exposition	2	Source	-1	1
Bruit	Exposition	2	Milieu d'exposition	+1	3
Proximité aux installations classées	Effets environnementaux	1			1
Proximité aux pollutions du sol	Effets environnementaux	1			1
Emission atmosphérique	Exposition	2	Source	-1	1
Achat pesticides	Effets environnementaux	1			1

Annexe 3 : Description des composantes individuelles

Composante qualité de l'air

Figure 31 : Indicateur de la composante « qualité de l'air » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)

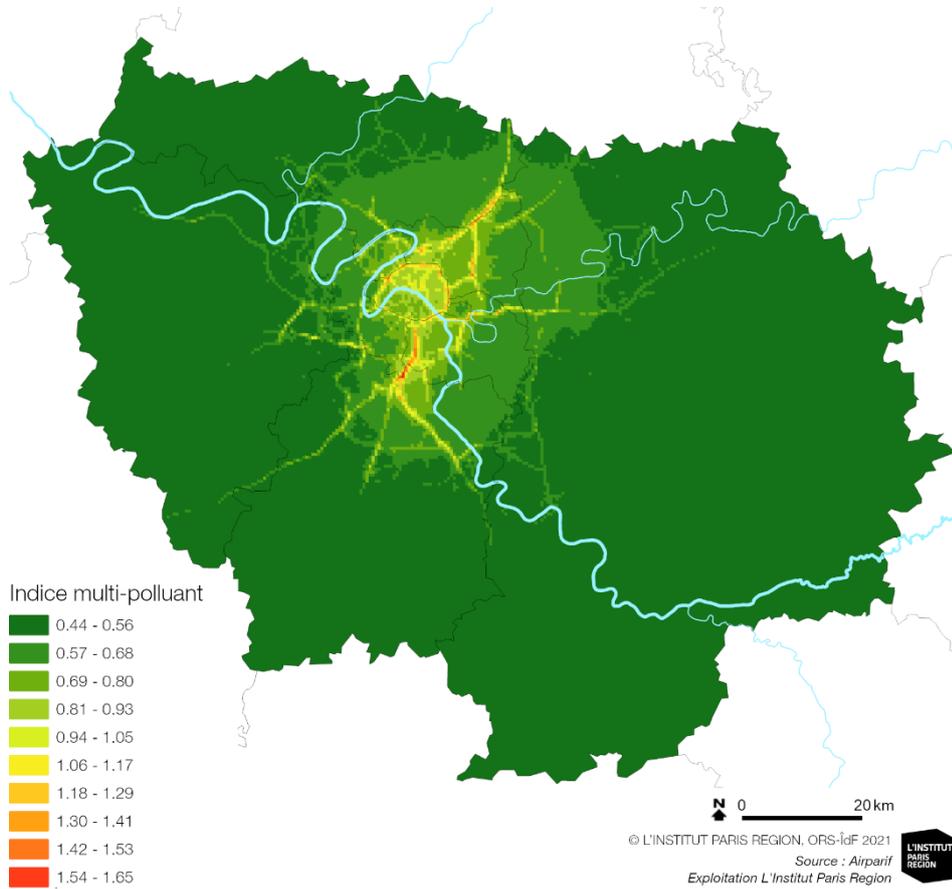
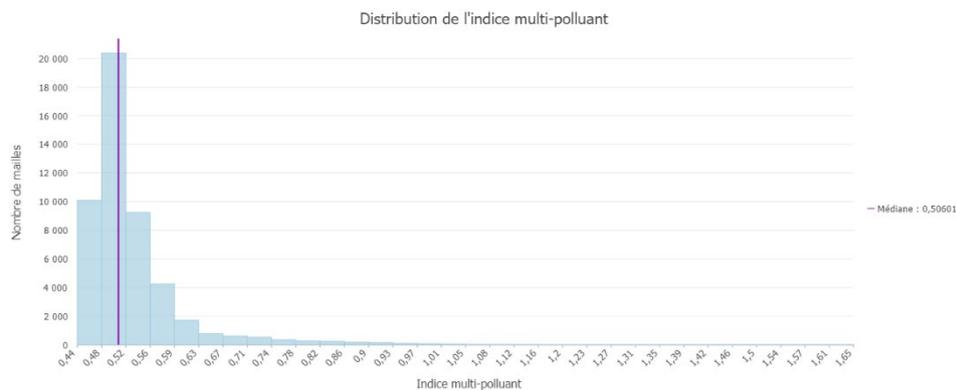


Figure 32 : Distribution de l'indicateur de la composante « qualité de l'air » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)



Composante bruit des transports

Figure 33 : Indicateur de la composante « bruit des transports » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)

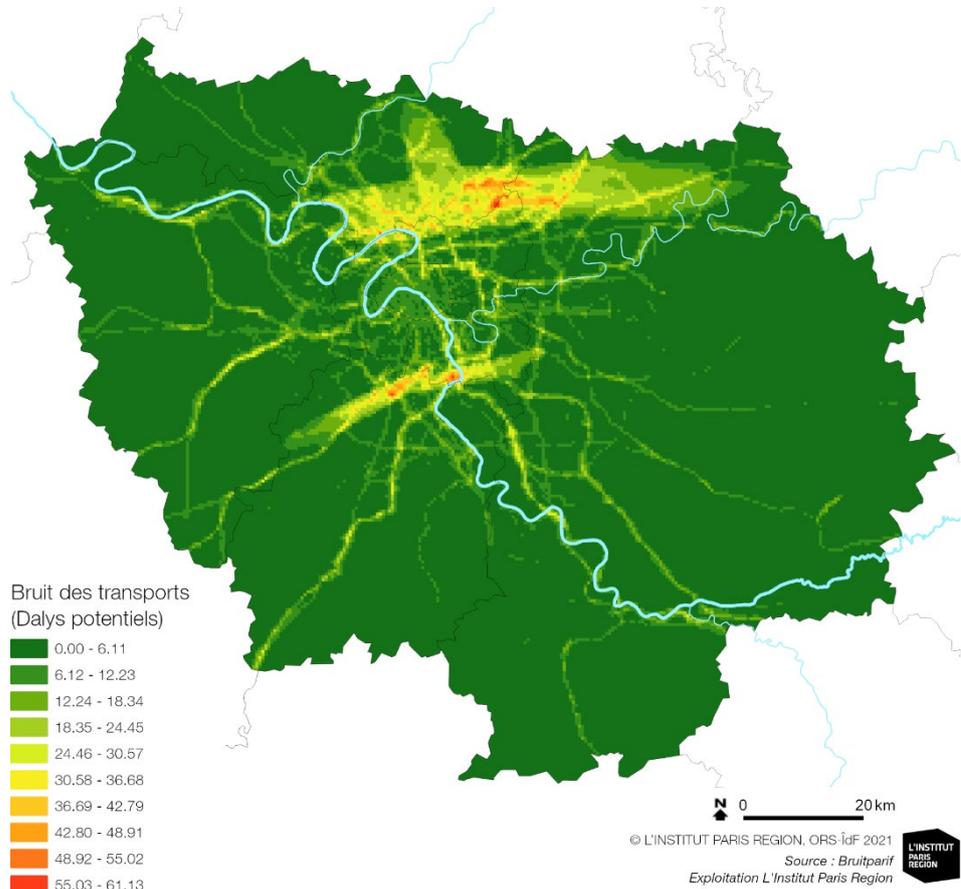
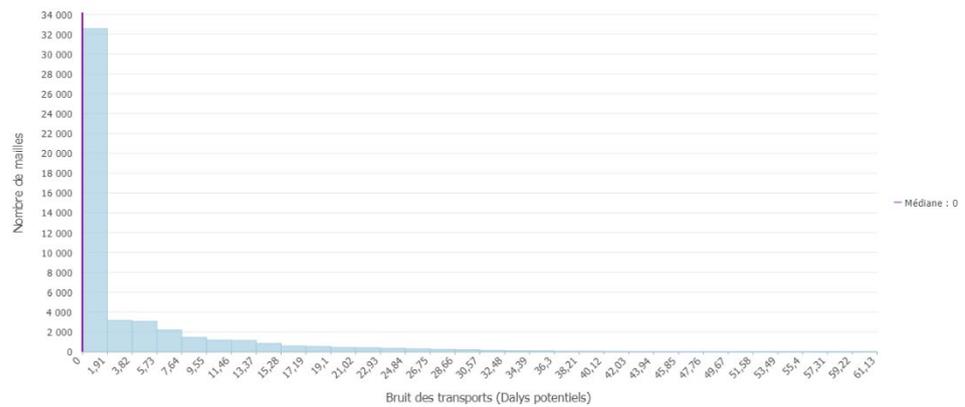
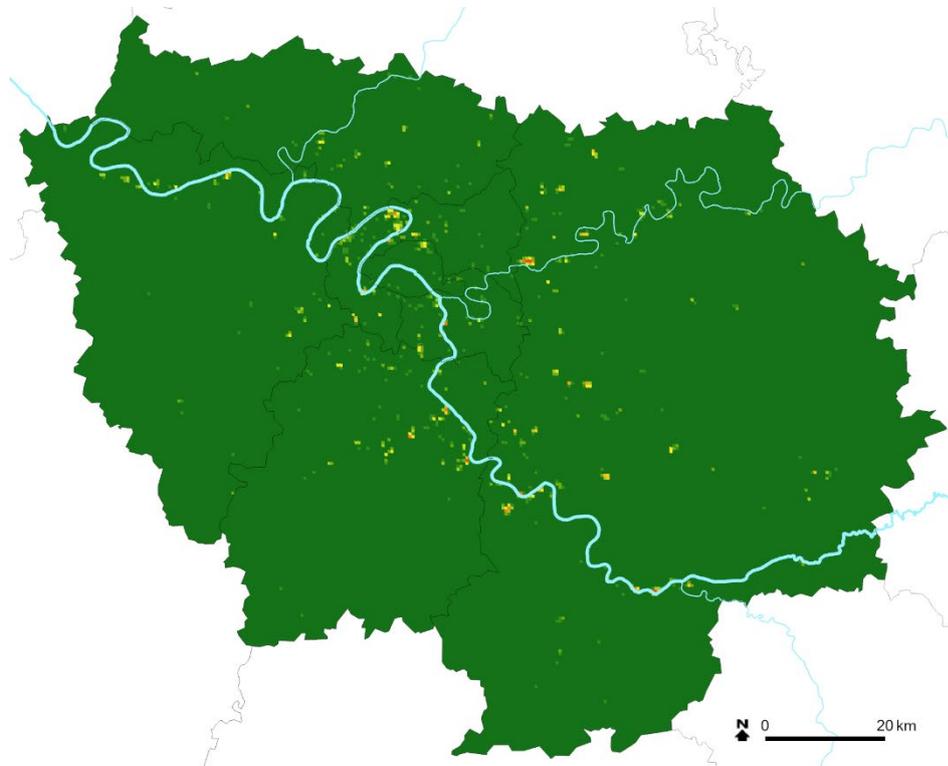


Figure 34 : Distribution de l'indicateur de la composante « bruit des transports » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes en Dalys potentiels)

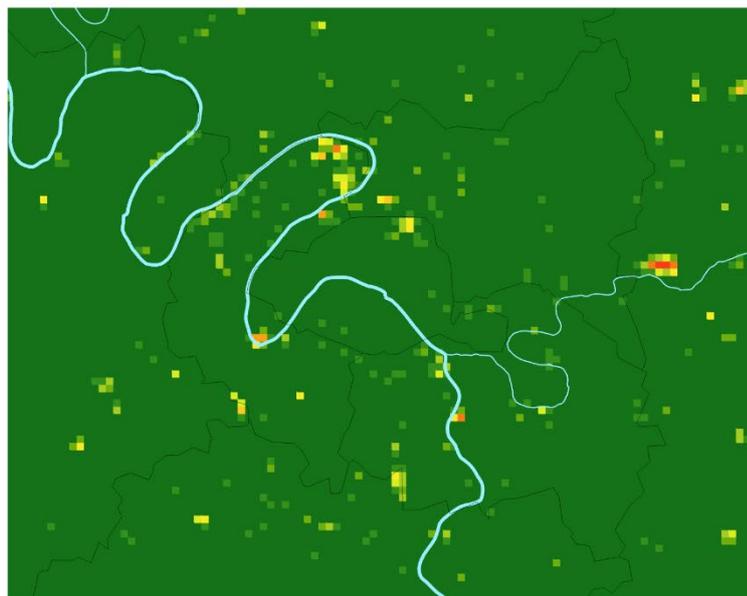


Composante pollution des sols d'origine industrielle

Figure 35 : Indicateur de la composante « pollution des sols d'origine industrielle » (Basol et SIS) agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)



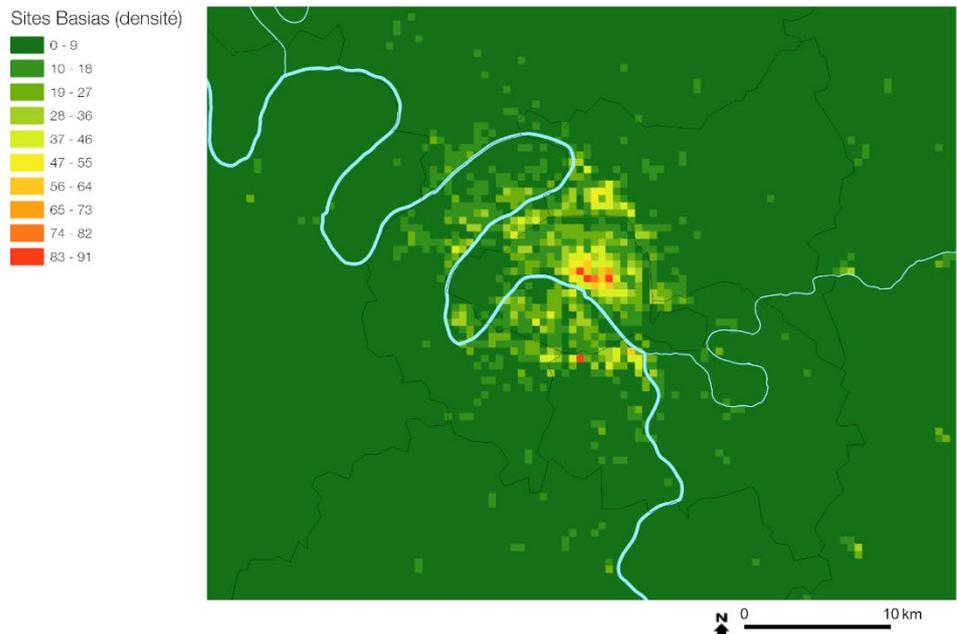
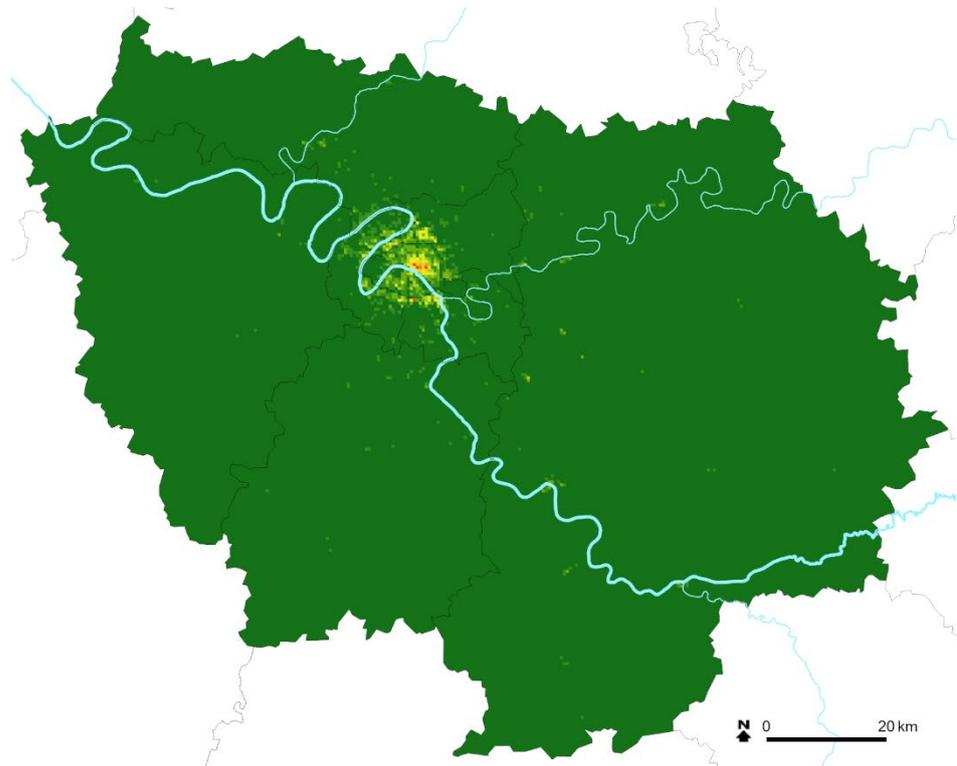
Sites Basol et SIS



© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021
 Source : L'Institut Paris Region
 Exploitation ORS ÎdF

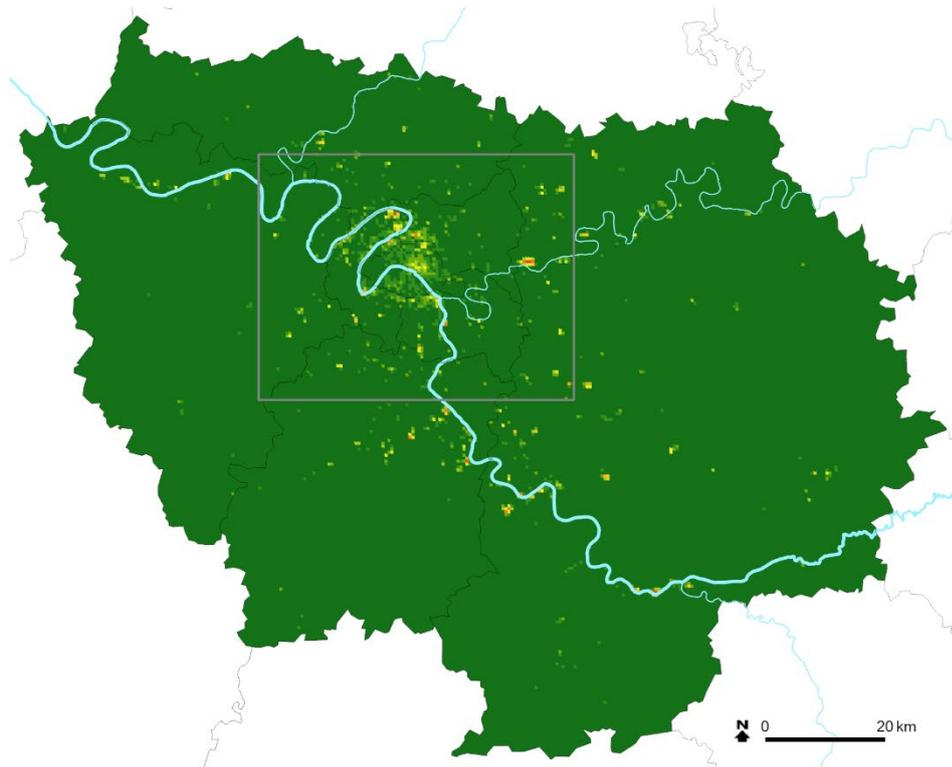


Figure 36 : Indicateur de la composante « sites Basias » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)



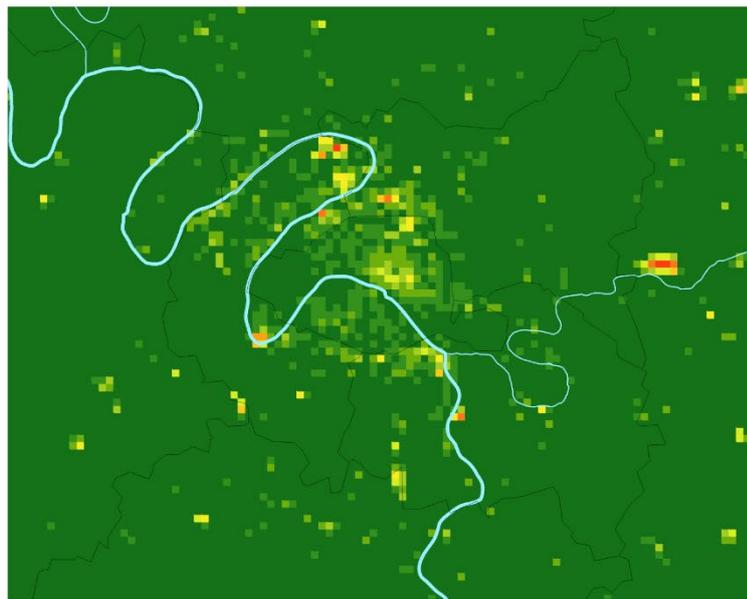
© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021
Source : Driéat Île-de-France
Exploitation L'Institut Paris Region, ORS ÎdF

Figure 37 : Composante sites et sols pollués d'origine industrielle



Sites et sols pollués
d'origine industrielle

- 0.00 - 0.10
- 0.11 - 0.20
- 0.21 - 0.30
- 0.31 - 0.40
- 0.41 - 0.50
- 0.51 - 0.60
- 0.61 - 0.70
- 0.71 - 0.80
- 0.81 - 0.90
- 0.91 - 1.00



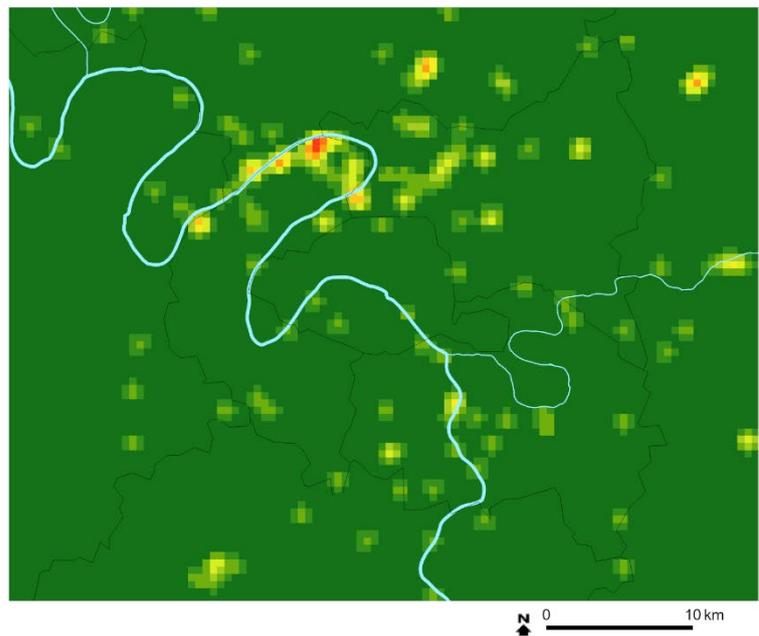
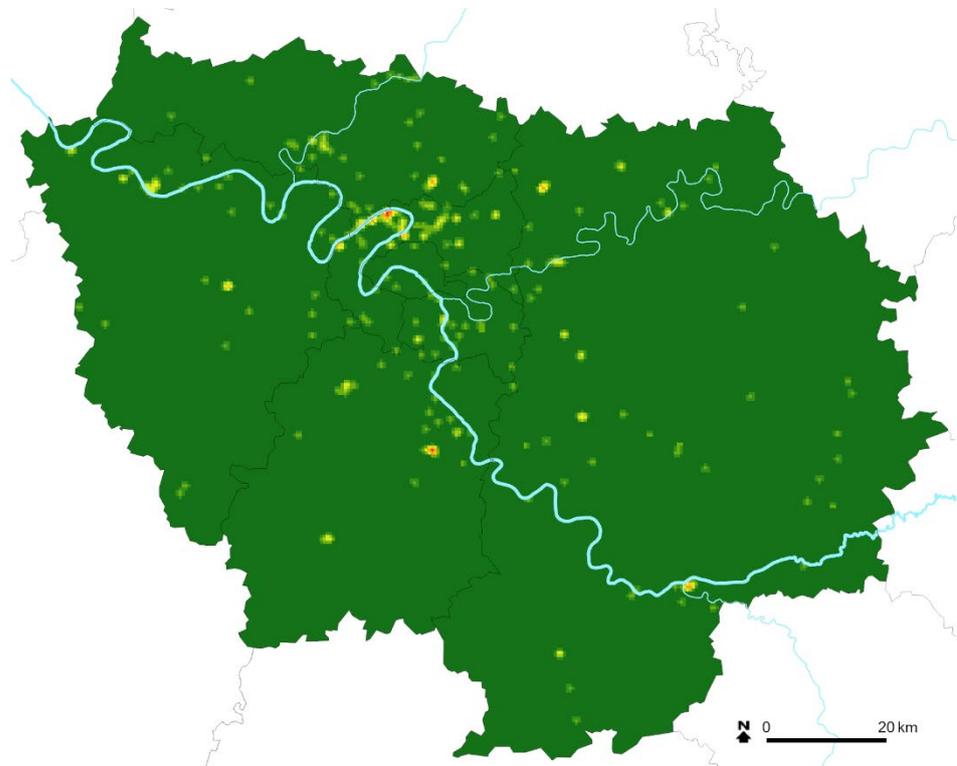
0 10 km

© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021
Source : Driat Île-de-France
Exploitation L'Institut, ORS Île-de-France



Composante installations industrielles

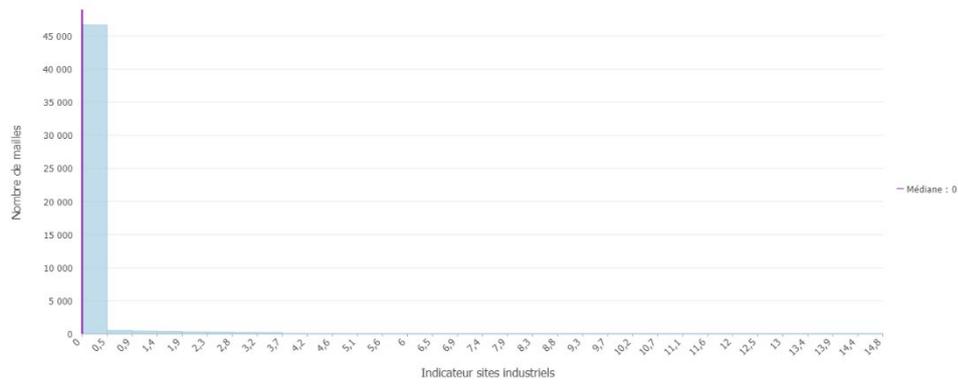
Figure 38 : Indicateur de la composante « installations industrielles » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)



© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021
Source : Driat Île-de-France
Exploitation L'Institut Paris Region, ORS ÎdF

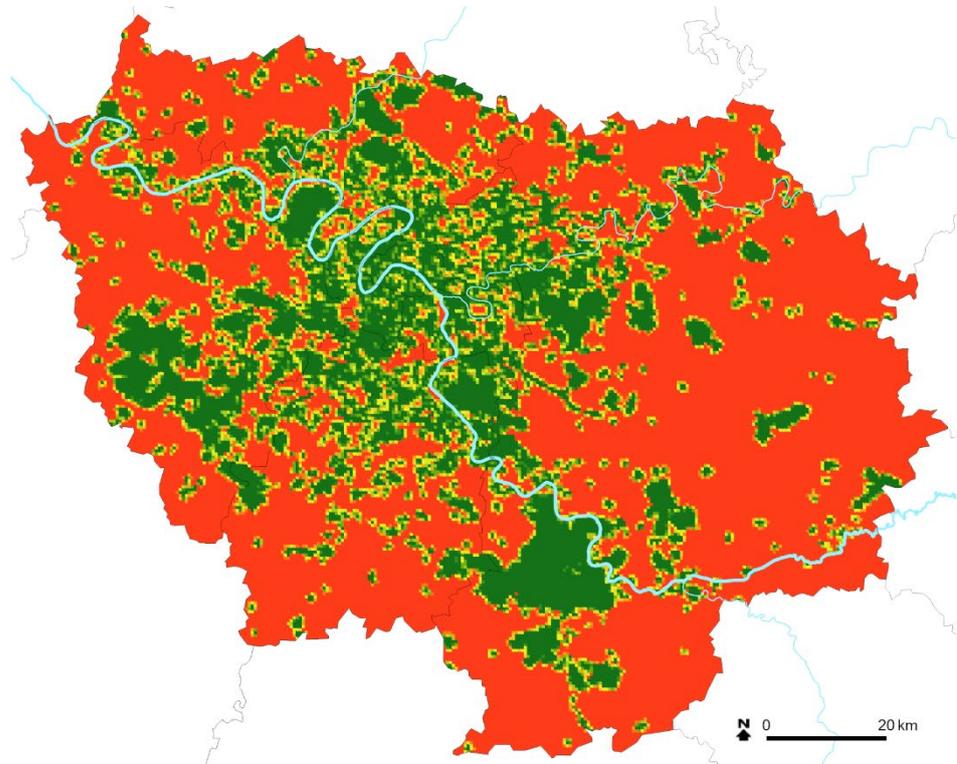


Figure 39 : Distribution de l'indicateur de la composante « installations industrielles » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)

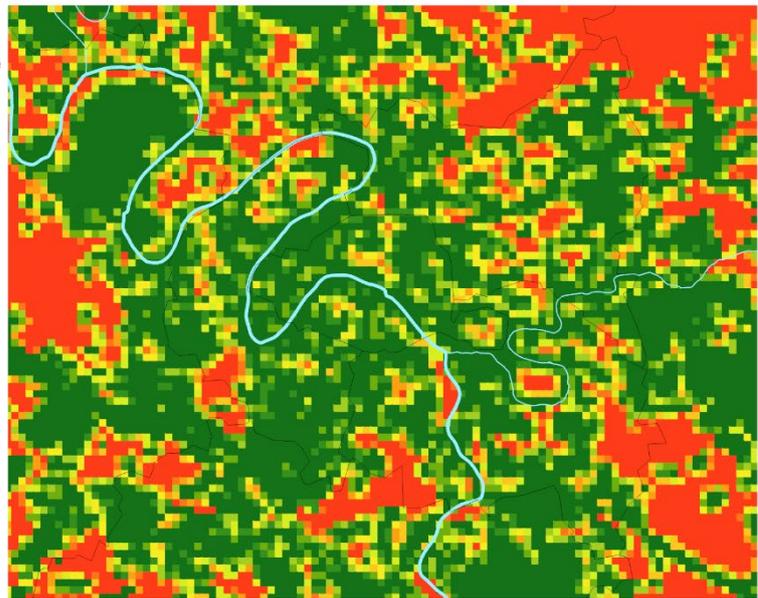
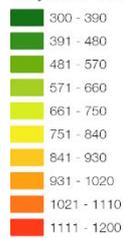


Composante carence en espaces verts

Figure 40 : Indicateur de carence en accessibilité aux espaces verts ouverts au public à la maille de référence (valeurs brutes)



Carence en accessibilité aux espaces verts (distance moyenne en m)



© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021

Source : L'Institut Paris Region
Exploitation ORS ÎdF



Figure 41 : Indicateur du pourcentage de MOS ouvert à la maille de référence (valeurs brutes)

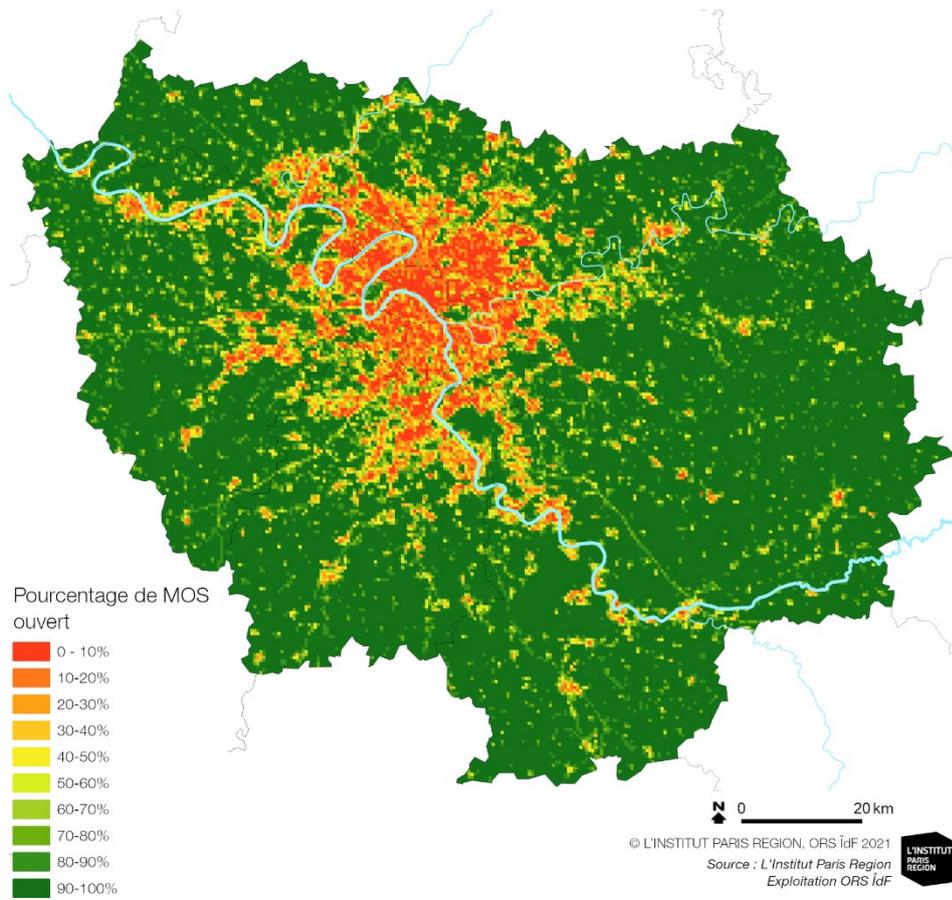
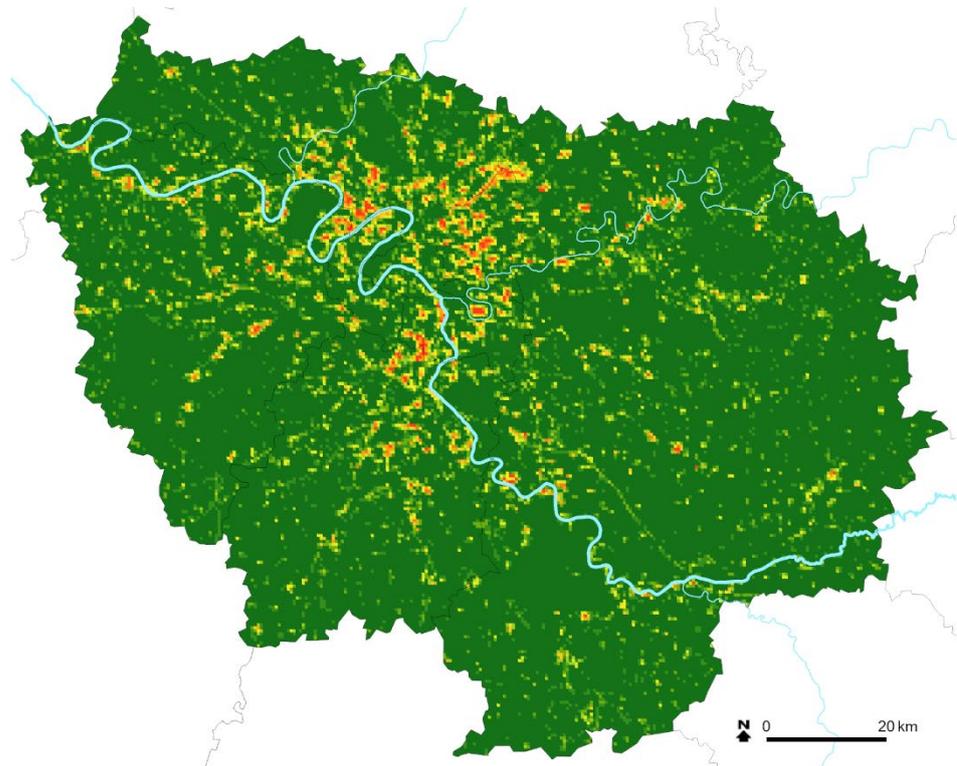
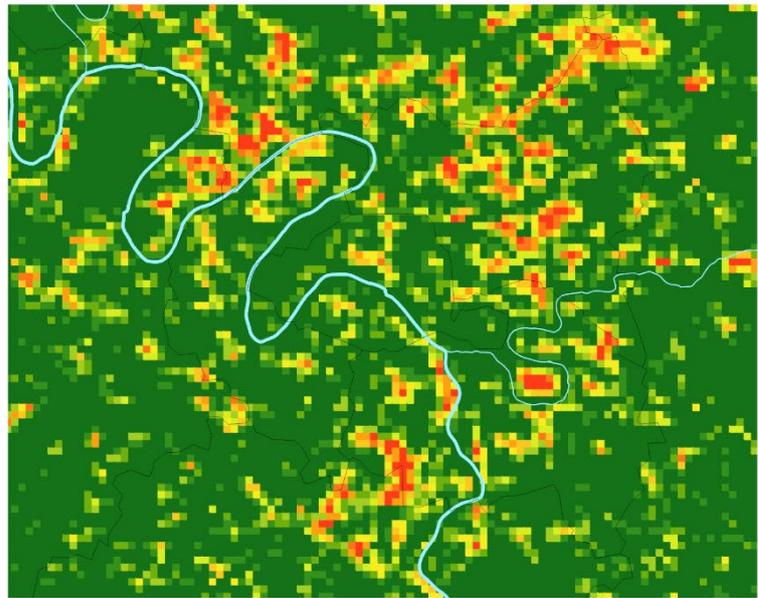


Figure 42 : Indicateur de la composante « carence en espaces verts » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)



Carence en espaces
verts atténuée

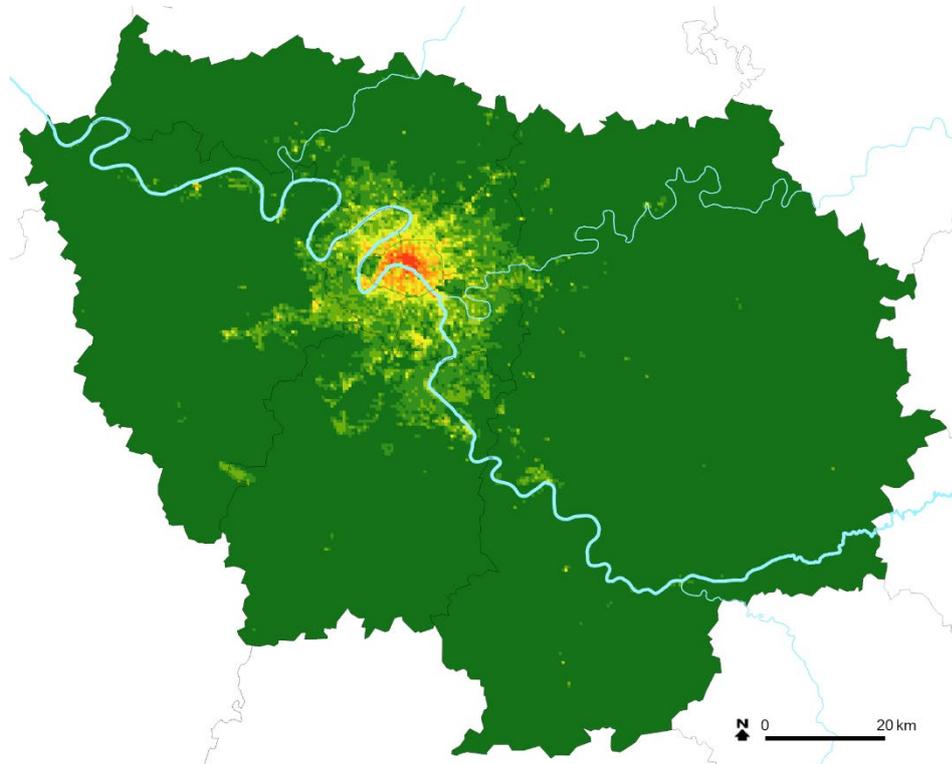


© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021
Source : L'Institut Paris Region
Exploitation ORS ÎdF

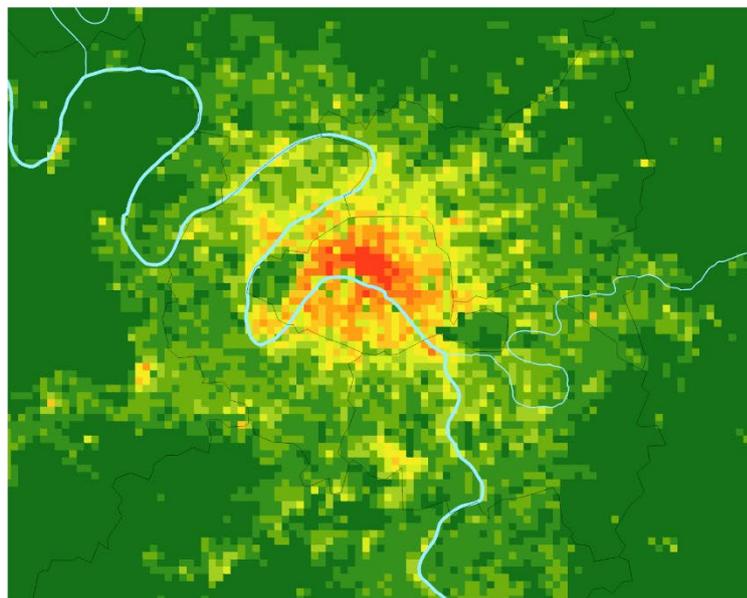
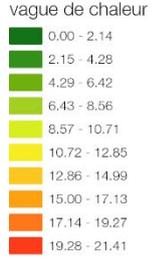


Composante effet d'amplification de l'aléa « vague de chaleur »

Figure 43 : Indicateur de la composante « effet d'amplification de l'aléa vague de chaleur » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)



Amplification aléa vague de chaleur

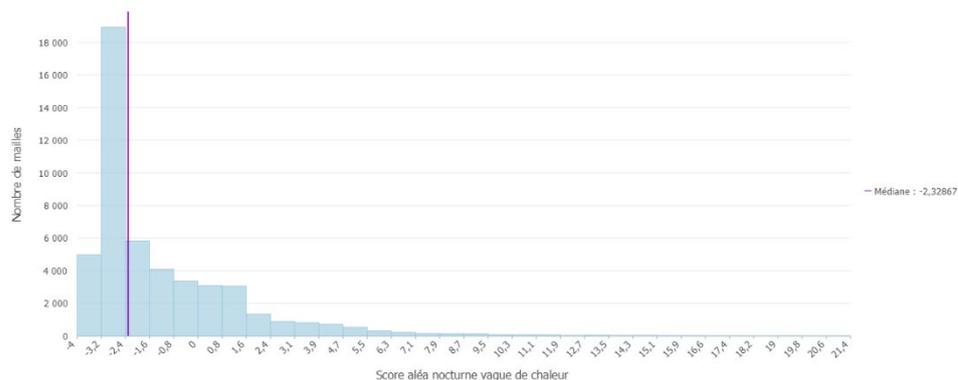


© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021

Source : L'Institut Paris Region
Exploitation ORS ÎdF

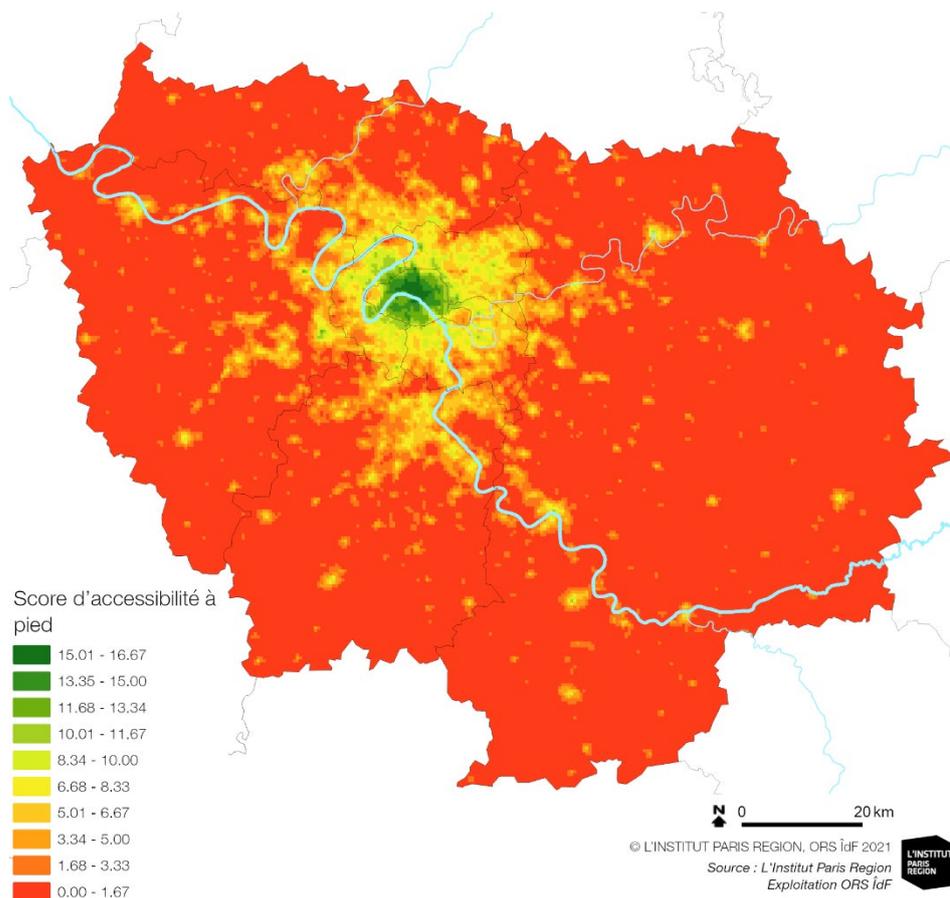


Figure 44 : Distribution de l'indicateur de la composante « effet d'amplification de l'aléa vague de chaleur » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)



Composante territoire favorable à la marche

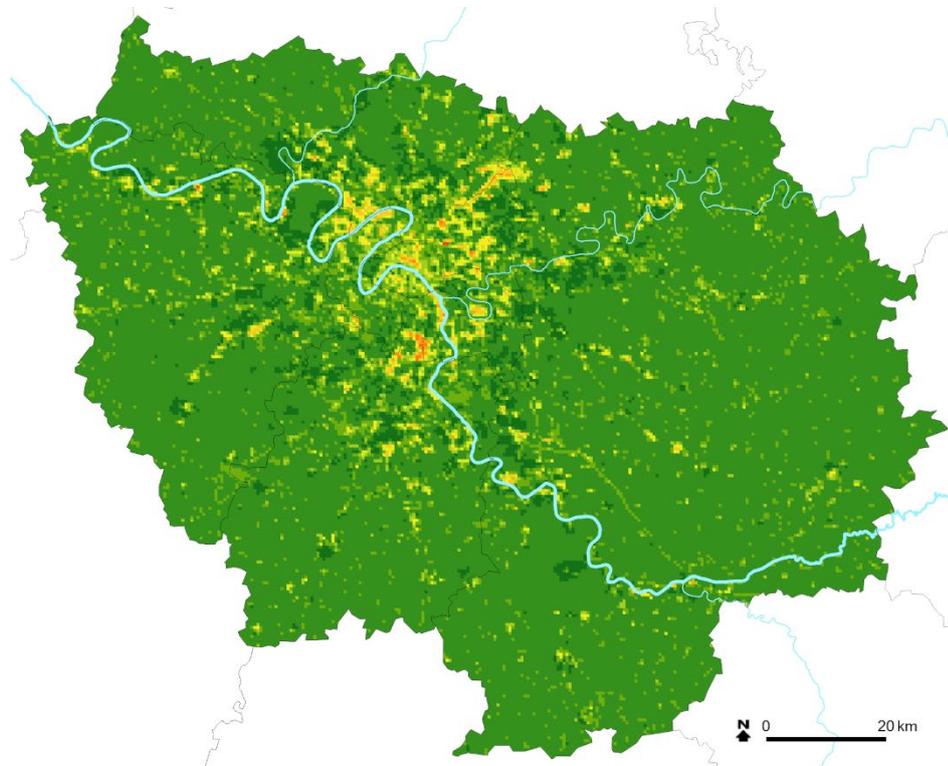
Figure 45 : Indicateur de la composante « territoire favorable à la marche » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)



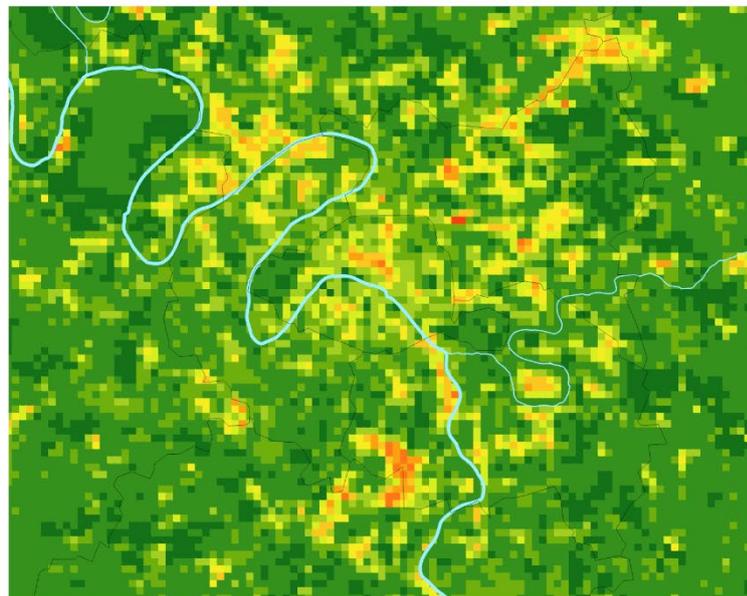
Composante cadre de vie

Figure 46 : Indicateur de la composante « cadre de vie » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)

$$S_{cadre} = 1 \times S_{carence \text{ en espaces verts}} + 1 \times S_{alea \text{ vague de chaleur}} - 0,5 \times S_{favorable \text{ à la marche}}$$



Cadre de vie

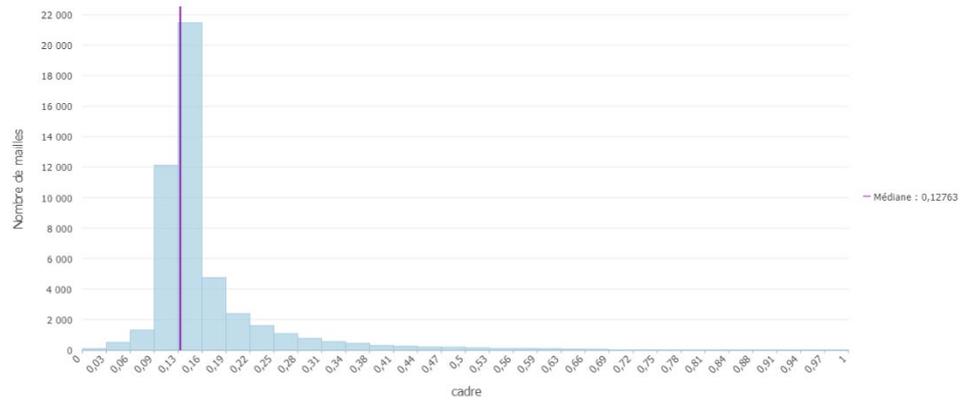


© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021

Source : L'Institut Paris Region
Exploitation L'Institut Paris Region, ORS ÎdF



Figure 47 : Distribution de l'indicateur de la composante « cadre de vie » agrégé à la maille de référence (valeurs brutes)



Indicateurs et score de sensibilité

Figure 48 : Indicateur de la part des moins de 5 ans à la maille de référence (percentiles)

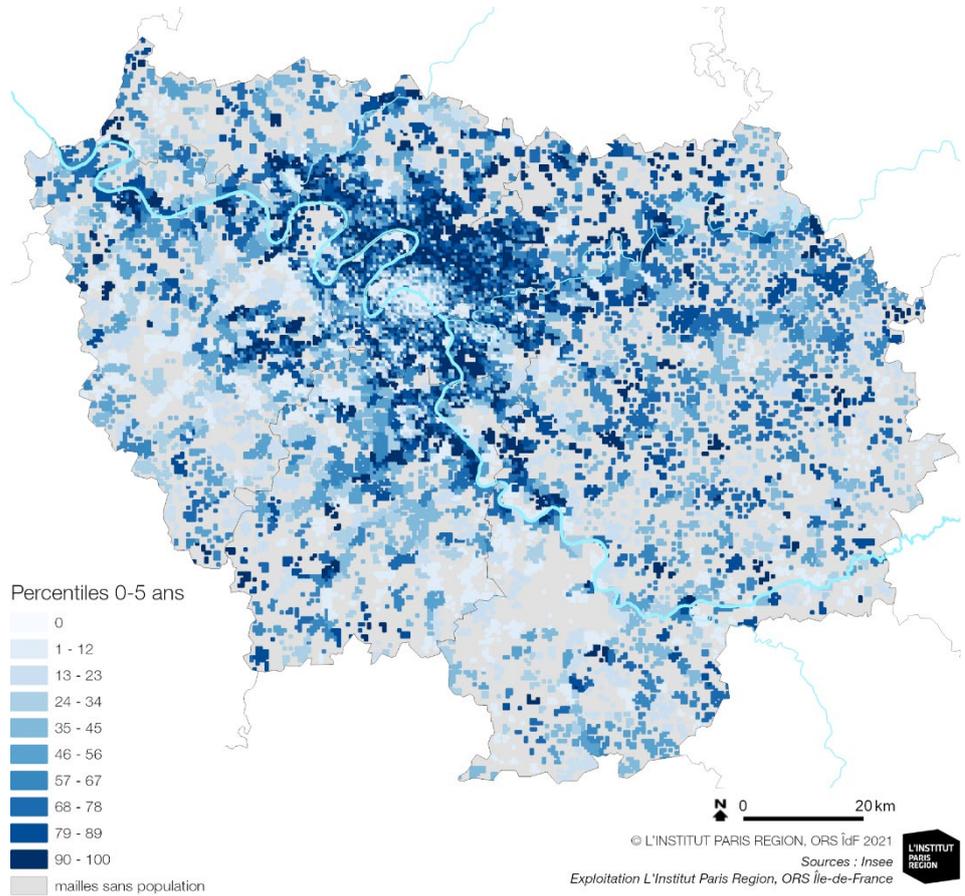


Figure 49 : Indicateur de la part des 65 ans et plus à la maille de référence (percentiles)

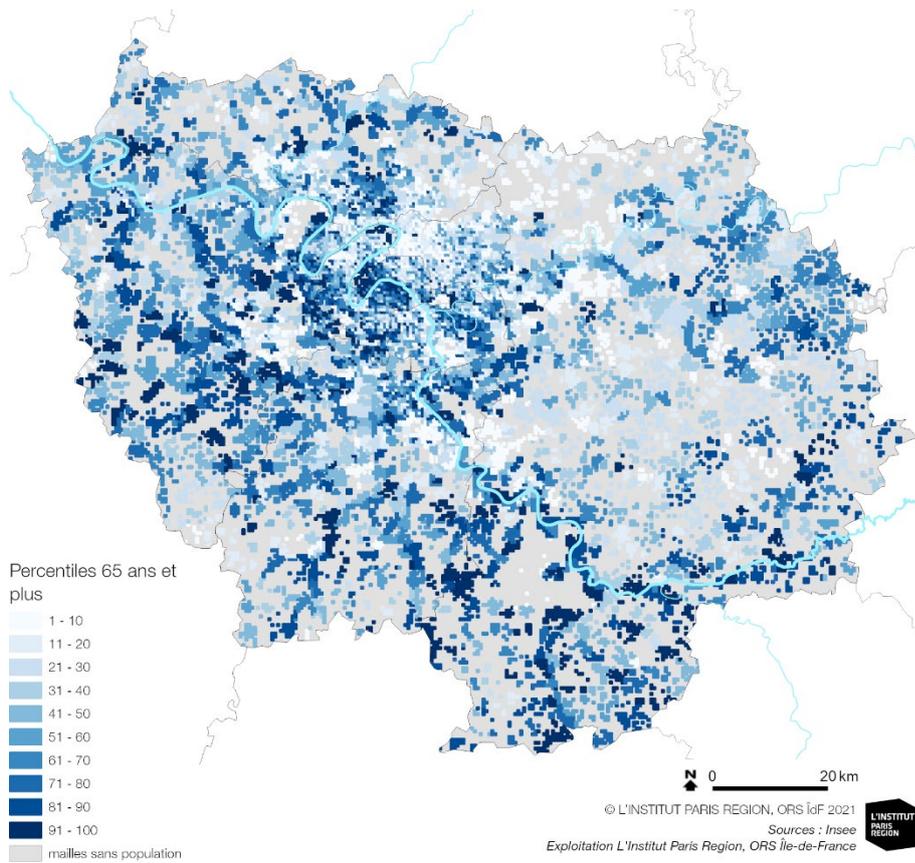


Figure 50 : Prévalence des pathologies chroniques établie à partir de la cartographie des pathologies de l'Assurance maladie (taux pour 1 000 habitants)

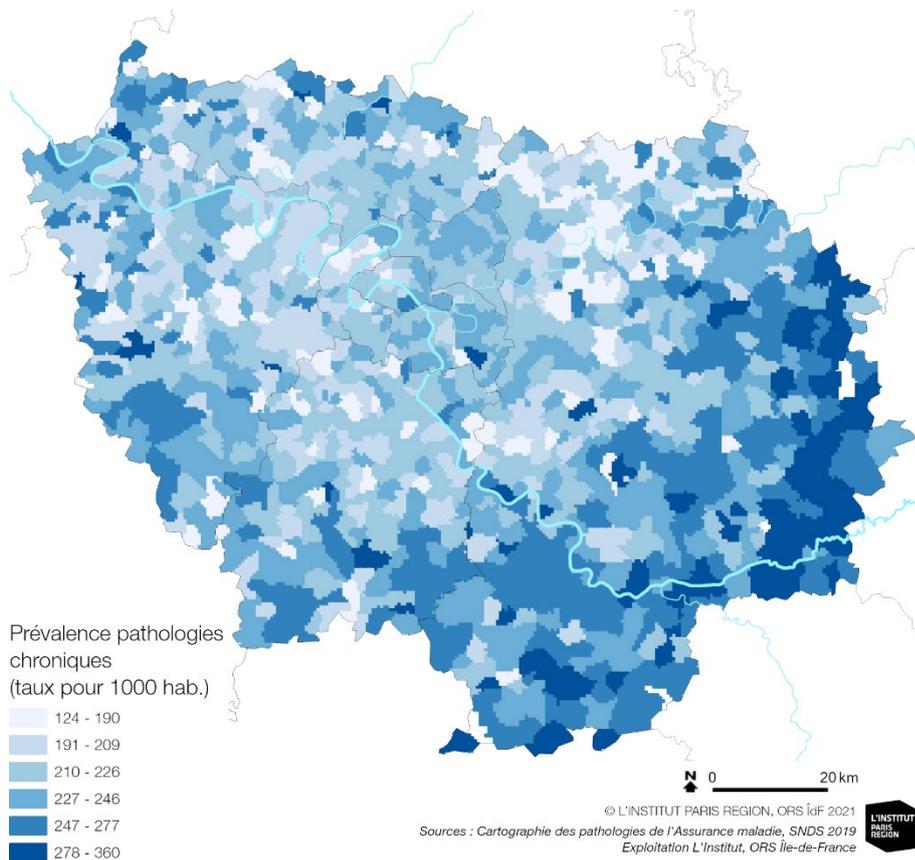


Figure 51 : Distribution de la prévalence des pathologies chroniques à la maille (uniquement mailles habitées)

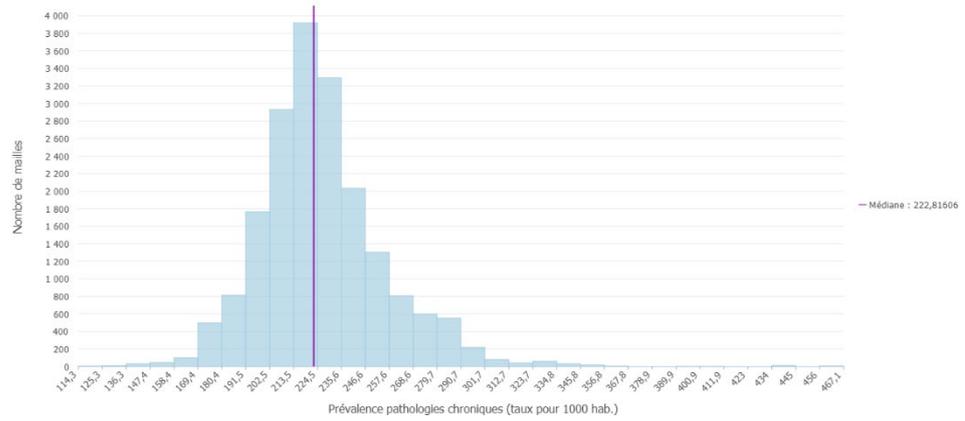


Figure 52 : Indicateur de l'indicateur de prévalence de pathologies chroniques à la maille de référence (percentiles)

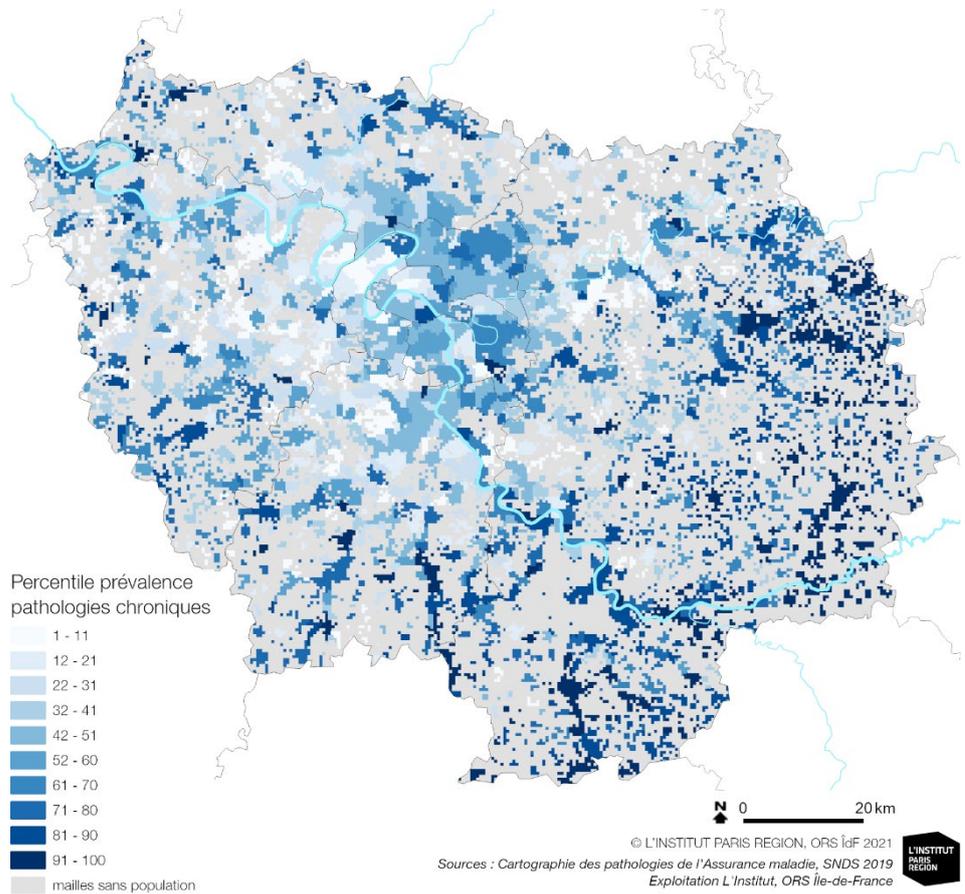
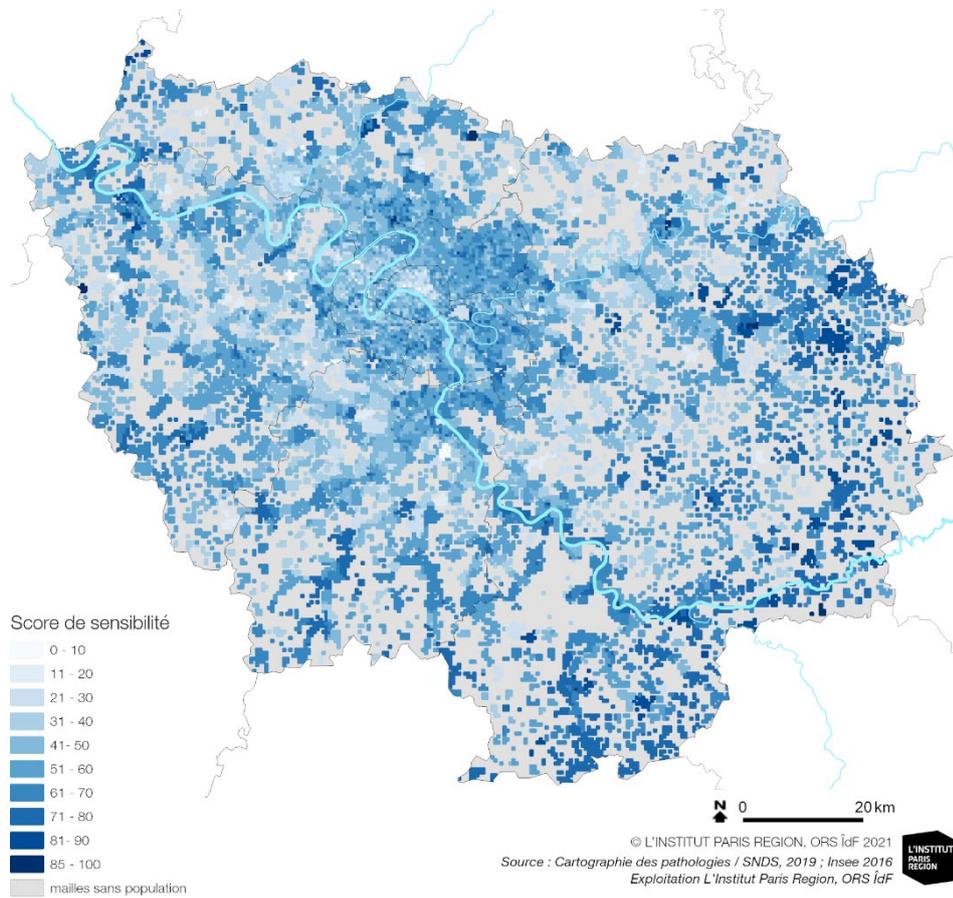


Figure 53 : Score de sensibilité à la maille de référence (percentiles)

$$S_{\text{sensibilité}} = \frac{S_{\leq 5ans} + S_{\geq 65ans} + S_{\text{pathologies chroniques}}}{3}$$



Indicateur de difficulté à faire face

Figure 54 : Indice de défaveur sociale (Fdep) à la maille de référence (en continu)

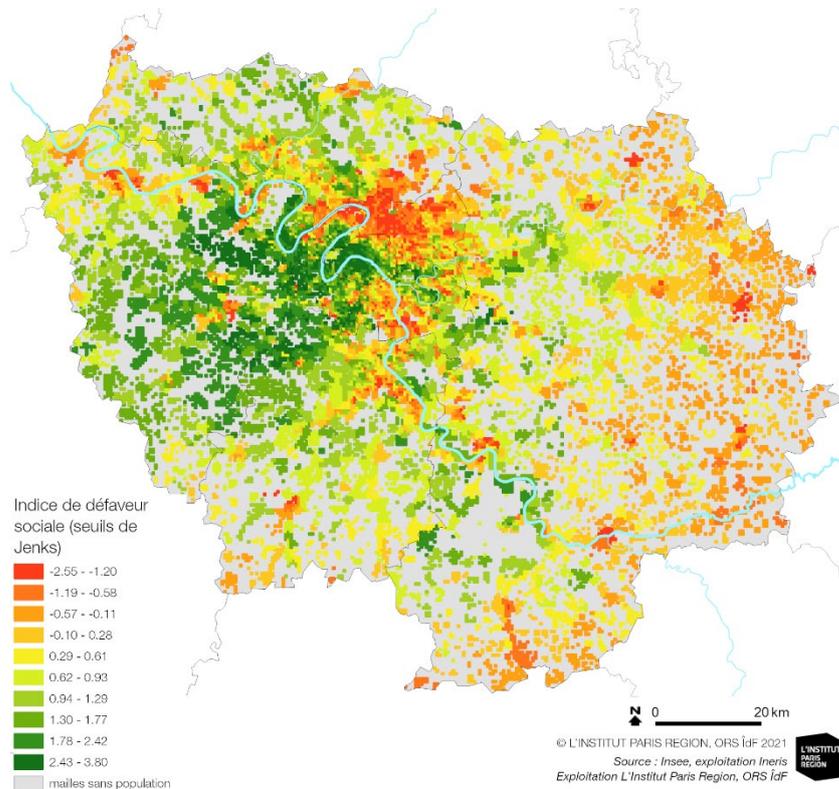
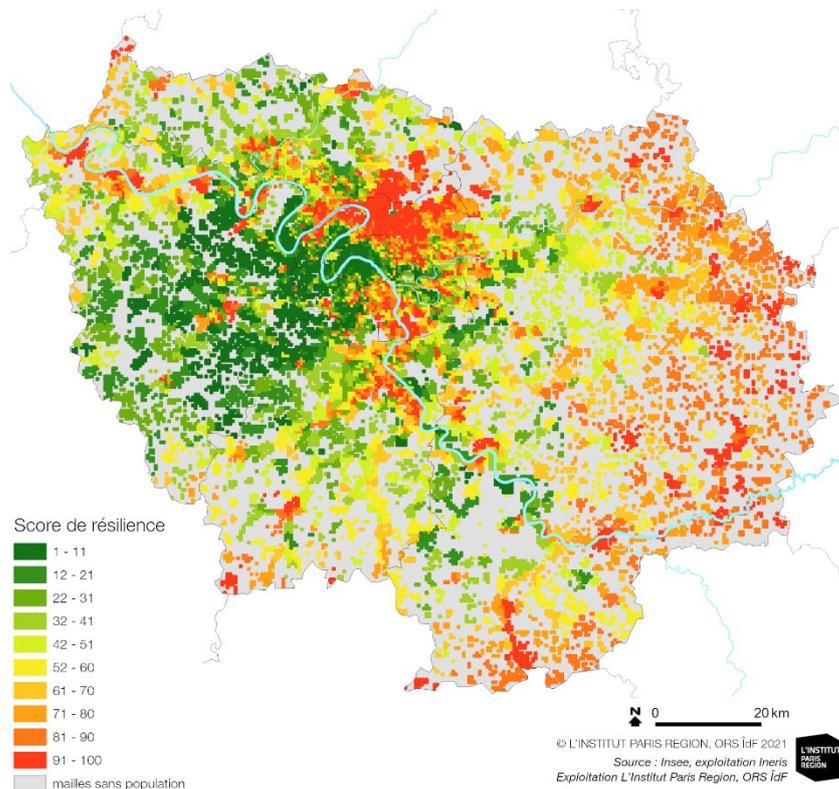
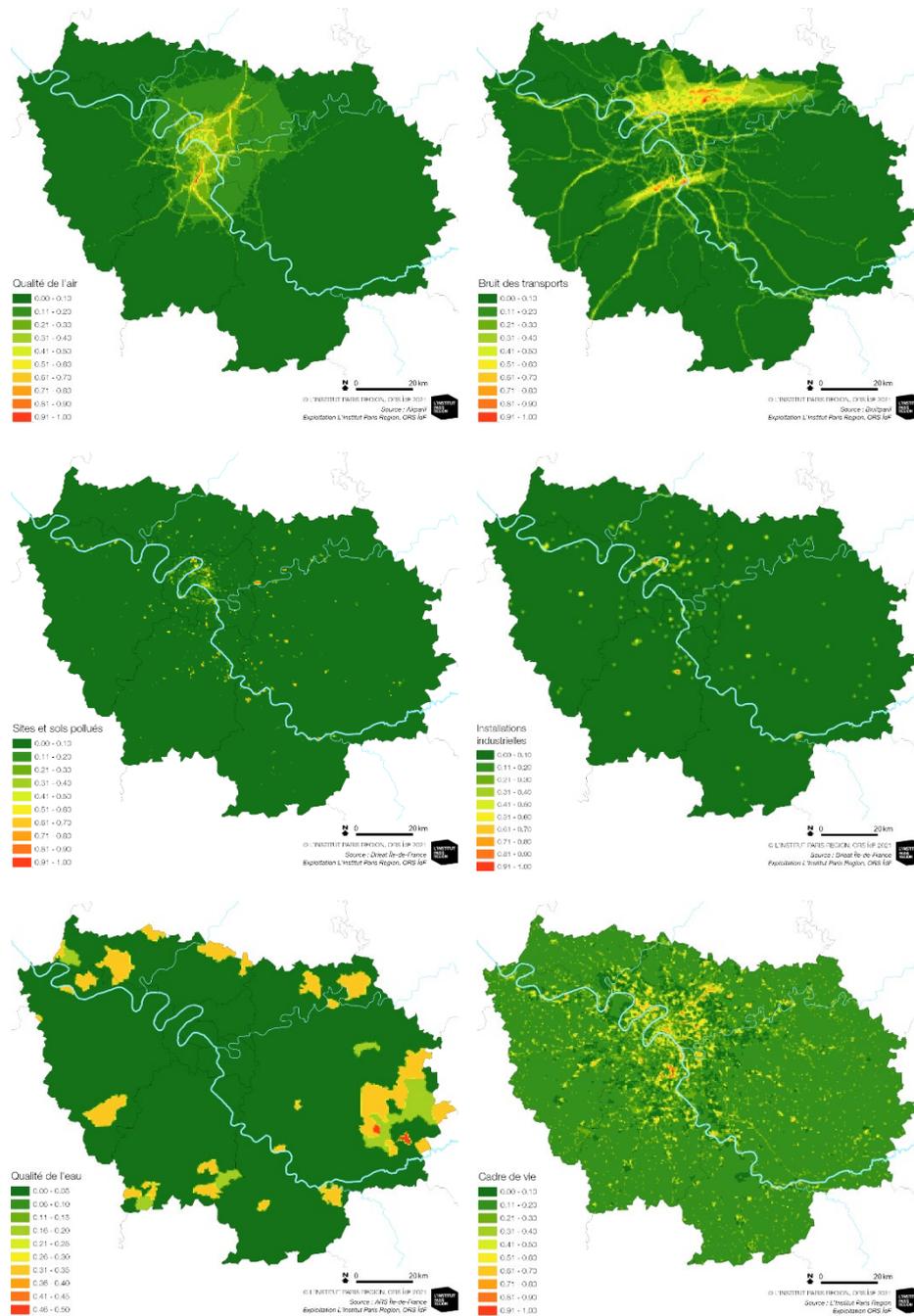


Figure 55 : Score de difficulté à faire face (percentiles pondérés par la population)



Annexe 4 : Représentation cartographique des six composantes individuelles (scores normalisés) mobilisées pour le score environnement



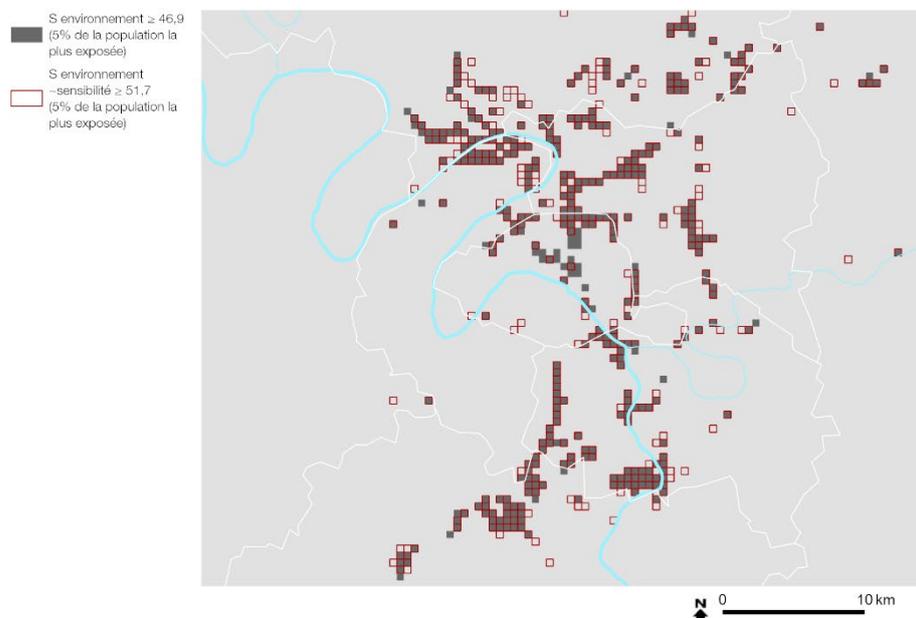
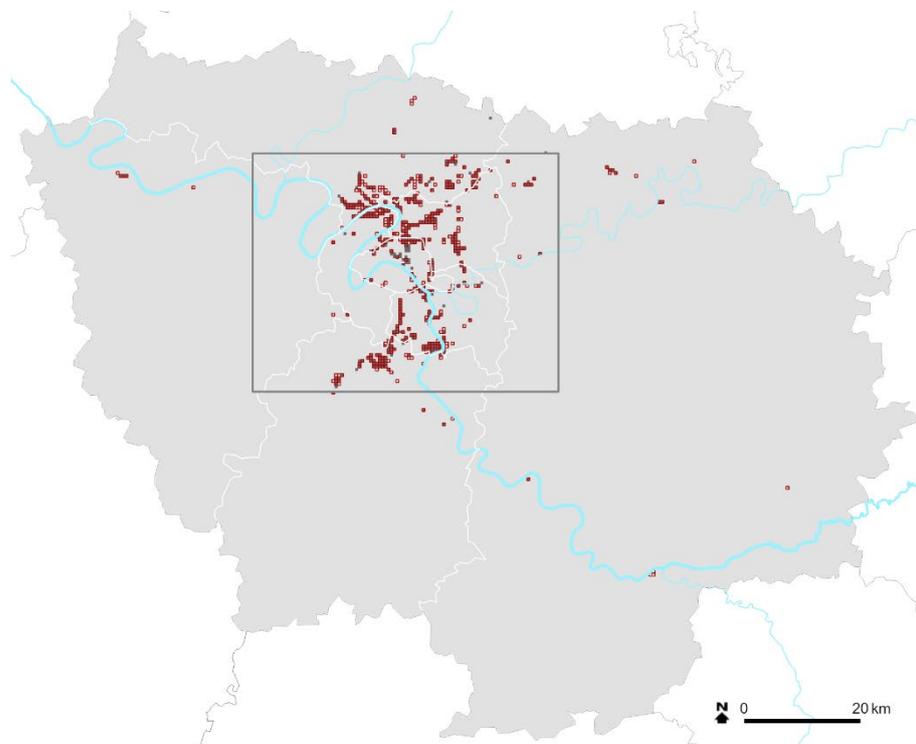
Annexe 5 : Percentiles du score environnement selon trois distributions (toutes mailles, mailles habitées, population exposée)

Percentiles	Toutes mailles	Mailles habitées	Population exposée
0%	0,0	0,0	0,0
1%	0,5	0,7	2,4
2%	0,7	0,9	3,5
3%	0,8	1,1	4,2
4%	0,9	1,3	4,9
5%	1	1,5	5,4
6%	1	1,7	6,0
7%	1,1	1,8	6,4
8%	1,3	2	6,9
9%	1,4	2,1	7,4
10%	1,5	2,2	7,9
11%	1,5	2,3	8,4
12%	1,6	2,4	8,9
13%	1,8	2,5	9,3
14%	1,9	2,6	9,7
15%	2	2,7	10,1
16%	2	2,8	10,4
17%	2,1	2,9	10,8
18%	2,2	2,9	11,3
19%	2,2	3	11,8
20%	2,3	3,1	12,1
21%	2,4	3,2	12,6
22%	2,4	3,3	13,0
23%	2,5	3,4	13,4
24%	2,5	3,5	13,8
25%	2,6	3,6	14,2
26%	2,7	3,7	14,6
27%	2,7	3,8	15,0
28%	2,8	3,9	15,5
29%	2,9	4	15,9
30%	2,9	4,1	16,3
31%	3	4,2	16,8
32%	3,1	4,3	17,2
33%	3,2	4,5	17,7
34%	3,2	4,6	18,2
35%	3,3	4,8	18,6
36%	3,4	5	19,1
37%	3,4	5,1	19,5
38%	3,5	5,3	19,9
39%	3,5	5,5	20,4
40%	3,6	5,7	20,9
41%	3,7	5,9	21,2
42%	3,8	6,1	21,6
43%	3,9	6,3	21,9
44%	4	6,6	22,4
45%	4,1	6,8	22,9
46%	4,3	7,1	23,2
47%	4,4	7,4	23,5
48%	4,6	7,6	23,8
49%	4,8	8	24,1
50%	5,0	8,2	24,5
51%	5,2	8,6	24,9
52%	5,4	8,8	25,2
53%	5,7	9,2	25,7
54%	5,9	9,5	26,1
55%	6,2	9,8	26,5
56%	6,5	10,1	26,8
57%	6,7	10,5	27,1
58%	7,1	10,8	27,5
59%	7,4	11,2	27,8
60%	7,8	11,6	28,3
61%	8,1	11,9	28,7
62%	8,5	12,3	29,1
63%	8,9	12,7	29,4
64%	9,4	13,1	29,7
65%	9,8	13,5	30,1
66%	10,2	14	30,5
67%	10,7	14,5	30,8

68%	11,2	15	31,3
69%	11,6	15,6	31,6
70%	11,9	16,1	32,1
71%	12,2	16,7	32,4
72%	12,7	17,3	32,8
73%	13,3	18	33,2
74%	14	18,7	33,5
75%	14,7	19,4	33,9
76%	15,4	19,9	34,4
77%	16,2	20,5	34,8
78%	17	21	35,1
79%	17,8	21,5	35,6
80%	18,7	21,9	36,1
81%	19,4	22,6	36,3
82%	20,1	23,2	37,1
83%	20,6	23,8	37,6
84%	20,9	24,5	38,2
85%	21,3	25,4	38,6
86%	21,6	26,4	39,2
87%	22	27,2	39,8
88%	22,9	28,1	40,2
89%	23,7	29,3	40,6
90%	24,8	30,4	41,7
91%	26,2	31,7	42,5
92%	27,5	33	43,5
93%	29,2	34,6	44,7
94%	30,9	36,2	45,6
95%	33	38	46,9
96%	35,6	40	48,6
97%	38,6	42,8	50,5
98%	42,9	46,5	52,7
99%	49,8	52,9	58,3
100%	100,0	90,7	90,7

Annexe 6 : Identification des populations les plus impactées avec et sans prise en compte de la sensibilité et de la vulnérabilité

Figure 56 : Identification des secteurs où se regroupe la population la plus exposée (seuil de 5 %) selon les deux scores d'environnement avec et sans prise en compte de la sensibilité

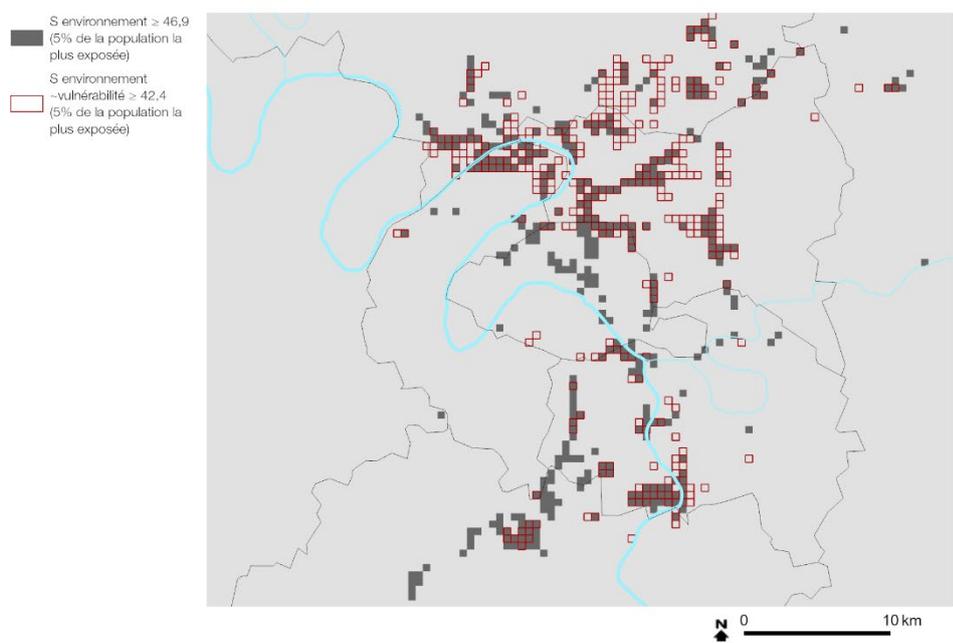
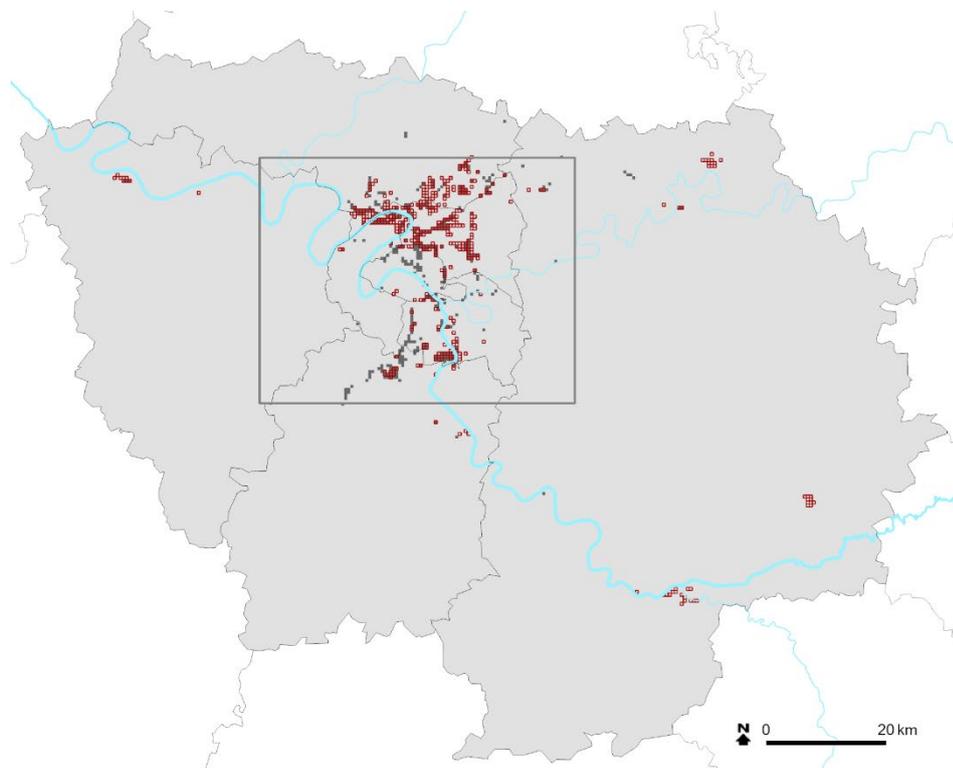


© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021
Source : Airparif, Bruitparif, Drieat, ARS, L'Institut, Insee
Exploitation L'Institut, ORS Île-de-France



La comparaison fait apparaître des mailles communes aux deux géographies, environ 89 % des 413 mailles identifiées comme les plus impactées en considérant le score environnement « brut ». Par ailleurs, de nouvelles mailles apparaissent, soit 108 mailles, ne particulier en Seine-Saint-Denis et au sud du Val-d'Oise alors que d'autres mailles s'« effacent », notamment à Paris, cela représente 44 mailles.

Figure 57 : Identification des secteurs où se regroupe la population la plus exposée (seuil de 5 %) selon les deux scores d'environnement avec et sans prise en compte de la sensibilité et de la difficulté à faire face



© L'INSTITUT PARIS REGION, ORS ÎdF 2021
 Source : Airparif, Bruitparif, Driest, ARS, L'Institut, Insee
 Exploitation L'Institut, ORS Île-de-France

La comparaison fait apparaître des mailles communes aux deux géographies, environ 74 % des 413 mailles où se regroupe la population la plus exposée (seuil de 5 %) en considérant le score environnement « brut ». Par ailleurs, de nouvelles mailles apparaissent, soit 146, notamment au nord est de Paris ainsi que quelques secteurs en grande couronne alors que d'autres mailles s'« effacent », soit 106, notamment à Paris et au nord de l'Essonne et dans le sud du Val-d'Oise.

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ARS : Agence régionale de santé
 BASIAS : Inventaire historique de sites industriels et activités de service
 BASOL : Base de données sur les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif
 BTEX : Benzène – Toluène – Ethylbenzène – Xylènes
 Cal EPA : Agence californienne de protection de l'environnement
 CLS : contrat local de santé
 CSB : carte stratégique de bruit
 DALY : Disability Adjusted Life Years
 Deur : Département environnement rural et urbain
 Driea : Direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement d'Île-de-France
 Drieat : Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports
 Driee : Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie
 EDCH : Eau destinée à la consommation humaine
 EGT : Enquête globale transport
 EJSEAT : Environmental Justice Strategic Enforcement Assessment Tool
 HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques
 HCSP : Haut Conseil de la santé publique
 ICPE : Installation classée pour la protection de l'environnement
 ICU : îlot de chaleur urbain
 IED : Industrial Emissions Directive
 IMU : îlots morphologiques urbains
 Ineris : Institut national de l'environnement industriel et des risques
 Insee : Institut national de la statistique et des études économiques
 Inserm : Institut national de la santé et de la recherche médicale
 InVS : Institut de veille sanitaire
 IQALE : indicateur de qualité des environnements
 Iris : îlot regroupé pour l'information statistique
 ITESS : inégalités territoriales, environnementales et sociales de santé
 LCZ : local climate zone
 Lden : Day-evening-night equivalent level
 Lnight ou Ln : Level Night
 MOS : Mode d'occupation du sol
 NDMA : N-nitrosodiméthylamine
 NDVI : Normalised Difference Vegetation Index
 NO₂ : dioxyde d'azote
 OECA : Office of Enforcement and Compliance Assurance
 OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment
 OMS : Organisation mondiale de la santé
 ORS : Observatoire régional de santé
 PCB : polychlorobiphényle
 PCT : polychloroterphényles
 PM : particulate matter
 PRSE : Plan régional santé environnement
 RP : recensement de la population
 SIG : système d'information géographique
 SIS : Secteurs d'Information sur les Sols
 Sise'EAUX : Système d'Information des services Santé-Environnement Eau
 SSP : sites et sols pollués
 UDI : unités de distribution
 VL : valeur limite
 VTR : valeur toxicologique de référence

BIBLIOGRAPHIE

- [1] WHO. Environmental health inequalities in Europe. Assessment report. WHO Regional Office for Europe; 2012.
- [2] WHO. Environmental health inequalities in Europe. Second assessment report. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe; 2019.
- [3] Caudeville J. Caractérisation des expositions environnementales : inventaire des bases de données nationales environnementales et spatialisées - Mise à jour dans le cadre de la préparation du PNSE 4. Ineris; 2018.
- [4] Caudeville J. Inégalités environnementales et croisement des données d'exposition et populationnelles (action 39 du PNSE 3). Synthèse des différents outils d'analyse disponibles | Ineris; 2017.
- [5] Caudeville J. Application des méthodes d'évaluation des risques cumulés pour l'identification des zones de surexposition. *Environnement, Risques & Santé* 2021;20:355–60. <https://doi.org/10.1684/ers.2021.1567>.
- [6] OEHHA. CalEnviroScreen 4.0 Public Review Draft. California: California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment; 2021.
- [7] Saib M-S, Caudeville J, Beauchamp M, Carré F, Garry O, Trugeon A, et al. Building spatial composite indicators to analyze environmental health inequalities on a regional scale. *Environ Health* 2015;14:68. <https://doi.org/10.1186/s12940-015-0054-3>.
- [8] Saib M-S, Caudeville J, Carre F, Garry O, Trugeon A, Cicoella A. Spatial Relationship Quantification between Environmental, Socioeconomic and Health Data at Different Geographic Levels. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2014;11:3765–86. <https://doi.org/10.3390/ijerph110403765>.
- [9] Caudeville J. Construction de l'indicateur de qualité des environnements pour la population. Restitution de la méthodologie élaborée par le groupe de travail sous l'égide du GT3 « données, indicateurs » de préfiguration du PNSE4. Ineris; 2021.
- [10] Sandrine Gueymard. Inégalités environnementales : identification de points noirs environnementaux en région île-de-france. Paris: Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Ile-de-France; 2016.
- [11] Caudeville J. Retour d'expérience des travaux de caractérisation des inégalités environnementales réalisés en région. Ineris; 2016.
- [12] HCSP. Rapport relatif aux indicateurs composites en santé-environnement. Paris (France): HCSP; 2021.
- [13] Caudeville J. Caractérisation des inégalités environnementales: Inventaire des bases de données nationales environnementales et spatialisées. INERIS-DRC-15-152407-11231B; 2015.
- [14] L'Institut Paris Region. Le schéma directeur de la région Île-de-France (Sdrif). 2013. <https://www.institutparisregion.fr/planification/ile-de-france-2030/le-schema-directeur-de-la-region-ile-de-france-sdrif/> (accessed June 1, 2021).
- [15] Cavailhès J. Le prix des attributs du logement. *Economie et statistique* 2005;381:91–123. <https://doi.org/10.3406/estat.2005.7210>.
- [16] Host S, Karusisi N. Erpurs : 20 ans de surveillance et d'évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé. Bilan et perspectives. Paris : ORS Île-de-France; 2014.
- [17] Corso M, De Crouy-Chanel P, Medina S, Wagner V, Blanchard M, Host S, et al. Impact sanitaire de l'épisode de pollution aux PM10 de novembre-décembre 2016. Saint-Maurice : Santé publique France; 2018.
- [18] Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M, Andersen ZJ, Badaloni C, Beelen R, et al. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events : prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from. *BMC Public Health* 2014;7412:1–16. <https://doi.org/10.1136/bmj.f7412>.

- [19] Bentayeb M, Wagner V, Stempfelet M, Zins M, Goldberg M, Pascal M, et al. Association between long-term exposure to air pollution and mortality in France: A 25-year follow-up study. *Environment International* 2015;85:5–14. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.08.006>.
- [20] 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.
- [21] Host S, Chatignoux E, Leal C, Grémy I. Exposition à la pollution atmosphérique de proximité liée au trafic: quelles méthodes pour quels risques sanitaires? *Rev Epidemiol Sante Publique* 2012;60:321–30. <https://doi.org/10.1016/j.respe.2012.02.007>.
- [22] WHO. Air pollution and child health: prescribing clean air. 2018.
- [23] Berhane K, Chang CC, McConnell R, Gauderman WJ, Avol E, Rapaport E, et al. Association of Changes in Air Quality With Bronchitic Symptoms in Children in California, 1993-2012. *Jama* 2016;315:1491–501. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.3444>.
- [24] Atmo France. Carte Stratégique Air : Guide méthodologique d'élaboration. 2016.
- [25] Huss A, Spoerri A, Egger M, Roosli M. Aircraft noise, air pollution, and mortality from myocardial infarction. *Epidemiology (Cambridge, Mass)* 2010;21:829–36. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181f4e634>.
- [26] 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. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030519>.
- [27] Kempen EV, Casas M, Pershagen G, Foraster M. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects: A Summary. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018;15. <https://doi.org/10.3390/ijerph15020379>.
- [28] Clark C, Paunovic K. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Quality of Life, Wellbeing and Mental Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018;15. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112400>.
- [29] Clark C, Paunovic K. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cognition. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018;15. <https://doi.org/10.3390/ijerph15020285>.
- [30] WHO. Environmental Noise Guidelines for the European Region. World Health Organization Europe; 2018.
- [31] van Kamp I, Davies H. Noise and health in vulnerable groups: a review. *Noise & Health* 2013;15:153–9. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.112361>.
- [32] Bruitparif. Impacts sanitaires du Bruit des transports Dans la zone dense de la Région Île-de-France. 2019.
- [33] Bassi C. Étude de la pertinence d'un dépistage du saturnisme infantile sur un site d'épandage de boues et d'eaux usées : Plaines d'Achères, Pierrelaye, Triel-sur-Seine et Carrières-sous-Poissy. Saint-Maurice: Santé publique France; 2018.
- [34] ARS Île-de-France. Anciennes plaines d'épandage des Yvelines et du Val-d'Oise : résultats des études et recommandations. ARS Île-de-France; 2018.
- [35] Martin S, Guillaum M-T, Cassagne E, Legout C, Daniau C, Ségala C. Étude des perceptions des habitants de la Vallée-de-Seine (Yvelines) relatives à leur environnement et leur santé : phase quantitative. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique* 2016;64:S249. <https://doi.org/10.1016/j.respe.2016.06.290>.
- [36] HCSP. Avis relatif à un projet d'indicateur global de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine 2018:6.
- [37] OMS Europe. Urban green spaces and health. A review of evidence. Organisation mondiale de la santé Europe; 2016.

- [38] Kuo M. How might contact with nature promote human health? Promising mechanisms and a possible central pathway. *Frontiers in Psychology* 2015;6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01093>.
- [39] van den Bosch M, Ode Sang Å. Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health – A systematic review of reviews. *Environmental Research* 2017;158:373–84. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.040>.
- [40] Twohig-Bennett C, Jones A. The health benefits of the great outdoors: A systematic review and meta-analysis of greenspace exposure and health outcomes. *Environmental Research* 2018;166:628–37. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.06.030>.
- [41] Bertrand C, Pascal M, Médina S. Do we know enough to quantify the impact of urban green spaces on mortality? An analysis of the current knowledge. *Public Health* 2021;200:91–8. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2021.09.015>.
- [42] Markevych I, Schoierer J, Hartig T, Chudnovsky A, Hystad P, Dzhambov AM, et al. Exploring pathways linking greenspace to health: Theoretical and methodological guidance. *Environ Res* 2017;158:301–17. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.06.028>.
- [43] Hunter RF, Cleland C, Cleary A, Droomers M, Wheeler BW, Sinnett D, et al. Environmental, health, wellbeing, social and equity effects of urban green space interventions: A meta-narrative evidence synthesis. *Environ Int* 2019;130:104923. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104923>.
- [44] Douglas O, Lennon M, Scott M. Green space benefits for health and well-being: A life-course approach for urban planning, design and management. *Cities* 2017;66:53–62. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.03.011>.
- [45] Lachowycz K, Jones AP, Page AS, Wheeler BW, Cooper AR. What can global positioning systems tell us about the contribution of different types of urban greenspace to children’s physical activity? *Health Place* 2012;18:586–94. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2012.01.006>.
- [46] Hartig T, Mitchell R, de Vries S, Frumkin H. Nature and health. *Annu Rev Public Health* 2014;35:207–28. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182443>.
- [47] Milvoy A, Roué Le Gall A. Les questions à se poser pour aménager des espaces de jeux favorables à la santé. *La Santé en action* 2015:38–9.
- [48] Réseau français des Villes-Santé de l’OMS. Espaces verts urbains. Éléments de préconisation. Rennes : 2021.
- [49] Laadi K. Rôle des îlots de chaleur urbains dans la surmortalité observée pendant les vagues de chaleur - Synthèse des études réalisées par l’Institut de veille sanitaire sur la vague de chaleur d’août 2003. Saint-Maurice: Institut de Veille Sanitaire; 2012.
- [50] Pascal M, Gorla S, Wagner V, Guillet A, Sabastia M, Cordeau E, et al. Influence de caractéristiques urbaines sur la relation entre température et mortalité en Île-de-France. Saint-Maurice : Santé publique France; 2020.
- [51] Cordeau E. Les îlots morphologiques urbains (IMU). Délimitation et caractérisation des “IMU 2012” en Île-de-France. Paris (France): Institut d’Aménagement et d’Urbanisme d’Ile-de-France; 2016.
- [52] Boucher J, Cordeau E. Adapter l’Île-de-France à la chaleur urbaine. Identifier les zones à effet d’îlot de chaleur urbain (ICU) et établir leur degré de vulnérabilité afin de mieux anticiper. Paris: IAU Île-de-France; 2017.
- [53] Stewart ID, Oke TR. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 2012;93:1879–900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>.
- [54] Anses. Actualisation des repères du PNNS - Révisions des repères relatifs à l’activité physique et à la sédentarité. Maison-Alfort : Anses; 2016.
- [55] WHO. Towards More Physical Activity in Cities Transforming public spaces to promote physical activity - a key contributor to achieving the Sustainable Development Goals in Europe. WHO Europe; 2017.
- [56] Meline J, Chaix B, Pannier B, Ogedegbe G, Trasande L, Athens J, et al. Neighborhood walk score and selected Cardiometabolic factors in the French

- RECORD cohort study. *BMC Public Health* 2017;17:960. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4962-8>.
- [57] Qureshi AI, Adil MM, Miller Z, Suri M, Rahim B, Gilani SI, et al. Walk score and risk of stroke and stroke subtypes among town residents. *J Vasc Interv Neurol* 2014;7:26–9.
- [58] den Braver NR, Lakerveld J, Rutters F, Schoonmade LJ, Brug J, Beulens JWJ. Built environmental characteristics and diabetes: a systematic review and meta-analysis. *BMC Med* 2018;16:12. <https://doi.org/10.1186/s12916-017-0997-z>.
- [59] Jones AC, Chaudhary NS, Patki A, Howard VJ, Howard G, Colabianchi N, et al. Neighborhood Walkability as a Predictor of Incident Hypertension in a National Cohort Study. *Front Public Health* 2021;9:611895. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.611895>.
- [60] Moin JS, Glazier RH, Kuluski K, Kiss A, Upshur R. Impact of neighbourhood walkability on the onset of multimorbidity: a cohort study. *BMJ Open* 2021;11:e045890. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-045890>.
- [61] de Courrèges A, Occelli F, Muntaner M, Amouyel P, Meirhaeghe A, Dauchet L. The relationship between neighbourhood walkability and cardiovascular risk factors in northern France. *Sci Total Environ* 2021;772:144877. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144877>.
- [62] Bouleau M. La marche à pied en Île-de-France. Paris (France): L'Institut Paris Region; 2016.
- [63] Pivo G. Outils de coûts résidentiels 2017:27.
- [64] Twardzik E, Judd S, Bennett A, Hooker S, Howard V, Hutto B, et al. Walk Score and objectively measured physical activity within a national cohort. *J Epidemiol Community Health* 2019;73:549–56. <https://doi.org/10.1136/jech-2017-210245>.
- [65] Koohsari MJ, Oka K, Shibata A, Liao Y, Hanibuchi T, Owen N, et al. Associations of neighbourhood walkability indices with weight gain. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 2018;15:33. <https://doi.org/10.1186/s12966-018-0668-2>.
- [66] Duncan DT, Meline J, Kestens Y, Day K, Elbel B, Trasande L, et al. Walk Score, Transportation Mode Choice, and Walking Among French Adults: A GPS, Accelerometer, and Mobility Survey Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2016;13. <https://doi.org/10.3390/ijerph13060611>.
- [67] Michel L, Seng J, Notin nicolas. Favoriser la « marchabilité » : un levier d'actions pour améliorer la santé des franciliens. Driea, ARS Île-de-France; 2018.
- [68] L'Institut Paris Region. Les territoires de la marche en Île-de-France. En Ligne : https://www.iau-idf.fr/fileadmin/DataStorage/lauEtVous/CartesEtDonnees/cartesetdonnees/cartes_telecharge/new/CE_Walkscore.pdf.
- [69] Rey G, Jouglu E, Fouillet A, Hemon 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;9:33. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-9-33>.
- [70] Rey G, Rican S, Jouglu E. Mesure des inégalités de mortalité par cause de décès - Approche écologique à l'aide d'un indice de désavantage social. *Bull Epidemiol Hebd* 2011;8-9:pp 87-90.
- [71] Moreau E. Identifier les zones de fragilité en santé environnementale à Paris. Construction d'un outil cartographique. *Santé et Territoires* 2020;p 119-121.



Financé par



Observatoire régional de santé Île-de-France

15 rue Falguière - 75015 PARIS - Tél. (33) 01 77 49 78 60 - www.ors-idf.org

Président : Dr Ludovic Toro - Directrice de la publication : Dr. Isabelle Grémy

L'ORS Île-de-France, département de L'Institut Paris Région, est un observatoire scientifique indépendant financé par l'Agence régionale de santé et le Conseil régional d'Île-de-France.

ISBN 978-2-7371-2119-7